

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Utilidad de la tomografía multidetector en el implante valvular aórtico percutáneo. Ventajas de un método de imagen tridimensional



Carlos Escobedo-Uribe^{a,*} y Paul Schoenhagen^b

^a Departamento de Cardiología, Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto, San Luis Potosí, México

^b Imaging Institute, Cardiovascular Imaging, Cleveland Clinic Foundation, Cleveland, Ohio, Estados Unidos

Recibido el 9 de abril de 2013; aceptado el 2 de julio de 2014

PALABRAS CLAVE

Reemplazo valvular aórtico percutáneo; Implante valvular aórtico percutáneo; Estenosis aórtica; Tomografía; México

KEYWORDS

Transcatheter aortic valve replacement; Transcatheter aortic valve implantation; Aortic stenosis; Tomography; Mexico

Resumen La estenosis aórtica es la causa más común de enfermedad valvular en EE. UU. y Europa. En la actualidad el reemplazo valvular quirúrgico es el tratamiento de elección para los pacientes con estenosis aórtica grave, sin embargo, el implante valvular aórtico percutáneo permite el tratamiento de la estenosis aórtica de una manera menos invasiva en pacientes de riesgo elevado o no candidatos a cirugía. Dado que en el implante percutáneo no hay una visualización directa del campo quirúrgico, es necesario evaluar con precisión la anatomía vascular de manera preoperatoria. Por lo tanto, para mejorar los resultados y evitar las complicaciones, la tomografía multidetector se considera parte del estudio rutinario de estos pacientes, ya que la información que se obtiene de la aorta y arterias ilíacas permite al médico una planeación precisa antes de la intervención. En esta revisión describimos los aspectos básicos del procedimiento y la importancia clínica de la tomografía multidetector.

© 2013 Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. Publicado por Masson Doyma México S.A. Todos los derechos reservados.

Usefulness of multidetector computed tomography in transcatheter aortic valve implantation. Advantage of a tridimensional imaging modality

Abstract Aortic stenosis is the most common valvular disorder in the United States and Europe. Nowadays, surgical aortic valve replacement remains the standard treatment for patients with severe aortic stenosis; however, transcatheter aortic valve implantation represents a less invasive treatment option for aortic stenosis patients considered as high-risk or not suitable for surgical management. Because of the lack of direct visualization of the operative field in transcatheter aortic valve implantation, there is an increased need for precise

* Autor para correspondencia. Av. Venustiano Carranza n.º 2395, San Luis Potosí C.P. 78240, México. Teléfono: +52 (444) 8342797 extensión 208, Fax: +52(444) 8135620.

Correo electrónico: cardieu@hotmail.com (C. Escobedo-Uribe).

pre-operative assessment of vascular anatomy. Therefore, in order to improve outcome and avoid complications, multidetector tomography is part of the routine evaluation of patients considered for this treatment. The data obtained covering the aorta and iliac arteries, allows the physician a precise planning prior to the intervention. In this review, we described basic aspects of the procedure, and the clinical relevance of the multidetector tomography.

© 2013 Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. Published by Masson Doyma México S.A. All rights reserved.

Introducción

La estenosis aórtica (EA) es la causa más común de enfermedad valvular en EE. UU. y Europa, y su principal causa es la calcificación de la válvula aórtica nativa, generalmente en personas de edad avanzada (> 75 años), o secundaria a la degeneración de una válvula aórtica bicúspide que ocurre en personas de menor edad; otras posibles etiologías incluyen la enfermedad valvular reumática la cual tiene una mayor prevalencia en países no desarrollados¹. En México se desconoce la prevalencia de la EA.

Los pacientes con EA se mantienen asintomáticos hasta llegar a estadios avanzados de la enfermedad y cuando los síntomas se presentan el pronóstico suele ser desfavorable, con una supervivencia de 2 años en pacientes con insuficiencia cardiaca, de 3 años en aquellos con síncope y de 5 años en los que se presentan con angina. En los pacientes de edad avanzada con alto riesgo quirúrgico y por tanto tratados médicamente, la mortalidad a un año es del 50%². En la actualidad el reemplazo valvular quirúrgico es el tratamiento de elección para los pacientes en quienes se demuestra EA grave^{3,4}. Sin embargo, dado que un porcentaje considerable de enfermos son octogenarios, con riesgo cardiovascular elevado y con un gran número de comorbilidades (función sistólica ventricular disminuida, enfermedad arterial coronaria, enfermedad arterial periférica, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, diabetes e insuficiencia renal crónica, entre otras) no son considerados candidatos para reemplazo valvular quirúrgico^{5,6}. Por tal motivo, desde hace una década se ha implementado una nueva técnica que permite el tratamiento de la EA de una manera menos invasiva. Esta modalidad terapéutica es el implante valvular aórtico percutáneo (TAVI por sus siglas en inglés: *transcatheter aortic valve implantation*)⁷. Según los informes más recientes se han implantado en el mundo cerca de 50,000 válvulas por vía percutánea, y se ha demostrado en estudios aleatorizados la factibilidad, seguridad y beneficios en mortalidad, así como las posibles complicaciones a corto y largo plazo⁸⁻¹⁰. Resultados del estudio PARTNER demuestran que el grupo de pacientes tratados con TAVI tienen una disminución de la mortalidad del 20% en comparación con el manejo conservador². En la actualidad el TAVI se ha posicionado como una novedosa modalidad terapéutica para pacientes con elevado riesgo quirúrgico y como uno de los temas de mayor interés en investigación.

Tipos de válvulas

Las válvulas más utilizadas hasta el momento son: la válvula expandible con balón Edwards Sapien (Edwards

Lifesciences, Irvine, California, EE. UU.) y la válvula autoexpandible CoreValve (Medtronic, Minneapolis, Minnesota, EE. UU.). La Edwards Sapien ha sido aceptada para su uso clínico en Europa y EE. UU., mientras que la CoreValve aún no tiene autorización para su uso clínico en este último; en México se han realizado los primeros implantes de ambas válvulas.

