

Puesta al día: Imagen cardiaca (II)

Sustitución percutánea de válvula aórtica: ventajas y limitaciones de diferentes técnicas de imagen cardiaca

Tomaz Podlesnikar^{a,b} y Victoria Delgado^{a,*}^a Department of Cardiology, Heart Lung Center, Leiden University Medical Center, Leiden, Países Bajos^b Department of Cardiology and Angiology, University Medical Centre Maribor, Maribor, Eslovenia

Historia del artículo:

On-line el 6 de febrero de 2016

Palabras clave:

Sustitución percutánea de válvula aórtica

Estenosis valvular aórtica

Técnicas de imagen tridimensionales

Regurgitación paraavalvular

RESUMEN

El reemplazo percutáneo de la válvula aórtica es un tratamiento bien establecido para los pacientes con estenosis aórtica severa y sintomática que tienen contraindicaciones para el tratamiento quirúrgico o alto riesgo quirúrgico. Los avances alcanzados en el diseño de las prótesis y dispositivos y los continuos avances en las técnicas de imagen multimodal, en especial las de tipo tridimensional, han mejorado los resultados clínicos, con una reducción significativa de la incidencia de complicaciones frecuentes como la regurgitación aórtica paraavalvular. Además, se están acumulando datos sobre la durabilidad de las prótesis. Las técnicas de imagen multimodales desempeñan un papel central en la selección de los pacientes candidatos a sustitución percutánea de la válvula aórtica, así como para planificar y guiar la intervención y hacer el seguimiento de la función de la prótesis. En este artículo de puesta al día se analizan los puntos fuertes y las limitaciones de cada técnica de diagnóstico por la imagen en la sustitución de válvula aórtica.

© 2015 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Transcatheter Aortic Valve Replacement: Advantages and Limitations of Different Cardiac Imaging Techniques

ABSTRACT

Transcatheter aortic valve replacement is an established therapy for patients with symptomatic severe aortic stenosis and contraindications or high risk for surgery. Advances in prostheses and delivery system designs and continuous advances in multimodality imaging, particularly the 3-dimensional techniques, have led to improved outcomes with significant reductions in the incidence of frequent complications such as paraavalvular aortic regurgitation. In addition, data on prosthesis durability are accumulating. Multimodality imaging plays a central role in the selection of patients who are candidates for transcatheter aortic valve replacement, procedure planning and guidance, and follow-up of prosthesis function. The strengths and limitations of each imaging technique for transcatheter aortic valve replacement will be discussed in this update article.

Full English text available from: www.revespcardiol.org/en

© 2015 Sociedad Española de Cardiología. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

INTRODUCCIÓN

La sustitución percutánea de válvula aórtica (SPVA) ha pasado a ser una alternativa segura y viable en el tratamiento de los pacientes con estenosis aórtica (EA) severa que presentan contraindicaciones para la sustitución quirúrgica de la válvula aórtica (VA) o alto riesgo quirúrgico. Por lo que respecta a la supervivencia y la reducción de los síntomas clínicos, en ensayos clínicos aleatorizados amplios se ha demostrado que la SPVA es superior al tratamiento médico (y a la valvuloplastia con balón) para pacientes a los que se considera inoperables^{1,2} y es no inferior a la sustitución quirúrgica de la VA para pacientes con alto riesgo operatorio^{3,4}.

Estos resultados han estimulado la rápida introducción de la SPVA en la práctica clínica, de tal manera que el número de pacientes tratados supera ya los 200.000 en todo el mundo⁵. La selección de los pacientes, la determinación exacta del tamaño adecuado de la prótesis y la planificación de la intervención requieren el empleo de varias modalidades de diagnóstico por la imagen para optimizar los resultados y minimizar las complicaciones como la regurgitación paraavalvular (RAPV), la necesidad de implantar marcapasos, la lesión vascular o la rotura del anillo aórtico. La fluoroscopia sigue siendo la principal técnica de imagen durante el procedimiento y todavía en muchos centros se sigue utilizando la ecocardiografía transtorácica (ETT) o transesofágica (ETE). La intervención tiene una curva de aprendizaje muy rápida y ello, junto con el bajo número de complicaciones periprocedimiento en centros con gran volumen de pacientes, ha permitido una SPVA menos invasiva implantando el dispositivo con sedación consciente. Así pues,

* Autor para correspondencia: Department of Cardiology, Heart Lung Center, Leiden University Medical Center, Albinusdreef 2, 2300 RC Leiden, Países Bajos.
Correo electrónico: V.Delgado@lumc.nl (V. Delgado).

Abreviaturas

3D: tridimensional
 EA: estenosis aórtica
 ETE: ecocardiografía transesofágica
 ETT: ecocardiografía transtorácica
 RAPV: regurgitación aórtica paravalvular
 SPVA: sustitución percutánea de válvula aórtica
 TCMD: tomografía computarizada multidetectores
 TSVI: tracto de salida del ventrículo izquierdo

recientemente se ha puesto en duda la necesidad de la ETE durante la intervención. Además, la durabilidad de la prótesis es un factor importante a tener en cuenta si en el futuro se amplía el uso de esta intervención a pacientes con riesgo operatorio bajo o intermedio. Los datos de seguimiento a 5 años del ensayo PARTNER^{6,7} no mostraron degeneración estructural alguna de las prótesis expandibles con balón, con áreas de válvula aórtica (AVA) y gradientes transvalvulares estables. Sin embargo, el uso de técnicas de imagen de gran resolución espacial, como la tomografía computarizada multidetectores (TCMD), ha hecho que la presencia de engrosamiento y restricción del movimiento de las valvas de la prótesis planteara cierta preocupación, ya que indica una trombosis subclínica que podría no apreciarse con la

ecocardiografía⁸. En este artículo de puesta al día se resume el papel de las técnicas de imagen multimodales en la planificación previa a la intervención (selección de los pacientes, determinación del tamaño del dispositivo y vía de acceso para la intervención), durante el procedimiento y el seguimiento, resaltando los pros y los contras de cada técnica.

PLANIFICACIÓN PREVIA A LA INTERVENCIÓN

La evaluación exacta de la gravedad de la EA, la anatomía y geometría de la VA y la raíz de la aorta, y la evaluación del vascular periférico son tres pasos clave durante la planificación de la SPVA.

Gravedad de la estenosis aórtica

La ETT es la técnica de diagnóstico por la imagen de elección para determinar la gravedad de la EA^{9,10}. Esta exploración proporciona una perspectiva clara de la anatomía de la VA, el grado de calcificación, las consecuencias hemodinámicas de la EA (tamaño y función del ventrículo izquierdo [VI], grosor de la pared, presión arterial pulmonar), las posibles valvulopatías concomitantes y la enfermedad aórtica existente. La EA severa se define^{9,10} por una velocidad del flujo aórtico > 4 m/s, un gradiente medio de presión transvalvular > 40 mmHg y un AVA calculada $< 1,0$ cm². No obstante, se dan situaciones en las que estos parámetros no son congruentes, lo que plantea un

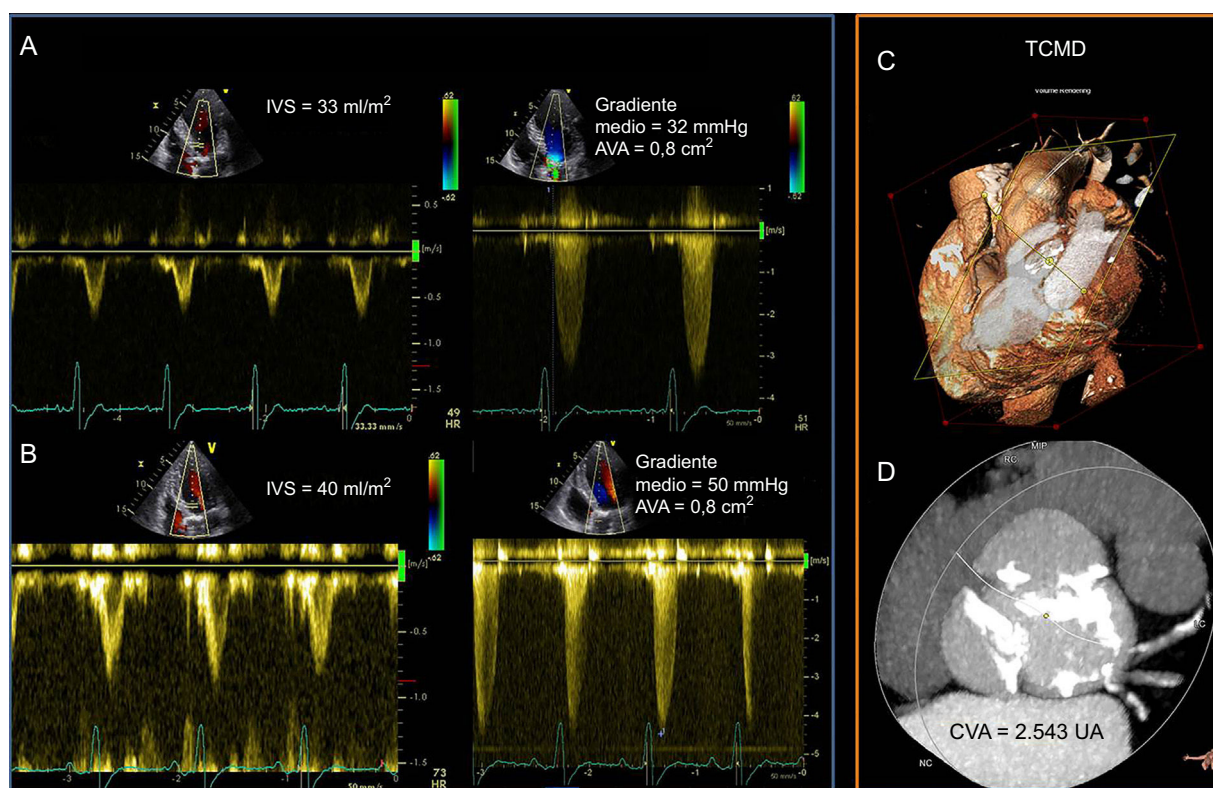


Figura 1. Ecocardiografía de estrés farmacológico con dobutamina a dosis baja y evaluación de la calcificación de la válvula aórtica con tomografía computarizada multidetector en un paciente con estenosis aórtica grave de bajo flujo y bajo gradiente, con reducción de la función sistólica ventricular izquierda. A: la evaluación ecocardiográfica basal mostró una discrepancia en los índices de gravedad de la estenosis aórtica. El gradiente medio fue de 32 mmHg y el área de la válvula aórtica fue de 0,8 cm². El índice de volumen sistólico fue de 33 ml/cm². B: la ecocardiografía de estrés farmacológico con dobutamina a dosis baja produjo un aumento del gradiente medio hasta un valor de 50 mmHg, el área de la válvula aórtica se mantuvo inalterada y el índice de volumen sistólico aumentó en un 21%. Esto indica que el paciente presentaba una estenosis aórtica grave clásica de bajo flujo y bajo gradiente, así como una reserva de flujo (aumento del índice de volumen sistólico $> 20\%$). C: cardio-tomografía computarizada multidetector de volumen, con un plano a la altura del anillo aórtico. D: se midió por el método de Agatston una carga de calcificación de la válvula aórtica de 2.543 UA, que indica una estenosis aórtica grave (los valores de corte para la estenosis aórtica grave son ≥ 2.065 UA para los varones y ≥ 1.274 UA para las mujeres¹⁴). AVA: área de válvula aórtica; CVA: calcificación de válvula aórtica; IVE: índice de volumen de eyección; TCMD: tomografía computarizada multidetector. Esta figura se muestra a todo color solo en la versión electrónica del artículo.

verdadero reto para el diagnóstico de la EA severa y el tratamiento del paciente.

