

Revisión

Técnicas de imagen no invasiva en el implante de prótesis valvulares aórticas transcáteter

Alberto Bouzas-Mosquera^{a,b,c,*}, Cayetana Barbeito-Caamaño^{a,b,c}, María José Martínez-Sapiña^d, Susana Otero-Muinelo^d y José Manuel Vázquez-Rodríguez^{b,c,e}

^a Unidad de Imagen y Función Cardíacas, Servicio de Cardiología, Complejo Hospitalario Universitario A Coruña, A Coruña, España

^b Universidade da Coruña, Grupo de Investigación Cardiovascular, Departamento de Ciencias de la Salud e Instituto de Investigación Biomédica de A Coruña (INIBIC), A Coruña, España

^c Centro de Investigación Biomédica en Red Cardiovascular (CIBERCV), Madrid, España

^d Servicio de Radiología, Complejo Hospitalario Universitario A Coruña, A Coruña, España

^e Unidad de Hemodinámica, Servicio de Cardiología, Complejo Hospitalario Universitario A Coruña, A Coruña, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 21 de noviembre de 2023

Aceptado el 9 de enero de 2024

On-line el xxx

Palabras clave:

Prótesis aórtica transcáteter

Técnicas de imagen no invasiva

Ecocardiografía

Tomografía computarizada

Keywords:

Transcatheter aortic valve implantation

Non-invasive imaging techniques

Echocardiography

Computed tomography

R E S U M E N

La implantación de prótesis valvulares aórticas transcáteter (TAVI) ha representado una verdadera revolución en el tratamiento de la estenosis aórtica grave y sintomática. Varios avances han propiciado un aumento significativo en el número de implantes, así como una disminución gradual de las complicaciones asociadas. Un factor clave para el éxito de la TAVI ha sido el papel desempeñado por las técnicas de imagen cardíaca no invasivas en la planificación previa al procedimiento y en la selección de candidatos. Estas técnicas permiten determinar el tipo y tamaño de la prótesis a implantar, prever los riesgos, evaluar la idoneidad del acceso vascular, supervisar el procedimiento y realizar un seguimiento después del implante. En esta revisión se analiza el papel de las técnicas de imagen no invasivas antes, durante y después de la implantación de una prótesis aórtica transcáteter.

© 2024 Sociedad Española de Cirugía Cardiovascular y Endovascular. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Non-invasive imaging techniques in transcatheter aortic valve implantation

A B S T R A C T

Transcatheter aortic valve implantation (TAVI) has been a true revolution in the treatment of severe symptomatic aortic stenosis. Various advances have led to an exponential growth in the number of implants and a progressive reduction in their complication rate. One key factor in the success of TAVI has been the role of non-invasive cardiac imaging techniques in pre-procedural planning and candidate selection. These techniques enable the determination of the type and size of the prosthetic valve to be implanted, prediction of risks, assessment of the suitability of vascular access, procedure monitoring, and post-implant follow-up. This review addresses the role of non-invasive imaging techniques before, during, and after transcatheter aortic valve implantation.

© 2024 Sociedad Española de Cirugía Cardiovascular y Endovascular. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

En los últimos años, el implante de prótesis valvular aórtica transcáteter (TAVI) ha supuesto una auténtica revolución en el manejo de la estenosis aórtica grave. Diversos avances han permitido un crecimiento exponencial del número de implantes y una reducción progresiva de su tasa de complicaciones. Uno de los factores clave del éxito de la TAVI ha sido el papel de las técnicas de imagen cardíaca no invasivas en la planificación previa al procedimiento y en la selección de candidatos. Estas técnicas permiten la determinación del tipo y tamaño de la prótesis a implantar, la

predicción de los riesgos, la valoración de la idoneidad del acceso vascular, la monitorización del procedimiento y el seguimiento post-implante¹⁻⁵. En esta revisión se aborda el papel de las técnicas de imagen no invasiva antes, durante y después del implante de una prótesis aórtica transcáteter.

Evaluación pre-procedimiento

El primer pilar de la evaluación previa a un procedimiento de TAVI es la ecocardiografía transtorácica (ETT). El estudio ecocardiográfico debe incluir, entre otros elementos, la valoración de la morfología valvular aórtica, el grado y localización del calcio valvular y perivalvular, la hemodinámica de la válvula aórtica (velocidad máxima transvalvular, gradiente medio, área valvular y volumen sistólico), las dimensiones de la raíz aórtica y aorta torácica, el

* Autor para correspondencia.
Correo electrónico: alberto.bouzas.mosquera@sergas.es (A. Bouzas-Mosquera).

<https://doi.org/10.1016/j.circv.2024.01.008>

1134-0096/© 2024 Sociedad Española de Cirugía Cardiovascular y Endovascular. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

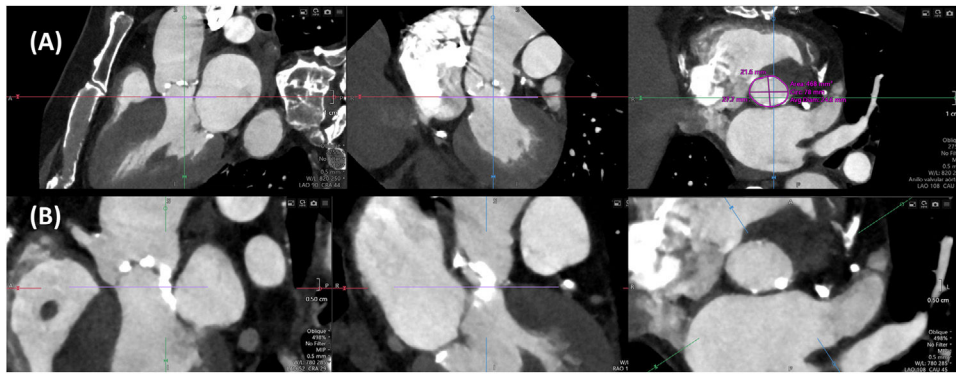


Figura 1. Arriba (A): medida del anillo valvular aórtico mediante TC. Abajo (B): calcificación severa del tracto de salida del ventrículo izquierdo subyacente al seno de Valsalva coronario izquierdo.

tamaño y función del ventrículo izquierdo (fracción de eyección, función diastólica), su motilidad parietal y la posible presencia de trombos intracavitarios, el grado de hipertrofia ventricular izquierda y la morfología septal, la presencia de otras valvulopatías concomitantes o de obstrucción subaórtica, el tamaño y función del ventrículo derecho y la estimación de la presión arterial pulmonar^{2,6}.

