



**Guía básica para el estudio de la
patología aórtica del capítulo de
“Diagnóstico vascular” de la
SEACV**

**Basic Guidelines for the Study of
Aortic Pathology from de
“Vascular diagnosis” Chapter**

10.20960/angiologia.00618

03/19/2024

Guía básica para el estudio de la patología aórtica del capítulo de “Diagnóstico vascular” de la SEACV

Basic Guidelines for the Study of Aortic Pathology from de “Vascular diagnosis” Chapter

Joan Fité Matamoros¹, Jaume Dilmé Muñoz¹, Begoña Soto Carricas¹,
Cristina Tello Díaz¹,
Pere Altés Mas²

¹Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Barcelona. ²Hospital Germans Trias i Pujol. Badalona, Barcelona

Recibido: 08/01/2023

Aceptado: 08/01/2023

Correspondencia: Joan Fité Matamoros. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. C/ Sant Quintí, 89. 08041 Barcelona

e-mail: jfite@santpau.cat

Conflicto de intereses: los autores declaran no tener conflictos de interés.

Inteligencia artificial: los autores declaran no haber usado inteligencia artificial (IA) ni ninguna herramienta que use IA para la redacción del artículo.

Artificial intelligence: the authors declare not to have used artificial intelligence (AI) or any AI-assisted technologies in the elaboration of the article.

RESUMEN

Esta *Guía básica para el estudio de la patología aórtica* ve la luz como proyecto para analizar uno de los sectores vasculares más complejos e interesantes en su estudio. Permitirá estandarizar en gran medida

los conceptos, exploraciones, indicaciones y parámetros exploratorios utilizados en el estudio de las enfermedades que afectan a la arteria aorta en su totalidad. A lo largo de ella, se valorarán extensamente todas las exploraciones que actualmente permiten la evaluación aórtica, tanto desde el punto de vista técnico como interpretativo. Hay que tener en cuenta que tanto determinados segmentos del vaso como determinadas patologías de este precisan de exploraciones que van más allá de la instrumentación ecográfica básica. Por ello, hay apartados específicos de exploraciones más sofisticadas: ultrasonografía intravascular, tomografía axial computarizada y resonancia magnética nuclear. Se incluyen, además, interesantes observaciones sobre el futuro de estas exploraciones.

Palabras clave: Aorta. Patología aórtica. Diagnóstico.

ABSTRACT

This *Basic Guide for the Study of Aortic Pathology* was born as a project to illustrate one of the most complex and interesting vascular sectors in its study. It will allow us to largely standardize the concepts, examinations, indications, and exploratory parameters used in the study of diseases that affect the aorta artery in its entirety. Throughout its extension, all explorations that currently allow aortic evaluation will be extensively evaluated, both from a technical and interpretive point of view. It must be considered that both certain segments of the vessel and certain pathologies of the vessel require explorations that go beyond basic ultrasound instrumentation. For this reason, there are specific sections on more sophisticated examinations: intravascular ultrasonography, computerized axial tomography, and nuclear magnetic resonance. Interesting notes regarding future directions of exploration are also included.

Keywords: Aorta. Aortic disease. Diagnosis.

INTRODUCCIÓN

Para la confección de estas guías se ha realizado una revisión de literatura publicada en las bases MEDLINE, SCOPUS, GOOGLE SCHOLAR, EMBASE, TRIP DATABASE y COCHRANE Library, revisando solo publicaciones consideradas relevantes de acuerdo con la sistemática PICOT, priorizando ensayos clínicos aleatorizados (ECR), metaanálisis y revisiones sistemáticas siempre que las había disponibles, y basando la revisión electivamente en las guías clínicas de las principales sociedades científicas de la especialidad y en las fuentes de más reciente publicación. El presente documento no pretende sustituir en ningún sentido las vigentes guías de práctica clínica en patología aórtica de la European Society for Vascular Surgery (ESVS), Society for Vascular Surgery (SVS) y la American Heart Association (AHA) / American College of Cardiology (ACC). El objetivo es establecer un documento unificado y funcional enfocado en el aspecto diagnóstico en este sector de acuerdo con las informaciones de dichas fuentes y de literatura actualizada con un enfoque práctico y asistencial. Se presentan las principales modalidades de imagen diagnóstica no invasiva de utilidad en los distintos sectores aórticos y sus patologías, así como las principales recomendaciones de su uso y seguimiento de las distintas enfermedades de la aorta, con especial atención en la ecografía Doppler.

ECOGRAFÍA DOPPLER ABDOMINAL AÓRTICA

Ecografía Doppler abdominal

Se considera la exploración de primera línea para la detección precoz y el seguimiento de los aneurismas aortoilíacos y las disecciones de aorta abdominal aisladas gracias a su disponibilidad y baja invasividad. Para su realización se debe disponer de un *software* y *preset* adecuados para campos profundos y una sonda convexa de baja frecuencia (3,5-5 MHz). Presenta una sensibilidad y especificidad elevadas, pero con una importante variabilidad en función de la

experiencia del explorador, y con disminución de estas en contextos de urgencia o con maquinaria no optimizada. Se debe realizar un estudio completo con visualización del origen de ambas arterias renales hasta el origen de ambas arterias hipogástricas, y obtener en la/s zona/s dilatadas un diámetro lo más ortogonal posible en el eje anteroposterior (más reproducible y fiable que las medidas transversales u oblicuas) (1). La figura 1 ilustra un ejemplo de imagen obtenida de un aneurisma de aorta abdominal en modo B.

La medición se puede realizar con sistemáticas distintas, ya sea midiendo *inner-inner* (desde los bordes internos de la pared aórtica), *outer-outer* (desde los bordes externos de la pared aórtica), o *leading edge-to-leading edge (LE to LE)* (desde un borde interno a un borde externo). No hay evidencia en la literatura para hacer una recomendación diferencial entre estos sistemas de medición, aunque la literatura indica que la *inner-inner* parece ser más reproducible intraobservador e interobservador, mientras que la *outer-outer* presenta más cercanía a los valores de diámetro por angiotomografía (TC) o angiorresonancia magnética nuclear (RMN) (2,3). En cualquier caso, es imprescindible validar internamente en cada laboratorio vascular el método de medición elegido e informar en todas las exploraciones del método que se ha utilizado para obtener los diámetros, para poder hacer comparables los seguimientos. Puede recomendarse la medición *inner-inner* asumiendo que los controles pueden ser realizados frecuentemente por exploradores distintos y por su mayor uso en programas de cribado y estudios publicados al respecto. Las limitaciones de la ecografía Doppler en este caso son las propias de la técnica: mala ventana acústica por obesidad, abdomen hostil o abundante gas abdominal, los cambios de diámetro en sístole-diástole, la imposibilidad de realizar mediciones exactas para planificar intervención endovascular, y la no colaboración posicional o respiratoria del paciente. Estos supuestos pueden controlarse, al menos parcialmente, con el ayuno del paciente, sincronizando la exploración para medir diámetros en sístole sobre

electrocardiograma, buscando ventanas de insonación laterales y, en muchos casos, por experiencia del explorador en la optimización de parámetros ecográficos (4,5). La figura 2 muestra las diferentes opciones de medición que se han comentado.

La sistemática de exploración para aneurismas aortoilíacos recomendada es:

- Posición del explorador a la derecha del paciente, con este en decúbito supino, y extensión dorsal para extender al máximo la cavidad abdominal.
- Se recomienda ayuno mínimo de 4 horas para reducir el gas abdominal.
- Realizar un primer barrido transversal para situarse anatómicamente, desde el borde inferior esternal hasta el borde púbico superior, con presión progresiva con la sonda y pidiendo movimientos respiratorios superficiales.
- Puede valorarse el uso de gel ecográfico tibio para evitar provocar defensa muscular al gel frío al contacto con la sonda.
- Iniciar visualizando la posición y permeabilidad de ambos *ostium* renales y, en casos de buena ventana acústica y si es necesario, progresar en sentido más craneal. Barrido en sentido distal intentando mantener ortogonalidad (obtener siempre la imagen más esférica posible de la sección aórtica) hasta la bifurcación de las arterias ilíacas comunes. Valorar la visualización y permeabilidad de la arteria mesentérica inferior (AMI).
- Seguir cada eje ilíaco hasta visualizar los orígenes de las arterias hipogástricas y su permeabilidad por Doppler color y evaluando la curva Doppler y la velocidad pico-sistólica.
- Volver selectivamente a los tramos que se han visualizado dilatados, buscando la máxima ortogonalidad y hacer la medición anteroposterior máxima (y especificar la sistemática de medición). Se recomienda hacer 2-3 mediciones en cada punto de dilatación para maximizar la concordancia.

- Se recomienda ser descriptivo en cuanto a parámetros no numéricos que se pueden obtener de la exploración ecográfica, en concreto: descripción del nivel y forma de las calcificaciones, imágenes de disección o úlcera mural aórtica, trombo mural aórtico y sus características, componentes de la pared aórtica que sugieran inflamación, cambios en el retroperitoneo sugestivos de fibrosis, tortuosidad o elongaciones ilíacas y de la propia aorta.
- Puede considerarse una insonación con la sonda longitudinal al tramo aneurismático para describir morfología, componente mural trombótico, etc.
- En casos de mala ventana acústica anterior, se recomienda intentar el mismo recorrido ecográfico con el paciente en decúbito lateral derecho e hiperabducción del brazo izquierdo para optimizar la visualización del sector perirrenal.

Ecografía Doppler 3D volumétrica y posprocesado

Suponen una innovación tecnológica de utilidad en el estudio del aneurisma aortoiliaco, que se extiende con buena aceptación, pero aun escasamente validada. El primer enfoque tecnológico para aumentar la calidad y fiabilidad de la imagen ecográfica vascular fueron las mejoras de *hardware* (a nivel de transductores y sus rangos de frecuencias) y del *software* de procesado inmediato de la imagen. En este sentido, los *softwares* de detección de flujos ultrabajos, incluidos ya en la mayoría de los ecógrafos, o la realización de procedimientos con ecocontraste endovenoso ya supusieron una significativa mejora de la técnica en su momento. Sin embargo, el gran reto de todas las nuevas tecnologías en ecografía vascular siempre ha sido su aplicabilidad, es decir, que la nueva técnica ecográfica aporte el máximo beneficio diagnóstico sin complicar o alargar la exploración de una forma que resulte poco asumible en la práctica clínica diaria. En este sentido, los primeros protocolos de estudio ecográfico en 3D no consiguieron resolver, hace

unos 15 años, esta problemática. Se conseguían reconstrucciones tridimensionales de gran utilidad para el estudio de volúmenes (útil en patología aneurismática) o para el estudio morfológico de la placa de ateroma, pero con el coste de complejos protocolos de insonación, y de un trabajo de posprocesado informático que alargaban mucho cada estudio. En los últimos años, se ha conseguido un avance importante en la automatización de los estudios ecográficos 3D y de otras nuevas modalidades ecográficas, todas ellas orientadas a mejorar la fiabilidad anatómica de la exploración y a aportar nuevos datos útiles. En un inicio, la ecografía tridimensional encontró terreno abonado para expandirse en obstetricia, en cardiología y, en menor medida, en Urología. Dados los buenos resultados de la técnica, especialmente en Cardiología, a nivel de estudio de volúmenes de cavidades cardíacas, estudio morfológico del miocardio y el endocardio valvular y de la raíz aórtica, era esperable que los mismos preceptos se pudieran extrapolar a la patología vascular, en especial a la patología aneurismática de aorta. A nivel físico, la mayor dispersión en la refracción de los ultrasonidos se produce cuando hay mayor número de interfaces distintas acumuladas en el segmento de insonación, y también cuando el haz de ultrasonidos incide de forma tangencial al contorno de una estructura líquida esférica. Esto conlleva la necesidad de medir las estructuras vasculares esféricas o semiesféricas (aneurismas y pseudoaneurismas) de forma anteroposterior respecto a la zona de incidencia de los ultrasonidos, de cara a generar el menor artefacto posible en la medición (6).

Además, hay que tener en cuenta que la pared arterial está formada de distintas capas con características biofísicas diferenciales adyacentes en poco espacio, lo que se traduce a nivel ecográfico en muchas interfases acumuladas en poca distancia. Esto es lo que explica la dificultad y la variabilidad que se produce al incluir la medición, en ecografía 2D, de la pared arterial en los aneurismas. Si además se produce calcificación de la placa de ateroma, aún se reduce más la fiabilidad de la ecografía Doppler 2D dado que el

calcio, por sí mismo, ya es un importante elemento de distorsión ecográfica, que genera sombra posterior al mismo y artefacta de forma importante las mediciones que se obtengan de la zona subyacente. La ecografía Doppler vascular 3D, más allá de la plasticidad gráfica de los resultados y de aportar información volumétrica, aparece en gran parte como una solución al menos parcial al problema de las formas esféricas y de las interfases acumuladas de la ecografía 2D (3,6,7). En la actualidad, existen básicamente tres formas de obtener imágenes ecográficas vasculares en 3D:

- *Sistemas mecánicos*: dispositivos eco-Doppler donde el transductor contiene un único set de cristales piezoeléctricos acoplados a un motor interno que los mueve, adquiriendo una serie de imágenes 2D adyacentes. Estas imágenes son posprocesadas componiéndolas en una reconstrucción 3D. Como principal limitación, pueden adquirir por reconstrucción un segmento de volumen relativamente reducido. La figura 3 ilustra este sistema de barrido mecánico.
- *Sistemas matriciales*: dispositivos eco-Doppler donde el transductor contiene diferentes sets adyacentes de cristales, que llegan a contener 9000-10 000 cristales piezoeléctricos. Por su estructura, y a través de una secuenciación electrónica automatizada, la sonda recoge, sin movimiento de esta, imágenes ecográficas 2D en los tres planos. Este tipo de sondas alcanzan una zona de barrido mayor que las mecánicas y por lo tanto adquieren un volumen de estudio mayor, si bien aún limitado. Esto implica que no se pueden estudiar en una sola insonación grandes longitudes de vasos. La figura 4 ilustra el funcionamiento de un sistema matricial.
- *Sistemas freehand 3D*: consisten en el acoplamiento entre una sonda ecográfica 2D convencional y un sistema externo de posicionamiento, dentro de un campo óptico o magnético. Se obtienen imágenes planares 2D convencionales adyacentes que

tendrán que ensamblarse en el posprocesado a datos de volumen. El procedimiento se vuelve significativamente más lento y laborioso, pero la libertad del explorador es mayor y se pueden registrar largos tramos vasculares que se ensamblan posteriormente, en el posprocesamiento. La figura 5 ilustra este tipo de procesado.