Cuando concurren EA y reducción de la función sistólica del VI, los índices de flujo calculados pueden sobrestimar la severidad de la EA. Esta situación se ha denominado EA de bajo flujo y bajo gradiente clásica, y se caracteriza^{10,11} por reducción de la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI), $AVA < 1,0 \text{ cm}^2$, velocidad aórtica $< 4 \text{ m/s}$, gradiente medio $< 40 \text{ mmHg}$ e índice del volumen de eyección $< 35 \text{ ml/m}^2$. En este subgrupo de pacientes, la diferenciación entre una EA severa verdadera y una pseudosevera tiene consecuencias terapéuticas importantes^{12,13}. Con el uso de la ecocardiografía de estrés con dobutamina a dosis baja, la reserva contráctil del VI aumenta, y ello da lugar a un aumento del volumen de eyección (flujo) del VI¹¹. En una EA severa verdadera, el aumento del flujo se asocia a un incremento de los gradientes transvalvulares, al tiempo que el AVA se mantiene $< 1,0 \text{ cm}^2$. Por el contrario, en la EA pseudosevera, el aumento de la contractilidad y el flujo del VI da lugar a un incremento del AVA

$> 1,0 \text{ cm}^2$, al tiempo que los gradientes transvalvulares se mantienen bajos (figura 1). Sin embargo, un 30–40% de los pacientes con una EA severa clásica, de bajo flujo y bajo gradiente, no muestran reserva contráctil en la ecocardiografía de estrés con dobutamina con dosis baja¹³. En este grupo de pacientes específico, el uso de tomografía computarizada y la evaluación de la carga de calcificación de la VA pueden ser útiles para estimar la gravedad de la EA (figura 1)^{14,15}. Los valores de corte utilizados para establecer la calcificación de la VA $\geq 1.274 \text{ UA}$ en las mujeres y $\geq 2.065 \text{ UA}$ en los varones se asociaron con mayor frecuencia a la EA severa¹⁴.

Los pacientes con EA severa de bajo flujo y bajo gradiente paradójica muestran^{9,10} FEVI preservada, $AVA < 1,0 \text{ cm}^2$, gradiente medio $< 40 \text{ mmHg}$ e índice de volumen de eyección del VI $< 35 \text{ ml/m}^2$. En este subgrupo de pacientes, el estado de bajo flujo se determina por la observación de una cavidad del VI pequeña a causa de la intensa hipertrofia del VI. El tratamiento de estos pacientes continúa siendo un verdadero reto. Clavel et al¹⁶ compararon los resultados clínicos obtenidos en 187 pacientes

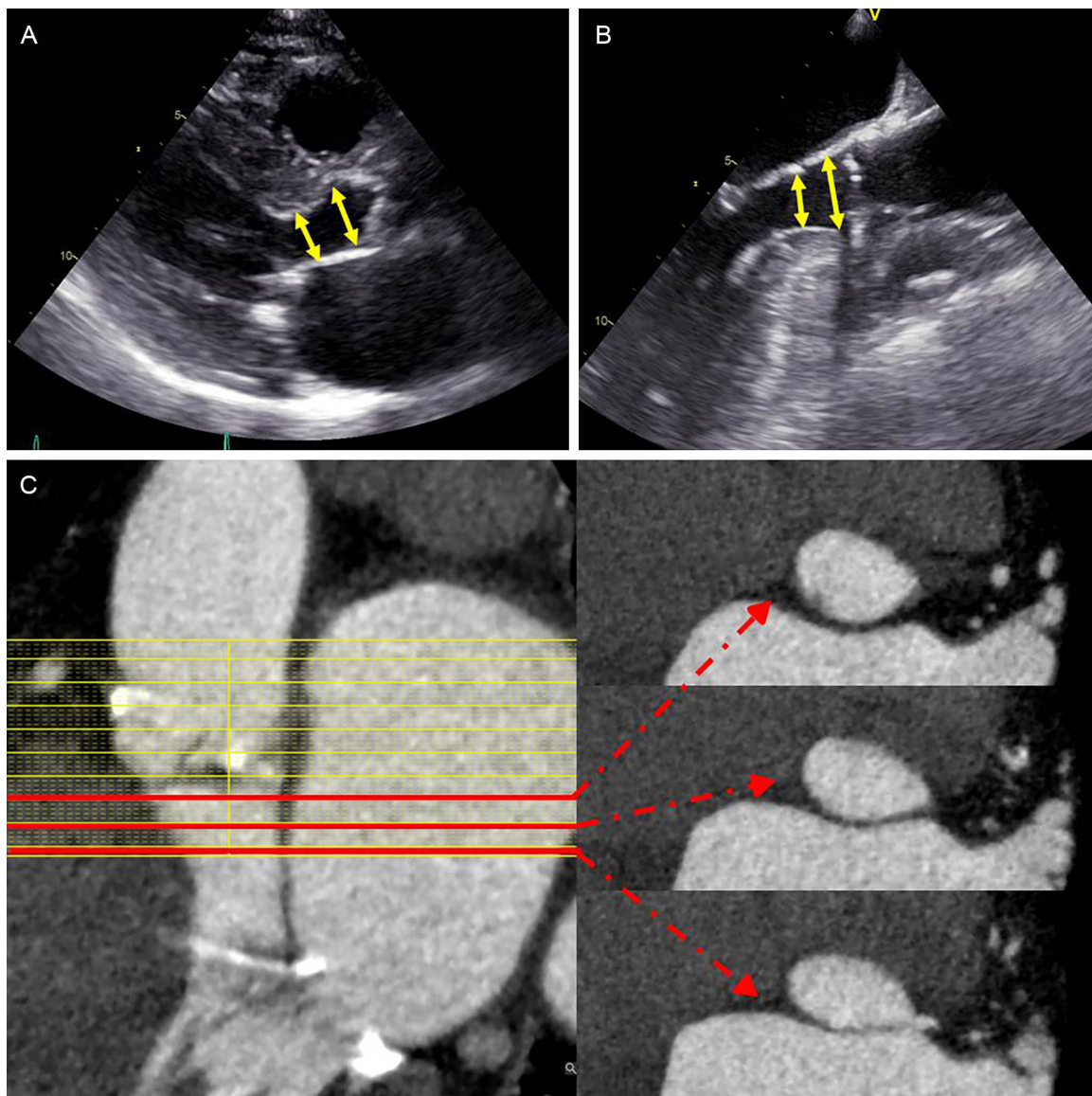


Figura 2. Evaluación del tracto de salida del ventrículo izquierdo mediante ecocardiografía transtorácica (A) y transesofágica (B) y tomografía computarizada multidetectores (C). En la ecocardiografía transtorácica y transesofágica bidimensional, la medición del tracto de salida del ventrículo izquierdo puede presentar una variación significativa (flechas), en especial en los pacientes con un hipertrofia septal basal (septo sigmoide), lo cual tiene importantes repercusiones en el cálculo del área de la válvula aórtica. En la tomografía computarizada multidetectores, las líneas rojas delimitan las áreas del tracto de salida del ventrículo izquierdo en tres niveles diferentes, y muestran el cambio del área y el carácter elíptico del tracto de salida del ventrículo izquierdo. Esta figura se muestra a todo color solo en la versión electrónica del artículo.

con EA severa de bajo flujo y bajo gradiente paradójica con los de 187 pacientes con EA severa y gradiente alto (emparejados por AVA) y con los de 187 pacientes con EA de gravedad moderada (emparejados por gradiente transvalvular medio), y observaron que los pacientes con EA severa de bajo flujo y bajo gradiente paradójica mostraban una peor supervivencia total (a 1 año, el $89 \pm 2\%$; a 5 años, el $64 \pm 4\%$) en comparación con los pacientes de EA grave y gradiente alto (a 1 año, el $96 \pm 1\%$; a 5 años, el $82 \pm 3\%$) o EA de gravedad moderada (a 1 año, el $96 \pm 1\%$; a 5 años, el $81 \pm 3\%$). Además, la sustitución de la VA se asoció de manera significativa a una mejora de la supervivencia de los pacientes con EA severa de bajo flujo y bajo gradiente paradójica, pero no en la de los de EA de gravedad moderada¹⁶. Es de destacar que la población del estudio era relativamente heterogénea, con un porcentaje significativo de pacientes asintomáticos y variedad de tratamientos (se trató con sustitución de VA a un 80% de los pacientes con EA severa y gradiente alto, en comparación con el 56% del grupo de bajo flujo y bajo gradiente paradójico y un 40% del de EA de gravedad moderada). Por el contrario, Jander et al¹⁷ observaron que los pacientes con EA severa asintomática, gradiente bajo y FEVI preservada (el 51% tenía un índice de eyección bajo $< 35 \text{ ml/m}^2$) presentaban unos resultados clínicos similares que los pacientes con EA de gravedad moderada (eventos cardiovasculares mayores, el $14,8 \pm 1,0\%$ frente al $14,1 \pm 1,5\%$ respectivamente; $p = 0,59$).