Estructura valvular, vía de acceso y fijación aórtica

La estructura básica de estas válvulas consiste en un anillo metálico cubierto en su exterior por material sintético, en el que encuentra montada una válvula biológica de pericardio. La válvula Edwards Sapien puede ser implantada de forma percutánea desde la vía femoral o quirúrgicamente desde el ápex o la aorta ascendente; la válvula CoreValve puede ser colocada por vía femoral o subclavia. Un aspecto importante para su colocación es la dimensión de los introductores necesarios para la vía percutánea, pues la Edwards Sapien utiliza introductores de 16 a 19F de diámetro y la CoreValve de 18F. Dichas válvulas presentan diferencias no solo en la estructura, sino también en la manera en que son colocadas y en su sitio de fijación; la Edwards Sapien debe ser colocada bajo estimulación ventricular rápida para disminuir transitoriamente el gasto cardiaco mientras es expandida, la CoreValve no lo requiere. Con respecto al sitio de fijación, la válvula Edwards Sapien es fijada en el anillo y plano valvular, mientras que la CoreValve es fijada en el anillo, plano valvular y la aorta ascendente (tabla 1)^{8,9}.

Complicaciones

Existen diferencias en las limitantes y posibles complicaciones observadas hasta el momento con ambas válvulas, lo anterior principalmente relacionado con la estructura con que han sido diseñadas. El bloqueo auriculoventricular es una de las complicaciones frecuentes después del procedimiento; en registros como el FRANCE 2 Investigators y el UK TAVI^{10,11} el 15.6% y el 16.3% de los pacientes respectivamente requirió la colocación de un marcapasos definitivo; en estos como en otros registros, la necesidad de marcapasos ha sido más común al emplear la válvula CoreValve (Sapien 7.4-11.5% vs. CoreValve 24.2-24.4%), asociado probablemente a la mayor longitud de la prótesis, ya que su sistema de fijación se extiende hasta la vía de salida del ventrículo izquierdo, lo que genera compresión del sistema de conducción en el septum. La obstrucción coronaria es una complicación muy grave pero poco frecuente y se ha observado con mayor frecuencia con el uso de la válvula Edwards Sapien.

Tabla 1 Diferencias en características estructurales valvulares y sitio de fijación

	Edwards Sapien	Medtronic CoreValve
Estructura metálica	Acero inoxidable	Nitinol (níquel-titanio)
Tipo de pericardio	Bovino	Porcino
Dimensiones del dispositivo (mm)	23 26	26 29 31
Diámetro del introductor (F)	22 24	18
Longitud del dispositivo (mm)	14-16	53-55
Expansión	Con balón	Autoexpandible
Fijación anular	Sí	Sí
Fijación en aorta ascendente	No	Sí

Evaluación previa al procedimiento

Uno de los aspectos más importantes para llevar a cabo este procedimiento es la evaluación multidisciplinaria de cada caso en particular con el objetivo de valorar detenidamente el riesgo-beneficio de cualquier procedimiento, de tal forma que se pueda ofrecer al paciente el más apropiado para su condición clínica. Esta evaluación debe ser realizada por un equipo de médicos con experiencia en este procedimiento, en el que se incluyan diferentes especialistas como cardiólogos clínicos, intervencionistas, cirujanos, anestesiólogos y especialistas en imagen cardiovascular¹².

Cabe mencionar que una de las limitantes del TAVI es que el operador no tiene visión directa del campo quirúrgico y gran parte de las decisiones tomadas antes, durante y después del procedimiento dependen de la información obtenida por los diferentes métodos de imagen cardiovascular. Es aquí donde la tomografía multidetector (TM) tiene un papel muy importante, ya que permite obtener una gran cantidad de información en un solo estudio; como limitante, la TM no puede emplearse durante el implante, a diferencias de otras técnicas como el ecocardiograma bi- o tridimensional.

La importancia de la tomografía multidetector en la adecuada selección de pacientes para implante valvular aórtico percutáneo

La evaluación inicial así como la determinación de la severidad y la repercusión hemodinámica de la estenosis aórtica se realizan de manera rutinaria mediante la ecocardiografía bidimensional. Es en este método en el que se basaron los primeros procedimientos de TAVI; sin embargo, en la actualidad es necesaria una evaluación más amplia de la estructura cardiovascular previa al procedimiento. A este respecto, la TM se ha posicionado como un método sumamente completo para responder a las preguntas relevantes antes de realizar un TAVI con la mayor seguridad posible.

Adquisición de las imágenes

Los protocolos para adquirir las imágenes pueden variar dependiendo de la experiencia local y del equipo disponible. Se recomienda utilizar un tomógrafo de por lo menos 64 detectores. El estudio debe de incluir toda la aorta y las arterias ilíacas, femorales y subclavias. Por la movilidad