En todos los casos, los datos volumétricos se pueden exportar para su análisis. Este puede incluir el ensamblado de distintas obtenciones de volúmenes adyacentes, corrección de estos, edición gráfica del estudio en zonas de interés (del inglés, *ROI*) o bien para analizar otros datos que se pueden extrapolar de la volumetría obtenida (análisis de elementos finitos y de tensiones de pared arterial, estudios de actividad / densidad de placas de ateroma). A este fin, hay distintos *softwares* disponibles, algunos específicamente diseñados para tratar datos DICOM de imagen ecográfica (como Philips QLab Cardiovascular®), y otros de estudio de radioimagen más general (Osirix®, Trimensio®, Impax®).

La ecografía Doppler vascular 3D parece ser la herramienta que pueda solucionar la heterogeneidad de mediciones de diámetros en función del protocolo de medición antes explicado (*inner-inner / outer-outer / LE to LE*) y las discrepancias entre valores de diámetro eco Doppler / angio TC. En primer lugar, ya sea en sistemas matriciales automatizados o en el posprocesamiento manual tras adquirir la imagen volumétrica, la ecografía 3D permite resolver, al menos en parte, la variabilidad por mala orientación del transductor (es decir, al hecho de obtener un diámetro máximo anteroposterior suponiendo estar perpendicular al eje longitudinal del vaso, cuando en realidad no se está). Los estudios disponibles sugieren que la ecografía 3D, gracias a buscar el diámetro transversal máximo orientando la estructura volumétrica en el espacio (realizando un *centerline* de medición, automatizado o manual), reduce la variabilidad interexplorador reportada en la ecografía 2D. El uso del

diámetro anteroposterior o el máximo transverso obtenido en la volumetría orientada en los ejes espaciales del aneurisma de aorta abdominal es a discreción del explorador y su validación interna, si bien el anteroposterior se ha descrito como mejor para correlacionar con el anteroposterior por eco 2D convencional, y el transverso máximo como el más cercano al diámetro máximo por angio TC, excepto en los casos de aneurismas muy irregulares / excéntricos, donde el anteroposterior sería el más fiable (3,7-9).

Por otro lado, el análisis por composición de distintos planos permite una mejor estimación del grosor y contorno de la pared arterial aórtica. Esto permite obtener un diámetro más cercano al que se obtendría por angio TC (en función de la fuente consultada, la diferencia media de diámetros máximos por eco 2D frente a angio TC llega a ser de hasta -5 mm en la ecografía, mientras que en ecografía 3D la diferencia se llegaría a reducir a menos de -2 mm). El análisis de la pared aórtica se puede hacer en el posprocesado cuando se han obtenido los datos DICOM volumétricos, pero muchos sistemas con sonda matricial ya incluyen *software* de semiautomatización del proceso, con lo que, una vez adquirida la imagen, el propio *software* ya hace una estimación del grosor de la pared arterial a través de una comparativa con centenares de modelos ecográficos aórticos incluidos en el dispositivo, dando un resultado provisional que se puede corregir manualmente si así se considera.

Las figuras 6 y 7 ilustran estas posibilidades de la ecografía 3D.

En tercer lugar, parece prometedora la aplicación de la ecografía 3D aórtica en el seguimiento ecográfico de los tratamientos endovasculares. Hay trabajos que sugieren que, en el caso de pacientes portadores de endoprótesis aórtica con endofuga de bajo flujo, la ecografía convencional 2D puede no detectar flujos en el saco aneurismático y no verse variaciones claras en el diámetro aórtico anteroposterior máximo, pero en cambio podrían detectarse aumentos en el volumen del saco aneurismático. Esto parece tener gran aplicabilidad práctica en un contexto en el que las angio TC se

intentan limitar (por menor disponibilidad y efectos secundarios de la radiación ionizante y el contraste yodado, así como su mayor coste sanitario), y con pacientes muchas veces excesivamente irradiados y con insuficiencia renal crónica de base (7).

Finalmente, es interesante mencionar la morfología aneurismática como información a tener en cuenta. Es ampliamente sabido que ciertas morfologías aneurismáticas se asocian a mayor riesgo de rotura en menores diámetros aórticos. La valoración morfológica del aneurisma por ecografía 2D convencional es muy limitada, dado que, en asociación a angulaciones aórticas o en caso de mala ventana acústica abdominal, un aneurisma excéntrico, atípico o sacular puede pasar inadvertido o al menos infraestimado. La reconstrucción 3D de la patología aneurismática aporta un valor añadido al darnos una imagen estructural global del aneurisma. En este sentido, si se obtiene una imagen volumétrica completa y de suficiente calidad, se puede introducir posteriormente en programas de análisis biomecánico de estructuras. Estos programas permiten obtener datos de estimación biofísica de la pared del aneurisma como el estrés pico de pared (del inglés, *peak wall stress*) o la rigidez arterial. Estos parámetros se obtienen a través del denominado análisis de elementos finitos, una metodología de análisis de estructuras ampliamente utilizada en arquitectura e ingeniería, en la que se divide una estructura (en este caso el aneurisma con su forma detallada) en múltiples subunidades muy pequeñas y se somete a nivel teórico a las condiciones de presión, cizallamiento y tensión a las que estaría sometida cada subunidad en condiciones reales (flujo adyacente, tensión arterial, distensibilidad asociada). Esto permite predecir las zonas de pared aneurismática sometidas a mayor tensión de pared y, por lo tanto, a potencialmente mayor riesgo de rotura. Este tipo de análisis ha sido realizado en grandes series sobre imágenes de angio TC y de angio RMN. Sobre ecografía Doppler 3D los trabajos disponibles son menores, sobre la base de series más cortas de casos, dado el alto coste de las licencias de *software*

específicos y al laborioso trabajo de posprocesado que suponen (10-12). La figura 8 muestra el posprocesado ecográfico para la obtención de los elementos finitos.

Por ese motivo, de acuerdo con la evidencia disponible, se recomienda realizar la ecografía 3D volumétrica en patología aortoilíaca cuando se disponga de la tecnología y de experiencia del equipo explorador, siempre como complemento de la ecografía Doppler abdominal 2D convencional, haciéndola en el mismo acto exploratorio para obtener información complementaria tanto en seguimiento de aneurismas aortoilíacos como en controles de reparaciones endovasculares (9).

ECOGRAFÍA INTRAVASCULAR (IVUS)

La ecografía intravascular (IVUS) es una modalidad diagnóstica valiosa para el diagnóstico de enfermedades en la aorta y los territorios ilíacos. Proporciona imágenes transversales detalladas y en tiempo real de la luz y la pared del vaso, lo que permite evaluar la gravedad de la enfermedad, la morfología de la placa y las dimensiones del vaso. IVUS es particularmente útil para evaluar la presencia de aterosclerosis, estenosis u oclusiones, guiar las decisiones de tratamiento y ayudar en la selección de las intervenciones apropiadas. IVUS es especialmente útil guiando tratamientos endovasculares de patologías complejas de la aorta abdominal y torácica. Es especialmente útil en el caso de las disecciones aórticas para distinguir la luz falsa de la verdadera (Fig. 9). Permite reducir la cantidad usada de contraste yodado en los tratamientos endovasculares y en las imágenes de comprobación de estos (9,13).

IVUS permite la visualización en tiempo real de la pared del vaso y la identificación de diferentes componentes de la placa, incluidas calcificaciones, tejido fibroso y placas ricas en lípidos. Proporciona información sobre la carga, la excentricidad y la vulnerabilidad de la placa, lo que ayuda a la estratificación del riesgo y la planificación del

tratamiento. Además, proporciona mediciones precisas de la gravedad de la estenosis y ayuda en la indicación de intervención o revascularización. Una de las utilidades más destacables de IVUS son las mediciones precisas de las dimensiones de los vasos, incluidos el diámetro y el área de los vasos. Ayuda a determinar el tamaño del vaso diferenciando sístole y diástole: es una herramienta de medición en tiempo real (14).

Utilidad para la planificación

Las imágenes IVUS ofrecen una visualización de alta resolución y en tiempo real de la pared y la luz aórtica, lo que permite evaluar la morfología del vaso, la gravedad de las estenosis, las dimensiones y las patologías intraluminales en el diagnóstico de enfermedades en los territorios aortoiliacos (15). Según un estudio retrospectivo de su uso para medición en el tratamiento endovascular de la patología de la aorta torácica (TEVAR), en pacientes con disección aórtica de tipo B, la medición con IVUS comparada con angio TC ofrece beneficios en el remodelado aórtico. Los pacientes se distribuyeron en dos grupos: 20 recibieron tratamiento con TEVAR después de la medición con IVUS, mientras que 25 fueron planificados mediante angio TC. En más de un 40 % de pacientes, la medición con IVUS llevó a cambios en la elección del diámetro de la endoprótesis aórtica, con más frecuencia hacia un aumento en el diámetro de las endoprótesis (16).

IVUS es particularmente útil para guiar la selección y el implante de la endoprótesis y garantizando una selección del dispositivo y colocación precisa. En este sentido, IVUS es una herramienta quirúrgica que no solamente ayuda en la selección de los dispositivos y en el diagnóstico preciso de las patologías aórticas. IVUS permite la localización precisa de los *ostia* de las arterias arteriales sin necesidad de radiación ionizante o de uso de contraste yodado. Permite situar las referencias habituales en los tratamientos aórticos endovasculares, como es la salida de la subclavia izquierda en caso de TEVAR o de la arteria renal más baja o de la hipogástrica en caso

de reparación endovascular de aneurismas de la aorta abdominal (EVAR). Como referencias accesorias y que ayudan a orientar correctamente la circunferencia aórtica hay que destacar la vena innominada, que cruza el arco aórtico antes de la salida del tronco braquiocefálico y la vena renal izquierda, situada en la cara anterior aórtica antes de la salida de las arterias renales. Estas dos venas son fácilmente visualizadas en la IVUS y suponen unas referencias anatómicas valiosas en la orientación durante la navegación en la ecografía intravascular. Una ventaja adicional de IVUS en la localización de las arterias renales e hipogástricas es que permite evitar el *parallax* que tenemos en la proyección anteroposterior con angiografía con contraste. Podemos realizar las medidas longitudinales con un mismo catéter de IVUS, además centrimetrado, sin tener que cambiar las proyecciones, disminuyendo la radiación ionizante y el volumen de contraste usados en el procedimiento EVAR (17,18).

La asistencia con IVUS tiene un valor adicional en pacientes con rotura aórtica inminente o ya existente, especialmente después de un traumatismo contuso donde la estimación precisa del diámetro del vaso en el momento de la angio TC es difícil debido al escaso llenado volumétrico. Ya se ha demostrado la utilidad del uso de IVUS en pacientes con condiciones hemodinámicas deterioradas. IVUS proporciona una evaluación en tiempo real de los diámetros aórticos justo antes de TEVAR con una identificación exacta de la zona de anclaje proximal y distal. Si la calidad de imagen de la angio TC es deficiente, IVUS puede proporcionar una medición exacta en estas regiones de interés y ayudar a guiar la intervención en tiempo real. Sin embargo, se debe tener en cuenta la tendencia a sobreestimar los diámetros lumbales en IVUS, especialmente en el arco aórtico. La posible discrepancia entre una verdadera luz y un injerto endovascular podría continuar hacia la aorta descendente, lo que resulta en un sobredimensionamiento distal con el riesgo de una

nueva entrada inducida por el injerto en la región distal, una complicación rara, pero potencialmente mortal (17-19).

Utilidad en el seguimiento de tratamientos aórticos

IVUS desempeña un papel potencial en el seguimiento después de la reparación de enfermedades en la arteria de la aorta y los territorios ilíacos. Permite la evaluación de los resultados del tratamiento, la identificación de posibles complicaciones y el seguimiento de la progresión de la enfermedad. Es particularmente útil para evaluar la permeabilidad de *stents* o injertos, detectar reestenosis y evaluar la cicatrización y remodelación de vasos después de la reparación. En caso de patología ocluyente, IVUS puede ayudar a evaluar la integridad, expansión y aposición de *stents* o injertos (15,18-21).

TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA (ANGIO TC)

La angio TC desempeña un papel esencial en el diagnóstico y el tratamiento de la patología aórtica, tanto de los aneurismas como de las disecciones y síndromes aórticos agudos. Tiene una sensibilidad y especificidad muy altas para síndromes aórticos agudos (SAA), disección aórtica, hematoma intramural (HIM), úlcera penetrante de aorta (UPA) y lesiones aórticas traumáticas. Además, puede identificar afectaciones de las coronarias o hemopericardio, ayudando a localizar los desgarros intimaes a modo de puertas de entrada en las disecciones (22). La angio TC multidetector desde la entrada torácica hasta las arterias femorales comunes debe considerarse la modalidad diagnóstica de primera línea para la patología de la aorta torácica descendente, como figura en la última guía de la ESVS de patología de la aorta torácica con nivel de recomendación IIaC (23-25).

Técnicas y protocolos de obtención de imagen por angio TC

TC sin contraste

La TC sin contraste, también conocida como TC no mejorada o TC simple, es una técnica de diagnóstico por imagen que utiliza rayos X para crear imágenes transversales detalladas del cuerpo sin el uso de un agente de contraste. En todos los estudios de la aorta toracoabdominal es imprescindible disponer de una fase simple o sin contraste basal que nos permita su comparación con las fases realizadas posteriormente con contraste, ya que de este modo podremos diferenciar y afinar estructuras que de otro modo pasarían desapercibidas, debido al artefacto que provocan si solo realizáramos una adquisición con contraste, como podrían ser, materiales quirúrgicos de sutura como parches de teflón a modo de *pledgets* aórticos, materiales de embolización, estructuras metálicas de nuestros *stents* o endoprótesis, etc. La TC sin contraste puede detectar y cuantificar con precisión la extensión de la calcificación dentro de las paredes arteriales, proporcionando información valiosa sobre el grado de afectación de los vasos y sus posibles complicaciones. Por este motivo, deberíamos realizar siempre una TC sin contraste en aquellas exploraciones *de novo*, en el primer control posquirúrgico, independientemente de que sea una reparación endovascular o mediante cirugía clásica, y en aquellos pacientes con dolor torácico, en los que se sospeche un SAA a su llegada a urgencias (26).