Según lo indicado en las guías actuales, la observación de una EA de bajo flujo y bajo gradiente paradójica de forma sistemática⁹. Es preciso abordar primero toda posible fuente de error en las variables incluidas en la ecuación de continuidad utilizada para el cálculo del AVA. El área transversal del tracto de salida del VI (TSVI) es uno de los parámetros clave. Con la ecocardiografía bidimensional, el área transversal del TSVI se obtiene tradicionalmente midiendo el diámetro del TSVI sagital mesosistólico en la proyección de eje largo paraesternal, asumiendo una geometría circular. Sin embargo, la presencia de una hipertrofia del septo interventricular basal, característica de los pacientes ancianos, puede poner en riesgo la exactitud de este método, ya que el TSVI puede adquirir una forma elíptica (figura 2)^{18,19}. Introduciendo el área planimétrica del TSVI medida con una técnica de imagen tridimensional (3D), como la TCMD, en la ecuación de continuidad, se podría reclasificar como casos de EA de gravedad moderada al 33% de los pacientes con EA severa de bajo gradiente y FEVI preservada²⁰. Si el área de superficie corporal es baja, es necesario introducir una corrección por el área de superficie corporal, de tal manera que un AVA indexada $< 0,6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ indica una EA severa. También se debe descartar un aumento importante de la poscarga hemodinámica global (por ejemplo, la impedancia valvuloarterial). Además, se debe prestar especial atención a determinar con exactitud el volumen sistólico del VI, preferiblemente confrontando las mediciones obtenidas con otros métodos independientes (métodos bidimensionales o tridimensionales volumétricos mediante ecocardiografía, resonancia magnética cardíaca [RMC] o TCMD). La ecocardiografía de estrés con dobutamina a dosis baja puede aportar información adicional respecto a la gravedad real de la EA y permite predecir el riesgo de eventos adversos, pero no se ha establecido aún la seguridad de la ecocardiografía de estrés con dobutamina para los pacientes con gran remodelado concéntrico del VI y cavidad pequeña²¹. Además, la determinación del grado de calcificación de la VA mediante tomografía computarizada puede resultar útil en este grupo de pacientes^{14,15}.

Tamaño del anillo aórtico

A diferencia de lo que ocurre en la sustitución quirúrgica de la VA, en la que los cirujanos pueden determinar directamente el tamaño óptimo de la prótesis y visualizar el ajuste de esta a la raíz

aórtica, en la SPVA, la elección del tamaño de la prótesis se basa sobre todo en las exploraciones por imagen previas a la intervención. El empleo de prótesis demasiado pequeñas aumenta el riesgo de RAPV significativa y migración de la prótesis, mientras que las prótesis de tamaño excesivo pueden dar lugar a un despliegue incompleto, que puede comportar regurgitación tanto valvular como paravalvular o incluso rotura del anillo aórtico, de resultados catastróficos^{22,23}.

Las técnicas de imagen 3D (ecocardiografía 3D, TCMD, RMC) son actualmente los instrumentos preferidos para evaluar el tamaño del anillo aórtico. El diámetro sagital del anillo aórtico, que normalmente se mide con ecocardiografía bidimensional, tiende a subestimar el tamaño real del anillo aórtico²⁴. Por el contrario, los estudios realizados con ETE 3D o TCMD han puesto de relieve que la elección del tamaño de la prótesis basada en estas técnicas de imagen se asocia a una menor incidencia de RAPV significativa^{25–27}. Estas técnicas de imagen 3D permiten la medición del área y el perímetro del anillo aórtico por planimetría directa y el cálculo de los diámetros a partir de los valores del área y el perímetro. La mayoría de los fabricantes han incluido también estas mediciones en los gráficos utilizados para determinar el tamaño de la prótesis, lo cual permite estandarizar la elección de la prótesis que se vaya a utilizar.

La TCMD proporciona unas imágenes del anillo aórtico y la raíz de la aorta con gran resolución espacial. Esta técnica de imagen ha pasado a ser clave en la SPVA debido a su bajo grado de invasividad y a la evaluación completa de los candidatos a SPVA, lo cual incluye evaluación del anillo aórtico, calcificación de la VA y de la raíz de la aorta, así como la anatomía de las arterias periféricas (figura 3). Además, la TCMD permite una planificación de las proyecciones del

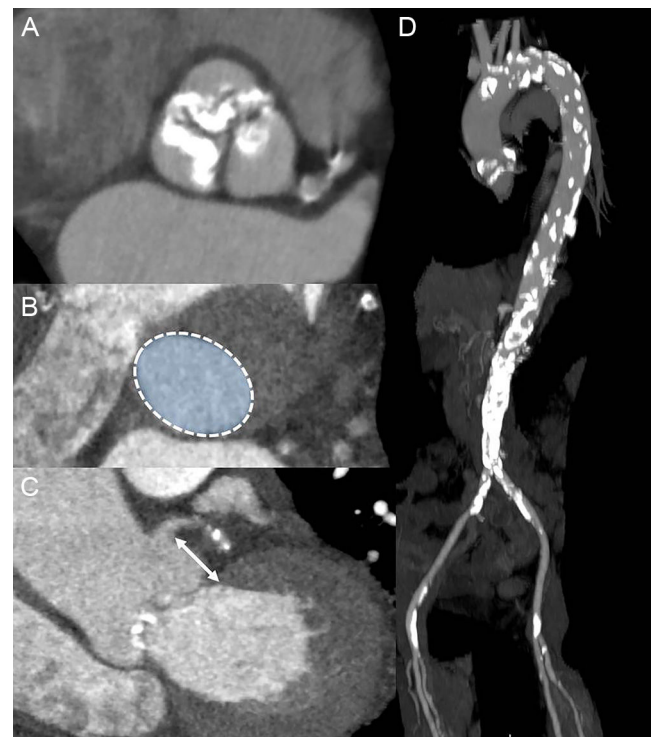


Figura 3. Papel de la tomografía computarizada multidetector en la evaluación previa a la intervención. A: proyección transversal oblicua doble de una válvula aórtica tricúspide intensamente calcificada. B: planimetría del anillo aórtico. C: medición de la distancia entre la arteria coronaria principal izquierda y el anillo aórtico (flecha). D: la aortografía con tomografía computarizada muestra una aorta intensamente calcificada, sobre todo en el cayado aórtico y en la parte descendente. Se aprecian también calcificaciones en ambas arterias femorales.

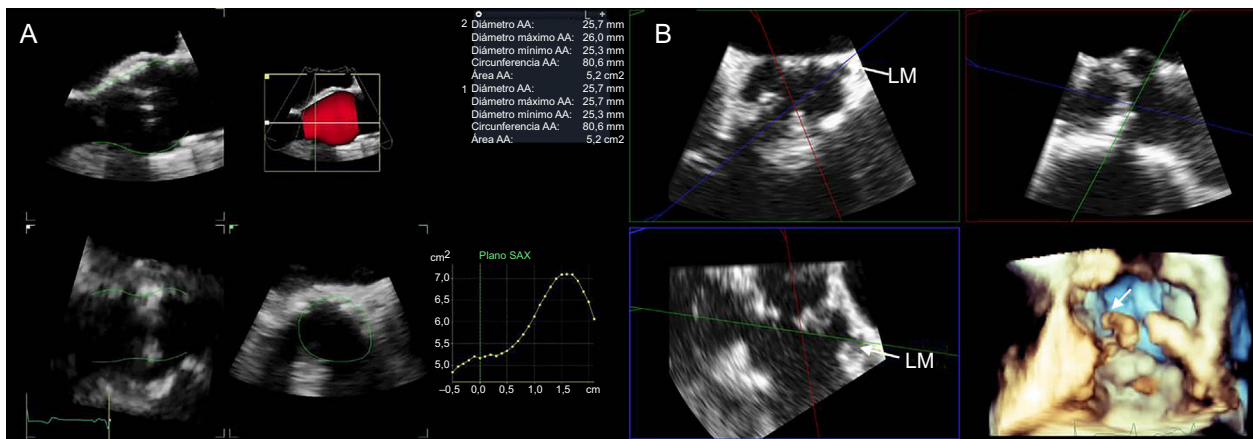


Figura 4. Ecocardiografía transesofágica tridimensional en la planificación de la sustitución percutánea de válvula aórtica. A: el análisis automático de raíz de la aorta (programa informático AVQ, GE; Horten, Noruega) permite una alineación rápida de los planos ortogonales a la altura del anillo aórtico y la determinación exacta del tamaño. B: reconstrucción tridimensional multiplanar de la raíz de la aorta para medir la distancia entre el tronco común de la arteria coronaria izquierda y el anillo aórtico (flechas); al mismo tiempo, puede apreciarse la presencia de cúspides intensamente calcificadas que pueden obstruir los ostium coronarios, especialmente en la reconstrucción tridimensional. LM: arteria coronaria principal izquierda; SAX: eje corto. Esta figura se muestra a todo color solo en la versión electrónica del artículo.

arco de fluoroscopia necesarias para la dilatación del balón de VA y el despliegue de la prótesis, con lo que se reduce la necesidad de repetidas angiografías durante la intervención^{28,29}. No obstante, para los pacientes con deterioro de la función renal concomitante, el uso de TCMD se debe individualizar con objeto de reducir el riesgo de insuficiencia renal aguda periintervención. Se ha demostrado también el valor de la ETE 3D para determinar el tamaño del anillo aórtico, las dimensiones de la raíz de la aorta, la carga de calcificación de la VA y a qué altura se encuentra cada ostium coronario respecto al anillo aórtico (figura 4)³⁰. Sin embargo, esta modalidad de diagnóstico por la imagen es relativamente incómoda para los pacientes, y la sombra acústica causada por las calcificaciones de las cúspides aórticas puede afectar a la resolución espacial de las imágenes y a la exactitud de las mediciones realizadas. La RMC permite un análisis 3D de la

anatomía del anillo y la raíz aórtica de modo similar a la TCMD. Sin embargo, esta técnica de imagen está menos disponible y no es aplicable a los pacientes portadores de dispositivos implantados incompatibles con la RMC. Estas modalidades de diagnóstico por la imagen 3D se han comparado en varios estudios que han mostrado que tienen similar exactitud en la determinación del tamaño del anillo aórtico^{24,31,32}. Es de destacar que la adquisición de datos debe realizarse preferiblemente sincronizado con el electrocardiograma para obtener las dimensiones sistólicas y diastólicas del anillo aórtico. En un reciente estudio de Murphy et al³³, en el que se incluyó a 507 pacientes con EA severa de los que se obtuvo una TCMD sincronizada con el electrocardiograma, se observaron cambios significativos del área y el perímetro del anillo aórtico entre la sístole y la diástole (el 8,23 y el 3,36% respectivamente). Las consecuencias de estas observaciones tienen gran interés, puesto