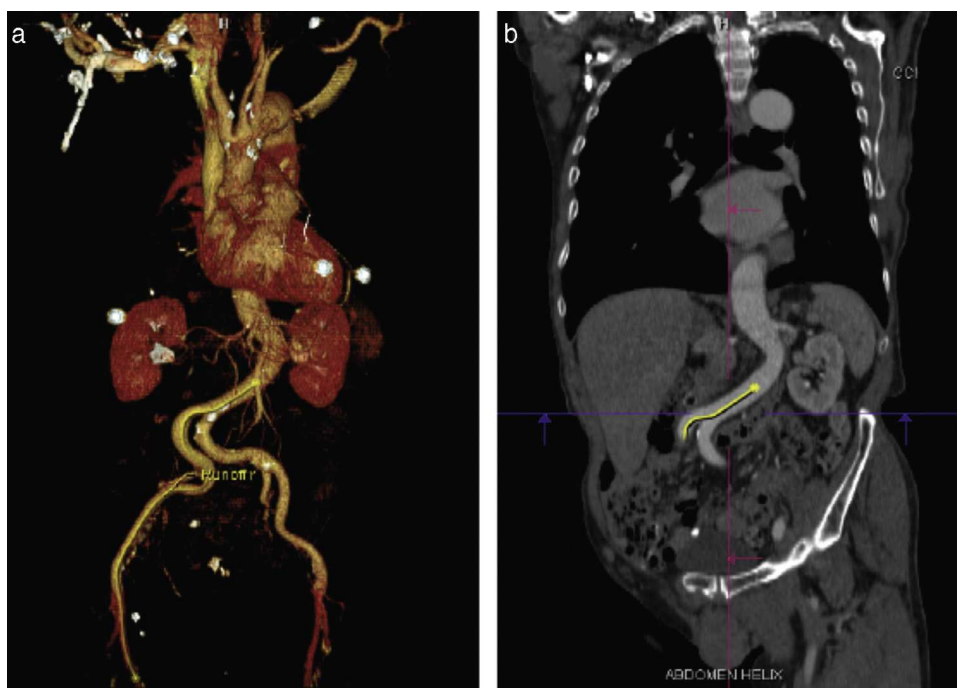


Figura 1 a) Reconstrucción volumétrica que incluye la totalidad de la aorta, porción proximal de troncos supraaórticos, ilíacas y femorales. b) Imagen coronal modificada en la que se observa angulación de aorta descendente antes de la bifurcación en ilíacas (línea amarilla).

de la válvula, raíz y aorta ascendente, se debe adquirir una secuencia sincronizada con electrocardiograma con el fin de disminuir los artefactos de movimiento y asegurar la exactitud de las medidas obtenidas. La adquisición del resto de la aorta e iliacas puede realizarse con un estudio sin sincronización electrocardiográfica (fig. 1)⁹.

La dosis de radiación en tomografía es sin duda uno de los aspectos que actualmente requieren mayor vigilancia; sin embargo, en la población estudiada para TAVI la dosis de radiación no es una limitante, ya que estos pacientes son de edad avanzada en su mayoría y los efectos adversos por radiación no son significativos, ya que generalmente, estos ocurren a largo plazo. Por otra parte, uno de los aspectos críticos en el momento de realizar un TAVI es la administración de medio de contraste, por lo que siempre deberá considerarse el riesgo-beneficio antes de hacer un estudio contrastado. En caso de que exista una contraindicación para la administración del material de contraste, un estudio simple puede ofrecer información valiosa sobre el diámetro de las estructuras, trayectos, tortuosidad y calcificación⁹.

Medición y características del anillo aórtico

La adecuada caracterización del anillo aórtico (AA) es un aspecto crucial en el momento de planear la colocación de una válvula percutánea, ya que una inadecuada evaluación de las características del AA puede asociarse a complicaciones graves como rotura de dicho anillo o migración valvular y más comúnmente con regurgitación paravalvular, la cual es un importante predictor de mal pronóstico a largo plazo, aun cuando sea de pequeña magnitud¹⁰⁻¹⁵.

La elección del tamaño adecuado de la prótesis se realiza en función de la medición no invasiva del AA. En estudios iniciales esta medida se realizaba utilizando el ecocardiograma transtorácico, sin embargo se ha observado que los métodos bidimensionales suelen subestimar la dimensión del AA ya que se asume una estructura circular del anillo¹⁶, lo cual influye en el desarrollo de regurgitación valvular pos-TAVI si se selecciona una prótesis de menor dimensión^{17,18}. El AA es una estructura elíptica la mayoría de las veces y es por ello que las técnicas de imagen que permiten realizar una reconstrucción multidimensional pueden determinar con mayor precisión sus diámetros reales (fig. 2)^{19,20}.

La TM ha demostrado tener un excelente desempeño al medir las dimensiones del AA con una buena correlación inter- e intraobservador, además, ha demostrado que los resultados de estas mediciones modifican el tamaño de las válvulas seleccionadas por ecocardiograma en aproximadamente un 40% de los pacientes^{20,21}. Las medidas que han demostrado tener mejor exactitud para medir el AA son el promedio de la máxima y mínima dimensión del anillo y el diámetro calculado a partir del área del anillo (fig. 3)²²⁻²⁴.

Un aspecto importante es la determinación del calcio a nivel valvular y del anillo y su relación con la insuficiencia aórtica pos-TAVI^{25,26}; en estudios preliminares se ha encontrado una asociación significativa entre una calcificación mayor de 2,000 UA (unidades Agatston) medida por una escala (*score*) de calcio en la zona de implantación y la presencia de regurgitación aórtica pos-TAVI²⁷⁻²⁹. La calcificación extensa en el sitio de implantación también se ha asociado con rotura del anillo y una mayor necesidad de marcapasos posprocedimiento^{30,31}, insuflación