El segundo pilar de la evaluación pre-TAVI es la tomografía computarizada (TC). Su papel ha ido ganando relevancia con el paso de los años hasta convertirse en un elemento imprescindible en la planificación pre-procedimiento⁷. Los tomógrafos de última generación ofrecen importantes ventajas para los pacientes, ya que permiten obtener imágenes con mayor detalle y fiabilidad para el diagnóstico en menos tiempo, con menos dosis de radiación y menor cantidad de contraste.

El estudio de TC pre-TAVI debe incluir una adquisición del volumen cardiaco (o al menos del anillo aórtico) sincronizada con el electrocardiograma, y una adquisición de la aorta y de los accesos vasculares que no precisa sincronismo cardiaco, todo ello idealmente en un protocolo con una única dosis de contraste. La adquisición del volumen cardiaco debe realizarse al menos en fase sistólica, ya que las dimensiones del anillo aórtico suelen ser máximas en esta fase, aunque la adquisición de todo el ciclo cardiaco aporta información adicional. Los tomógrafos con detectores de 16 cm de cobertura permiten la adquisición axial prospectiva de todo el volumen cardiaco en un único latido. Con equipos con cobertura limitada del detector, la adquisición retrospectiva permite adquirir todo el ciclo cardiaco y ofrece mayor flexibilidad y menor probabilidad de artefactos en caso de variabilidad de la frecuencia cardiaca que la técnica prospectiva. No suele ser necesario realizar una adquisición sin contraste, si bien el *score* de calcio valvular aórtico puede ser útil en caso de incertidumbre en cuanto a la gravedad de la estenosis. El uso rutinario de betabloqueantes no está recomendado, aunque se pueden emplear con cautela en casos seleccionados, especialmente si se pretende valorar el árbol coronario y evitar una coronariografía invasiva. La nitroglicerina sublingual se considera contraindicada en estos enfermos⁷.

La TC puede proporcionar información adicional acerca de la gravedad de la estenosis aórtica; el valor del *score* de calcio de la válvula aórtica permite establecer una clasificación de acuerdo a la probabilidad de que se trate de una estenosis grave: altamente probable (> 3.000 unidades Agatston [UA] en varones o ≥ 1.600 UA en mujeres), probable (≥ 2.000 UA en varones o ≥ 1.200 UA en mujeres) o improbable (< 1.600 UA en varones o < 800 UA en mujeres)⁸. Además, el área del tracto de salida del ventrículo izquierdo estimada mediante TC puede combinarse con los parámetros Doppler obtenidos mediante ecocardiografía para

recalcular mediante imagen «híbrida» el área valvular aórtica⁹, con un valor de corte para establecer gravedad $< 1,2 \text{ cm}^2$.

El tamaño de la prótesis a implantar se decide con base en las dimensiones del anillo valvular aórtico, que se define por el contorno luminal del plano virtual que une los puntos más bajos (nadires) de las inserciones de las sigmoideas en la raíz aórtica¹⁰. Este plano se puede determinar manualmente⁷ o con ayuda de *software* de post-procesado semiautomático. Es importante realizar la medición del anillo en el momento del ciclo cardiaco en el que sus dimensiones sean máximas, lo que generalmente ocurre en mesosístole, y se debe determinar el área y el perímetro, así como sus correspondientes diámetros derivados (Fig. 1A). Tradicionalmente, el tamaño de las prótesis expandibles con balón se establece de acuerdo al área del anillo, mientras que el de las prótesis autoexpandibles se decide con base en el perímetro.

Otro parámetro a tener en cuenta es la morfología valvular. La valvulopatía aórtica bicúspide se puede asociar con anillos de mayor tamaño y más ovalados, calcificación valvular prominente y asimétrica, y aortopatía, lo que a su vez puede entrañar mayor riesgo de regurgitación periprotésica y de otras complicaciones¹¹. Se ha propuesto una clasificación de la valvulopatía aórtica bicúspide en tres tipos, con base en el número de comisuras y la presencia o no de rafe¹²: tricomisural (también conocida como válvula aórtica bicúspide funcional o adquirida), bicomisural con rafe (cuando existe un rafe que no alcanza la altura de la comisura), y bicomisural sin rafe. En el caso de la morfología bicomisural sin rafe (Sievers tipo 0) los senos de Valsalva sólo presentan dos nadires, lo que complica la determinación del plano anular, ya que por dos puntos se pueden trazar infinitos planos. En estos casos, el plano óptimo en el que debemos medir el anillo valvular aórtico se obtiene basculando el plano de corte transversal en torno al eje que resulta de unir esos dos nadires hasta conseguir la menor área luminal¹³.

Es importante valorar la localización y el grado de calcificación valvular, anular y subanular (a nivel del tracto de salida del ventrículo izquierdo) (Fig. 1B), que determinan el riesgo de complicaciones. Así, la presencia de calcificación a nivel del borde libre de las sigmoideas coronarias se asocia a un mayor riesgo de oclusión coronaria, mientras que la calcificación anular y subanular predice un mayor riesgo de regurgitación periprotésica, rotura del anillo y, cuando se localiza subyacente a la sigmoidea no coronaria, trastornos de la conducción aurículo-ventricular¹⁴. La longitud del septo membranoso en el plano coronal es un marcador de la distancia entre el anillo valvular aórtico y el haz de His, de forma que una longitud $< 8 \text{ mm}$ constituye otro predictor de desarrollo de bloqueo aurículo-ventricular de alto grado¹⁵.