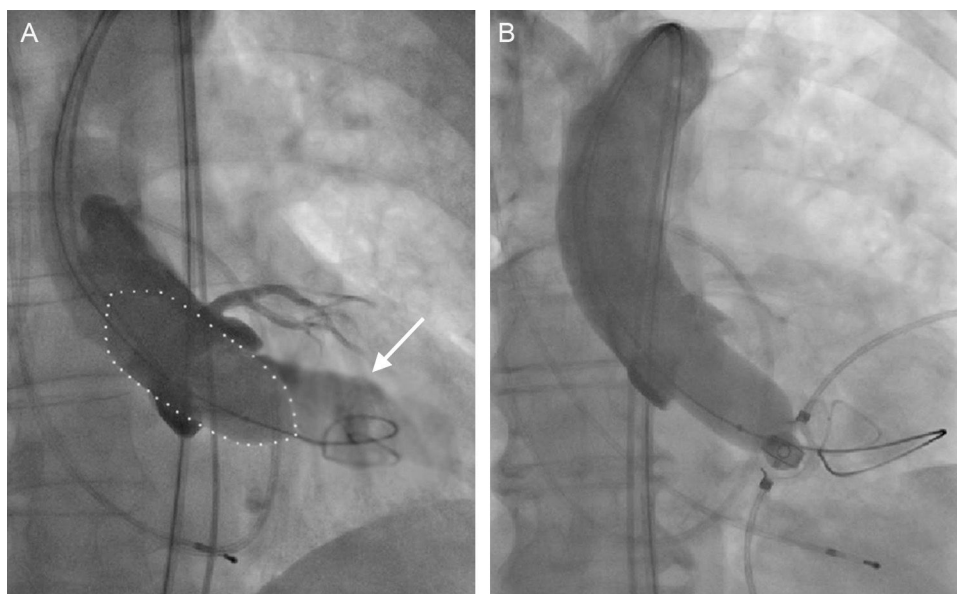


Figura 5. Angiografía supraaórtica durante la valvuloplastia aórtica con balón para la elección del tamaño de la prótesis. A: se optó por un balón de 23 mm (línea punteada) para una valvuloplastia aórtica con balón preparatoria, en función de los datos de la ecocardiografía transesofágica bidimensional sobre el tamaño del anillo aórtico; la angiografía supraaórtica simultánea, que muestra una regurgitación de contraste hacia el ventrículo izquierdo (flecha), indicó subestimación del tamaño del anillo en la ecocardiografía transesofágica bidimensional y motivó la elección de una prótesis de mayor tamaño. B: la ausencia de regurgitación de contraste hacia el ventrículo izquierdo durante la valvuloplastia aórtica utilizando un balón de 23 mm confirmó que el tamaño anular era correcto según lo indicado por la ecocardiografía transesofágica bidimensional previa a la intervención. Reproducido con permiso de Patsalis et al³⁵.

que el uso de la medida diastólica habría conllevado cambio del tamaño de la prótesis (tamaño insuficiente) en el 50% de los pacientes. En consecuencia, se recomienda obtener las mediciones sistólica y diastólica³⁴.

Durante la intervención, se puede medir el anillo aórtico con una angiografía supraaórtica durante la valvuloplastia aórtica con balón (figura 5). Varios estudios han puesto de manifiesto la exactitud de esta metodología para determinar el tamaño de la prótesis^{35,36}. Durante la valvuloplastia con balón, la presencia de RAPV residual en la angiografía indica tamaño insuficiente del balón³⁵. Otros autores han propuesto medir el balón con un compás calibrador estéril durante el hinchado a 2 atm; de este modo, durante el hinchado completo del balón al nivel de la válvula, cualquier aumento adicional de la presión del interior del balón a más de 2 atm indicará que el diámetro del balón es igual o mayor que el del anillo aórtico³⁶.

Vía de acceso para la intervención

Uno de los aspectos clave de la planificación previa a la intervención en la SPVA es la elección de la vía de acceso. Las vías de acceso que se pueden utilizar para la SPVA son la transfemoral (TF), la transapical, la transaórtica, la transubclavia, la transaxilar y la transcarotídea. El abordaje predominante en todo el mundo es el TF, puesto que esta es la técnica menos invasiva y con la que están más familiarizados los cardiólogos intervencionistas. Según los datos de los registros de SPVA, la vía de abordaje TF es la elegida en un 71–75% de las intervenciones en Europa^{37,38} y el 56% en Estados Unidos³⁹. La idoneidad del uso de un abordaje TF se evalúa predominantemente con una evaluación angiográfica de la anatomía iliofemoral en el curso de una angiografía coronaria. Sin embargo, la TCMD muestra mejor caracterización del tamaño, la tortuosidad, el grado de calcificación y la carga de placa ateromatosa en las arterias iliofemorales y la aorta (figura 6). Además, permite visualizar claramente la anatomía vascular detallada, con reconstrucciones multiplanares y de volumen 3D. Para los actuales catéteres de aplicación de SPVA, se considera aceptable un umbral de 6,0–6,5 mm para el diámetro luminal mínimo de la arteria femoral⁴⁰.

Tradicionalmente se ha preferido la vía de abordaje transapical para los pacientes con arterias periféricas que no sean apropiadas para la TF. Sin embargo, la vía transapical es la técnica más invasiva y podría estar contraindicada para pacientes con ciertas comorbilidades o alto índice de fragilidad (enfermedad pulmonar severa, deformidad de la pared torácica, muy mala función del VI, trombo intracavitario). Otra alternativa, la vía transaórtica, ha adquirido mayor popularidad debido a la sencillez de la intervención y los resultados en supervivencia, superiores a los obtenidos con el acceso transapical^{41,42}. Explorar por TCMD la aorta ascendente es esencial para seleccionar a los candidatos a SPVA transaórtica. La parte anterolateral de la aorta ascendente, 5–7 cm por encima del anillo aórtico, que es donde se realiza la canulación de la aorta, debe estar libre de calcio (figura 6). Bapat et al⁴³ han puesto de relieve que el abordaje transaórtico es viable en pacientes con calcificaciones aórticas intensas (aorta de porcelana), puesto que es frecuente que la zona transaórtica para la canulación esté preservada. Por otra parte, la TCMD permite la evaluación de las relaciones espaciales existentes entre el esternón y los principales vasos del tórax. Esto tiene especial importancia en los pacientes con antecedente de cirugía de revascularización aortocoronaria, en quienes la estrecha proximidad de las estructuras citadas o de anastomosis altas de injertos venosos proximales influye en la elección del abordaje transaórtico preferido (p. ej., optar por una minitoracotomía derecha en vez de una miniesternotomía en J)⁴².

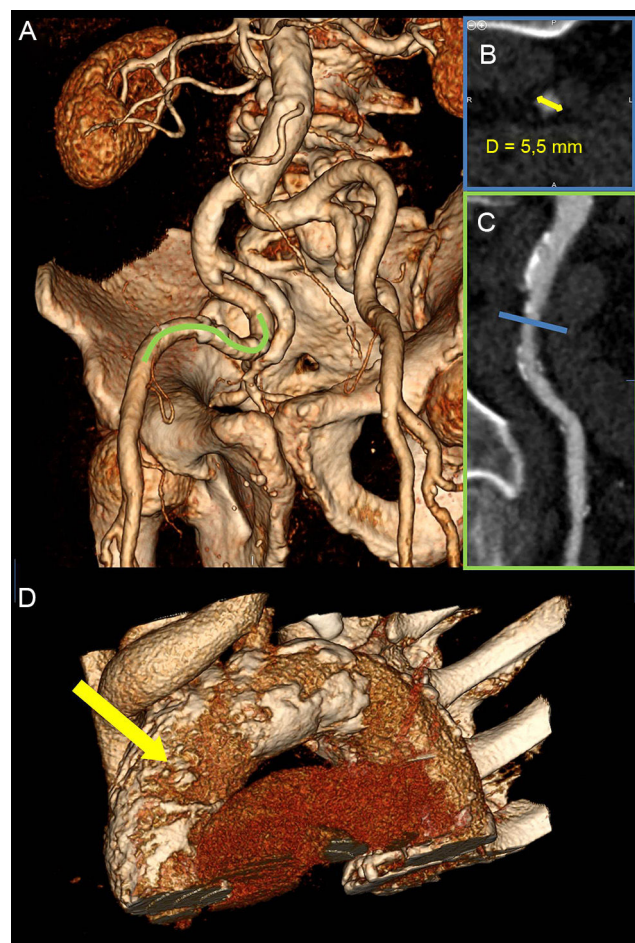


Figura 6. Evaluación de la vía de acceso para la sustitución percutánea de válvula aórtica mediante tomografía computarizada multidetectores. A: arterias iliofemorales bilaterales de intensa tortuosidad visualizadas con la imagen de volumen tridimensional. B: se evaluó la luz transversal de la parte más estrecha del vaso (línea azul en C); el diámetro mínimo fue 5,5 mm (flecha amarilla), lo cual impedía utilizar con seguridad el abordaje transfemoral para la sustitución percutánea de válvula aórtica. C: se estudió más detalladamente un segmento de la arteria iliaca externa derecha (línea verde en A) en un plano de reconstrucción multiplanar, que evidenció una carga ateroesclerótica elevada con múltiples placas. D: aorta torácica intensamente calcificada-aorta de porcelana, especialmente en la parte anterolateral de la aorta ascendente, que corresponde a la zona de destino para la vía de abordaje transaórtico (flecha amarilla). Esta figura se muestra a todo color solo en la versión electrónica del artículo.

TÉCNICAS DE IMAGEN DURANTE EL IMPLANTE PERCUTÁNEO DE UNA VÁLVULA CARDIACA

Como guía para la intervención de SPVA, se ha utilizado tradicionalmente la fluoroscopia y la angiografía con el apoyo de ETE (figura 7)⁴⁴. Este enfoque continúa siendo el aconsejado por la EAE/ASE (European Association of Echocardiography/American Society of Echocardiography)⁴⁵. No obstante, la generación actual de dispositivos de SPVA, con sistemas de aplicación de menor tamaño, ha aumentado la viabilidad del abordaje TF y ha reducido el tiempo y la invasividad de las intervenciones (similares a las de la valvuloplastia con balón), lo cual ha puesto en duda la necesidad de anestesia general. De hecho, algunos grandes centros de SPVA europeos han demostrado excelente viabilidad y seguridad del abordaje TF simplificado, que se realiza con asistencia anestésica monitorizada (definida como monitorización cardiovascular y respiratoria del paciente por un anestesiólogo cualificado, que