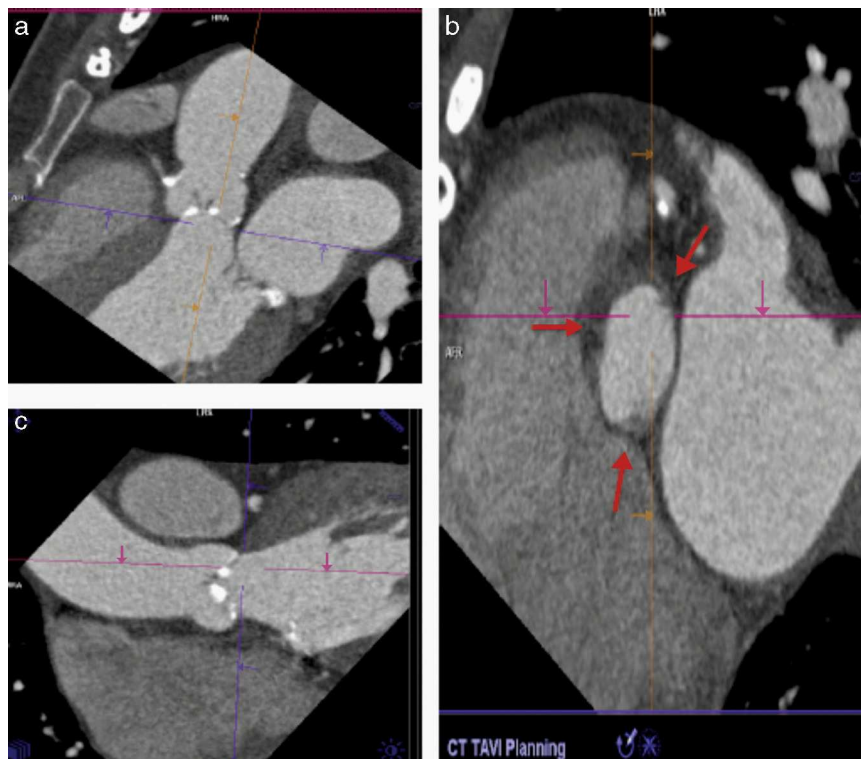


Figura 2 Método propuesto para la medición correcta del anillo aórtico. a) Se identifica el plano justo por debajo de la inserción de las valvas (línea morada). b) Asegurarse de que las 3 comisuras se encuentren en el mismo plano (las flechas indican la inserción de las comisuras). c) Lo propuesto en b) se obtiene orientando la imagen en diferentes proyecciones (sagital, coronal y axial).

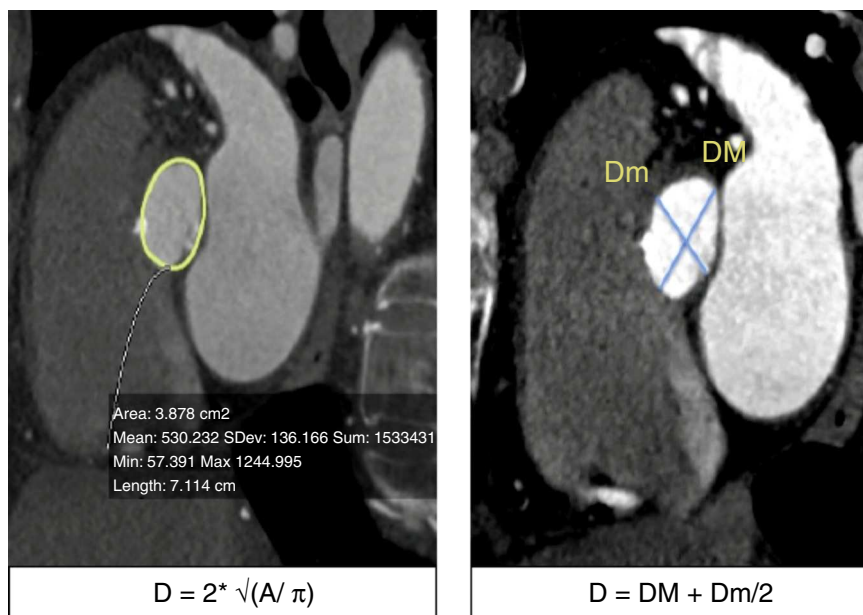


Figura 3 a) Trazo del área del anillo aórtico y ecuación para calcular el diámetro del anillo: se realiza una raíz cuadrada del área medida (elipse trazada con línea amarilla) dividida entre 3.1416, este resultado se multiplica por 2 para obtener el diámetro del anillo. b) Medición del diámetro mayor (DM) y menor del anillo (Dm); se suman estas 2 determinaciones y se dividen entre 2 para obtener el diámetro promedio.

con balón poscolocación de la prótesis³², migración del dispositivo^{33,34} y oclusión del origen coronario por desplazamiento de placa². Por todo lo anterior, la TM es realizada de manera rutinaria para medir las dimensiones y analizar las características del AA antes de colocar una prótesis percutánea (fig. 4).

Distancia del plano valvular al origen coronario, evaluación de raíz aórtica y aorta ascendente

Una complicación grave pero infrecuente durante la colocación de una prótesis percutánea es la oclusión del tronco

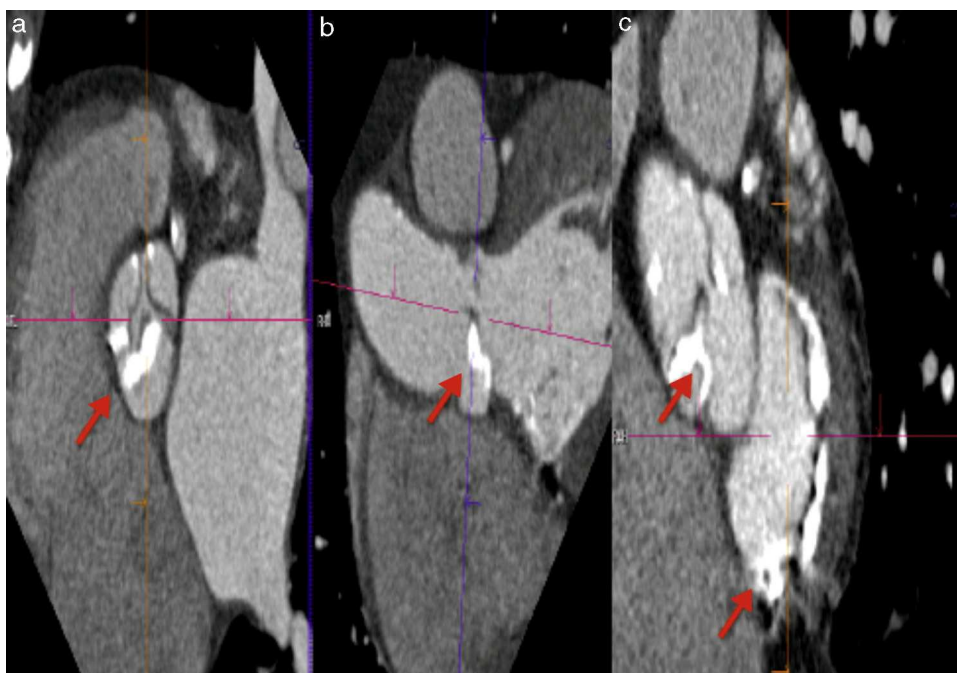


Figura 4 a y b) Calcificación de la comisura y cuerpo de las valvas coronaria derecha y no coronaria. c) Calcificación grave de la válvula aórtica y del anillo mitral. Las flechas señalan las zonas de calcificación descritas.

coronario izquierdo (TCI)^{10,32}; en el caso de una implantación valvular «alta» existe el riesgo de que la prótesis se desplace y ocluya el origen coronario. De igual forma, si la distancia del plano valvular al origen del TCI es corta, el anillo de la prótesis implantada o una cúspide izquierda redundante pueden ocluir el origen del TCI. En este sentido la TM es considerada actualmente el estándar de referencia para medir la distancia del AA al origen del TCI, esto mediante una reconstrucción tridimensional de la vía de salida del ventrículo izquierdo y la raíz aórtica (fig. 5). Una distancia AA-TCI menor a 10 mm incrementa el riesgo de oclusión coronaria³⁵⁻³⁷. La TM se considera también como el estándar de referencia para medir la simetría y tamaño de las valvas de la aorta.