TC multidetector

Con la técnica de exploración helicoidal, estos escáneres de TC tienen una amplia cobertura del eje z en una exploración. Ello proporciona una exploración muy extensa con una sola contención de la respiración por parte del paciente. Sin embargo, actualmente los escáneres de gama alta con 128 o más coronas también tienen el potencial de acortar la duración de la exploración, mejorando la resolución espacial o explorar un órgano en una sola rotación del *gantry* sin mover la mesa del paciente (27-29). El grosor del corte en los estudios de TC de patología aórtica es un factor crucial que influye

en la calidad de las imágenes y en la precisión diagnóstica. A continuación, se presentan los puntos clave sobre la importancia del grosor del corte en los estudios de TC de patología aórtica:

- *Resolución espacial:* el grosor del corte tiene un impacto directo en la resolución espacial de las imágenes. Un grosor del corte más delgado mejora la resolución espacial y permite una visualización más detallada de las estructuras aórticas.
- *Artefactos de volumen parcial:* los artefactos de volumen parcial pueden ocurrir cuando una estructura no está completamente contenida en un solo corte. Por lo tanto, se recomienda un grosor del corte lo más delgado posible para reducir estos artefactos.
- *Tiempo de adquisición:* un grosor del corte más delgado puede aumentar el tiempo necesario para adquirir una serie completa de imágenes, lo que puede ser problemático en pacientes con dificultades respiratorias o en aquellos que requieren una adquisición rápida debido a su estado clínico. Es importante encontrar un equilibrio entre la resolución espacial deseada y el tiempo de adquisición adecuado para cada caso individual.
- *Mejora de la resolución temporal:* normalmente, los pacientes con enfermedades aórticas son de edad avanzada, y la contención estricta de la respiración durante el proceso de exploración supone un reto para esta población. Para superar este reto, la resolución temporal de los escáneres recientes se ha aumentado a 0,275-0,35 segundos/rotación.
- *Evaluación de estructuras vasculares:* al seleccionar el grosor del corte, es esencial considerar la capacidad de visualizar y evaluar adecuadamente todas las porciones de la aorta y sus ramas vasculares. Se pueden utilizar técnicas de reconstrucción multiplanar para obtener una mejor visualización en casos donde el grosor del corte sea limitado.

La exploración con TC de la aorta debería iniciarse a nivel del cuello y llegar hasta la región inguinal para poder estudiar la aorta al completo y sus ramas principales incluyendo el inicio de los troncos supraaórticos y la región femoral. El grosor de los cortes podría ser de 1-5 mm para las imágenes de TC sin contraste y de 1 mm para las imágenes de TC con contraste (30-33).

Angio TC con contraste: administración de contraste intravenoso y protocolos de adquisición optimizados para la obtención de imágenes en fase arterial y venosa

La angio TC es una modalidad de imagen inestimable ampliamente empleada en la práctica clínica. La angio TC se refiere a la adquisición de imágenes de TC tras la administración de un agente de contraste intravenoso. El agente de contraste, normalmente un compuesto yodado, se administra para mejorar la diferenciación de las estructuras y proporcionar información valiosa sobre la vascularización, la perfusión y la caracterización de los tejidos. El agente de contraste se administra a través de un catéter intravenoso periférico, preferiblemente colocado en una vena grande, como la antecubital o en el dorso de la mano. Normalmente se utiliza una inyección en bolo del agente de contraste para garantizar un realce rápido y homogéneo de la región diana. Usualmente se suele utilizar la extremidad superior izquierda, por ser la no dominante en la mayoría de los pacientes, sin embargo, debido al artefacto que puede provocar el contraste en la vena central de infusión durante la adquisición en fase arterial, en aquellos casos en los que queramos estudiar especialmente la región aórtica adyacente a la arteria subclavia izquierda (puertas de entrada en disecciones de tipo B, HIM localizados), sería conveniente inyectar el agente de contraste por una vena periférica de la extremidad superior derecha (Figs. 10 y 11).

— *Regiones de interés (ROI)*: en el contexto de la evaluación de la patología aórtica, la definición de ROI adecuadas es crucial para el análisis y la cuantificación precisos de las imágenes. Las ROI

suelen situarse en el lumen aórtico, la pared aórtica y las estructuras adyacentes de interés. La selección de las ROI puede variar en función de la patología aórtica específica que se esté investigando. Por ejemplo, en los casos de aneurisma aórtico, las ROI se colocan en el segmento dilatado de la aorta y en la aorta normal adyacente para su comparación. En los casos de disección aórtica, se colocan ROI dentro de los lúmenes verdadero y falso para evaluar sus características respectivas. Las ROI permiten medir las dimensiones aórticas, evaluar los patrones de realce y calcular los valores de atenuación, lo que ayuda al diagnóstico y seguimiento de la patología aórtica.

Los protocolos de infusión de contraste son pautas y directrices establecidas para administrar el medio de contraste durante una angio TC de la aorta. Los principales puntos para considerar en los diferentes protocolos de infusión de contraste son:

- *Volumen de infusión*: el volumen de contraste a administrar depende del tamaño del paciente y del segmento aórtico a estudiar. Dependiendo de la región que queramos estudiar, podemos utilizar más o menos volumen de contraste.
- *Velocidad de infusión*: la velocidad de infusión determina la tasa a la que se administra el contraste en el torrente sanguíneo. Es esencial ajustar la velocidad de infusión según el objetivo clínico y la técnica de adquisición utilizada.
- *Técnicas de infusión*: existen diferentes técnicas de infusión, como la infusión manual, la inyección a través de una bomba o la utilización de sistemas de inyección automática.
- *Fases de adquisición*: la secuencia temporal de las fases de adquisición es crucial para la visualización adecuada de la aorta y sus ramas. La adquisición arterial temprana es esencial para evaluar las enfermedades aórticas agudas, mientras que la adquisición venosa tardía puede ayudar a detectar patologías venosas o realizar reconstrucciones 3D (30,34). La resolución

espacial de los escáneres recientes es de hasta 0,5 mm, con ciertos escáneres de última generación que alcanzan una resolución espacial de hasta 0,25 mm. La alta resolución espacial permite la evaluación definitiva de ramas laterales y pequeños desgarros del colgajo intimal o ulceraciones de la pared aórtica (35,36).

- *Protocolos de adquisición optimizados para la obtención de imágenes en fase arterial:* las imágenes en fase arterial desempeñan un papel crucial en la evaluación de diversas anomalías vasculares, la caracterización de tumores y los trastornos isquémicos. Para obtener imágenes de fase arterial de alta calidad, debe tenerse en cuenta:
 - *Momento de administración del contraste:* el tiempo es crítico para asegurar un realce arterial óptimo. El bolo de contraste debe programarse para que coincida con la llegada del agente de contraste a la fase arterial.
 - *“Bolus tracking”:* el seguimiento de bolo representa el método más extendido para programar el inicio de la exploración de angio TC con la inyección de medios de contraste. La técnica monitoriza el aumento del contraste en un vaso definido por el usuario y, una vez alcanzado un umbral, se inicia la exploración tras un retardo de activación predefinido y fijo. Proporciona una atenuación uniforme del contraste para la angio TC de la aorta (37).
 - *Velocidad y duración de la inyección:* es deseable una alta velocidad de inyección para conseguir un realce arterial rápido y homogéneo. A menudo se utiliza un inyector de potencia para administrar el agente de contraste a una velocidad de 3-5 ml/s.
 - *Parámetros de exploración:* la optimización de los parámetros de adquisición ayuda a capturar con precisión la información de la fase arterial. Estos pueden incluir el uso de un grosor de corte fino (inferior a 1 mm) para mejorar la resolución espacial, la sincronización electrocardiográfica para minimizar los

artefactos de movimiento en las imágenes cardíacas y la optimización de los parámetros de adquisición.

- *Adquisición de la fase venosa:* la adquisición en fase venosa en angio TC con contraste se refiere a la fase de imagen cuando el medio de contraste intravenoso ha circulado a través del torrente sanguíneo del paciente, resaltando las estructuras venosas y realzando la opacificación vascular y tisular. En el contexto de la evaluación de la patología aórtica, la adquisición en fase venosa permite una evaluación óptima de la pared aórtica, la detección de HIM, la evaluación de trombos murales, la identificación de la dilatación aneurismática y la caracterización de las estructuras circundantes. Generalmente, la adquisición de la fase venosa se realiza aproximadamente 60-70 segundos después del inicio de la inyección del medio de contraste. Este retraso permite una opacificación adecuada del sistema venoso (38).
- *Nefrotoxicidad:* un riesgo potencial a tener en cuenta. Sin embargo, según declaraciones de consenso recientes del American College of Radiology y la Fundación Nacional del Riñón, es probable que se haya sobrestimado el riesgo de lesión renal aguda en pacientes con función renal alterada después de la exposición a medios de contraste yodados. Para los pacientes con mayor riesgo de nefropatía inducida por contraste, debe considerarse la expansión de volumen con soluciones isotónicas de cloruro sódico o bicarbonato sódico antes de la administración del contraste (recomendación de nivel IIaC en la última guía de patología de la aorta torácica de la ESVS) (23,39-42).

Angio-TC de doble fuente: ventajas en la reducción de artefactos de movimiento y aumento de la resolución temporal

La angio TC de doble fuente es una técnica de imagen de última generación que ofrece ventajas significativas en términos de reducción de artefactos de movimiento y aumento de la resolución temporal. La angio TC de doble fuente utiliza dos fuentes de rayos X y dos conjuntos de detectores correspondientes desplazados un cierto ángulo. Esta configuración permite la adquisición simultánea de datos a dos niveles de energía o corrientes de tubo diferentes, lo que se traduce en varias ventajas clave. En primer lugar, la configuración de doble fuente reduce los artefactos de movimiento al minimizar el impacto del movimiento del paciente. En segundo lugar, la angio TC de doble fuente mejora la resolución temporal, que es crucial para captar procesos dinámicos y estructuras que cambian rápidamente.

Angio TC sincronizada con el ECG: sincronización con el ciclo cardíaco para mejorar la calidad de la imagen y evaluar los cambios dinámicos en la aorta

La angio TC controlada por electrocardiograma (ECG) es una técnica de imagen especializada que consiste en sincronizar la adquisición de imágenes de la angio TC con el ciclo cardíaco para mejorar la calidad de la imagen y evaluar los cambios dinámicos en la aorta. Esta técnica es especialmente útil para evaluar la función y la estructura del corazón y la aorta, así como para detectar y caracterizar enfermedades cardiovasculares. La principal ventaja de la angio TC sincronizada con el ECG es la posibilidad de evaluar los cambios dinámicos en la aorta, lo que permite evaluar la anatomía aórtica, el flujo sanguíneo y detectar anomalías como aneurismas, disecciones o estenosis. Además, la angio TC con ECG permite evaluar la función cardíaca, como los volúmenes ventriculares, la fracción de eyección y las anomalías regionales del movimiento de la pared y arterias coronarias. La figura 12 ilustra lo comentado sobre la sincronización cardíaca.

Implicaciones clínicas del estudio aórtico por angio TC

El uso de la angio TC es cada vez más importante en la práctica clínica de los cirujanos vasculares debido a su naturaleza no invasiva y a su capacidad para proporcionar información anatómica precisa y detallada (26,31,32,43). La TC es una modalidad de imagen útil para detectar la carga aterosclerótica de la aorta torácica. La TC sin contraste se utiliza para evaluar la calcificación aórtica como marcador indirecto de la carga total de placa aterosclerótica. La angio TC con contraste permite evaluar el grosor de la pared arterial y la carga de placa aterosclerótica calcificada y no calcificada con una alta especificidad. Eso es especialmente importante en pacientes de edad avanzada que deban ser sometidos a algún tipo de reparación aórtica, ya sea de manera endovascular o convencional (44,45).

La medición precisa de los diámetros aórticos es esencial en la evaluación de la patología aórtica mediante TC, ya que estas mediciones tienen implicaciones pronósticas de rotura y son las que utilizaremos, tanto para determinar progresión de la enfermedad como para indicar actuaciones clínicas, ya sean médicas o quirúrgicas. Por ello, las mediciones deben ser reproducibles y precisas. Existen diferentes métodos para medir los diámetros aórticos, cada uno con sus ventajas y consideraciones. A continuación, se presentan los puntos clave de los diferentes métodos de medición, cómo se debe realizar y cuáles son los valores de referencia indexados:

- *Método de diámetro máximo:* este método implica medir el diámetro máximo de la aorta en un corte axial. Se selecciona el corte donde el diámetro es mayor, generalmente en la porción proximal de la aorta torácica. Es importante asegurarse de medir el diámetro perpendicularmente al eje largo de la aorta para obtener una medida precisa. La medición de la aorta debe realizarse a través de un corte transverso perpendicular al eje largo de la aorta en las ubicaciones segmentarias específicas y también deben tomarse mediciones en las ubicaciones aórticas que presenten cualquier anomalía. Si se ha adquirido un

conjunto de datos en 3D, se deben crear formatos multiplanares dedicados, ortogonales al eje de flujo aórtico en cada nivel de medición. Este enfoque proporciona informes de medición estructurados y repetibles en imágenes en serie y evita imágenes oblicuas que pueden sobrestimar el diámetro aórtico en niveles de mayor curvatura y tortuosidad (46,47).

- *Método de diámetro medio:* en este método, se mide el diámetro medio de la aorta utilizando un cálculo que tiene en cuenta el diámetro máximo y mínimo de la aorta en un mismo plano axial. El diámetro medio se calcula utilizando la fórmula:

$$\text{Diámetro medio} = \frac{\text{diámetro máximo} + \text{diámetro mínimo}}{2}$$

- Este método puede ser útil en casos de aorta con forma irregular o aneurismas fusiformes.
- *Método de índice aórtico:* los valores de referencia indexados se utilizan para tener en cuenta la variabilidad en el tamaño corporal de los pacientes. El diámetro aórtico se divide por la superficie corporal o el diámetro del cuerpo vertebral correspondiente para obtener un índice aórtico.