La altura desde el plano anular aórtico hasta el origen de las arterias coronarias (Fig. 2A y 2B) es otro determinante del riesgo de oclusión coronaria que se incrementa con una altura inferior a

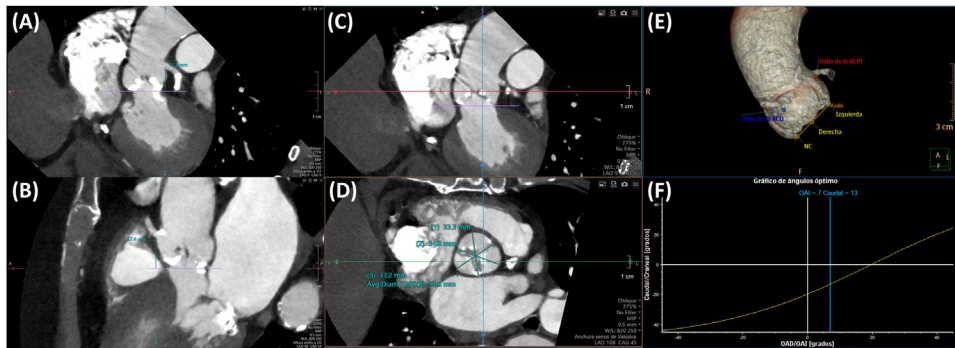


Figura 2. (A) y (B): medición de la altura desde el anillo hasta los ostia coronarios mediante TC; (A): tronco de la coronaria izquierda; (B): arteria coronaria derecha. (C) y (D): medida de los senos de Valsalva, de seno a comisura. (E) y (F): predicción de la proyección coplanar óptima mediante TC.

12 mm, aunque no constituye una contraindicación absoluta para el implante. También es importante medir el diámetro de los senos de Valsalva, la unión sinotubular y la aorta ascendente. La medición a nivel de los senos de Valsalva (Fig. 2C y 2D) debe realizarse de seno a comisura opuesta, con el plano de corte paralelo al del anillo valvular aórtico; unos diámetros inferiores a 30 mm incrementan el riesgo de oclusión coronaria, ya que se reduce el espacio para acomodar el calcio que se proyecta en los senos de Valsalva tras el despliegue protésico. Debe medirse, asimismo, la altura de los senos de Valsalva desde el plano anular hasta la unión sinotubular.

Del mismo modo, la tomografía computarizada permite predecir la proyección más adecuada del arco de fluoroscopia que alinee los nadires de los senos de Valsalva («proyección de trabajo» o coplanar) (Fig. 2E y 2F), así como la que permite superponer los senos de Valsalva coronarios y aislar el seno no coronario («*cusp overlap*»), contribuyendo de esta forma a reducir el tiempo de escopia y el uso de contraste¹⁶.

En procedimientos de implante «*valve-in-valve*», las dimensiones de la bioprótesis valvular aórtica quirúrgica indicadas por el fabricante se pueden usar para determinar el tamaño de la prótesis transcáteter a implantar en su interior; la aplicación móvil «*ViV aortic*» es útil en estos casos. Si se desconoce el tamaño de la bioprótesis quirúrgica, las dimensiones internas de su anillo basal se pueden determinar mediante TC.

El riesgo de oclusión coronaria en los procedimientos «*valve-in-valve*» es mayor que en la valvulopatía nativa, ya que durante el despliegue de la prótesis transcáteter los velos de la prótesis quirúrgica son proyectados hacia los senos de Valsalva, creando un cilindro que puede sellar el flujo coronario a nivel de la unión sinotubular, dando lugar a un «secuestro de senos». Además de las alturas a los ostia coronarios, en caso de prótesis biológicas quirúrgicas con soporte, si los velos de dichas prótesis se extienden por encima de los orígenes de las arterias coronarias, deben determinarse las distancias virtuales de la prótesis transcáteter simulada a los ostia coronarios (VTC) y a la unión sinotubular (VTSTJ)¹⁷. Estas distancias se pueden evaluar mediante reformateo multiplanar y trazando una región de interés circular de un diámetro específico que simule la prótesis transcáteter desplegada, o bien mediante *software* dedicado. Si la VTC es inferior a 4 mm, o bien el velo se extiende por encima de la unión sinotubular y la VTSTJ es estrecha (<3,5 mm) se considera que el riesgo de oclusión coronaria es elevado. En estos casos, el procedimiento BASILICA (laceración del velo problemático antes del despliegue de la prótesis transcáteter) o el implante de stents coronarios «en chimenea» pueden reducir dicho riesgo. Si las arterias coronarias se originan por encima de los velos de la prótesis quirúrgica, no hay riesgo de oclusión coronaria. En el caso de prótesis valvulares quirúrgicas «*stentless*» y sin sutura, se puede proceder de forma similar a los casos de valvulopatía nativa,

valorando el riesgo mediante la altura de las coronarias y la anchura de los senos de Valsalva.

La TC puede emplearse para despistaje de enfermedad coronaria previo a TAVI. Su valor predictivo negativo para descartar estenosis significativas a nivel de los segmentos proximales del árbol coronario es elevado¹⁸, permitiendo evitar la coronariografía invasiva pre-TAVI en más del 40% de los casos¹⁹. La importante prevalencia de factores desfavorables para la adecuada interpretación del estudio en esta población de edad avanzada, como la presencia de calcificaciones coronarias o fibrilación auricular, así como las precauciones señaladas previamente para la optimización farmacológica de la coronariografía no invasiva, son limitaciones a tener en cuenta.

La TC también permite evaluar el acceso vascular y establecer la idoneidad del abordaje transfemoral o, en su caso, la de accesos alternativos (subclavio, axilar, carotídeo, transaórtico, transcava o transapical) (Fig. 3). La valoración debe incluir el diámetro mínimo de la luz del trayecto arterial (medido de forma perpendicular al eje largo del vaso), el grado y la localización de la calcificación vascular (especialmente si presenta más de 270° de extensión circunferencial o afecta a la pared anterior de la zona de punción vascular), el grado de tortuosidad, la altura de la bifurcación femoral (tomando como referencia la cabeza femoral) y toda la patología vascular (oclusiones, aneurismas, disecciones) que afecte al trayecto arterial. Las recomendaciones en cuanto a diámetro vascular, dependen del sistema de liberación de la prótesis a implantar, pero en general se requiere un diámetro luminal mínimo de al menos 5,5–6 mm en ausencia de calcificación o tortuosidad graves. En casos de abordaje transapical, la TC permite predecir el punto óptimo de acceso intercostal.