Mediante la TM se puede realizar una medición adecuada de las dimensiones vasculares en una reconstrucción tridimensional o curvilinear de los senos de Valsalva, unión sinotubular y aorta ascendente. Se consideran como dimensiones adecuadas menos de 27 mm en senos de Valsalva y menos de 43 mm en la aorta ascendente; la presencia de aneurisma o disección aórtica contraindica el procedimiento. Estas dimensiones son muy importantes sobre todo cuando se planea implantar una válvula CoreValve, ya que esta es fijada en la aorta ascendente. Otra ventaja de la TM es la posibilidad de evaluar el grado de placa aterosclerosa y calcificación aórtica, ya que ambas se asocian a posibles complicaciones por embolismo sistémico (principalmente cerebral), además de contraindicarse el acceso quirúrgico a través de la aorta ascendente si la calcificación es extensa (fig. 6)³⁸.



Figura 5 Distancia del plano valvular al origen del tronco de la coronaria izquierda.

Orientación del plano valvular

La adecuada colocación de la prótesis requiere la orientación coaxial de la misma con el plano valvular nativo. Esta orientación se realizaba previamente de manera rutinaria con 2-3 aortogramas antes de iniciar la colocación de la prótesis, identificando la posición en la que la válvula

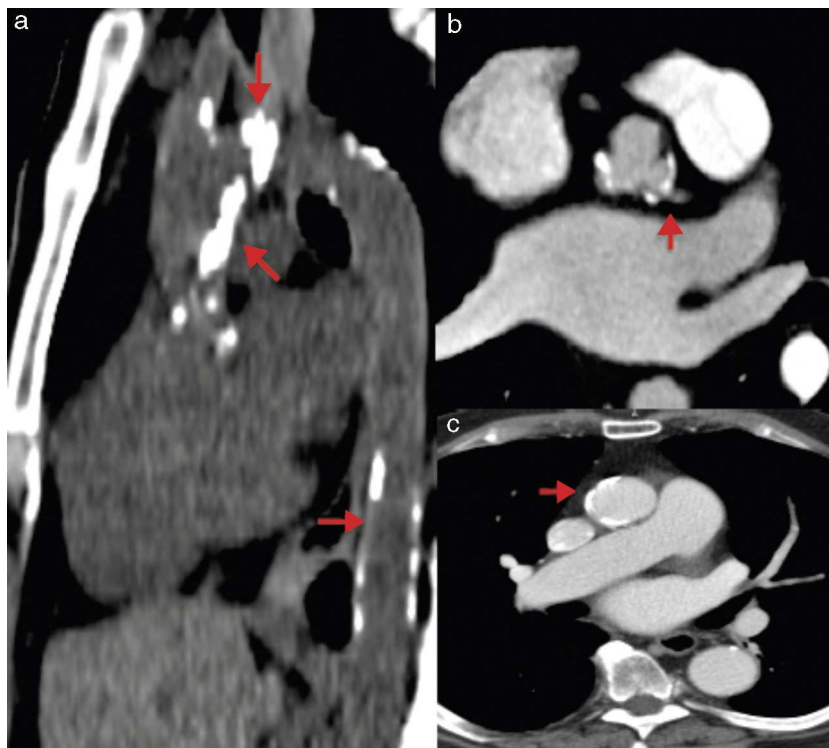


Figura 6 Calcificación en aorta. a) Tomografía sin contraste en la que se observan zonas extensas de calcificación en aorta ascendente, cayado y aorta descendente. b) Angiotomografía contrastada con placa calcificada cercana al origen del tronco de la coronaria izquierda. c) Angiotomografía contrastada con calcificación en aorta ascendente.

se encuentra perpendicular al plano valvular. Esta orientación del plano valvular se puede realizar con la TM previa al estudio, mediante reconstrucciones multiplanares dobles oblicuas para localizar la proyección oblicua anterior derecha, oblicua anterior izquierda, con diferente grado de angulación caudal o craneal. Esta determinación ha demostrado: correlacionar adecuadamente con las medidas por angiografía convencional^{39,40}, disminuir el tiempo del procedimiento, reducir la cantidad de medio de contraste utilizado y potencialmente asegurar una adecuada angulación de la prótesis⁴¹.

Evaluación de la vía de acceso

Sin duda una de las aportaciones más importantes de la TM es la de permitir la evaluación de las características de todos los posibles sitios de inserción antes del procedimiento con una alta eficacia y en un solo estudio (fig. 7).

Vía femoral. La vía femoral es la más comúnmente empleada para la implantación protésica percutánea. En

los estudios iniciales se identificó una alta frecuencia de complicaciones asociadas al sitio de inserción, estas complicaciones incrementan la morbimortalidad de los pacientes. Los factores que se han asociado a un mayor número de complicaciones en el sitio de inserción son: diámetro iliofemoral pequeño (en relación con el diámetro externo del introductor), calcificación arterial moderada a grave, tortuosidad de los vasos y enfermedad arterial periférica^{42,43}.

La calcificación iliofemoral se ha identificado como un factor que incrementa la frecuencia de complicaciones vasculares. El índice entre el diámetro externo del introductor y el diámetro mayor de la arteria femoral ayuda a predecir complicaciones a 30 días y su punto de corte es > 1.05 (1.10 si no hay calcificaciones y 1 si hay calcificación iliofemoral)⁴⁴.