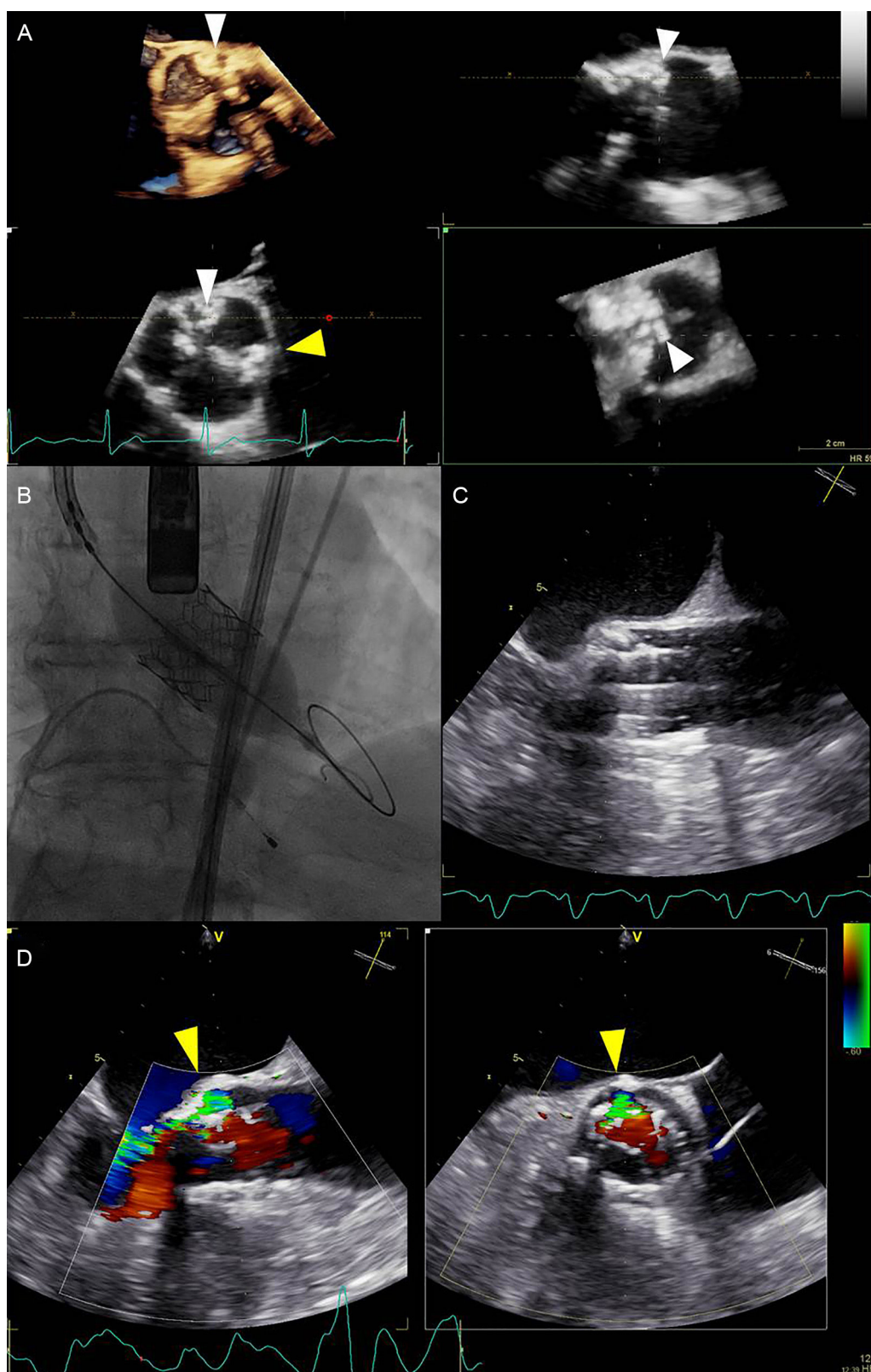


Figura 7. Exploración de imagen multimodal durante la sustitución de válvula aórtica. A: la ecocardiografía transesofágica tridimensional periintervención reveló una válvula aórtica tricúspide intensamente calcificada; las calcificaciones eran especialmente prominentes a la altura de la comisura de las cúspides coronaria izquierda y no coronaria (puntas de flecha blancas) y a la altura de la comisura de las cúspides coronarias izquierda y derecha (punta de flecha amarilla). B: despliegue de la válvula percutánea expansible con balón guiada por fluoroscopia. C: imagen del despliegue de la válvula en la ecocardiografía transesofágica bidimensional en tiempo real simultánea. D: regurgitación aórtica paravalvular visualizada con ecocardiografía biplanar Doppler color (puntas de flecha amarillas); regurgitación aórtica paravalvular originada a la altura de la carga de calcificación anular máxima; la circunferencia de la regurgitación aórtica paravalvular fue del 20% del armazón de la prótesis (proyección en eje corto del lado derecho), lo cual indica una regurgitación aórtica paravalvular moderada según los criterios del Valve Academic Research Consortium-2¹⁴. Esta figura se muestra a todo color solo en la versión electrónica del artículo.

puede administrar sedación concomitante o no⁴⁶) o solo anestesia local⁴⁷⁻⁴⁹.

Sin embargo, la ETE, y en especial la ETE 3D en tiempo real, aporta un valor adicional a la fluoroscopia y la angiografía en la SPVA: facilita el paso por una VA nativa intensamente calcificada, reduce significativamente la exposición a radiación y a medios de contraste yodados nefrotóxicos⁵⁰ y permite la detección precoz de las complicaciones que pueden poner en peligro la vida del paciente. La rotura del anillo aórtico, la perforación del miocardio con la consiguiente hemorragia pericárdica, la oclusión de los ostium coronarios que da lugar a isquemia miocárdica, la perforación o disección aórticas, la mala colocación o el desplazamiento de la prótesis y las fugas valvulares o paravalvulares son complicaciones que la ETE puede detectar de inmediato e influyen en la toma de decisiones (figura 7).

Aunque las prótesis disponibles actualmente se han asociado a menor incidencia de insuficiencia aórtica significativa después de la SPVA^{51,52}, esta complicación continúa preocupando, puesto que se asocia a mal pronóstico^{7,53}. La determinación de la posible insuficiencia aórtica y su gravedad debe incluir una evaluación de los componentes central y paravalvular, con una medición combinada de la insuficiencia aórtica «total», lo cual refleja la carga de volumen total impuesta al VI. Los métodos utilizados en la insuficiencia de una válvula nativa (evaluación cualitativa por Doppler, vena contracta, tiempo de hemipresión en el registro Doppler de onda continua) tienen limitaciones en el contexto de regurgitación paravalvulares, que con frecuencia son múltiples, excéntricos y de forma irregular. Además, determinadas partes del anillo de la prótesis y del TSVI pueden ser difíciles de visualizar debido a las sombras acústicas. Las guías de la EAE/ASE para la evaluación de las válvulas protésicas proponen el empleo del porcentaje de la circunferencia del anillo de sutura ocupado por la regurgitación como medida semicuantitativa alternativa de la gravedad de la RAPV: < 10% del anillo de sutura indica RAPV leve; un 10-20%, RAPV moderada, y > 20%, RAPV grave⁵⁴. El *Valve Academic Research Consortium-2* ha modificado ligeramente estos valores de corte en el contexto de la SPVA: se define RAPV leve, moderada y grave por valores < 10%, 10-29% y $\geq$ 30% de la circunferencia de la prótesis (figura 7)⁴⁴. El cálculo del volumen de regurgitación puede ser útil también en el contexto de la SPVA. Este método se basa en la comparación del volumen de eyección de la VA con el de otra válvula que no presente insuficiencia (la válvula mitral o la pulmonar). El primero puede obtenerse restando el volumen telesistólico del VI del volumen telediastólico o, con más frecuencia, utilizando la ecuación de continuidad y calculando el volumen sistólico a través de la VA. La diferencia entre el volumen sistólico a través de la VA y el de la válvula sin insuficiencia corresponde a la estimación del volumen total de regurgitación de la VA. Otros indicadores secundarios, como la inversión del flujo diastólico en la aorta descendente, pueden aportar ayuda adicional para evaluar la gravedad de la RAPV después de una SPVA.

Otra técnica de imagen alternativa periintervención es la ETE transnasal^{23,45}. El empleo de sondas transnasales de menor tamaño permite una monitorización prolongada sin necesidad de anestesia general. Sin embargo, la calidad de la imagen es inferior a la de la ETE convencional y las sondas transnasales no permiten obtener exploraciones en 3D. Algunos centros han adoptado la ecografía intracardiaca para usarla como guía de la SPVA⁵⁵. La sonda de ecografía intracardiaca se introduce a través de la vena femoral hasta la aurícula derecha, donde proporciona una imagen ampliada de la raíz de la aorta. Además de obviar la necesidad de anestesia general, la ecografía intracardiaca permite la monitorización ininterrumpida de la SPVA (sin interferencia de la fluoroscopia) y una evaluación por Doppler de las presiones arteriales pulmonares⁵⁵. La tecnología de la ecografía intracardiaca se está desarrollando rápidamente, y permite también la

obtención de imágenes en 3D (aunque con un volumen limitado de 22-90°). No obstante, el uso generalizado de la ecografía intracardiaca en la SPVA se ve limitado por la necesidad de gran dominio de la técnica, peor calidad de imagen que con ETE (en especial la 3D), la posible interferencia con el electrodo del marcapasos y, sobre todo, su alto coste.

SEGUIMIENTO A LARGO PLAZO

Después de la SPVA, la ETT continúa siendo la técnica de imagen de elección para evaluar los resultados de la intervención, la durabilidad de la prótesis y los cambios de las dimensiones y de la función del VI. Son imprescindibles las evaluaciones clínica, electrocardiográfica y de ETT después del alta, a los 30 días de la SPVA^{23,44}. Entre las recomendaciones de seguimiento adicional, se propone una ETT tras 6 meses y 1 año del implante, y luego con periodicidad anual⁴⁴. La frecuencia de las evaluaciones de seguimiento debe aumentar si se produce algún cambio del estado clínico o un empeoramiento de los resultados ecocardiográficos. Sin embargo, a medida que aumente la experiencia con el uso de la SPVA, es posible que la frecuencia de las evaluaciones con ETT se reduzca hasta llegar a ser la de la sustitución de VA quirúrgica, para la que se propone la realización de revisiones anuales durante los 5 años siguientes al implante de la válvula⁵⁴.

Por lo que respecta a la durabilidad de la prótesis implantada, la posición de la válvula, hay que evaluar mediante ecocardiografía la morfología de las valvas protésicas y los índices de estenosis e insuficiencia valvulares (figura 8). Al calcular el área efectiva del orificio u otro índice de la apertura de la válvula que utilice el cociente de velocidad preavalvular respecto a la posavalvular (p. ej., índice de velocidad por Doppler), es esencial registrar la velocidad preavalvular (y el área transversal del TSVI) en una zona inmediatamente proximal al *stent* de la prótesis implantada. Dada la aceleración del flujo que se produce en el interior del *stent*, la medición de las velocidades incluso proximalmente a las cúspides valvulares da lugar a que se sobrestime el área efectiva del orificio o el AVA^{23,44,45}.