Aunque durante los primeros años tras la introducción del procedimiento, la ecocardiografía transesofágica (ETE) se consideraba imprescindible^{20–22}, su importancia ha decrecido conforme la TC ha ganado terreno. La ETE pre-TAVI^{23,24} puede resultar útil si el estudio de TC no está disponible, está contraindicado o es de calidad subóptima, pudiendo realizarse como parte de la valoración previa al procedimiento o como el paso inicial de la monitorización intraprocedimiento.

La ETE puede proporcionar información adicional a la ETT con respecto a la morfología valvular, la gravedad de la estenosis, la raíz aórtica, el septo interventricular, la presencia de valvulopatías concomitantes y otra patología asociada. El uso de ecógrafos y sondas con capacidad tridimensional es particularmente útil. Mediante ETE 3D y reformateo multiplanar podemos determinar las dimensiones del anillo valvular aórtico (Fig. 4A), ya sea como alternativa razonable a la TC o como técnica complementaria. La ETE tiene la ventaja de que permite múltiples mediciones repetibles, pero presenta una serie de limitaciones, como la presencia de artefactos de «*blurring*» y menor resolución lateral, habiéndose reportado una

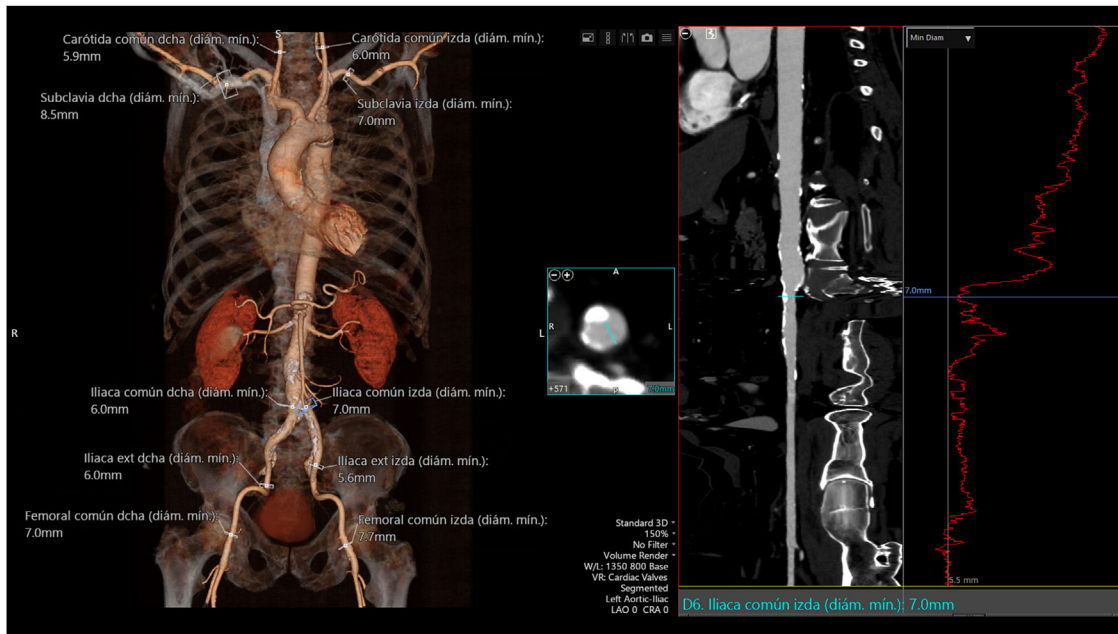


Figura 3. Evaluación de los accesos vasculares mediante TC.

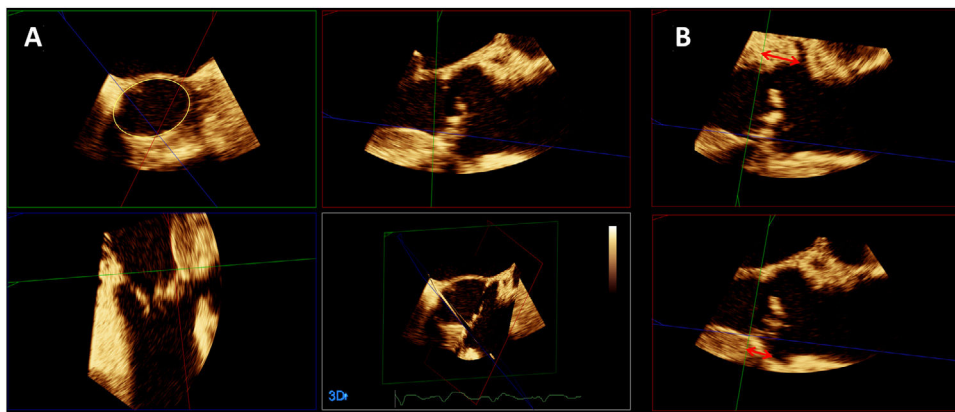


Figura 4. (A): medida del anillo valvular aórtico mediante ETE. (B): medición de la altura desde el anillo hasta los ostia coronarios mediante ETE (arriba: tronco de la coronaria izquierda; abajo: arteria coronaria derecha).

ligera infraestimación sistemática en las mediciones del anillo con respecto a la TC²⁵. También permite valorar la morfología valvular, el grado y localización de la calcificación, las dimensiones de la raíz aórtica y la altura desde el plano anular aórtico hasta los orígenes de las coronarias (ya sea mediante ETE 3D y reformateo multiplano en el caso del ostium coronario izquierdo, o en el plano 2D de eje largo medioesofágico en el caso del ostium coronario derecho) (Fig. 4B).

Monitorización intra-procedimiento

La monitorización del procedimiento se lleva a cabo fundamentalmente mediante fluoroscopia, cuyos requisitos óptimos incluyen idealmente un sistema de última generación con un amplio campo de visión, ya sea montado en el techo o en el suelo, en lugar de un sistema portátil³. La guía suplementaria mediante ecocardiografía, ya sea transesofágica o transtorácica, ofrece ventajas e inconvenientes. La utilidad más importante de la ETE en este contexto se basa en su capacidad de detección precoz de complicaciones, pero requiere al menos de sedación moderada. Aunque durante los primeros años tras la introducción del procedimiento la

monitorización mediante ETE se consideraba imprescindible, la incidencia de complicaciones se ha ido reduciendo considerablemente con el paso del tiempo, por lo que cada vez más grupos han abogado por lo que se conoce como «TAVI minimalista», empleando sedación consciente y prescindiendo de la anestesia general y del ETE, especialmente en procedimientos realizados por vía transfemorales.