En presencia de alguno de los factores asociados a complicaciones vasculares, se recomienda utilizar un abordaje diferente, ya que disminuye la morbimortalidad del procedimiento⁴⁵. Se espera que con el desarrollo de introductores de menor calibre y material más flexible disminuya la frecuencia de complicaciones.

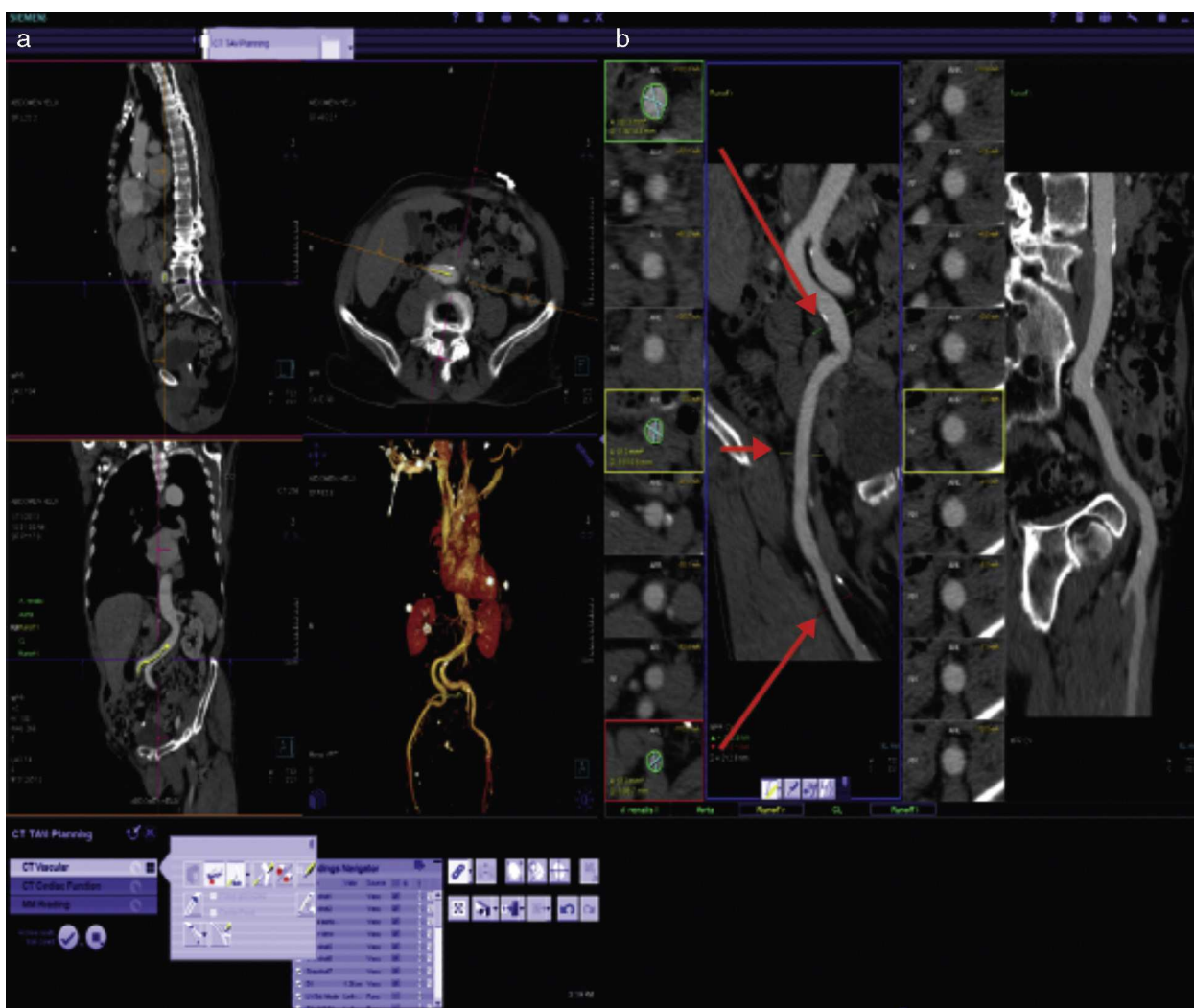


Figura 7 a) Imagen representativa de la reconstrucción tridimensional de las imágenes en una estación de trabajo dedicada al análisis de los estudios previos al TAVI. b) Reconstrucción centrolínea (*centerline reconstruction*) que permite realizar mediciones exactas en diferentes segmentos de las estructuras vasculares. Las flechas rojas señalan los sitios en que se realizan mediciones de diámetros y áreas vasculares.

Abordaje apical, aorta ascendente y subclavia: el abordaje apical se utiliza para implantar de manera anterógrada la válvula Edwards Sapien en aquellos pacientes con riesgo elevado de complicaciones vasculares iliofemorales^{46,47}. En este caso la TM es de gran ayuda al poder medir directamente la distancia del tórax al ápex del ventrículo izquierdo, descartar la presencia de trombos intracavitarios, orientar sobre la angulación para avanzar el dispositivo, además de poder realizar las mediciones habituales del anillo, raíz y aorta ascendente. Para el abordaje por la subclavia se pueden hacer las mediciones del diámetro arterial⁴⁸. En el abordaje de aorta ascendente se puede identificar el diámetro aórtico y placas calcificadas en la aorta ascendente, además de poder identificar cambios posquirúrgicos a nivel mediastínico y localizar hemoductos para prevenir complicaciones.

Conclusión

La TM se ha posicionado como una herramienta diagnóstica importante en la evaluación de los pacientes que son tratados con TAVI. Su principal ventaja es la posibilidad de obtener una gran cantidad de información relevante antes del procedimiento, lo que influye directamente en las decisiones tomadas por el equipo médico. Lo anterior permite ofrecer una mayor seguridad al paciente y potencialmente un mejor resultado en la implantación de la prótesis.