Clavel et al⁵⁶ han descrito una función hemodinámica ligeramente mejor de las prótesis percutáneas en comparación con las prótesis implantadas quirúrgicamente. Se estudió a 50 pacientes a los que se trató con SPVA, emparejados por sexo, diámetro del anillo aórtico, FEVI, área de superficie corporal e índice de masa muscular, en relación 1:1, con dos grupos de 50 pacientes tratados mediante sustitución de VA quirúrgica con prótesis valvulares con o sin *stent*. Los valores del gradiente transvalvular medio a los 6 y a los 12 meses de la intervención fueron significativamente inferiores en el grupo de SPVA (10 ± 4 mmHg) que en el grupo de sustitución de VA quirúrgica con prótesis con *stent* (13 ± 5 mmHg), mientras que no mostraron diferencia significativa respecto al grupo de sustitución de VA quirúrgica con válvula sin *stent* (9 ± 4 mmHg)⁵⁶. Los mejores resultados hemodinámicos de las válvulas de implante percutáneo se atribuyeron a que los *stents* eran más finos. Además, los resultados de un seguimiento a 5 años del ensayo PARTNER⁷ muestran una función hemodinámica de las prótesis percutáneas y quirúrgicas estable, sin que se aprecien signos de degeneración valvular. No obstante, en un análisis retrospectivo de 4.266 pacientes tratados con SPVA en 12 centros diferentes de todo el mundo, Latib et al⁵⁷ observaron una incidencia del 0,61% de trombosis de válvulas percutáneas después de una mediana de seguimiento de 6 años. De los 26 pacientes en que se sospechó trombosis valvular, el 92% presentó una elevación de los gradientes transvalvulares medios > 20 mmHg y un 65% tuvo disnea de esfuerzo. La anticoagulación redujo de forma significativa los gradientes transvalvulares en todos los pacientes tratados médicamente⁵⁷. No obstante,

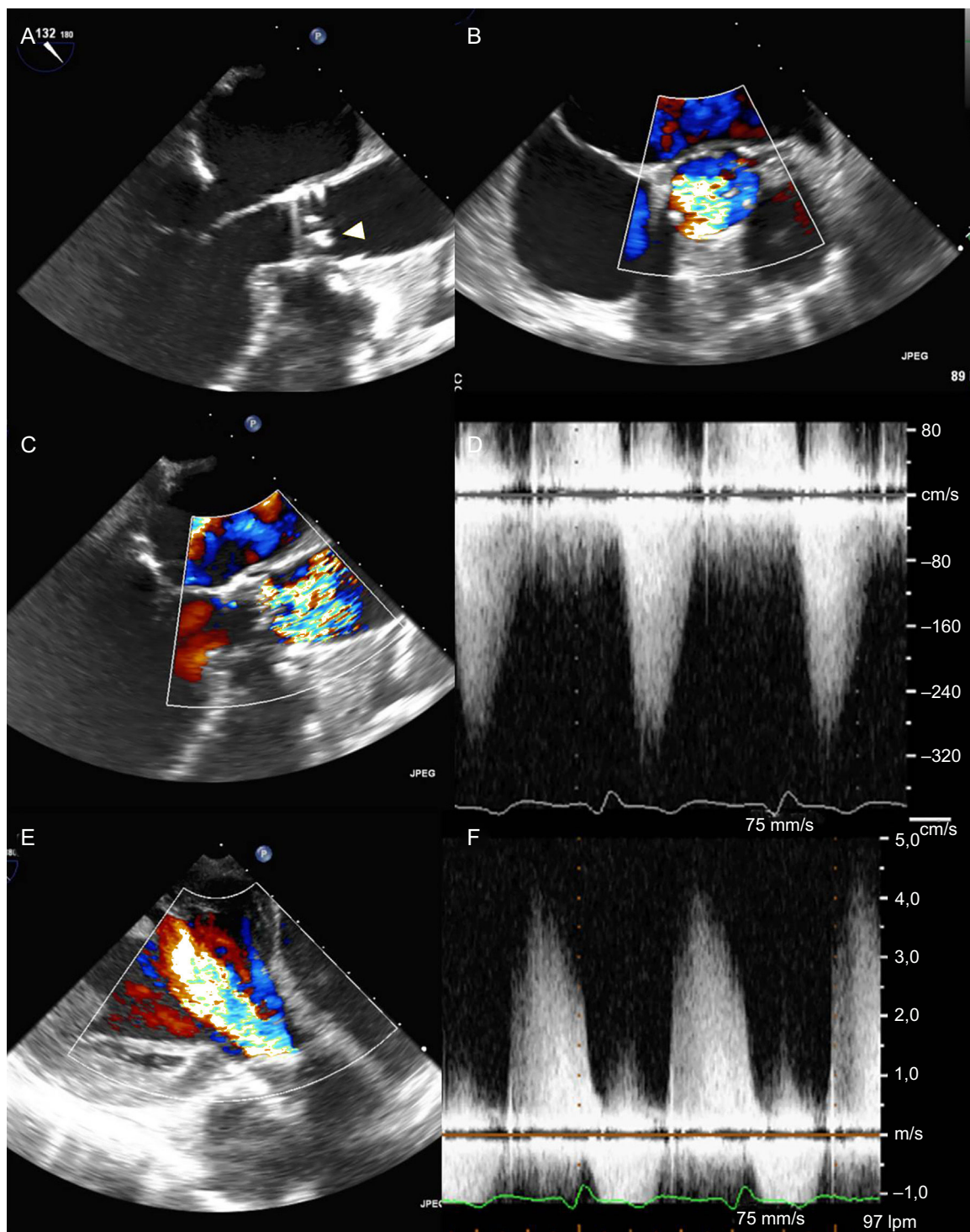


Figura 8. Degeneración de la prótesis 4 años después de la sustitución percutánea de la válvula. A: la ecocardiografía transesofágica muestra un engrosamiento focal y unas valvas de la prótesis calcificadas (punta de flecha). B: la imagen de Doppler color en la proyección en eje corto mesoesofágica de la válvula aórtica revela un flujo anterógrado turbulento en un área transversal limitada. C: el Doppler color de la proyección en eje largo confirma una turbulencia elevada después de la prótesis, lo cual implica una estenosis grave de la válvula protésica. D: los gradientes elevados obtenidos con Doppler de onda continua confirman la estenosis significativa de la prótesis. E: la proyección transgástrica de Doppler color muestra una insuficiencia aórtica grave. F: la alta densidad y la pronunciada pendiente de los registros de Doppler de onda continua del flujo de regurgitación confirman la insuficiencia aórtica grave. Esta figura se muestra a todo color solo en la versión electrónica del artículo.

algunos estudios recientes realizados con TCMD de cuatro dimensiones indican que la trombosis de válvulas percutáneas puede ser más frecuente. Leetmaa et al⁵⁸ describieron una incidencia del 4% en una cohorte de 140 pacientes sometidos a TCMD 1-3 meses después de la SPVA. La trombosis de la prótesis percutánea se definió por la

presencia de masas de atenuación baja adheridas a las cúspides de la válvula o un engrosamiento difuso ≥ 1 cúspides valvulares. El tratamiento de anticoagulación fue eficaz, y produjo la resolución de los hallazgos patológicos en la TCMD de seguimiento⁵⁸. Estas observaciones en la TCMD pueden no acompañarse de cambios de los

Tabla

Técnicas multimodales de diagnóstico por la imagen para la sustitución percutánea de válvula aórtica

Técnica de imagen	Preoperatorio	Perioperatorio	Seguimiento
Ecocardiografía (ETT/ETE)	Gravedad de la EA Anatomía y grado de calcificación de la VA Tamaño del anillo aórtico y anatomía de la raíz de la aorta (3D) Valvulopatía concomitante Función del VI	Catéteres guía Posición y despliegue de la prótesis Hemodinámica de la válvula Otras complicaciones relacionadas con la intervención (derrame pericárdico, isquemia miocárdica, disección aórtica, etc.)	Despliegue de la prótesis y hemodinámica Función del VI Valvulopatía concomitante Trombosis valvular, endocarditis infecciosa (ETE)
TCMD	Tamaño del anillo aórtico y anatomía de la raíz de la aorta Anatomía y grado de calcificación de la VA Aorta torácica, incluida la carga de calcificación Arterias periféricas Función del VI Proyecciones de arco de fluoroscopia	—	Despliegue de la prótesis Trombosis valvular (subclínica) Endocarditis infecciosa
Resonancia magnética cardíaca	Tamaño del anillo aórtico y anatomía de la raíz de la aorta Anatomía de la VA Función del VI Aorta torácica Arterias periféricas	—	Despliegue de la prótesis y hemodinámica (volumen de regurgitación) Función del VI
Fluoroscopia	Dimensión de anillo aórtico Arterias periféricas	Catéteres guía Posición y despliegue de la prótesis Hemodinámica de la válvula Otras complicaciones relacionadas con la intervención (rotura del anillo aórtico, oclusión de los ostium coronarios, disección aórtica, etc.)	—
Técnicas de imagen de medicina nuclear	—	—	SPECT/TC y ¹⁸ F-FDG PET/TC en la evaluación de la endocarditis infecciosa

3D: tridimensional; ¹⁸F-FDG PET: tomografía por emisión de positrones con ¹⁸F-fluorodesoxiglucosa; EA: estenosis aórtica; ETE: ecocardiografía transesofágica; ETT: ecocardiografía transtorácica; SPECT: tomografía computarizada por emisión monofotónica; TC: tomografía computarizada; TCMD: tomografía computarizada multidetectores; VA: válvula aórtica; VI: ventrículo izquierdo.

síntomas o la hemodinámica valvular evaluada con la ETT, lo cual indica que la TCMD puede permitir una detección más precoz de trombosis valvular. Makkar et al⁸ han descrito una reducción del movimiento de las valvas de las bioprótesis, detectada en las exploraciones de TCMD de volumen de cuatro dimensiones, en un 40% de los casos (22 de 55 pacientes) en el ensayo PORTICO IDE (*Portico Re-sheathable Transcatheter Aortic Valve System U.S. Investigational Device Exemption*) y en un 13% de los casos (17 de 132 pacientes) en dos registros de bioprótesis aórticas percutáneas y quirúrgicas de Estados Unidos y Dinamarca. Se observó restablecimiento del movimiento de las valvas en los 11 pacientes que iniciaron anticoagulación con warfarina después de las observaciones realizadas en la TCMD y solo 1 de los 10 pacientes que no iniciaron este tratamiento⁸. Es de destacar nuevamente que no se observó ningún indicador ecocardiográfico de disfunción valvular. Estos resultados indicaron la necesidad de estudios prospectivos, bien diseñados y con la potencia estadística adecuada que pudieran aportar respuestas útiles acerca de la trascendencia clínica de estos resultados (tanto en evolución clínica neurológica como en durabilidad de la prótesis), el tratamiento antitrombótico óptimo tras la SPVA y el método de imagen adecuado para realizar el seguimiento a largo plazo.

Los cambios del grado de RAPV en el tiempo deben evaluarse también en el seguimiento. Además de la ETE y la ETT, también puede usarse la RMC para evaluar la gravedad de la RAPV. El mapa de fase-velocidad obtenido con la RMC del flujo sanguíneo en la aorta ascendente permite realizar una estimación independiente del volumen de regurgitación y la fracción de regurgitación de la VA⁵⁹. Sherif et al⁶⁰ han puesto de manifiesto que las mediciones cuantitativas de la insuficiencia aórtica mediante RMC son superiores a la evaluación semicuantitativa mediante ecocardiografía con imágenes de flujo Doppler color, y que esta puede subestimar el grado de RAPV después de una SPVA.