Es importante tener en cuenta que la elección del método de medición puede variar según el tipo de patología aórtica y la ubicación de la lesión. Se recomienda seguir las directrices clínicas pertinentes y utilizar métodos de medición estandarizados para obtener resultados precisos y reproducibles (31,48,49). Se estima que el grosor real de la pared aórtica medido con angio TC suele ser de 1 mm. En consecuencia, la medición del diámetro aórtico con ecocardiografía (utilizando la convención *inner-inner*) subestima sistemáticamente el diámetro aórtico medido con angio TC. Este artefacto técnico se produce en todos los segmentos de la aorta, no solo en la aorta ascendente (59). Una de las preocupaciones cuando medimos las dilataciones aneurismáticas es si medimos solo la luz de

manera *inner-inner* o también englobamos la pared aórtica. A nivel de la aorta torácica, puede no ser muy relevante en pacientes sanos, ya que la pared aórtica es extremadamente fina, pero esto cambia radicalmente cuando estudiamos patología crónica de tipo aterosclerótico, en donde se aprecian grandes cambios en la pared aórtica, o de patologías con engrosamientos de la pared (aortitis o HIM). Por ello es recomendable que el diámetro aórtico que se certifique en una angio TC sea incluyendo la pared. Cuando la pared aórtica está engrosada debido a la presencia de ateroma, HIM o aortitis, debe indicarse también el diámetro *outer-outer* (incluidas las paredes aórticas). En presencia de trombo intraluminal, la medición de la luz aórtica *inner-inner* debe excluir el trombo. Si el trombo es circunferencial, debe utilizarse en su lugar la convención de *outer-outer*. En disecciones, el diámetro *inner-inner* debe incluir tanto la luz verdadera como la falsa, indicando si esta última está parcialmente trombosada (50). También puede ser controvertido en qué fase debe tomarse una imagen de la aorta para medir su tamaño. ¿Debemos medir en sístole o en diástole? No hay consenso al respecto, aunque, sin embargo, desde que tenemos estudios por angio TC sincronizados parece que lo más correcto sería medir la aorta en una fase media diastólica. Los últimos consensos recomiendan realizar todas las mediciones del diámetro aórtico en diástole. La sístole se asocia a una dilatación aórtica de aproximadamente 2 mm. Varios autores han demostrado una concordancia óptima utilizando la medición por ecografía en el borde anterior y la medición por angio TC / angio RMN *inner-inner* al final de la diástole. Además, la mayoría de los estudios ecocardiográficos que demuestran los beneficios de la cirugía profiláctica se realizaron utilizando esta convención (51-54).

Referencias anatómicas de la aorta abdominotorácico: puntos a medir

La figura 13 ilustra los diversos diámetros que sistemáticamente deben valorarse en el estudio de la aorta torácica.

A nuestro modo de entender, y sin entrar en profundidad en la valoración de las arterias coronarias y en la válvula aórtica, por ser más específicos de los estudios cardiológicos propiamente dichos, una angio TC de aorta toracoabdominal debería valorar los siguientes puntos:

- Estudio de válvula aórtica y raíz.
- Morfología y tamaño de la aorta ascendente.
- Morfología y tamaño del cayado aórtico con especial atención a posibles variantes anatómicas de la salida de los troncos supraaórticos: troncos bovinos, salida de las vertebrales directamente de la aorta, subclavias aberrantes, divertículos de Kommerell.
- Anomalías del arco aórtico, tamaño y distribución de troncos supraaórticos.
- Presencia de coartaciones aórticas.
- Tamaño de la aorta (indexado).
- Ritmo de crecimiento (si disponemos de un estudio previo).
- Grado de ateromatosis / calcificación de la pared aórtica.
- Definir la zona de la aorta con mayor dilatación y los segmentos aórticos que están dilatados.
- Presencia, tipo y localización de síndromes aórticos agudos.

Evaluación de los aneurismas aórticos mediante angio TC

La medición del tamaño de un aneurisma aórtico mediante TC suele incluir dos parámetros principales: el diámetro transversal máximo y la longitud. El diámetro transversal máximo representa la dimensión más ancha del aneurisma y suele medirse perpendicularmente al eje de la aorta como hemos visto más arriba. Es un indicador clave del tamaño del aneurisma y suele utilizarse para controlar su crecimiento a lo largo del tiempo. La longitud del aneurisma se determina midiendo la distancia entre los extremos proximal y distal del aneurisma a lo largo de su línea central. No es tan importante como el diámetro, ya que simplemente transmite extensión de la

enfermedad y nos ayuda a planificar las intervenciones adecuadas. La precisión de las técnicas de medición es crucial para garantizar la coherencia y la fiabilidad de la toma de decisiones clínicas. Las mediciones manuales realizadas por radiólogos expertos o por médicos que utilizan programas informáticos especializados son el patrón de referencia para evaluar el tamaño del aneurisma aórtico en las tomografías computarizadas. Los métodos automatizados y semiautomatizados, que emplean algoritmos avanzados, pueden ayudar a mejorar la eficiencia y reducir la variabilidad entre observadores. No obstante, se sigue recomendando la verificación y el ajuste manuales de las mediciones.

Una rotura aórtica puede ser muy evidente cuando encontramos sangre fuera del espacio vascular a modo de hemotórax o de hemoperitoneo, pero puede ser más difícil de valorar en caso de presencia de roturas contenidas o de aortas consideradas “de riesgo” y hay hallazgos tomográficos que nos pueden ayudar en el diagnóstico. La longitud del aneurisma no suele tener relación con la rotura aórtica, aunque los aneurismas rotos suelen tener dimensiones anteroposterior y transversal significativamente mayores y suelen contener una menor cantidad de trombo que los aneurismas no rotos. La calcificación del trombo puede ser más frecuente en los aneurismas intactos que en los rotos. Hay características de atenuación del trombo que no se asocian a la rotura como el trombo homogéneo, difusamente heterogéneo o con patrones de halo periluminal de baja atenuación (55,56). Una discontinuidad de la calcificación mural se puede observar a veces en aneurismas rotos, y esta discontinuidad no es más útil en la exploración por TC cuando se demostraba que era nueva en comparación con una exploración anterior. Las semilunas de alta atenuación dentro del trombo mural solo se observaron en aneurismas rotos, según algunos autores (55-57). Algunos autores han descrito el concepto de transformación del trombo con extravasación de contraste en el trombo e irregularidad del lumen como signos de rotura inminente. Las semilunas de alta

atenuación en la pared de los aneurismas aórticos abdominales en TC sin contraste fueron descritas inicialmente como signo de rotura inminente (58). El hallazgo de un "signo de la media luna" radiográfico aislado sin otros signos de rotura aórtica definitiva (es decir, hemotórax, disrupción de la pared aórtica, hemorragia retroperitoneal) no es necesariamente un indicador de rotura aórtica inminente, pero puede encontrarse en el contexto de un crecimiento rápido del aneurisma. Muchos factores, incluidos otros hallazgos radiográficos asociados, el tamaño y la velocidad de crecimiento del aneurisma y la sintomatología del paciente, deben guiar el tratamiento del aneurisma en estos pacientes. Algunos estudios han observado que los pacientes con síntomas mínimos, aneurismas de tamaño inferior a 65 mm y sin otros hallazgos de imagen que indiquen inestabilidad del aneurisma, como el engrosamiento periaórtico, pueden ser tratados con éxito mediante una intervención electiva tras optimizar los factores comórbidos, sin que haya indicios de resultados adversos (59).

Evaluación del SAA mediante angio TC

El síndrome aórtico agudo (SAA) comprende una serie de afecciones interrelacionadas causadas por la alteración de la capa media de la pared aórtica, como la disección aórtica, el hematoma intramural (HIM), la úlcera penetrante aórtica (UPA) y la rotura contenida o no contenida de un aneurisma aórtico. Los SAA pueden ser mortales, por lo que es crucial un diagnóstico rápido y preciso. Estas entidades clínicas se pueden clasificar de formas distintas en función de criterios anatómicos o de extensión, o de clasificaciones más funcionales (clasificación de Stanford, de DeBakey, TEM) (45,49,50,60).

Disección de aorta

En disecciones, la función principal de la TC es confirmar el diagnóstico y proporcionar las mediciones de esta para poder decidir

el tratamiento más adecuado, ya sea médico o quirúrgico. Nos informa de los diámetros y extensión de la disección, de la localización y tamaño del desgarro intimal principal, o puerta de entrada, y nos describe la presencia y permeabilidad tanto de la luz verdadera como de la falsa. La figura 14 nos ilustra respecto a lo anterior. Es especialmente importante la distribución de las principales ramas aórticas, incluyendo los troncos supraaórticos y las ramas viscerales, y la perfusión de los órganos de cada territorio. La angio TC también es útil para reconocer las diferentes configuraciones potenciales del *flap intimal* cuando está afectada una arteria visceral, incluyendo si la rama se origina en la luz verdadera o en la falsa, si hay prolapso del colgajo en una rama (obstrucción dinámica) o si hay disección de la íntima que se detiene en una bifurcación (obstrucción fija). Por último, también es útil para diagnosticar la isquemia visceral, el derrame pericárdico y el hematoma periaórtico. Un protocolo de adquisición tardía toracoabdominal tardía (1 minuto después de la inyección del bolo de contraste) nos puede ayudar a distinguir entre un flujo lento en la luz falsa y una trombosis completa o la presencia de HIM. También mejora la detección de la perfusión visceral alterada y con frecuencia permite diagnósticos alternativos (50,61). Todo ello resulta fundamental para definir la actitud terapéutica y planificar intervención.

Hematoma intramural aórtico (HIM)

El HIM es una afección caracterizada por la acumulación de sangre dentro de las capas de la pared arterial, que suele producirse en la aorta. Es una entidad clínica importante que hay que diferenciar de las disecciones arteriales verdaderas debido a sus implicaciones en el tratamiento de los pacientes. Las disecciones arteriales verdaderas implican la creación de un canal falso dentro de la pared arterial, mientras que el HIM no implica la creación de una nueva luz (véase la figura 15).

- *HIM con proyecciones ulcer like*: las proyecciones de tipo úlcera HIM aórtico son áreas de excavación con bordes irregulares dentro de la pared aórtica, en pacientes HIM. El HIM se diagnostica sobre la base de un engrosamiento semilunar o circular de la pared superior a 5mm, en el contexto clínico del SAA.
- *Acúmulos sanguíneos intramurales* (Fig. 16): las proyecciones de tipo úlcera o *ulcer-like projections* (ULP) y los acúmulos sanguíneos intramurales, *intra-mural blood pools* (IBP), se asocian a menudo con el empeoramiento de la disección aórtica, lo que justifica una revisión cuidadosa. Los hallazgos radiológicos de los ULP y los IBP son muy similares, pero los ULP se centran únicamente en las consecuencias de las laceraciones de la íntima, mientras que los IBP se definen esencialmente como el resultado de la destrucción de las ramas vasculares debido a la disección aórtica. Las ULP se detectan en la aorta ascendente y descendente, mientras que las IBP solo se observan en la aorta descendente y abdominal. En general, se considera que las IBP son menos peligrosas que las ULP (38,62-64).

Úlcera penetrante aórtica (UPA)

Las placas ateromatosas complicadas en la aorta son lesiones ateroscleróticas que presentan características morfológicas distintivas asociadas con un mayor riesgo de eventos cardiovasculares. Las UPA son lesiones focales en la pared de la aorta que involucran la capa íntima y la media de la pared arterial. La UPA se define como una ulceración de una placa aterosclerótica aórtica que penetra a través de la lámina elástica interna en la media. La UPA representa el 2-7 % de todos los SAA. Una verdadera UPA debe distinguirse de otras imágenes “similares a úlceras” o *ulcer-like*. Los términos UPA o proyecciones similares a úlceras se refieren a un concepto morfológico de imagen, que incluye varias entidades de origen y

pronóstico muy diferentes, cada una de las cuales requiere una distinción diagnóstica de la úlcera aterosclerótica penetrante (50,60,65) (Fig. 17).

La tabla I resume y define las entidades disección aórtica aguda, UPA y HIM.

Evaluación de la patología ocluyente aortoiliaca mediante angio TC

La angio TC proporciona imágenes transversales detalladas de la anatomía arterial. Puede identificar la presencia de estenosis, oclusiones o aneurismas, y evaluar el grado de afectación de la enfermedad aterosclerótica. La angio TC permite cuantificar la gravedad de la estenosis y proporciona mediciones precisas de las reducciones del diámetro luminal. Debemos poner en valor la evaluación de la circulación colateral: la angio TC detecta la presencia y la extensión de los vasos colaterales en los casos de enfermedad oclusiva aortoiliaca. Ayuda a evaluar la compensación del flujo arterial a las extremidades inferiores, ayudando en la planificación del tratamiento y determinando las estrategias de revascularización, por ejemplo, al elegir entre un tratamiento endovascular con *stents* cubiertos o descubiertos que pueden respetar la circulación colateral, o en el tratamiento con cirugía abierta, elegir entre una vía retroperitoneal o una laparotomía media, que podría evitar la sección de los vasos epigástricos (66,67). Otro aspecto determinante que nos puede decantar por la TC frente a otras opciones es la capacidad en la identificación de calcificaciones y de las características de la placa: la TC puede detectar y caracterizar calcificaciones arteriales y placas ateroscleróticas. Proporciona información sobre la carga, la composición y la vulnerabilidad de la placa, lo que ayuda en la estratificación del riesgo y determina los enfoques de tratamiento apropiados. Podemos considerar una arteria difícilmente “clampable” en cirugía abierta y decantarnos por un tratamiento endovascular (68-70).

RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR (RMN) Y MODALIDADES

Descripción y principios básicos

La RMN aplicada al diagnóstico se basa en la obtención de imágenes mediante la aplicación de campos magnéticos potentes, y señales de radiofrecuencia, para la detección de señales emitidas desde el núcleo de los átomos del cuerpo humano. La mayoría utilizan una intensidad de campo magnético de 1,5 a 3 teslas. Según la medida de tiempo del proceso de excitación-relajación de los protones se divide en: el tiempo de relajación longitudinal (T1) y el tiempo de relajación transversal (T2). El T1 será diferente según la composición tisular, por ejemplo: la grasa será hiperintensa (T1 corto) y el líquido muy hipointenso (T1 largo). Sin embargo, la secuencia T2 nos presentará los líquidos muy hiperintensos (T2 largo), mientras que otros tejidos como el gas, el aire o el calcio los veremos hipointensos (T2 corto) (71).