Por estas características, la TM ha sido incluida como parte del estudio rutinario en los centros de referencia para el tratamiento con TAVI. En España se han informado los resultados del registro nacional de más de 1,400 pacientes tratados con TAVI y en México se incrementa constantemente el número de procedimientos realizados⁴⁹. Es por esto que los médicos (cardiólogos, intensivistas, cirujanos, intervencionistas, etc.) que participen en el manejo de pacientes con EA deberán conocer los aspectos relacionados con la adecuada selección de los pacientes para lograr los mejores resultados posibles. La importancia de la TM está bien demostrada en la actualidad, sin embargo mientras las técnicas de tratamiento de enfermedades como la EA evolucionen, también los métodos de diagnóstico continuarán su evolución⁵⁰.

Financiación

No se recibió patrocinio de ningún tipo para llevar a cabo este artículo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

A la Dra. Adriana Elizabeth Monsiváis Urenda por la revisión crítica de este artículo.

Bibliografía

1. Nkomo VT, Gardin JM, Skelton TN, et al. Burden of valvular heart diseases: A population-based study. *Lancet*. 2006;368:1005–11.
2. Leon MB, Smith CR, Mack M, et al. Transcatheter aortic-valve implantation for aortic stenosis in patients who cannot undergo surgery. *N Engl J Med*. 2010;363:1597–607.
3. Bonow RO, Carabello BA, Chatterjee K, et al. 2008 focused update incorporated into the ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to revise the 1998 guidelines for the management of patients with valvular heart disease). Endorsed by the Society of Cardiovascular Anaesthesiologists Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons. *J Am Coll Cardiol*. 2008;52:e1–142.
4. Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F, et al. Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012): The Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J*. 2012;33:2451–96.
5. Brown JM, O'Brien SM, Wu C, et al. Isolated aortic valve replacement in North America comprising 108,687 patients in 10 years: Changes in risks, valve types, and outcomes in the Society of Thoracic Surgeons National Database. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2009;137:82–90.
6. Tamburino C, Capodanno D, Ramondo A, et al. Incidence and predictors of early and late mortality after transcatheter aortic valve implantation in 663 patients with severe aortic stenosis. *Circulation*. 2011;123:299–308.
7. Cribier A, Eltchaninoff H, Bash A, et al. Percutaneous transcatheter implantation of an aortic valve prosthesis for calcific aortic stenosis: First human case description. *Circulation*. 2002;106:3006–8.
8. Webb JG, Wood DA. Current status of transcatheter aortic valve replacement. *J Am Coll Cardiol*. 2012;60:483–92.
9. Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, et al. SCCT expert consensus document on computed tomography imaging before transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR). *J Cardiovasc Comput Tomog*. 2012;6:366–80.
10. Gilard M, Eltchaninoff H, Lung B, et al. FRANCE 2 Investigators: Registry of transcatheter aortic-valve implantation in high-risk patients. *N Engl J Med*. 2012;366:1705–15.
11. Moat NE, Ludman P, Belder MA, et al. Long-term outcomes after transcatheter aortic valve implantation in high-risk patients with severe aortic stenosis: The U.K. TAVI (United Kingdom Transcatheter Aortic Valve Implantation) Registry. *J Am Coll Cardiol*. 2011;58:2130–8.
12. Holmes DR Jr, Mack MJ, Kaul S, et al. 2012 ACCF/AATS/SCAI/STS expert consensus document on transcatheter aortic valve replacement. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59:1200–54.
13. Webb JG, Pasupati S, Humphries K, et al. Percutaneous transarterial aortic valve replacement in selected high-risk patients with aortic stenosis. *Circulation*. 2007;116:755–63.
14. Kodali S, Williams M, Smith C, et al. Two-year outcomes after transcatheter or surgical aortic-valve replacement. *N Engl J Med*. 2012;366:1686–95.
15. Sinning JM, Hammerstingl C, Vasa-Nicotera M, et al. Aortic regurgitation index defines severity of peri-prosthetic regurgitation and predicts outcome in patients after transcatheter aortic valve implantation. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59:1134–41.
16. Ng A, Delgado V, van der Kley F, et al. Comparison of aortic root dimensions and geometries before and after transcatheter aortic valve implantation by 2- and 3-dimensional transesophageal echocardiography and multislice computed tomography. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2010;3:94–102.
17. Willson AB, Webb JG, LaBounty TM, et al. 3-dimensional aortic annular assessment by multidetector computed tomography predicts moderate or severe paravalvular regurgitation