La ecografía vascular es útil para determinar la zona más adecuada de punción arterial y para reducir las complicaciones vasculares²⁶. En los abordajes por vía transapical, la ETE permite localizar el espacio intercostal óptimo para el acceso.

En caso de que se emplee ETE, debe realizarse en primer lugar un estudio ecocardiográfico basal completo²³, que servirá como referencia en caso de sospecha de complicaciones durante el procedimiento. En el caso de procedimientos por vía transapical, el punto más adecuado de punción a nivel del ápex del ventrículo izquierdo se puede confirmar mediante palpación digital monitorizada mediante ETE (Figs. 5A y 5B). Durante el procedimiento, la ETE permite realizar un seguimiento de guías y catéteres y valorar su posible interferencia con las cuerdas tendinosas mitrales²⁷, así como evaluar la eficacia y resultado de la valvuloplastia (en caso

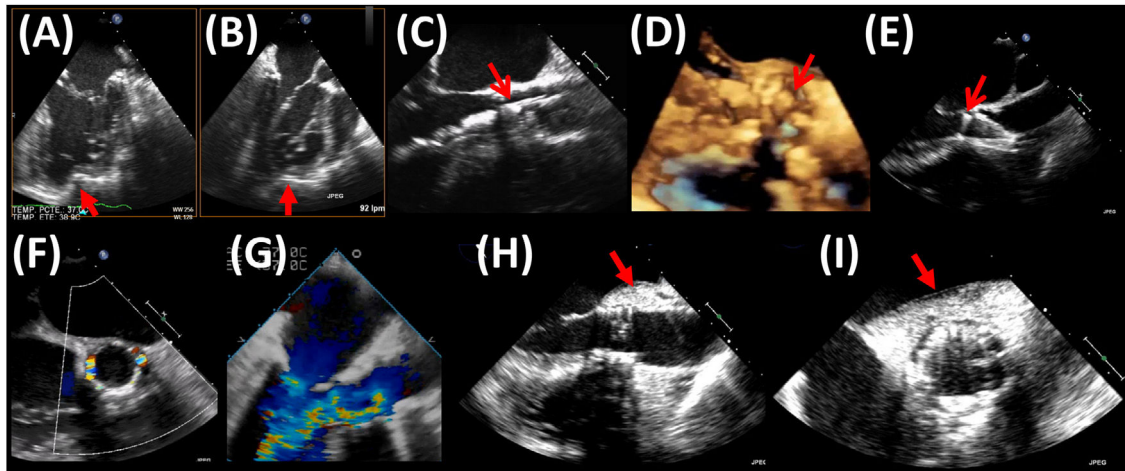


Figura 5. (A) y (B): detección mediante ETE (planos ortogonales) de la impronta del dedo del operador indicando el punto de punción apical (flechas). (C), (D) y (E): posicionamiento mediante ETE de prótesis transcatéter previo al despliegue; (C): ETE 2D y (D): ETE 3D de una prótesis expandible con balón; las flechas señalan el borde aórtico de la prótesis plegada; (E): ETE 2D de una prótesis autoexpandible; la flecha indica el borde ventricular de la prótesis. (F) y (G): ejemplos de regurgitación (F) periprotésica (en eje corto) y (G) intraprotésica (en eje largo). (H) e (I): hematoma periaórtico post-implante de una prótesis valvular aórtica transcatéter; (H): eje largo; (I): eje corto.

de que se lleve a cabo) y el comportamiento del calcio valvular durante la misma. También puede complementar a la fluoroscopia en el posicionamiento de la prótesis previo al despliegue²⁸, sobre todo en el caso de las prótesis expandibles con balón, para las que el criterio para un correcto posicionamiento consiste en que el borde aórtico de la prótesis se sitúe entre el borde libre de las sigmoideas y la unión sinotubular (Figs. 5C y 5D); aunque menos útil, si se trata de prótesis autoexpandibles, el borde ventricular del stent visualizado mediante ETE debería situarse entre 3 y 5 mm por debajo del plano del anillo (Fig. 5E). El despliegue puede monitorizarse mediante ETE 2D o 3D²⁹. Como ya se comentó con anterioridad, la TC pre-procedimiento permite predecir la proyección óptima de fluoroscopia para el implante, con los tres nadires alineados en el mismo plano, siendo el central el coronario derecho. Asimismo, puede resultar útil predecir la proyección de superposición de senos, que aísla el seno no coronario y permite el alineamiento comisural entre la válvula aórtica nativa y la prótesis. La imagen de fusión (eco-fluoroscopia y/o TC-fluoroscopia) podría ser de utilidad para reducir la dosis de radiación y de contraste, si bien sus ventajas son inferiores a las que puede proporcionar en otros procedimientos de intervencionismo estructural.

Tras el despliegue, la posibilidad de obtener de forma simultánea 2 planos ecocardiográficos ortogonales (eje largo y eje corto) de la prótesis es muy útil para llevar a cabo una valoración rápida del resultado. La ETE nos permite evaluar el correcto posicionamiento de la prótesis y la posible presencia de insuficiencia intraprotésica (plano de corte a través de la prótesis) o periprotésica (plano de corte situado a nivel del tracto de salida del ventrículo izquierdo, por debajo del plano protésico). Al contrario que la ecocardiografía, con frecuencia la angiografía no permite determinar el origen ni el mecanismo de una regurgitación protésica, información que tiene implicaciones terapéuticas (Figs. 5F y 5G). La valoración del grado de regurgitación tras el implante de una prótesis transcatéter mediante ecocardiografía debe ser multiparamétrica³⁰. Un parámetro particularmente útil consiste en la evaluación de la extensión circunferencial de la regurgitación mediante Doppler color, de forma que una extensión inferior al 10% correspondería a una insuficiencia leve, y una superior al 20%, a una insuficiencia grave. Ya sea mediante ETE o ETT, tras el despliegue debe valorarse asimismo la morfología de la prótesis, la hemodinámica protésica, la función sistólica global y segmentaria del ventrículo izquierdo y la permeabilidad de los ostia coronarios. El desarrollo

de alteraciones de la contractilidad segmentaria del ventrículo izquierdo debería levantar la sospecha de oclusión coronaria³¹. La raíz aórtica y aorta ascendente deben ser evaluadas meticulosamente para descartar rotura del anillo (al espacio pericárdico o al ventrículo derecho), hematoma periaórtico o intramural (Figs. 5H y 5I) o datos de disección aórtica. La aparición aguda de derrame pericárdico puede conducir a un rápido deterioro hemodinámico y debería alertar sobre la posibilidad de rotura del anillo o perforación iatrogénica del ventrículo derecho (si se ha colocado cable de marcapasos endocavitario) o del izquierdo.