Tipos de RMN o secuencias de pulso

Las secuencias de pulso son las diferentes técnicas de RMN que permiten obtener distintos protocolos de estudio, según la forma de aplicación de las señales de radiofrecuencia. Las más utilizadas son (71,72):

- *Secuencias de sangre negra (spin-echo, turbo spin-echo, HASTE):* se utiliza este término por la visualización del flujo aórtico como negro con una pared contrastada. Nos aportan información morfológica de la pared aórtica, por ejemplo, para valorar el contenido hemático del HIM o contenido lipídico de una placa de ateroma. También es útil, en secuencias poscontraste en T1 para la detección de actividad inflamatoria: aortitis, aneurismas micóticos o infección protésica (Fig. 18).
- *Secuencias de angio RMN con contraste:* se trata de secuencias potenciadas mediante quelatos de gadolinio para acortar el T1

y así aumentar la señal de la sangre circulante. Por lo tanto, ofrecen información anatómica y de flujo (multifásicas). Se deben analizar con reconstrucciones de posprocesado como *maximum intensity projection* (MPI) y *multiplanar reconstruction* (MPR). Hay ciertas ventajas del contraste utilizado para la RMN sobre el contraste yodado utilizado para el angio TC, como el menor volumen necesario de contraste, menor nefrotoxicidad e incidencia de reacciones adversas.

- *Secuencias de cine RMN*: se obtienen mediante secuencias de “sangre blanca o brillante” o eco de gradiente. La sangre que circula es hiperintensa y nos ofrece información anatómica y de flujo. Tienen alta resolución temporal y permiten obtener muchas imágenes con cada ciclo cardíaco. Pueden demostrar el flujo dentro de los lúmenes aórticos (verdadero o falso), y las áreas de baja señal pueden verse con patrones de flujo complejos asociados con estenosis valvular o regurgitación. Puede ser muy útil para el estudio de coartación aórtica o valvulopatías (50).
- *4D flow*: las imágenes de flujo en cuatro dimensiones (4D) incorporan el tiempo como una cuarta dimensión, están basadas en imágenes de contraste de fase tridireccional. Por lo tanto, la RMN de flujo 4D es una técnica de imagen a partir de la cual se pueden obtener datos tanto cualitativos como cuantitativos sobre las propiedades hemodinámicas (74). Los vectores de velocidad del flujo sanguíneo se pueden utilizar para generar imágenes reconstruidas y resueltas en el tiempo, que muestran representaciones coloridas de patrones de flujo (Fig. 19).

El tiempo de adquisición está entre 5 y 25 minutos. La RMN de flujo 4D se puede adquirir sin agentes de contraste, pero el uso de estos agentes mejora la relación velocidad-ruido (VNR) y la distinción de los tejidos circundantes. Se recomienda el electrocardiograma y la

sincronización respiratoria para reducir los artefactos de movimiento. La RMN de flujo 4D tiene algunas limitaciones, como un tiempo de adquisición más largo y una resolución espacial y temporal más baja. La mayor complejidad de los datos de RMN con cobertura volumétrica (flujo 4D) ofrece la oportunidad de obtener información más completa sobre los cambios complejos del flujo sanguíneo en la enfermedad cardiovascular, en comparación con las técnicas 2D estándar. Se han explotado estas ventajas de las imágenes de flujo multidimensional para derivar nuevos parámetros hemodinámicos fisiológicos y fisiopatológicos, como el estrés de pared (*WSS*, *wall shear stress*), velocidad de la onda del pulso (PWV), mapas de diferencia de presión en 3D o vorticidad (rotación en el plano de una partícula de fluido alrededor de un eje común y es comparable a la velocidad angular de los objetos sólidos). Estos parámetros hemodinámicos pueden proporcionar información cuantitativa sobre el impacto de la enfermedad vascular en los patrones de flujo sanguíneo aórtico o pulmonar (75-77). Por ejemplo, la arterioesclerosis aórtica se traduce en una disminución del WSS, así como de la vorticidad. En un aneurisma aórtico, sin embargo, el WSS aumenta y la vorticidad disminuye.

Utilidad de las RMN en patología aórtica aneurismática y SAA

La RMN nos permite la determinación de diámetros aórticos con gran exactitud, obtenidas mediante planos sagitales y coronales. Además, como se ha comentado en anteriores apartados, también nos puede proporcionar información sobre las características de la pared aórtica, SAA, enfermedades inflamatorias, así como información sobre cuantificación de flujos (72,78). Ocupa un lugar muy destacado en el diagnóstico de cardiopatías y aortopatías congénitas.

- SAA: la angio RMN es una técnica indicada en el diagnóstico de SAA. Es especialmente útil en el HIM al poder caracterizar la cronicidad del sangrado de pared (Fig. 20). Una alta intensidad de señal en la pared aórtica, *spin echo* en T1, indica un

hematoma subagudo, mientras que en un hematoma agudo la señal es isodensa. En disección aórtica, las secuencias *spin echo* sincronizada con el ciclo cardíaco mediante electrocardiograma y las secuencias cine-RMN aportan información sobre diámetros aórticos, correcta visualización de la puerta de entrada y valoración de los flujos lentos cuando se utiliza gadolinio.

- *Aneurismas aórticos*: mediante la utilización de angio RMN podemos obtener información fiable sobre diámetros, relación con vasos arteriales y presencia de trombos (secuencia eco-gradiente). Tiene especial interés en los pacientes con conectivopatías, ya que permite estudiar la válvula y raíz aórtica, frecuentemente afectadas. Además, en el seguimiento, la elasticidad aórtica ha demostrado ser un factor predictor de complicaciones aórticas (79).
- *Coartación aórtica*: la angio RMN es la técnica de elección en el diagnóstico y seguimiento de esta entidad. Puede caracterizar anatómicamente la coartación y calcular gradientes mediante la cuantificación de velocidades.

Utilidad de la angio RMN en enfermedad obliterante aortoilíaca

La angio RMN es una modalidad de imagen útil para el diagnóstico de la enfermedad arterial periférica en los territorios aórtico e ilíaco. En una revisión sistemática de 32 estudios prospectivos que comparaban la angio RMN con la angiografía de sustracción digital, la angio RMN consigue una alta sensibilidad (95 %) y especificidad (96 %). La angio RMN es particularmente útil para evaluar la extensión de la enfermedad aterosclerótica, identificar estenosis u oclusiones y evaluar la circulación colateral. Nos permite la evaluación detallada de las paredes de los vasos, la morfología de la placa y la presencia de estenosis u oclusiones. Además de la información anatómica, la angio RMN puede proporcionar una evaluación funcional y

hemodinámica (50). Mediante el uso de técnicas mejoradas con contraste, como imágenes de resolución temporal o RMN dinámica mejorada con contraste, se puede evaluar la perfusión de los vasos colaterales, proporcionando información sobre las vías de suministro de sangre compensatorias (66). Así, la angio RMN ofrece una evaluación integral de la enfermedad ocluyente aortoilíaca en un solo examen. Esto puede ayudar en la planificación del tratamiento y en la toma de decisiones, en particular al seleccionar la estrategia de revascularización más adecuada (80). Sin embargo, es importante tener en cuenta que, en general, la angio RMN no es la primera opción para evaluar la permeabilidad de los *stents*, tratamiento habitual en el manejo de la patología oclusiva aortoilíaca (81).

Contraindicaciones de la angio RMN

- *Fibrosis sistémica nefrogénica en pacientes con insuficiencia renal crónica*: entidad clínica fundamentalmente dermatológica, pero que puede presentarse con contracturas y fibrosis de órganos. Se ha descrito solo en pacientes con insuficiencia renal crónica de base y no tiene un tratamiento concreto más allá de la mejoría de la función renal.
- *Marcapasos y otros dispositivos implantables*: tradicionalmente, contraindicaciones absolutas, pero varios estudios recientes muestran estos dispositivos como seguros.
- *Dispositivos intravasculares*: se consideran seguros la mayoría de *stents* y endoprótesis, *coils* y filtros de vena cava, pero pueden causar graves artefactos de imagen. Existe una excepción, las endoprótesis de primera generación de Zenith AAA (Cook, Inc., Bloomington, IN®) fabricado en acero inoxidable.

SEGUIMIENTO POR LA IMAGEN DE LA ENFERMEDAD AÓRTICA Y CRITERIOS DE TRATAMIENTO

El seguimiento de pacientes diagnosticados o tratados por enfermedad aórtica es imprescindible para detectar cambios de diámetro u otras anomalías que indiquen progresión de la enfermedad. El seguimiento se puede realizar mediante las técnicas descritas en anteriores capítulos, como la angio TC, la angio RMN o el ultrasonido. Los intervalos de seguimiento y su duración en el tiempo varían según la patología, por lo que, a continuación, especificamos los seguimientos recomendados por las principales guías de práctica clínica de manera individualizada. La evidencia disponible es limitada por la variabilidad de los protocolos institucionales y de los trabajos publicados al respecto.

Recomendaciones de diagnóstico, seguimiento y tratamiento del aneurisma de aorta torácica y toracoabdominal

Seguimiento prequirúrgico

La indicación de tratamiento, según el riesgo asociado al diámetro máximo, está descrita en 55-60 mm, en la aorta torácica. El consenso plantea la intervención para pacientes de bajo / moderado riesgo quirúrgico con aneurismas de más de 60 mm de diámetro máximo. Este límite puede bajar en pacientes con conectivopatías, con crecimiento de más de 10 mm anuales o en pacientes con síntomas (23,82,83).

En consecuencia, el protocolo de seguimiento prequirúrgico para la patología aneurismática abdominotorácico, según la guía de aorta torácica de la ESVS (23) es:

- Prueba de imagen a los 6 y 12 meses del diagnóstico.
- Posteriormente, prueba de imagen anual.
- Tras estabilidad, a los 3 años, las pruebas pueden espaciarse hasta 2-3 años.
- Acortar el seguimiento si:
 - Crecimiento de más de 5 mm/año.
 - Diámetro aórtico superior a 50 mm en aneurismas de aorta torácica.

- Diámetro aórtico superior a 55 mm en aneurismas de aorta abdominotorácica.

No está demostrado que sea necesario acortar los tiempos de seguimiento en pacientes con factores de riesgo adicionales como tabaquismo o hipertensión arterial.

La última guía de la American Heart Association (AHA) publicada en 2022 (48) recomienda:

- Prueba de imagen de 6-12 meses tras el diagnóstico.
- Pruebas seriadas posteriormente entre 6-24 meses.

Tienen en consideración que el riesgo de todos los aneurismas no es similar, por lo que dejan la posibilidad de que la frecuencia de seguimiento ha de plantearse de manera individualizada. De manera similar a la guía de la ESVS, los protocolos han de depender del diámetro aórtico, de la tasa de crecimiento y también de la edad del paciente.

Seguimiento postratamiento endovascular

El objetivo del seguimiento tras un TEVAR se centra en identificar complicaciones como endofugas, fracturas del material, migraciones, estenosis, oclusiones, colapsos e incluso infecciones (82, 84,85).

Según la última guía de la ESVS (23) el protocolo recomendado es:

- Prueba de imagen al mes y los 12 meses del tratamiento (angio TC).
- Prueba de imagen anual posteriormente (angio TC / angio RMN).
- Tras ausencia de complicación a los 3 años, las pruebas pueden espaciarse hasta 2-3 años.
- Si hay fuga o complicación:
 - Indicación de tratamiento si fuga I o III.
 - Indicación de seguimiento si fuga de tipo II o IV. Angio TC / angio RMN en 3 y 6 meses.

Según la última guía de la American Society of Vascular Surgery (SVS) (86), la recomendación de seguimiento puede incluir además un angio TC a los 6 meses poscirugía si se observa alguna anomalía en el del primer mes. Después, control anual de por vida, y acortar el seguimiento si se presentan fugas u otras complicaciones.

Ha de tenerse una consideración especial para las prótesis complejas, ramificadas o fenestradas. En este caso, el protocolo de seguimiento está enfocado, además de en las complicaciones de la prótesis principal, en las complicaciones de las arterias viscerales. Se debe valorar la permeabilidad de los *stent* puente, así como posibles estenosis, fracturas o fugas asociadas. Disponemos de escasa evidencia sobre los resultados a largo plazo de estas prótesis, pero parece lógico que estos pacientes deben seguirse como mínimo como los portadores de un TEVAR estándar. En la guía de la ESVS de aneurismas de aorta abdominal de 2019 (9), se recomienda un seguimiento con angio TC al mes posoperatorio y anual de manera indefinida.

Según la guía AHA 2022 (78), el seguimiento se plantea:

- Prueba de imagen al mes y 12 meses del diagnóstico (angio TC).
- Prueba de imagen anual (angio TC / angio RMN).

En este consenso se insiste en realizar angio RMN para el seguimiento a largo plazo en pacientes jóvenes, para evitar la sobreexposición a radiación. La angio RMN es limitada por su precio más elevado, el tiempo de ejecución más largo, una menor resolución y limitada visualización de partes metálicas, pero puede ser útil en pacientes no complicados, con larga esperanza de vida. En nuestro centro, teniendo en cuenta las recomendaciones de las diferentes guías y en consenso con la Unidad Funcional de Patología Aórtica, hemos adoptado el siguiente patrón de seguimiento:

- Prueba de imagen en el ingreso en TEVAR emergentes.

- Prueba de imagen al mes y los 12 meses del tratamiento.
- Prueba de imagen posteriormente anual.
- Tras ausencia de complicación a los 3 años, espaciamos las pruebas 2 años.

Seguimiento después de cirugía abierta

El seguimiento tras una reparación abierta de aneurisma de aorta está orientado a identificar posibles pseudoaneurismas anastomóticos, nuevos aneurismas paraanastomóticos, infección u oclusión de prótesis.

Según la guía ESVS (23), el protocolo de seguimiento es similar para las diferentes patologías de la aorta descendente:

- Prueba de imagen a los 6 meses de la cirugía (angio TC).
- Prueba de imagen anual (angio TC / angio RMN).
- Tras estabilidad a los 3 años, las pruebas pueden espaciarse a cada 2-3 años.