- after transcatheter aortic valve replacement: Implications for sizing of transcatheter heart valves. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59:1287-94.
18. Jilaihawi H, Kashif M, Fontana G, et al. Cross-sectional computed tomographic assessment improves accuracy of aortic annulus sizing for transcatheter aortic valve replacement and reduces the incidence of paravalvular aortic regurgitation. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59:1275-86.
 19. Messika-Zeitoun D, Jean-Michel S, Brochet E, et al. Multimodal assessment of the aortic annulus diameter. *J Am Coll Cardiol*. 2010;55:186-94.
 20. Altiok E, Koos R, Schroder J, et al. Comparison of two-dimensional and three-dimensional imaging techniques for measurement of aortic annulus diameters before transcatheter aortic valve implantation. *Heart*. 2011;97:1578-84.
 21. Jabbour A, Ismail T, Moat N, et al. Multimodality imaging in transcatheter aortic valve implantation and post-procedural aortic regurgitation: comparison among cardiovascular magnetic resonance, cardiac computed tomography, and echocardiography. *J Am Coll Cardiol*. 2011;58:2165-73.
 22. Delgado V, Ng AC, van de Veire NR, et al. Transcatheter aortic valve implantation: Role of multi-detector row computed tomography to evaluate prosthesis positioning and deployment in relation to valve function. *Eur Heart J*. 2010;31:1114-23.
 23. Gurvitch R, Webb J, Yuan R, et al. Aortic annulus diameter determination by multidetector computed tomography. *J Am Coll Cardiol Interv*. 2011;4:1235-45.
 24. Leipsic J, Gurvitch R, Troy M, et al. Multidetector computed tomography in transcatheter aortic valve implantation. *J Am Coll Cardiol Img*. 2011;4:416-29.
 25. Schultz CJ, Tzikas A, Moelker A, et al. Correlates on MSCT of paravalvular aortic regurgitation after transcatheter aortic valve implantation using the Medtronic CoreValve prosthesis. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2011;78:446-55.
 26. Yared K, Garcia-Camarero T, Fernandez-Friera L, et al. Impact of aortic regurgitation after transcatheter aortic valve implantation. *J Am Coll Cardiol Img*. 2012;5:469-77.
 27. Heasing M, Lehkuhl L, Rastan AJ, et al. Aortic valve calcium scoring is a predictor of significant paravalvular aortic insufficiency in transapical-aortic valve implantation. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2012;6:1234-41.
 28. Lee JA, Singh T, Ben Dor I, et al. Aortic valve calcium score by computed tomography in predicting perivalvular aortic insufficiency post transcatheter aortic valve implantation (TAVI). *J Am Coll Cardiol*. 2012;59. E1962. (Abstract).
 29. Athappan G, Patvardhan E, Tuzcu E, et al. Incidence, predictors, and outcomes of aortic regurgitation after transcatheter aortic valve replacement: Meta-analysis and systematic review of literature. *J Am Coll Cardiol*. 2013;61:1585-95.
 30. Marwan M, Arnold M, Ensminger S, et al. CT predictors of post-procedural aortic regurgitation in patients referred for transcatheter aortic valve implantation: A prospective analysis of 105 patients. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59. E1197 (Abstract).
 31. Latsio G, Gerckens U, Buellesfeld L, et al. "Device landing zone" calcification, assessed by MSCT, as a predictive factor for pacemaker implantation after TAVI. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2010;76:431-9.
 32. John D, Buellesfeld L, Yuecel S, et al. Correlation of device landing zone calcification and acute procedural success in patients undergoing transcatheter aortic valve implantations with the self-expanding CoreValve prosthesis. *J Am Coll Cardiol Interv*. 2010;3:233-43.
 33. Van Mieghem NM, Schultz CJ, van der Boon RM, et al. Incidence, timing, and predictors of valve dislodgment during TAVI with the medtronic corevalve system. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2012;79:726-32.
 34. Ribeiro HB, Webb JG, Makkar RR, et al. Predictive factors, management, and clinical outcomes of coronary obstruction following transcatheter aortic valve implantation: Insights from a large multicenter registry. *J Am Coll Cardiol*. 2013;62:1552-62.
 35. Bartorelli AL, Andreini D, Sisillo E, et al. Left main coronary artery occlusion after percutaneous aortic valve implantation. *Ann Thorac Surg*. 2010;89:953-5.
 36. Tamborini G, Fusini L, Gripari P, et al. Feasibility and accuracy of 3DTEE versus CT for the evaluation of aortic valve annulus to left main ostium distance before transcatheter aortic valve implantation. *J Am Coll Cardiol Img*. 2012;5:579-88.
 37. Masson JB, Kovac J, Schuler G, et al. Transcatheter aortic valve implantation: Review of the nature, management, and avoidance of procedural complications. *JACC Cardiovasc Interv*. 2009;2:811-20.
 38. Tops LF, Wood DA, Delgado V, et al. Noninvasive evaluation of the aortic root with multislice computed tomography. Implications for transcatheter aortic valve replacement. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2008;1:321-30.
 39. Kurra V, Kapadia SR, Tuzcu M, et al. Pre-procedural imaging of aortic root orientation and dimensions: comparison between X-ray angiographic planar imaging and 3-dimensional multi-detector row computed tomography. *J Am Coll Cardiol Interv*. 2010;3:105-13.
 40. Gurvitch R, Wood DA, Leipsic J, et al. Multislice computed tomography for prediction of optimal angiographic deployment projections during transcatheter aortic valve implantation. *J Am Coll Cardiol Interv*. 2010;3:1157-65.
 41. Arnold M, Achenbach S, Pfeiffer I, et al. A method to determine suitable fluoroscopic projections for transcatheter aortic valve implantation by computed tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2012;6:422-8.
 42. Genereux P, Head SJ, van Mieghem NM, et al. Clinical outcomes alter transcatheter aortic valve replacement using valve academic research consortium definitions: a weighted meta-analysis of 3,519 patients from 16 studies. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59:2317-26.
 43. Smith CR, Leon MB, Mack MJ, et al., PARTNER Trial Investigators. Transcatheter versus surgical aortic-valve replacement in high-risk patients. *N Engl J Med*. 2011;364:2187-98.
 44. Hayashida K, Lefevre T, Chevalier B, et al. Transfemoral aortic valve implantation new criteria to predict vascular complications. *JACC Cardiovasc Interv*. 2011;4:851-8.
 45. Toggweiler S, Gurvitch R, Leipsic J, et al. Percutaneous aortic valve replacement: Vascular outcomes with a fully percutaneous procedure. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59:113-8.
 46. Kempfert J, van Linden A, Linke A, et al. Transapical aortic valve implantation: Therapy of choice for patients with aortic stenosis and porcelain aorta? *Ann Thorac Surg*. 2010;90:1457-61.
 47. Himbert D, Descoutures F, Al-Attar N, et al. Results of transfemoral or transapical aortic valve implantation following a uniform assessment in high-risk patients with aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol*. 2009;54:303-11.
 48. Modine T, Obadia JF, Choukroun E, et al. Transcatheter aortic valve implantation using the axillary/subclavian access: Feasibility and early clinical outcomes. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2011;141:487-91.
 49. Sabaté M, Cánovas S, García E, et al. Predictores de mortalidad hospitalaria y a medio plazo tras el reemplazo valvular aórtico transcatalé: datos del registro nacional TAVI 2010-2011. *Rev Esp Cardiol*. 2013;66:949-58.
 50. Schoenhagen P, Numburi U, Halliburton SS, et al. Three-dimensional imaging in the context of minimally invasive and transcatheter cardiovascular interventions using multi-detector computed tomography: From pre-operative planning to intra-operative guidance. *Eur Heart J*. 2010;31:2727-40.