Seguimiento post-procedimiento

El seguimiento rutinario tras un procedimiento de TAVI se lleva a cabo fundamentalmente mediante ETT⁵. Otras técnicas de imagen pueden ser útiles en caso de sospecha de complicaciones.

Se recomienda la realización de un ETT antes del alta o en los 30 días siguientes al implante, tras seis meses y al año, y posteriormente de forma anual, o bien cuando aparecen signos y/o síntomas sugestivos de disfunción protésica^{1,3}. El ETT pre-alta proporciona la información basal con la que se compararán futuras evaluaciones.

De acuerdo con el consenso VARC-3³², existen cuatro tipos de disfunción valvular bioprotésica: 1) deterioro valvular estructural: cambios permanentes intrínsecos a la prótesis valvular, incluyendo desgaste y rotura, disrupción de un velo, velo «flail», fibrosis y/o calcificación, y fractura o deformación del stent; 2) disfunción valvular no estructural: anomalías no intrínsecas a la prótesis valvular, como regurgitación periprotésica, *mismatch* prótesis-paciente, posición protésica inadecuada, embolización, u otras; 3) trombosis (subclínica o clínica); 4) endocarditis.

Los estudios ecocardiográficos durante el seguimiento deben incluir una valoración de la posición de la prótesis, su interacción con estructuras adyacentes, la morfología, grosor y movilidad de los velos, la función protésica (incluyendo evidencias de estenosis o regurgitación intra o periprotésica), la presencia de otras valvulopatías, la función biventricular, y la presión arterial pulmonar. En caso de dudas, la ETE puede aportar información adicional; por su parte, la resonancia magnética también permite una evaluación no invasiva de la función protésica y ventricular, y puede ser particularmente útil en caso de dudas sobre la gravedad de una regurgitación protésica.

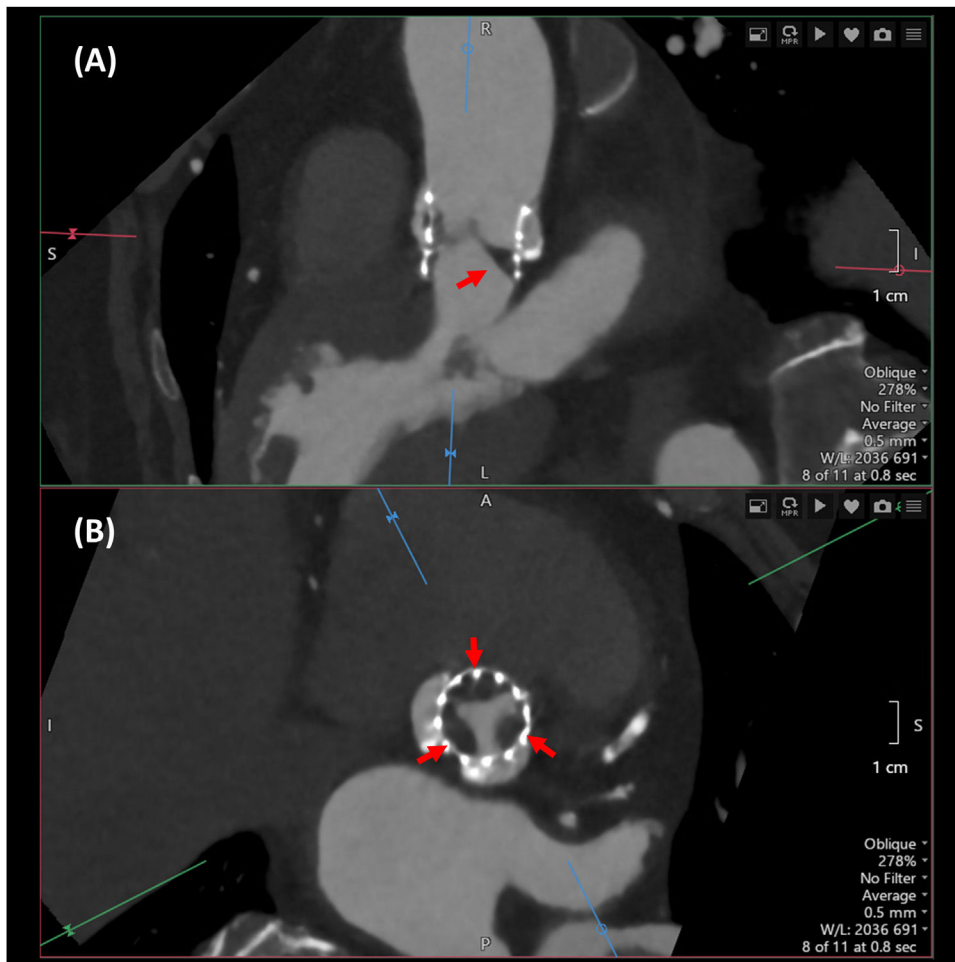


Figura 6. Engrosamiento con hipoatenuación de los velos (flechas) en una prótesis Sapien 3 Ultra. (A): reconstrucción multiplanar en eje largo alineada con el centro de la sigmoidea en posición no coronariana, que muestra un engrosamiento hipoatenuado de dicho velo con la característica forma de cuña o menisco. (B): reconstrucción en eje corto, mostrando un engrosamiento hipoatenuado en la base de los tres velos protésicos.