Según la última guía de la ACC/AHA(78), el seguimiento se plantea:

- Prueba de imagen a los 12 meses de la cirugía.
- Prueba de imagen anual si aortopatía residual o hallazgos anormales.
- Prueba de imagen cada 5 años si no existe aortopatía residual ni hallazgos anormales.

Recomendaciones de diagnóstico, seguimiento y tratamiento del SAA

Seguimiento en tratamiento conservador del SAA

Tras el diagnóstico inicial de disección de tipo B de la aorta, se recomienda, según la guía ESVS (23) realizar:

- Prueba de imagen a los 3, 6 y 12 meses del diagnóstico.
- Prueba de imagen anual.
- Tras estabilidad a los 3 años, las pruebas pueden espaciarse hasta 2-3 años.

— Acortar seguimiento si:

- Crecimiento de más de 5 mm cada año o diámetro aórtico superior a 50 mm.

La historia natural de las úlceras aórticas agudas y de los HIM es incierta. Cuando se decide un tratamiento conservador, los pacientes deben tener un protocolo de seguimiento estricto. En la guía de la ESVS se recomiendan los mismos tiempos de seguimiento que para las disecciones, pero se acortan los tiempos si un hematoma crece en extensión, o si se asocia a una UPA.

La última guía de la AHA (78) incluye recomendaciones más precisas sobre los SAA:

- En pacientes que han tenido una disección de tipo B y HIM manejados de manera conservadora, se propone un seguimiento:
 - Prueba de imagen en 1, 6 y 12 meses.
 - Prueba de imagen anual si se observa estabilidad.

Sin embargo, las lesiones de tipo UPA han demostrado tener un riesgo de progresión importante si se manejan de manera conservadora. El riesgo es más elevado en pacientes sintomáticos, pero también en asintomáticos, pudiendo llegar al 15 % de progresión. De los pacientes con progresión, más de un 70 % continuarán empeorando y más de un 45 % pueden presentar una disección a los 12 meses (19).

En pacientes con UPA manejada de manera conservadora, se propone un seguimiento más estrecho:

- Prueba de imagen en 1 mes.
- Prueba de imagen cada 6 meses durante 2 años.
- Individualizar después, dependiendo de la edad y el tipo de úlcera (87).

Seguimiento tras tratamiento endovascular / cirugía abierta

En los pacientes con disección de tipo B aguda tratados con endoprótesis, es frecuente que persista la permeabilidad de la falsa luz, con un comportamiento a largo plazo desconocido (85,88).

En pacientes que han tenido una disección de tipo B y HIM manejados tanto con cirugía abierta como endovascular, se plantea según la *Guía de cardiología* (78):

- Prueba de imagen en 1, 6 y 12 meses.
- Prueba de imagen anual si se observa estabilidad.

En pacientes que han tenido una UPA manejados tanto con cirugía abierta como endovascular, se plantean pruebas de imagen de manera similar a la patología aneurismática, ya que las complicaciones parecen similares, aunque no hay datos a largo plazo:

- Prueba de imagen a 1 y 12 meses del diagnóstico (angio TC).
- Prueba de imagen anual (angio TC / angio RMN).

Recomendaciones de diagnóstico, seguimiento, y tratamiento de la disección de la aorta abdominal aislada

Diagnóstico y seguimiento prequirúrgico

En los casos asintomáticos, o de sintomatología leve / no de riesgo (la gran mayoría), se recomienda un manejo médico y seguimiento por imagen. De acuerdo con lo publicado, se recomienda, en los casos asintomáticos / no complicados, el control por ecografía Doppler abdominal a realizar en ayunas a los 6 meses del evento agudo y al año del evento agudo. Esta ecografía debe asegurar la no implicación en la disección del origen de ambas arterias renales, dar una aproximación de la longitud del tramo disecado, el diámetro transversal máximo anteroposterior en la zona de disección, el diámetro de cada una de las luces, y reportar la permeabilidad o trombosis (total o parcial) de la disección, así como la permeabilidad de ambas arterias ilíacas comunes y sus flujos por curva Doppler. En caso de estabilidad, tanto en extensión como en diámetro aórtico

focal, se recomienda proceder luego a realizar una ecografía Doppler anual-bianual a discreción del explorador y de acuerdo con la tipología de paciente (alto o bajo riesgo, tributario o no de medidas agresivas).

Si hay crecimiento en diámetro o extensión, signos de complicación (se describen en el siguiente apartado) o aparición de sintomatología, se debe realizar una prueba de imagen de alta resolución, por la posible necesidad de intervención, preferiblemente angio TC (véase el apartado siguiente) (89).

Criterios de imagen para intervención

Se consideran signos clínicos de complicación de la disección abdominal aórtica aislada:

- Deterioro de la función renal u otra alteración visceral.
- Isquemia de debut en una o ambas extremidades inferiores, o empeoramiento clínico / hemodinámico de una isquemia crónica conocida.
- Dolor incoercible pese a analgesia y tratamiento antihipertensivo eficaz.
- Hipertensión refractaria al tratamiento múltiple.

Se consideran signos de imagen de complicación (ya sea en imagen eco Doppler, de angio TC o de angio RMN):

- Signos de rotura mural aórtica / inestabilidad de pared.
- Diámetro aórtico máximo en la disección igual o superior a 30 mm.
- Concomitancia de UPA o HIM en la zona afectada.
- Crecimiento rápido del diámetro aórtico en la disección (5 mm en 6 meses, 10 mm en 12 meses).
- Crecimiento significativo en longitud del tramo disecado, tanto proximal como distal.
- Aparición de trombo mural flotante, o aumento de este, comprometiendo o invadiendo la luz verdadera.

Ante cualquiera de estos supuestos, hay que realizar una angio TC o una angio RMN como pruebas de elección para un estudio detallado de la disección, así como de evaluación de las características de la pared aórtica en el tramo afectado, y para valorar los accesos arteriales de cara a planificar el tratamiento. Si bien ambos estudios permiten planificar la intervención de la disección abdominal aislada, la mayoría de los trabajos han realizado tratamientos sobre la base de angio TC (9,89).

Seguimiento posquirúrgico

El protocolo de seguimiento después de la intervención es distinto en función de la técnica de reparación realizada, y con evidencias disponibles muy distintas.

En los casos de reparación quirúrgica abierta, si no hay defectos técnicos u otras incidencias, se debe realizar el seguimiento de cualquier cirugía de *bypass* aórtico abdominal infrarrenal de acuerdo con las guías vigentes. Las guías clínicas de 2019 de la ESVS recomiendan realizar control de imagen cada 5 años para descartar pseudoaneurismas anastomóticos o signos de infección protésica. Dado su mayor rendimiento diagnóstico, se recomienda que dicha prueba de imagen sea una angio TC, pero en pacientes con insuficiencia renal severa u otra contraindicación para angio TC, se puede hacer el seguimiento por ecografía Doppler en ayunas a manos de un explorador experto.

En los casos de reparación endovascular, si no hay defectos técnicos u otras incidencias inmediatas, se debe proceder al seguimiento recomendado en caso de cualquier EVAR estándar. Por lo tanto, de acuerdo con las guías clínicas vigentes de la ESVS, debe realizarse una angio TC a los 30 días aproximadamente del procedimiento endovascular para valorar la aposición de las prótesis, el estado de la pared aórtica y la luz falsa, solapamientos. En caso de que no muestre ningún defecto técnico o endofuga, se recomienda realizar

una angio TC cada 5 años, y se puede considerar, según la tipología del paciente y a discreción del clínico, una eco-Doppler abdominal intercalada a los 2-3 años.

En caso de que se encuentre un defecto técnico en las pruebas de imagen, en cualquier punto del seguimiento, con endofuga visible de tipo I o III, expansión de la aorta disecada de más de 10 mm en 1 año, o migración del material protésico o rotura de este, se deberá reevaluar intervención según hallazgos. En los casos de endofuga de tipo II sin crecimiento del saco o con crecimientos mínimos (inferiores a 10 mm en 1 año), se procederá con una eco-Doppler abdominal anual para medir el diámetro transverso aórtico máximo. Siempre que resuelva de forma fiable la endofuga de tipo II o haya una reducción de diámetros aórticos en la zona de disección de 10 mm o más en 1 año, se pasará al protocolo de seguimiento de los casos sin incidencias en adelante. La ecografía abdominal 3D con volumetría aórtica reporta en la literatura ciertas ventajas en cuanto a sensibilidad de cambios aórticos (tanto volumen como diámetro) en endofugas de muy bajo débito, por lo que se puede plantear su inclusión en el seguimiento según disponibilidad y experiencia del explorador (9).

Se recomienda, dada la posible asociación de la patología con la disección de aorta torácica o enfermedad aórtica a otros niveles, la realización de alguna de las angio TC de seguimiento en extensión, es decir, incluyendo la aorta torácica y el sector ilíaco de forma más amplia. En casos de sospecha clínica o por imagen de infección del territorio tratado, se debe indicar de acuerdo con la evidencia disponible un estudio de imagen de alta resolución, tipo angio TC, con una prueba de captación metabólica tipo PET-TC o gammagrafía de leucocitos marcados (90).

Recomendaciones de cribado poblacional

No hay evidencia en la literatura que justifiquen un cribado de la disección aórtica abdominal aislada, ni en la población general ni en ningún subgrupo de pacientes dada su baja prevalencia.

Recomendaciones de diagnóstico y tratamiento en patología aneurismática aortoiliaca

Diagnóstico y seguimiento prequirúrgico

De acuerdo con las últimas guías de la ESVS (9), el seguimiento del aneurisma aórtico se realiza por ecografía Doppler abdominal, reservando la angio TC para la planificación quirúrgica, dudas de imagen, o en ciertos casos que se mencionan más adelante:

- Aneurisma aórtico 30-39 mm: ecografía Doppler cada 2-3 años.
- Aneurisma aórtico 40-49 mm: ecografía Doppler anual.
- Aneurisma aórtico 50-54 mm: ecografía Doppler cada 3-6 meses.
- Aneurisma aórtico superior o igual a 55 mm en varón, o superior o igual a 50-52 mm en mujer, o crecimiento rápido (5 mm en 6 meses o 10 mm en 1 año), o imágenes atípicas o saculares: realizar angio TC.

En cuanto al seguimiento del aneurisma ilíaco, puro o asociado a aneurisma de aorta abdominal, también se debe realizar electivamente mediante ecografía Doppler. Sin embargo, hay que considerar que la ecografía presenta menor fiabilidad en este territorio, en especial, a nivel de arterias hipogástricas, y de forma muy variable, según la experiencia del explorador. Los últimos protocolos recomendados por la ESVS (9) son:

- Aneurismas de arteria ilíaca común o hipogástrica de 20-29 mm: ecografía Doppler cada 2-3 años.
- Aneurismas de arteria ilíaca común o hipogástrica de 30-34 mm: ecografía Doppler anual.

- Aneurisma ilíaco a cualquier nivel superior o igual a 35 mm, o crecimiento rápido, o morfología atípica, o duda de medición: realizar angio TC.

Al igual que en guías clínicas de otras sociedades, se ha tendido gradualmente a extender el seguimiento ecográfico para minimizar el uso de la angio TC, para los casos complejos o para la planificación de tratamiento, tanto en términos de eficiencia, como en términos de reducción del daño asociado a la radiación acumulada del paciente. Hay que mencionar que, debido a los fundamentos físicos de la ecografía Doppler, la medición del diámetro aórtico por eco, y, en especial, si se sigue una sistemática *inner-inner*, obliga a contemplar la realización de la angio TC a discreción, antes de llegar propiamente a diámetro quirúrgico, ya que hay que asumir que por eco-Doppler tendemos a infradimensionar respecto al diámetro máximo real del aneurisma de aorta abdominal.

Criterios de imagen para intervención

Criterios de intervención de aneurisma aortoilíaco:

- Aneurisma de aorta infrarrenal de 55 mm en varón o 50-52 mm en mujer.
- Aneurisma ilíaco (cualquier segmento ilíaco) de 35 mm.
- Criterio de crecimiento rápido (5 mm en 6 meses o 10 mm en 12 meses).
- Morfología sacular o atípica, signos de inestabilidad mural o úlcera penetrante.
- Aneurisma sintomático (dolor abdominal / inguinal / lumbar), en contexto de aneurisma aortoilíaco, descartándose cualquier otra causa locorregional del dolor.
- Rotura del aneurisma.

Seguimiento posquirúrgico

En caso de reparación abierta, se recomienda control con angio TC cada 5 años. Puede considerarse según experiencia del explorador y tipología de paciente, hacer este control por eco-Doppler, siempre que se obtenga una visualización fiable de todo el segmento aortoilíaco.

En los casos de EVAR, hay que tener en cuenta que el seguimiento por imagen será indefinido, por lo que cobra especial importancia maximizar las valoraciones ecográficas en la medida de lo posible. Se debe realizar una angio TC aproximadamente 1 mes tras la intervención. En caso de ausencia de endofugas u otras complicaciones de la endoprótesis, se plantea una angio TC cada 5 años, si bien hay algunas guías y recomendaciones disponibles que plantean intercalar cada 2-3 años una ecografía Doppler abdominal para minimizar pérdidas de seguimiento de pacientes.

Si la angio TC posoperatoria presenta signos de defecto mayor (endofuga de tipo I o III, migración de prótesis, fractura de *stent*), habrá que plantear nueva intervención y en cada caso valorar la necesidad o no de otros estudios complementarios. Si se detecta una endofuga de tipo II, la evidencia apoya su benignidad si no provocan expansión del saco aneurismático. En estos casos de endofuga de tipo II, se recomienda realizar una ecografía Doppler anual y una angio TC cada 5 años. Si el saco se mantiene estable o decrece, se mantiene este protocolo, y si hay un crecimiento del saco aneurismático superior o igual a 10 mm, se realiza nueva angio TC con intención de intervenir.

En los casos de aneurisma yuxtarenales o pararenales, los protocolos de seguimiento son distintos, debido esencialmente a la mayor complejidad de las reparaciones y menor fiabilidad de la ecografía en el territorio visceral y cercano al diafragma. También cabe destacar los nuevos protocolos y estudios, la angio TC de alta resolución ha eliminado, en general, la utilidad de la radiografía simple de abdomen que antes se utilizaba para valorar las fracturas de *stent* en el EVAR (9,90,91).