Otro resultado adverso tras la SPVA es la endocarditis infecciosa. Los resultados de un amplio estudio multicéntrico indican una incidencia del 0,50% de endocarditis infecciosa 1 año después de la SPVA⁶¹. Sin embargo, sus consecuencias son devastadoras, con una mortalidad hospitalaria del 47% y mortalidad al año de seguimiento del 66%⁶¹. La ETE y, especialmente en el caso de las prótesis valvulares, la ETE son las técnicas de imagen de primera elección para el estudio diagnóstico ante la sospecha de endocarditis infecciosa y ayudan a detectar vegetaciones, abscesos, pseudoaneurismas, sus consecuencias hemodinámicas (generalmente regurgitación valvular o paravalvular grave) y la posible afección de otras válvulas (p. ej., extensión a la valva anterior de la válvula mitral), y para la evaluación de la función del VI. Es importante señalar que, mientras no se demuestre lo contrario, debe sospecharse siempre una endocarditis infecciosa en los pacientes que presentan una regurgitación periprotésica⁶². La ETE 3D en tiempo real tiene un valor adicional para el análisis de la morfología y el tamaño de las vegetaciones y puede mejorar la predicción del riesgo embólico⁶³. La TCMD se puede usar para detectar los abscesos/seudoaneurismas con una exactitud diagnóstica similar a la de la ETE y es posible que sea superior a ella en la evaluación del grado de extensión perivalvular de la endocarditis infecciosa⁶⁴. Además, las técnicas de imagen de medicina nuclear, y en especial la tomografía computarizada por emisión de fotón unico/tomografía computarizada con leucocitos marcados radiactivamente y la tomografía por emisión de positrones con ¹⁸F-fluorodesoxiglucosa/tomografía computarizada, están evolucionando como métodos complementarios importantes para pacientes con sospecha de endocarditis infecciosa. El principal valor añadido de estas técnicas es la reducción de la tasa de endocarditis infecciosas mal diagnosticadas,

clasificadas en la categoría de «posible endocarditis infecciosa» según los criterios de Duke, así como la detección de los episodios de embolia periférica⁶⁵.

CONCLUSIONES

La SPVA es un tratamiento bien establecido para los pacientes con EA severa sintomática que presentan contraindicaciones o un riesgo quirúrgico elevado. Para optimizar los resultados de este tratamiento, es esencial una selección exacta de los pacientes, una planificación de la intervención y la aplicación de una vigilancia adecuada en el seguimiento. Las técnicas multimodales de diagnóstico por la imagen desempeñan un papel central. Existen numerosas posibilidades, y los puntos fuertes y las limitaciones de cada técnica, así como el conocimiento experto y la disponibilidad locales, son importantes para la elección de la técnica de imagen apropiada para dar respuesta a las preguntas que surgen en cada paso de la intervención (tabla). La curva de aprendizaje y una evidencia cada vez mayor ponen de manifiesto la mayor exactitud de las técnicas de imagen 3D para determinar el tamaño del anillo aórtico y elegir la prótesis, al tiempo que el perfeccionamiento del diseño de las prótesis ha llevado a la introducción de cambios importantes que han reducido la invasividad de la intervención. Esta se lleva a cabo más frecuentemente con sedación consciente, guiada plenamente por fluoroscopia o empleando ETT para evaluar la función de la prótesis valvular. Sin embargo, el uso de TCMD y RMC en el seguimiento ha aportado observaciones de interés que pueden tener repercusiones en el tratamiento de los pacientes. La realización de nuevos estudios que aporten datos sobre la durabilidad de las prótesis de SPVA aportará nueva luz sobre la incidencia de trombosis valvular y endocarditis infecciosa.

CONFLICTO DE INTERESES

El *Department of Cardiology, Heart Lung Center, Leiden University Medical Center* (Leiden, Países Bajos) ha recibido subvenciones de investigación de Biotronik, Medtronic, Boston Scientific y Edwards Lifesciences. Los autores no tienen nada que declarar.

BIBLIOGRAFÍA

- Leon MB, Smith CR, Mack M, Miller DC, Moses JW, Svensson LG, et al. Transcatheter aortic-valve implantation for aortic stenosis in patients who cannot undergo surgery. *N Engl J Med*. 2010;363:1597-607.
- Popma JJ, Adams DH, Reardon MJ, Yakubov SJ, Kleiman NS, Heimensohn D, et al. Transcatheter aortic valve replacement using a self-expanding bioprosthesis in patients with severe aortic stenosis at extreme risk for surgery. *J Am Coll Cardiol*. 2014;63:1972-81.
- Adams DH, Popma JJ, Reardon MJ, Yakubov SJ, Coselli JS, Deeb GM, et al. Transcatheter aortic-valve replacement with a self-expanding prosthesis. *N Engl J Med*. 2014;370:1790-8.
- Smith CR, Leon MB, Mack MJ, Miller DC, Moses JW, Svensson LG, et al. Transcatheter versus surgical aortic-valve replacement in high-risk patients. *N Engl J Med*. 2011;364:2187-98.
- Holmes DR, Mack MJ. Uncertainty and possible subclinical valve leaflet thrombosis. *N Engl J Med*. 2015;373:2080-2.
- Kapadia SR, Leon MB, Makkar RR, Tuzcu EM, Svensson LG, Kodali S, et al. 5-year outcomes of transcatheter aortic valve replacement compared with standard treatment for patients with inoperable aortic stenosis (PARTNER 1): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2015;385:2485-91.
- Mack MJ, Leon MB, Smith CR, Miller DC, Moses JW, Tuzcu EM, et al. 5-year outcomes of transcatheter aortic valve replacement or surgical aortic valve replacement for high surgical risk patients with aortic stenosis (PARTNER 1): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2015;385:2477-84.
- Makkar RR, Fontana G, Jilaihawi H, Chakravarty T, Kofoed KF, De Backer O, et al. Possible subclinical leaflet thrombosis in bioprosthetic aortic valves. *N Engl J Med*. 2015;373:2015-24.
- Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F, Antunes MJ, Barón-Esquivias G, Baumgartner H, et al; Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC); European Association for Cardio-Thoracic

- Surgery (EACTS). Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012). *Eur Heart J*. 2012;33:2451-96.
- Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, Carabello BA, Erwin 3rd JP, Guyton RA, et al. 2014 AHA/ACC guideline 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. *J Am Coll Cardiol*. 2014;63:e57-185.
- Baumgartner H, Hung J, Bermejo J, Chambers JB, Evangelista A, Griffin BP, et al. Echocardiographic assessment of valve stenosis: EAE/ASE recommendations for clinical practice. *Eur J Echocardiogr*. 2009;10:1-25.
- Fougères E, Tribouilloy C, Monchi M, Petit-Eisenmann H, Baleynaud S, Pasquet A, et al. Outcomes of pseudo-severe aortic stenosis under conservative treatment. *Eur Heart J*. 2012;33:2426-33.
- Pibarot P, Dumesnil JG. Low-flow, low-gradient aortic stenosis with normal and depressed left ventricular ejection fraction. *J Am Coll Cardiol*. 2012;60:1845-53.
- Clavel MA, Messika-Zeitoun D, Pibarot P, Aggarwal SR, Malouf J, Araoz PA, et al. The complex nature of discordant severe calcified aortic valve disease grading: new insights from combined Doppler echocardiographic and computed tomographic study. *J Am Coll Cardiol*. 2013;62:2329-38.
- Cueff C, Serfaty JM, Cimadevilla C, Laissy JP, Himbert D, Tubach F, et al. Measurement of aortic valve calcification using multislice computed tomography: correlation with haemodynamic severity of aortic stenosis and clinical implication for patients with low ejection fraction. *Heart*. 2011;97:721-6.
- Clavel MA, Dumesnil JG, Capoulade R, Mathieu P, Sénéchal M, Pibarot P. Outcome of patients with aortic stenosis, small valve area, and low-flow, low-gradient despite preserved left ventricular ejection fraction. *J Am Coll Cardiol*. 2012;60:1259-67.
- Jander N, Minners J, Holme I, Gerds E, Boman K, Brudi P, et al. Outcome of patients with low-gradient "severe" aortic stenosis and preserved ejection fraction. *Circulation*. 2011;123:887-95.
- Poh KK, Levine RA, Solis J, Shen L, Flaherty M, Kang YJ, et al. Assessing aortic valve area in aortic stenosis by continuity equation: a novel approach using real-time three-dimensional echocardiography. *Eur Heart J*. 2008;29:2526-35.
- Ng AC, Delgado V, Van der Kley F, Shanks M, Van de Veire NR, Bertini M, 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.
- Kamperidis V, Van Rosendaal PJ, Katsanos S, Van der Kley F, Regeer M, Al Amri I, et al. Low gradient severe aortic stenosis with preserved ejection fraction: reclassification of severity by fusion of Doppler and computed tomographic data. *Eur Heart J*. 2015;36:2087-96.
- Clavel MA, Ennezat PV, Maréchaux S, Dumesnil JG, Capoulade R, Hachicha Z, et al. Stress echocardiography to assess stenosis severity and predict outcome in patients with paradoxical low-flow, low-gradient aortic stenosis and preserved LVEF. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013;6:175-83.
- Bax JJ, Delgado V, Bapat V, Baumgartner H, Collet JP, Erbel R, et al. Open issues in transcatheter aortic valve implantation. Part 1: patient selection and treatment strategy for transcatheter aortic valve implantation. *Eur Heart J*. 2014;35:2627-38.
- Holmes Jr DR, Mack MJ, Kaul S, Agnihotri A, Alexander KP, Bailey SR, et al. 2012 ACCF/AATS/SCAI/STS expert consensus document on transcatheter aortic valve replacement. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59:1200-54.
- Altiok E, Koos R, Schroder J, Brehmer K, Hamada S, Becker M, 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.
- Jilaihawi H, Kashif M, Fontana G, Furugen A, Shiota T, Friede G, et al. Cross-sectional computed tomographic assessment improves accuracy of aortic annular sizing for transcatheter aortic valve replacement and reduces the incidence of paravalvular aortic regurgitation. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59:1275-86.
- Binder RK, Webb JG, Willson AB, Urena M, Hansson NC, Norgaard BL, et al. The impact of integration of a multidetector computed tomography annulus area sizing algorithm on outcomes of transcatheter aortic valve replacement: a prospective, multicenter, controlled trial. *J Am Coll Cardiol*. 2013;62:431-8.
- Jilaihawi H, Doctor N, Kashif M, Chakravarty T, Rafique A, Makar M, et al. Aortic annular sizing for transcatheter aortic valve replacement using cross-sectional 3-dimensional transesophageal echocardiography. *J Am Coll Cardiol*. 2013;61:908-16.
- Gurvitch R, Wood DA, Leipsic J, Tay E, Johnson M, Ye J, et al. Multislice computed tomography for prediction of optimal angiographic deployment projections during transcatheter aortic valve implantation. *JACC Cardiovasc Interv*. 2010;3:1157-65.
- Kurra V, Kapadia SR, Tuzcu EM, Halliburton SS, Svensson L, Roselli EE, et al. Pre-procedural imaging of aortic root orientation and dimensions: comparison between X-ray angiographic planar imaging and 3-dimensional multidetector row computed tomography. *JACC Cardiovasc Interv*. 2010;3:105-13.
- Tamborini G, Fusini L, Gripari P, Muratori M, Cefalù C, Maffessanti F, 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. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2012;5:579-88.
- Koos R, Altiok E, Mahnken AH, Neizel M, Dohmen G, Marx N, et al. Evaluation of aortic root for definition of prosthesis size by magnetic resonance imaging and cardiac computed tomography: implications for transcatheter aortic valve implantation. *Int J Cardiol*. 2012;158:353-8.