La trombosis de velos es una entidad cada vez más reconocida que puede afectar tanto a las prótesis biológicas transcatheter, como quirúrgicas. La TC es más sensible que la ecocardiografía para la detección de trombosis de velos, y permite valorar tanto el engrosamiento hipoatenuado de los velos, como la restricción de su motilidad, aunque requiere administración de contraste. El engrosamiento hipoatenuado de los velos (*hypoattenuated leaflet thickening* o HALT) se define como un aumento del grosor de los velos con una morfología típica en menisco en eje largo³³, siendo más ancho a nivel de la base del velo y extendiéndose en mayor o menor grado hacia el centro. Se debe valorar tanto la localización del engrosamiento como su extensión, mediante reformateo multiplanar en fase diastólica (Fig. 6). La restricción de la motilidad de los velos (*reduced leaflet motion* o RELM) consiste en una apertura incompleta de los mismos en sístole, para cuya valoración mediante TC se requiere una adquisición retrospectiva completa de todo el ciclo cardíaco³⁴.

En pacientes con sospecha de endocarditis infecciosa, la ETT constituye la modalidad de imagen de primera línea, si bien en portadores de una prótesis valvular se recomienda la realización de ETE. La TC es superior a la ecocardiografía para la detección de complicaciones periprotésicas, aunque ésta última sigue siendo superior para la detección de lesiones valvulares y vegetaciones, especialmente si son de pequeño tamaño. La TC cardíaca está indicada cuando la ETE no es concluyente o no es factible, y tanto la TC como la tomografía por emisión de positrones (PET) con flúor-18-fluorodeoxiglucosa (18F-FDG)/TC se recomiendan en pacientes con

endocarditis valvular protésica posible (todas ellas indicaciones de clase I, nivel de evidencia B)³⁵. La tomografía por emisión de fotón único (SPECT)/TC es una alternativa cuando la PET/TC no está disponible. La detección de lesiones protésicas o periprotésicas características de endocarditis mediante cualquiera de estas modalidades de imagen, se consideran criterios mayores de endocarditis.

Conclusiones

Las técnicas de imagen multimodalidad tienen un papel clave en todos los estadios del manejo de pacientes con estenosis aórtica grave que son considerados para TAVI. La información proporcionada por estas técnicas tiene relevancia para la selección de candidatos, la planificación y monitorización del procedimiento, la detección de complicaciones y el seguimiento post-implante.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Agrícola E, Ancona F, Bartel T, Brochet E, Dweck M, Faletra F, et al. Multimodality imaging for patient selection, procedural guidance, and follow-up of transcatheter interventions for structural heart disease: a consensus document of the EACVI Task Force on Interventional Cardiovascular Imaging; part 1: access routes, transcatheter aortic valve implantation, and transcatheter