Recomendaciones de cribado poblacional

Las últimas guías de la ESVS recomiendan, con nivel de evidencia Ia, realizar cribado poblacional sistemático del aneurisma de aorta abdominal con eco-Doppler solo en varones mayores de 65 años, y en zonas con prevalencia descrita de aneurisma de aorta abdominal superior al 4 %. Por otra parte, las guías de la Sociedad Europea de Cardiología hacen recomendaciones de cribado poblacional más extensivas, para varones de más de 65 años en general, y a poder considerarlo, pero con bajo nivel de evidencia, en mujeres mayores de 65 años, con antecedente de tabaquismo o antecedente de aneurisma de aorta abdominal en familiar de primer grado. Las últimas recomendaciones de la Society of Vascular Surgery norteamericana y de la United States Preventive Services Task Force (2019) incluyen el cribado por eco-Doppler, solo en varones de más de 65 años, con antecedente tabáquico, siendo el tabaquismo el factor de riesgo que aumenta claramente la coste-efectividad de la práctica (92). Incluyen también la posibilidad de cribado ecográfico en hombres del mismo rango de edad con antecedentes familiares de primer grado de aneurisma de aorta abdominal, o enfermedad arterial periférica concomitante, pero con niveles de evidencia débiles en la recomendación. Todas las guías vigentes concuerdan en que el cribado poblacional sistemático en mujeres, independientemente del rango de edad, no sería recomendable por su baja coste-efectividad esperable (9,92,93).

BIBLIOGRAFÍA

1. Benson RA, Meecham L, Fisher O, Loftus IM. Ultrasound screening for abdominal aortic aneurysm: current practice, challenges and controversies. *Br J Radiol* 2018 Oct;91(1090):20170306. DOI: 10.1259/bjr.20170306
2. Liisberg M, Diederichsen AC, Lindholt JS. Abdominal ultrasound-scanning versus non-contrast computed tomography as

- screening method for abdominal aortic aneurysm - a validation study from the randomized DANCAVAS study. *BMC Med Imaging* 2017;17(1):14. DOI: 10.1186/s12880-017-0186-8
3. Chiu KWH, Ling L, Tripathi V, Ahmed M, Shrivastava V. Ultrasound measurement for abdominal aortic aneurysm screening: A direct comparison of the three leading methods. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2014;47(4):367-73. DOI: 10.1016/j.ejvs.2013.12.026
 4. Lindgaard K, Riisgaard L. Validation of ultrasound examinations performed by general practitioners. *Scand J Prim Health Care* 2017;35(3):256-61. DOI: 10.1080/02813432.2017.1358437
 5. Earnshaw JJ. Ultrasound imaging in the National Health Service abdominal aortic aneurysm screening programme. *Ultrasound* 2010;18(4):167-9. DOI: 10.1258/ult.2010.010038
 6. Medical Advisory Secretariat. Ultrasound screening for abdominal aortic aneurysm: an evidence-based analysis. *On Health Technol Assess Ser* [Internet] 2006;6(2):1-67. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23074490>
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC3379169>
 7. Lowe C, Ghulam Q, Bredahl K, Rogers S, Ghosh J, Sillesen H, et al. Three-dimensional ultrasound in the management of abdominal aortic aneurysms: A topical review. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2016 Oct;52(4):466-74. 2016. DOI: 10.1016/j.ejvs.2016.06.009
 8. Sisó-Almirall A, Kostov B, González MN, Salami DC, Jiménez AP, Soleà RG, et al. Abdominal aortic aneurysm screening program using hand-held ultrasound in primary healthcare. *PLoS One* 2017;12(4):e0176877. DOI: 10.1371/journal.pone.0176877
 9. Wanhainen A, Verzini F, Van Herzele I, Allaire E, Bown M, Cohnert T, et al. Editor's Choice - European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2019 Clinical Practice Guidelines on the Management of Abdominal Aorto-iliac Artery Aneurysms. *Eur J*

- Vasc Endovasc Surg 2019;57(1):8-93. DOI: 10.1016/j.ejvs.2018.09.020
10. Shang EK, Nathan DP, Woo EY, Fairman RM, Wang GJ, Gorman RC, et al. Local wall thickness in finite element models improves prediction of abdominal aortic aneurysm growth. *J Vasc Surg* 2015;61(1):217-23. DOI: 10.1016/j.jvs.2013.08.032
 11. Erhart P, Grond-Ginsbach C, Hakimi M, Lasitschka F, Dihlmann S, Böckler D, et al. Finite element analysis of abdominal aortic aneurysms: Predicted rupture risk correlates with aortic wall histology in individual patients. *J Endovasc Ther* 2014;21(4):556-64. DOI: 10.1583/14-4695.1
 12. Venkatasubramaniam AK, Fagan MJ, Mehta T, Mylankal KJ, Ray B, Kuhan G, et al. A comparative study of aortic wall stress using finite element analysis for ruptured and non-ruptured abdominal aortic aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2004;28(2):168-76.
 13. Peng C, Wu H, Kim S, Dai X, Jiang X. Recent advances in transducers for intravascular ultrasound (Ivus) imaging. *Sensors* 2021;19;21(10):3540. DOI: 10.3390/s21103540
 14. Weintraub AR, Erbel R, Gorge G, Schwartz SL, Ge J, Gerber T, et al. Intravascular ultrasound imaging in acute aortic dissection. *J Am Coll Cardiol* 1994;24(2):495-503. DOI: 10.1016/0735-1097(94)90309-3
 15. Taalab MA, Kamal AM, Mohammad AF, Zaki MM. Intravascular ultrasound versus computed tomography angiography in sizing and operative management of endovascular aortic aneurysm repair. *J Endovasc Ther* 2023;16:15266028231158964. DOI: 10.1177/15266028231158964
 16. Han SM, Elsayed RS, Ham SW, Mahajan A, Fleischman F, Rowe VL, et al. Comparison of intravascular ultrasound- and centerline computed tomography-determined aortic diameters

- during thoracic endovascular aortic repair. *J Vasc Surg* 2017;66(4):1184-91. DOI: 10.1016/j.jvs.2017.03.445
17. János RA, Gorla R, Rogmann K, Kahlert P, Tsagakis K, Dohle DS, et al. Validation of intravascular ultrasound for measurement of aortic diameters: Comparison with multi-detector computed tomography. *Minim Invasive Ther Allied Technol.* 2015;24(5):289-95. DOI: 10.3109/13645706.2015.1051053
 18. Lortz J, Tsagakis K, Rammos C, Horacek M, Schlosser T, Jakob H, et al. Intravascular ultrasound assisted sizing in thoracic endovascular aortic repair improves aortic remodeling in Type B aortic dissection. *PLoS One* 2018;13(4):e0196180. DOI: 10.1371/journal.pone.0196180
 19. Belkin N, Jackson BM, Foley PJ, Damrauer SM, Kalapatapu V, Golden MA, et al. The use of intravascular ultrasound in the treatment of type B aortic dissection with thoracic endovascular aneurysm repair is associated with improved long-term survival. *J Vasc Sur* 2020;72(2):490-7. DOI: 10.1016/j.jvs.2019.10.073
 20. Koschyk DH, Meinertz T, Nienaber CA. Intravascular ultrasound for stent implantation in aortic dissection. *Circulation* 2000;102(4). DOI: 10.1161/01.CIR.102.4.480
 21. Usai MV, Oberhuber A, Ascitutto G. Assessment of bridging stent grafts in branched Endovascular Aortic Repair (EVAR) Procedures Using Intravascular Ultrasound (IVUS). *EJVES Vascular Forum* 2020;47. DOI: 10.1016/j.ejvsf.2020.04.003
 22. Yoshida S, Akiba H, Tamakawa M, Yama N, Hareyama M, Morishita K, et al. Thoracic involvement of type A aortic dissection and intramural hematoma: Diagnostic accuracy - Comparison of emergency helical CT and surgical findings. *Radiology* 2003;228(2):430-5. DOI: 10.1148/radiol.2282012162
 23. Writing Committee, Riambau V, Böckler D, Brunkwall J, Cao P, Chiesa R, et al. Editor's Choice - Management of Descending Thoracic Aorta Diseases: Clinical Practice

- Guidelines of the European Society for Vascular Surgery (ESVS).
Eur J Vasc Endovasc Surg 2017;53(1):452. DOI:
10.1016/j.ejvs.2016.06.005
24. Parodi J, Berguer R, Carrascosa P, Khanafer K, Capunay C, Wizauer E. Sources of error in the measurement of aortic diameter in computed tomography scans. J Vasc Surg 2014;59(1):74-9. DOI: 10.1016/j.jvs.2013.07.005
 25. Wicky S, Wintermark M, Schnyder P, Capasso P, Denys A. Imaging of blunt chest trauma. Eur Radiol 2000;10(10):1524-38. DOI: 10.1007/s003300000435
 26. Johnson TRC, Nikolaou K, Nieman K, Rensing BJ, Van Geuns RJM, Vos J, Pattynama PMT, Krestin GP, et al. Non-invasive coronary angiography with multislice spiral computed tomography: Impact of heart rate. Heart 2002;88(5):470-4. DOI: 10.1136/heart.88.5.470
 27. Wintersperger BJ, Knez A, Boekstegers P, Reiser MF, et al. ECG-gated 64-MDCT angiography in the differential diagnosis of acute chest pain. AJR Am J Roentgenol 2007;188(1):76-82. DOI: 10.2214/AJR.05.1153
 28. Abbas A, Brown IW, Peebles CR, Harden SP, Shambrook JS. The role of multidetector-row CT in the diagnosis, classification and management of acute aortic syndrome. Br J Radiol 2014;87(1042):20140354. DOI: 10.1259/bjr.20140354
 29. Liu D, Liu J, Wen Z, Li Y, Sun Z, Xu Q, et al. 320-row CT renal perfusion imaging in patients with aortic dissection: A preliminary study. PLoS One 2017;12(2):e0171235. DOI: 10.1371/journal.pone.0171235
 30. American College of Radiology. ACR Manual on Contrast Media. Vol. 105, ACR Manual on Contrast Media - Version 9, 2013. 2020.
 31. Cury RC, Abbara S, Achenbach S, Agatston A, Berman DS, Budoff MJ, et al. CAD-RADS(TM) Coronary Artery Disease - Reporting and Data System. An expert consensus document of

- the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT), the American College of Radiology (ACR) and the North American Society for Cardiovascular Imaging (NASCI). Endorsed by the American College of Cardiology. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2016;10(4):269-81. DOI: 10.1016/j.jcct.2016.04.005
32. Yi Y, Mao L, Wang C, Guo Y, Luo X, Jia D, et al. Advanced Warning of Aortic Dissection on Non-Contrast CT: The Combination of Deep Learning and Morphological Characteristics. *Front Cardiovasc Med* 2021;8:762958. DOI: 10.3389/fcvm.2021.762958
 33. Hara T, Urikura A, Ichikawa K, Hoshino T, Nishimaru E, Niwa S. Temporal resolution measurement of 128-slice dual source and 320-row area detector computed tomography scanners in helical acquisition mode using the impulse method. *Physica Medica* 2016;32(4):625-30. DOI: 10.1016/j.ejmp.2016.02.015
 34. Marin D, Nelson RC, Guerrisi A, Barnhart H, Schindera ST, Passariello R, et al. 64-section multidetector CT of the upper abdomen: Optimization of a saline chaser injection protocol for improved vascular and parenchymal contrast enhancement. *Eur Radiol* 2011;21(9):1938-47. DOI: 10.1007/s00330-011-2139-x
 35. Prokop M. Multislice CT angiography. *Eur J Radiol* 2000;36(2):86-96. DOI: 10.1016/S0720-048X(00)00271-0
 36. Motoyama S, Ito H, Sarai M, Nagahara Y, Miyajima K, Matsumoto R, et al. Ultra-high-resolution computed tomography angiography for assessment of coronary artery stenosis. *Circ J* 2018;82(7):1844-52. DOI: 10.1253/circj.CJ-17-1281
 37. Yu T, Zhu X, Tang L, Wang D, Saad N. Review of CT Angiography of Aorta. *Radiol Clin North Ame* 2007;45(3):461-83 DOI: 10.1016/j.rcl.2007.04.010
 38. Tanaka R, Yoshioka K, Abiko A. Updates on Computed Tomography Imaging in Aortic Aneurysms and Dissection. *Ann Vasc Dis* 2020;13(1). DOI: 10.3400/avd.ra.19-00127

39. Fliser D, Laville M, Covic A, Fouque D, Vanholder R, Juillard L, et al. A European Renal Best Practice (ERBP) position statement on the Kidney Disease Improving Global Outcomes (KDIGO) Clinical Practice Guidelines on Acute Kidney Injury: Part 1: Definitions, conservative management and contrast-induced nephropathy. *Nephrol Dial Transplant* 2012;27(12):4263-72. DOI: 10.1093/ndt/gfs375
40. Davenport MS, Perazella MA, Yee J, Dillman JR, Fine D, McDonald RJ, et al. Use of intravenous iodinated contrast media in patients with kidney disease: Consensus statements from the American College of Radiology and the National Kidney Foundation. *Radiology* 2020;294(3):660-8. DOI: 10.1148/radiol.2019192094
41. Speck U. X-ray contrast media: Overview, use and pharmaceutical aspects. *X-Ray Contrast Media: Overview, Use and Pharmaceutical Aspects*. Saint Philips Street Press; 2020.
42. Shuman WP, O'Malley RB, Busey JM, Ramos MM, Koprowicz KM. Prospective comparison of dual-energy CT aortography using 70 % reduced iodine dose versus single-energy CT aortography using standard iodine dose in the same patient. *Abdom Radiol (NY)* 2017;42(3):795-65. DOI: 10.1007/s00261-016-1041-z
43. Varela C, Mantelli E, Ríos P, Zúñiga JM, Meza MJ, Fuchs C, et al. Imaging approach to acute aortic syndrome. *Rev Med Chil* 2019;147(12):1579-93 . DOI: 10.4067/S0034-98872019001201579
44. Cohen A, Donal E, Delgado V, Pepi M, Tsang T, Gerber B, et al. EACVI recommendations on cardiovascular imaging for the detection of embolic sources: Endorsed by the Canadian Society of Echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2021;22(6):e24-57. DOI: 10.1093/ehjci/jeab008
45. Flachskampf FA, Wouters PF, Edvardsen T, Evangelista A, Habib G, Hoffman P, et al. Recommendations for