32. Smid M, Ferda J, Baxa J, Cech J, Hajek T, Kreuzberg B, et al. Aortic annulus and ascending aorta: comparison of preoperative and perioperative measurement in patients with aortic stenosis. *Eur J Radiol.* 2010;74:152–5.
33. Murphy DT, Blanke P, Alaamri S, Naoum C, Rubinshtein R, Pache G, et al. Dynamism of the aortic annulus: Effect of diastolic versus systolic CT annular measurements on device selection in transcatheter aortic valve replacement (TAVR). *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2015. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcct.2015.07.008>
34. Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, Schoenhagen P, Min JK, Leipsic JA. SCCT expert consensus document on computed tomography imaging before transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR). *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2012;6:366–80.
35. Patsalis PC, Al-Rashid F, Neumann T, Plicht B, Hildebrandt HA, Wendt D, et al. Preparatory balloon aortic valvuloplasty during transcatheter aortic valve implantation for improved valve sizing. *JACC Cardiovasc Interv.* 2013;6:965–71.
36. Babaliaros VC, Junagadhwala Z, Lerakis S, Thourani V, Liff D, Chen E, et al. Use of balloon aortic valvuloplasty to size the aortic annulus before implantation of a balloon-expandable transcatheter heart valve. *JACC Cardiovasc Interv.* 2010;3:114–8.
37. Ludman PF, Moat N, De Belder MA, Blackman DJ, Duncan A, Banya W, et al. Transcatheter aortic valve implantation in the UK: Temporal trends, predictors of outcome and 6 year follow up: a report from the UK Transcatheter Aortic Valve Implantation (TAVI) Registry, 2007 to 2012. *Circulation.* 2015;131:1181–90.
38. Gilard M, Eltchaninoff H, Lung B, Donzeau-Gouge P, Chevrel K, Fajadet J, et al. Registry of transcatheter aortic-valve implantation in high-risk patients. *N Engl J Med.* 2012;366:1705–15.
39. Holmes DR, Brennan JM, Rumsfeld JS, Dai D, O'Brien SM, Vemulapalli S, et al. Clinical outcomes at 1 year following transcatheter aortic valve replacement. *JAMA.* 2015;313:1019–28.
40. Bax JJ, Delgado V, Bapat V, Baumgartner H, Collet JP, Erbel R, et al. Open issues in transcatheter aortic valve implantation. Part 2: procedural issues and outcomes after transcatheter aortic valve implantation. *Eur Heart J.* 2014;35:2639–54.
41. Bapat V, Khawaja MZ, Attia R, Narayana A, Wilson K, Macgillivray K, et al. Transaortic transcatheter aortic valve implantation using Edwards Sapien valve. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2012;79:733–40.
42. Bruschi G, De Marco F, Botta L, Cannata A, Oreglia J, Colombo P, et al. Direct aortic access for transcatheter self-expanding aortic bioprosthetic valves implantation. *Ann Thorac Surg.* 2012;94:497–503.
43. Bapat VN, Attia RQ, Thomas M. Distribution of calcium in the ascending aorta in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation and its relevance to the transaortic approach. *JACC Cardiovasc Interv.* 2012;5:470–6.
44. Kappetein AP, Head SJ, Genereux P, Piazza N, Van Mieghem NM, Blackstone EH, et al. Updated standardized endpoint definitions for transcatheter aortic valve implantation: the Valve Academic Research Consortium-2 consensus document. *J Am Coll Cardiol.* 2012;60:1438–54.
45. Zamorano JL, Badano LP, Bruce C, Chan KL, Gonçalves A, Hahn RT, et al. EAE/ASE recommendations for the use of echocardiography in new transcatheter interventions for valvular heart disease. *J Am Soc Echocardiogr.* 2011;24:937–65.
46. Fröhlich GM, Lansky AJ, Webb J, Roffi M, Toggweiler S, Reinthaler M, et al. Local versus general anesthesia for transcatheter aortic valve implantation (TAVR)—systematic review and meta-analysis. *BMC Med.* 2014;12:41.
47. Durand E, Borz B, Godin M, Tron C, Litzler P-Y, Bessou J-P, et al. Transfemoral aortic valve replacement with the Edwards SAPIEN and Edwards SAPIEN XT prosthesis using exclusively local anesthesia and fluoroscopic guidance: feasibility and 30-day outcomes. *JACC Cardiovasc Interv.* 2012;5:461–7.
48. Greif M, Lange P, Nábauer M, Schwarz F, Becker C, Schmitz C, et al. Transcatheter aortic valve replacement with the Edwards SAPIEN XT and Medtronic CoreValve prosthesis under fluoroscopic guidance and local anaesthesia only. *Heart.* 2014;100:691–5.
49. Kasel AM, Shivaraju A, Schneider S, Krapf S, Oertel F, Burgdorf C, et al. Standardized methodology for transfemoral transcatheter aortic valve replacement with the Edwards Sapien XT valve under fluoroscopy guidance. *J Invasive Cardiol.* 2014;26:451–61.
50. Bagur R, Rodés-Cabau J, Doyle D, De Larochelière R, Villeneuve J, Lemieux J, et al. Usefulness of TEE as the primary imaging technique to guide transcatheter transapical aortic valve implantation. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2011;4:115–24.
51. Meredith AM, Walters DL, Dumonteil N, Worthley SG, Tchetché D, Manoharan G, et al. Transcatheter aortic valve replacement for severe symptomatic aortic stenosis using a repositionable valve system: 30-day primary endpoint results from the REPRIS II study. *J Am Coll Cardiol.* 2014;64:1339–48.
52. Seiffert M, Fujita B, Avanesov M, Lunau C, Schon G, Conradi L, et al. Device landing zone calcification and its impact on residual regurgitation after transcatheter aortic valve implantation with different devices. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2015. Disponible en: <http://ehjci.oxfordjournals.org/content/early/2015/07/09/ehjci.jev174>
53. Athappan G, Patvardhan E, Tuzcu EM, Svensson LG, Lemos PA, Fraccaro C, 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.
54. Zoghbi WA, Chambers JB, Dumesnil JG, Foster E, Gottdiener JS, Grayburn PA, et al. Recommendations for evaluation of prosthetic valves with echocardiography and Doppler ultrasound: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Task Force on Prosthetic Valves, developed in conjunction with the American College of Cardiology Cardiovascular Imaging Committee, Cardiac Imaging Committee of the American Heart Association, the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, the Japanese Society of Echocardiography and the Canadian Society of Echocardiography, endorsed by the American College of Cardiology Foundation, American Heart Association, European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, the Japanese Society of Echocardiography, and Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2009;22:975–1014.
55. Bartel T, Edris A, Velik-Salchner C, Müller S. Intracardiac echocardiography for guidance of transcatheter aortic valve implantation under monitored sedation: a solution to a dilemma? *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2016;17:1–8.
56. Clavel MA, Webb JG, Pibarot P, Altwegg L, Dumont E, Thompson C, et al. Comparison of the hemodynamic performance of percutaneous and surgical bioprostheses for the treatment of severe aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol.* 2009;53:1883–91.
57. Latib A, Naganuma T, Abdel-Wahab M, Danenberg H, Cota L, Barbanti M, et al. Treatment and clinical outcomes of transcatheter heart valve thrombosis. *Circ Cardiovasc Interv.* 2015. Disponible en: <http://circinterventions.ahajournals.org/content/8/4/e001779>
58. Leetmaa T, Hansson NC, Leipsic J, Jensen K, Poulsen SH, Andersen HR, et al. Early aortic transcatheter heart valve thrombosis: diagnostic value of contrast-enhanced multidetector computed tomography. *Circ Cardiovasc Interv.* 2015. Disponible en: <http://circinterventions.ahajournals.org/content/8/4/e001596>
59. Gelfand EV, Hughes S, Hauser TH, Yeon SB, Goepfert L, Kissinger KV, et al. Severity of mitral and aortic regurgitation as assessed by cardiovascular magnetic resonance: optimizing correlation with Doppler echocardiography. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2006;8:503–7.
60. Sherif MA, Abdel-Wahab M, Beurich HW, Stocker B, Zachow D, Geist V, et al. Haemodynamic evaluation of aortic regurgitation after transcatheter aortic valve implantation using cardiovascular magnetic resonance. *EuroIntervention.* 2011;7:57–63.
61. Amat-Santos IJ, Messika-Zeitoun D, Eltchaninoff H, Kapadia S, Lerakis S, Cheema AN, et al. Infective endocarditis after transcatheter aortic valve implantation: results from a large multicenter registry. *Circulation.* 2015;131:1566–74.
62. Habib G, Lancellotti P, Antunes MJ, Bongiorni MG, Casalta JP, Del Zotti F, et al. 2015 ESC Guidelines for the management of infective endocarditis: The Task Force for the Management of Infective Endocarditis of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS), the European Association of Nuclear Medicine (EANM). *Eur Heart J.* 2015. Disponible en: <http://eurheartj.oxfordjournals.org/content/36/44/3075>
63. Berdejo J, Shibayama K, Harada K, Tanaka J, Mihara H, Gurudevan SV, et al. Evaluation of vegetation size and its relationship with embolism in infective endocarditis: a real-time 3-dimensional transesophageal echocardiography study. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2014;7:149–54.
64. Feuchtner GM, Stolzmann P, Dichtl W, Schertler T, Bonatti J, Scheffel H, et al. Multislice computed tomography in infective endocarditis: comparison with transesophageal echocardiography and intraoperative findings. *J Am Coll Cardiol.* 2009;53:436–44.
65. Saby L, Laas O, Habib G, Cammilleri S, Mancini J, Tessonnier L, et al. Positron emission tomography/computed tomography for diagnosis of prosthetic valve endocarditis: increased valvular ¹⁸F-fluorodeoxyglucose uptake as a novel major criterion. *J Am Coll Cardiol.* 2013;61:2374–82.