- mitral valve interventions. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2023;24:e209–68, <http://dx.doi.org/10.1093/ehjci/jead096>.
2. Dweck MR, Loganath K, Bing R, Treibel TA, McCann GP, Newby DE, et al. Multi-modality imaging in aortic stenosis: an EACVI clinical consensus document. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2023;24:1430–43, <http://dx.doi.org/10.1093/ehjci/jead153>.
 3. Otto CM, Kumbhani DJ, Alexander KP, Calhoon JH, Desai MY, Kaul S, et al. 2017 ACC Expert Consensus Decision Pathway for Transcatheter Aortic Valve Replacement in the Management of Adults With Aortic Stenosis: A Report of the American College of Cardiology Task Force on Clinical Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol*. 2017;69:1313–46, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2016.12.006>.
 4. Bax JJ, Delgado V, Hahn RT, Leipsic J, Min JK, Grayburn P, et al. Transcatheter Aortic Valve Replacement: Role of Multimodality Imaging in Common and Complex Clinical Scenarios. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2020;13 Pt 1:124–39, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.10.037>.
 5. Corrigan FE, Gleason PT, Condado JF, Lisko JC, Chen JH, Kamioka N, et al. Imaging for Predicting, Detecting, and Managing Complications After Transcatheter Aortic Valve Replacement. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12:904–20, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.07.036>.
 6. Baumgartner H, Hung J, Bermejo J, Chambers JB, Edvardsen T, Goldstein S, et al. Recommendations on the Echocardiographic Assessment of Aortic Valve Stenosis: A Focused Update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2017;30:372–92, <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2017.02.009>.
 7. Blanke P, Weir-McCall JR, Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, Jilaihawi H, et al. Computed Tomography Imaging in the Context of Transcatheter Aortic Valve Implantation (TAVI)/Transcatheter Aortic Valve Replacement (TAVR): An Expert Consensus Document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12:1–24, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.12.003>.
 8. Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, Milojevic M, Baldus S, Bauersachs J, et al. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J*. 2022;43:561–632, <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehab395>.
 9. Delgado V, Clavel MA, Hahn RT, Gillam L, Bax J, Sengupta PP, et al. How Do We Reconcile Echocardiography, Computed Tomography, and Hybrid Imaging in Assessing Discordant Grading of Aortic Stenosis Severity? *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12:267–82, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.11.027>.
 10. Kasel AM, Cassese S, Bleiziffer S, Amaki M, Hahn RT, Kastrati A, et al. Standardized imaging for aortic annular sizing: implications for transcatheter valve selection. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013;6:249–62, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2012.12.005>.
 11. Nyens P, De Backer O, Sathananthan J, Hojsgaard Jørgensen T, Treede H, Leipsic JA, et al. TAVR in Bicuspid Aortic Stenosis: Current Evidence and Proposal for a Randomized Controlled Trial Design. *JACC Cardiovasc Interv*. 2023;16:1682–7, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcin.2023.04.003>.
 12. Jilaihawi H, Chen M, Webb J, Himbert D, Ruiz CE, Rodés-Cabau J, et al. A Bicuspid Aortic Valve Imaging Classification for the TAVR Era. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2016;9:1145–58, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.12.022>.
 13. Frangieh AH, Michel J, Deutsch O, Joner M, Pellegrini C, Rheude T, et al. Aortic annulus sizing in stenotic bicommissural non-raphe-type bicuspid aortic valves: reconstructing a three-dimensional structure using only two hinge points. *Clin Res Cardiol*. 2019;108:6–15, <http://dx.doi.org/10.1007/s00392-018-1295-2>.
 14. Maeno Y, Abramowitz Y, Kawamori H, Kazuno Y, Kubo S, Takahashi N, et al. A Highly Predictive Risk Model for Pacemaker Implantation After TAVR. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2017;10 Pt A:1139–47, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.11.020>.
 15. Hamdan A, Guetta V, Klempfner R, Konen E, Raanani E, Glikson M, et al. Inverse Relationship Between Membranous Septal Length and the Risk of Atrioventricular Block in Patients Undergoing Transcatheter Aortic Valve Implantation. *JACC Cardiovasc Interv*. 2015;8:1218–28, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcin.2015.05.010>.
 16. Samim M, Stella PR, Agostoni P, Kluijn J, Ramjankhan F, Budde RPJ, et al. Automated 3D analysis of pre-procedural MDCT to predict annulus plane angulation and C-arm positioning: benefit on procedural outcome in patients referred for TAVR. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013;6:238–48, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2012.12.004>.
 17. Tarantini G, Dvir D, Tang GHL. Transcatheter aortic valve implantation in degenerated surgical aortic valves. *EuroIntervention*. 2021;17:709–19, <http://dx.doi.org/10.4244/EIJ-D-21-00157>.
 18. Kondoleon NP, Layoun H, Spiliaris N, Sipko J, Kanaan C, Harb S, et al. Effectiveness of Pre-TAVR CTA as a Screening Tool for Significant CAD Before TAVR. *JACC Cardiovascular Interv*. 2023;16:1990–2000, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcin.2023.05.030>.
 19. Gatti M, Gallone G, Poggi V, Bruno F, Serafini A, Depaoli A, et al. Diagnostic accuracy of coronary computed tomography angiography for the evaluation of obstructive coronary artery disease in patients referred for transcatheter aortic valve implantation: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol*. 2022;32:5189–200, <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-022-08603-y>.
 20. Hahn RT, Little SH, Monaghan MJ, Kodali SK, Williams M, Leon MB, et al. Recommendations for comprehensive intraprocedural echocardiographic imaging during TAVR. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2015;8:261–87, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2014.12.014>.
 21. Hahn RT, Kodali S, Tuzcu EM, Leon MB, Kapadia S, Gopal D, et al. Echocardiographic imaging of procedural complications during balloon-expandable transcatheter aortic valve replacement. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2015;8:288–318, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2014.12.013>.
 22. Hahn RT, Gillam LD, Little SH. Echocardiographic imaging of procedural complications during self-expandable transcatheter aortic valve replacement. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2015;8:319–36, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.01.001>.
 23. Hahn RT, Saric M, Faletta FF, Garg R, Gillam LD, Horton K, et al. Recommended Standards for the Performance of Transesophageal Echocardiographic Screening for Structural Heart Intervention: From the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2022;35:1–76, <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2021.07.006>.
 24. 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. *Eur Heart J*. 2011;32:2189–214, <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehr259>.
 25. Stella S, Italia L, Geremia G, Rosa I, Ancona F, Marini C, et al. Accuracy and reproducibility of aortic annular measurements obtained from echocardiographic 3D manual and semi-automated software analyses in patients referred for transcatheter aortic valve implantation: implication for prosthesis size selection. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2019;20:45–55, <http://dx.doi.org/10.1093/ehjci/ehy013>.
 26. Kotronias RA, Bray JJH, Rajasundaram S, Vincent F, Delhay C, Scarsini R, et al. Ultrasound- Versus Fluoroscopy-Guided Strategy for Transfemoral Transcatheter Aortic Valve Replacement Access: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Circ Cardiovasc Interv*. 2021;14:e010742, <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.121.010742>.
 27. Taboada-Rodríguez U, Mosquera VX, Bouzas-Mosquera A, Cuenca-Castillo JJ. El «signo de la comba» como causa de insuficiencia mitral reversible durante la TAVI transapical. *Cir Cardiovasc*. 2023;30:348–50, <http://dx.doi.org/10.1016/j.circv.2023.01.006>.
 28. Mosquera VX, Bouzas-Mosquera A, Vilela-González Y, Oujó-González B, Velasco-García C, Cuenca-Castillo JJ, et al. Non-contrast transoesophageal echo-guided transapical transcatheter aortic valve replacement: 10-year experience of a renoprotective strategy. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2021;33:195–202, <http://dx.doi.org/10.1093/icvts/ivab080>.
 29. Bouzas-Mosquera A, Alvarez-García N, Ortiz-Vázquez E, Cuenca-Castillo JJ. Role of real-time 3-dimensional transesophageal echocardiography in transcatheter aortic valve implantation. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2009;35:909, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejcts.2009.01.026>.
 30. Zoghbi WA, Asch FM, Bruce C, Gillam LD, Grayburn PA, Hahn RT, et al. Guidelines for the Evaluation of Valvular Regurgitation After Percutaneous Valve Repair or Replacement: A Report from the American Society of Echocardiography Developed in Collaboration with the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Japanese Society of Echocardiography, and Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019;32:431–75, <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2019.01.003>.
 31. Barge-Caballero G, López-Pérez M, Bouzas-Mosquera A, Fábregas-Casal R, Alvarez-García N, Borge-Caballero E, et al. Acute left main coronary artery occlusion after percutaneous aortic valve replacement. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59:1654, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2011.09.082>.
 32. Généreux P, Piazza N, Alu MC, Nazif T, Hahn RT, Pibarot P, et al. Valve Academic Research Consortium 3: updated endpoint definitions for aortic valve clinical research. *Eur Heart J*. 2021;42:1825–57, <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa799>.
 33. Makkar RR, Blanke P, Leipsic J, Thourani V, Chakravarty T, Brown D, et al. Subclinical Leaflet Thrombosis in Transcatheter and Surgical Bioprosthetic Valves: PARTNER 3 Cardiac Computed Tomography Substudy. *J Am Coll Cardiol*. 2020;75:3003–15, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2020.04.043>.
 34. Jilaihawi H, Asch FM, Manasse E, Ruiz CE, Jelmin V, Kashif M, et al. Systematic CT Methodology for the Evaluation of Subclinical Leaflet Thrombosis. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2017;10:461–70, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.02.005>.
 35. Delgado V, Ajmone Marsan N, de Waha S, Bonaros N, Brida M, Burri H, et al. 2023 ESC Guidelines for the management of endocarditis. *Eur Heart J*. 2023;44:3948–4042, <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehad193>.