- transoesophageal echocardiography: EACVI update 2014. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2014;15(4):353-65. DOI: 10.1093/ehjci/jeu015
46. Mendoza DD, Kochar M, Devereux RB, Basson CT, Min JK, Holmes K, et al. Impact of image analysis methodology on diagnostic and surgical classification of patients with thoracic aortic aneurysms. *Ann Thorac Surg* 2011;92(3):904-12. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2011.03.130
47. Rudarakanchana N, Bicknell CD, Cheshire NJ, Burfitt N, Chapman A, Hamady M, et al. Variation in maximum diameter measurements of descending thoracic aortic aneurysms using unformatted planes versus images corrected to aortic centerline. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2014;47(1):19-26. DOI: 10.1016/j.ejvs.2013.09.026
48. Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA, Bersin RM, Carr VF, Casey DE, et al. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM Guidelines for the Diagnosis and Management of Patients With Thoracic Aortic Disease. *Circulation* 2010;121(13):e266-369. DOI: 10.1161/CIR.0b013e3181d4739e..
49. Erbel R, Aboyans V, Boileau C, Bossone E, Di Bartolomeo R, Eggebrecht H, et al. 2014 ESC guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. *Eur Heart J* 2014;35(41):2873-926. DOI: 10.1093/eurheartj/ehu281
50. Evangelista A, Sitges M, Jondeau G, Nijveldt R, Pepi M, Cuellar H, et al. Multimodality imaging in thoracic aortic diseases: a clinical consensus statement from the European Association of Cardiovascular Imaging and the European Society of Cardiology working group on aorta and peripheral vascular diseases. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2023;24(5):e65-e85. DOI: 10.1093/ehjci/jead024

51. Rodríguez-Palomares JF, Teixidó-Tura G, Galuppo V, Cuéllar H, Laynez A, Gutiérrez L, et al. Multimodality Assessment of Ascending Aortic Diameters: Comparison of Different Measurement Methods *J Am Soc Echocardiogr* 2016;29(9):819-26. DOI: 10.1016/j.echo.2016.04.006
52. Saura D, Dulgheru R, Caballero L, Bernard A, Kou S, Gonjilashvili N, et al. Two-dimensional transthoracic echocardiographic normal reference ranges for proximal aorta dimensions: Results from the EACVI NORRE study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017;18(2):167-79. DOI: 10.1093/ehjci/jew053
53. Amsallem M, Ou P, Milleron O, Henry-Feugeas MC, Detaint D, Arnoult F, et al. Comparative assessment of ascending aortic aneurysms in Marfan patients using ECG-gated computerized tomographic angiography versus trans-thoracic echocardiography. *Int J Cardiol* 2015;184(1):22-7. DOI: 10.1016/j.ijcard.2015.01.086
54. Bons LR, Duijnhouwer AL, Bocalini S, van den Hoven AT, van der Vlugt MJ, Chelu RG, et al. Intermodality variation of aortic dimensions: How, where and when to measure the ascending aorta. *Int J Cardiol* 2019;276:230-5. DOI: 10.1016/j.ijcard.2018.08.067
55. Schwartz SA, Taljanovic MS, Smyth S, O'Brien MJ, Rogers LF. CT findings of rupture, impending rupture, and contained rupture of abdominal aortic aneurysms. *AJR Am J Roentgenol* 2007;188(1):W57-62. DOI: 10.2214/AJR.05.1554
56. Rakita D, Newatia A, Hines JJ, Siegel DN, Friedman B. Spectrum of CT findings in rupture and impending rupture of abdominal aortic aneurysms. *Radiographics* 2007;27(2):497-507. DOI: 10.1148/rg.272065026
57. Sakalihasan N, Limet R, Defawe OD. Abdominal aortic aneurysm. *Lancet* 2005;365(9470):1577-89. DOI: 10.1016/S0140-6736(05)66459-8

58. Mehard WB, Heiken JP, Sicard GA. High-attenuating crescent in abdominal aortic aneurysm wall at CT: A sign of acute or impending rupture. *Radiology* 1994;192(2):359-62. DOI: 10.1148/radiology.192.2.8029397
59. Stoecker JB, Eddiner KC, Pouch AM, Glaser JD, Foley PJ, Wang GJ. The Hyperattenuating Crescent Sign Is Not Necessarily a Sign of Impending Aortic Aneurysm Rupture. *Ann Vasc Surg* 2022;82:240-8. DOI: 10.1016/j.avsg.2021.10.043
60. Evangelista A, Flachskampf FA, Erbel R, Antonini-Canterin F, Vlachopoulos C, Rocchi G, et al. Echocardiography in aortic diseases: EAE recommendations for clinical practice. *Eur J Echocardiogr* 2010;11(8):645-58 DOI: 10.1093/ejechocard/jeq056
61. Vardhanabhuti V, Nicol E, Morgan-Hughes G, Roobottom CA, Roditi G, Hamilton MCK, et al. Recommendations for accurate CT diagnosis of suspected acute aortic syndrome (AAS)-on behalf of the British Society of Cardiovascular Imaging (BSCI)/British Society of Cardiovascular CT (BSCCT). *Br J Radiol* 2016;89(1061):20150705. DOI: 10.1259/bjr.20150705
62. Sueyoshi E, Matsuoka Y, Imada T, Okimoto T, Sakamoto I, Hayashi K. New development of an ulcerlike projection in aortic intramural hematoma: CT evaluation. *Radiology* 2002;224(2):536-41. DOI: 10.1148/radiol.2242011009
63. Bosma MS, Quint LE, Williams DM, Patel HJ, Jiang Q, Myles JD. Ulcerlike projections developing in noncommunicating aortic dissections: CT findings and natural history. *Am J Roentgenol* 2009;193(3):895-905. DOI: 10.2214/AJR.08.2073
64. Wu MT, Wang Y, Huang YL, Chang RS, Li SC, Yang P, et al. Intramural blood pools accompanying aortic intramural hematoma: CT appearance and natural course. *Radiology* 2011;258(3):705-13. DOI: 10.1148/radiol.10101270
65. Evangelista A, Moral S, Ballesteros E, Castillo-Gandía A. Beyond the term penetrating aortic ulcer: A morphologic

- descriptor covering a constellation of entities with different prognoses. *Prog Cardiovasc Dis* 2020;63(4):488-95 DOI: 10.1016/j.pcad.2020.05.006
66. Jaff MR, White CJ, Hiatt WR, Fowkes GR, Dormandy J, Razavi M, et al. An update on methods for revascularization and expansion of the TASC lesion classification to include below-the-knee arteries: A Supplement to the Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). *Vasc Med (UK)* 2015;20(5):465-78. DOI: 10.1177/1358863X15597877
 67. Patel MR, Conte MS, Cutlip DE, Dib N, Geraghty P, Gray W, et al. Evaluation and treatment of patients with lower extremity peripheral artery disease: Consensus definitions from Peripheral Academic Research Consortium (PARC). *J Am Coll Cardiol* 2015;10;65(9):931-41. DOI: 10.1016/j.jacc.2014.12.036
 68. Mishra A, Jain N, Bhagwat A. CT angiography of peripheral arterial disease by 256-slice scanner: accuracy, advantages and disadvantages compared to digital subtraction angiography. *Vasc Endovascular Surg* 2017;51(5):247-54. DOI: 10.1177/1538574417698906
 69. Fleischmann D, Hallett RL, Rubin GD. CT angiography of peripheral arterial disease. *J Vasc Interv Radiol* 2006;17(1):3-26. DOI: 10.1097/01.RVI.0000191361.02857.DE
 70. Tanaka R, Yoshioka K, Takagi H, Schuijf JD, Arakita K. Novel developments in non-invasive imaging of peripheral arterial disease with CT: experience with state-of-the-art, ultra-high-resolution CT and subtraction imaging. *Clin Radiol* 2019;74(1):51-8. DOI: 10.1016/j.crad.2018.03.002
 71. Lladó GP, Costa FC, Beiras AC, Domínguez JF, Romo AI, Borreguero LJJ, et al. Guidelines of the spanish society of cardiology on magnetic resonance. *Rev Esp Cardiol* 2000;53(4):542-59.
 72. Evangelista A, Gallego P, Pineda V, Domínguez R, Piñas IP, Valdés JC. Utilidad de la resonancia magnética en el diagnóstico

- y seguimiento de la patología aórtica. *Rev Esp Cardiol* 2006;6(E). DOI: 10.1157/13092061
73. Westfall AmandaH, Garrett J. Computed tomography imaging in aortic dissection. *Clin Pract Cases Emerg Med* 2019;3(3):316-7. DOI: 10.5811/cpcem.2019.5.42531
 74. Hope TA, Markl M, Wigström L, Alley MT, Miller DC, Herfkens RJ. Comparison of flow patterns in ascending aortic aneurysms and volunteers using four-dimensional magnetic resonance velocity mapping. *J Magn Reson Imaging* 2007;26(6):1471-9. DOI: 10.1002/jmri.21082
 75. Burris NS, Hope MD. 4D Flow MRI Applications for Aortic Disease. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2015;23(1):15-23. DOI: 10.1016/j.mric.2014.08.006
 76. Ramaekers MJFG, Westenber JMM, Adriaans BP, Nijssen EC, Wildberger JE, Lamb HJ, et al. A clinician's guide to understanding aortic 4D flow MRI. *Insights into Imaging* 2023;14:114. DOI: 10.1186/s13244-023-01458-x
 77. Gil-Sala D, Guala A, García Reyes ME, Azancot MA, Dux-Santoy L, Allegue Allegue N, et al. Geometric, Biomechanic and haemodynamic aortic abnormalities assessed by 4D Flow cardiovascular magnetic resonance in patients treated by TEVAR following blunt traumatic thoracic aortic injury. *Eur J Vascul Endovasc Surg* 2021;62(5):797-807. DOI: 10.1016/j.ejvs.2021.07.016
 78. Isselbacher EM, Preventza O, Black JH, Augoustides JG, Beck AW, Bolen MA, et al. 2022 ACC/AHA Guideline for the Diagnosis and Management of Aortic Disease: A Report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation* 2022;13:146(24):e334-e482. DOI: 10.1161/CIR.0000000000001106
 79. Nollen GJ, Meijboom LJ, Groenink M, Timmermans J, Barentsz JO, Merchant N, et al. Comparison of aortic elasticity in

- patients with the Marfan syndrome with and without aortic root replacement. *Am J Cardiol* 2003;91(5):637-40. DOI: 10.1016/S0002-9149(02)03330-1
80. Gerhard-Herman MD, Gornik HL, Barrett C, Barshes NR, Corriere MA, Drachman DE, et al. 2016 AHA/ACC guideline on the management of patients with lower extremity peripheral artery disease: Executive Summary: A report of the American college of cardiology/American Heart Association task force on clinical practice guidelines. *Circulation* 2017;21;135(12):e686-e725. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000470
 81. Halperin JL, Block PC. ACC/AHA guidelines for the management of patients with peripheral arterial disease (lower extremity, renal, mesenteric, and abdominal aortic). *ACC Cardiosource Rev J* 2006;15(3):16-9.
 82. Akin I, Kische S, Rehders TC, Ince H, Nienaber CA. Thoracic endovascular stent-graft therapy in aortic dissection. *Curr Opin Cardiol* 2010;25(6):552-9. DOI: 10.1097/HCO.0b013e32833e6dd8
 83. Wang TKM, Desai MY. Thoracic aortic aneurysm: Optimal surveillance and treatment. *Cleve Clin J Med* 2020;87(9):557-68. DOI: 10.3949/ccjm.87a.19140-1
 84. Arafat A, Roselli EE, Idrees JJ, Feng K, Banaszak L, Eagleton M, et al. Stent Grafting Acute Aortic Dissection: Comparison of DeBakey Extent IIIA Versus IIIB. *Ann Thorac Surg* 2016;102(5):1473-81. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2016.04.085
 85. Ameli-Renani S, Das R, Morgan RA. thoracic endovascular aortic repair for the treatment of aortic dissection: post-operative imaging, complications and secondary interventions. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2015;38(6):1391-404. DOI: 10.1007/s00270-015-1072-9
 86. Chaikof EL, Brewster DC, Dalman RL, Makaroun MS, Illig KA, Sicard GA, et al. The care of patients with an abdominal aortic aneurysm: The Society for Vascular Surgery practice

- guidelines. *J Vasc Surg* 2009;50(Suppl 4):S2-49. DOI: 10.1016/j.jvs.2009.07.002
87. Yang L, Zhang QY, Wang XZ, Zhao X, Liu XZ, Wang P, et al. Long-term imaging evolution and clinical prognosis among patients with acute penetrating aortic ulcers: A retrospective observational study. *J Am Heart Assoc* 2020;9(18):e014505. DOI: 10.1161/JAHA.119.014505
88. Nienaber CA, Clough RE. Management of acute aortic dissection. *Lancet* 2015;28;385:800-11. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)61005-9.
89. Faries CM, Tadros RO, Lajos PS, Vouyouka A, Faries PL, Marin ML. PC048. Contemporary management of isolated chronic infrarenal abdominal aortic dissections. *J Vasc Surg* 2016;63(6):167S-168S. DOI: 10.1016/j.jvs.2016.03.284
90. Chakfé N, Diener H, Lejay A, Assadian O, Berard X, Caillon J, et al. Editor's Choice - European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2020 Clinical Practice Guidelines on the Management of Vascular Graft and Endograft Infections. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2020;59(3):339-84. DOI: 10.1016/j.ejvs.2019.10.016
91. Aggarwal S, Qamar A, Sharma V, Sharma A. Abdominal aortic aneurysm: A comprehensive review. *Exp Clin Cardiol* 2011;16:11-5.
92. Guirguis-Blake JM, Beil TL, Senger CA, Coppola EL. Primary care screening for abdominal aortic aneurysm: updated evidence report and systematic review for the US Preventive Services Task Force. *JAMA* 2019;322:2219-38. DOI: 10.1001/jama.2019.17021
93. Fleming C, Whitlock EP, Beil TL, Lederle FA. Screening for abdominal aortic aneurysm: A best-evidence systematic review for the U.S. Preventive Services Task Force. *Ann Intern Med* 2005;142(3):203-11. DOI: 10.7326/0003-4819-142-3-200502010-00012

