

PRESENTE Y FUTURO

REVISIÓN JACC TEMA DE LA SEMANA

Discrepancias en la medición de la aorta torácica

Revisión JACC Tema de la semana



John A. Elefteriades, MD, PhD (HON),^a Sandip K. Mukherjee, MD,^{a,b} Hamid Mojiabian, MD^{a,c}

RESUMEN

Los clínicos se encuentran a menudo con discrepancias en la medición de la aorta ascendente que impiden, complican y dificultan una evaluación clínica apropiada, incluso para cuestiones clave como la presencia o ausencia de aumento de tamaño de la aorta, velocidad de aumento y necesidad de una intervención quirúrgica. Estas discrepancias pueden surgir dentro de una misma modalidad de exploración de diagnóstico por la imagen (tomografía axial computarizada, resonancia magnética o ecocardiografía) o entre distintas modalidades de exploración. Los autores exploran el origen y la importancia de estas discrepancias, y muestran que generalmente hay algo de «verdad» en todas las mediciones discrepantes, cada una de las cuales examina la aorta ascendente desde perspectivas diferentes y con distintas definiciones de las dimensiones. Los autores concluyen con un apartado práctico de «preguntas y respuestas» en el que se abordan problemas concretos frecuentes en la interpretación y el manejo de los pacientes de la práctica clínica real. (J Am Coll Cardiol 2020;76:201-17) © 2020 American College of Cardiology Foundation.

No es infrecuente encontrar discrepancias sustanciales con el empleo de una o varias modalidades de diagnóstico por la imagen (ecocardiografía, tomografía axial computarizada [TAC], resonancia magnética [RM]) en la medición de la aorta de un mismo paciente. La introducción de nuevas mediciones informatizadas ha incrementado las discrepancias y ha creado cierta confusión en los clínicos respecto al proceso de medida de la aorta ascendente. En este artículo se aborda el origen, la importancia y la posible resolución de tales discrepancias (**ilustración central**). Tal como han resaltado Plonek *et al.* (1), «definir la dimensión máxima real debe ser el patrón de referencia al evaluar la aorta de un paciente». Sin embargo, alcanzar este objetivo no es sencillo ni está exento de complejidades problemáticas (2).

En las exploraciones de imagen de la aorta es esencial la decisión de dónde realizar las mediciones. Nosotros hemos publicado nuestras propias directrices para la estandarización del registro de los diferentes segmentos (3) (**figura 1**). Consideramos que los datos de mayor interés para las zonas largas, como la aorta descendente propiamente dicha (entre la unión senotubular y el arco [cayado] aórtico) y la aorta descendente (entre la arteria subclavia izquierda y el diafragma) pueden obtenerse mediante el registro del diámetro máximo en cualquier lugar de esas zonas, en vez del diámetro medido en puntos de referencia preestablecidos independientes del paciente.

Conviene resaltar aquí una recomendación que hemos presentado en una publicación anterior (4). Concretamente, recomendamos vivamente que los radiólogos y los clínicos se acostumbren a comparar la exploración de



Para escuchar el audio del resumen en inglés de este artículo por el Editor Jefe del JACC, Dr. Valentin Fuster, consulte JACC.org

^aAortic Institute at Yale-New Haven, Yale University School of Medicine, New Haven, Connecticut; ^bSection of Cardiovascular Medicine, Department of Medicine, Yale University School of Medicine, New Haven, Connecticut; y ^cDepartment of Diagnostic Imaging, Yale University School of Medicine, New Haven, Connecticut. El Dr. Elefteriades es Director de CoolSpine; forma parte del Consejo de Vigilancia de Datos y Seguridad de Terumo; y es consultor de CryoLife. Todos los demás autores han indicado no tener relaciones relevantes que declarar en relación con el contenido de este artículo.

Los autores atestiguan que cumplen los reglamentos de los comités de estudios en el ser humano y de bienestar animal de sus respectivos centros y las directrices de la *Food and Drug Administration*, incluida la obtención del consentimiento del paciente cuando procede. Puede consultarse una información más detallada en la página de instrucciones para autores de JACC.

Original recibido el 22 de enero de 2020; original revisado recibido el 20 de marzo de 2020, aceptado el 31 de marzo de 2020.

**ABREVIATURAS
Y ACRÓNIMOS**

ECG = electrocardiograma

ETE = ecocardiografía
transesofágica

ETT = ecocardiografía transtorácica

RM = resonancia magnética

TAC = tomografía axial
computarizada

imagen actual, no solo con la inmediatamente anterior, sino con la primera de las exploraciones previas de que se disponga. La aorta ascendente aumenta de tamaño lentamente, en alrededor de 0,5 mm a 1 mm al año (5). Si la imagen utilizada para la comparación es reciente, no se observará ningún cambio. Por consiguiente, es posible que se haga una interpretación de «ausencia de cambios» de manera secuencial y repetida, cuando en realidad se está produciendo un aumento de tamaño lento de la aorta. Así pues, nosotros recomendamos vivamente que el radiólogo y el clínico dediquen el tiempo y el esfuerzo necesarios a comparar las imágenes actuales de la aorta con las de la primera de las exploraciones previas de que se disponga. Es posible que sea necesario disponer la transmisión electrónica o en disco desde otros centros, y esto es algo que debe hacerse si es preciso.

En el texto que sigue, comentamos las causas específicas y la trascendencia clínica de las diferencias en las mediciones radiográficas de la aorta ascendente.

UNA ESTRUCTURA VIVA

La aorta es un vaso sanguíneo dinámico, que se expande y se contrae con cada latido cardíaco durante la sístole y la diástole (**figura 2, vídeo 1**). Ni siquiera los bordes anatómicos de la aorta están completamente bien definidos. La adventicia y los tejidos fibrosos circundantes, en especial hacia el lado de la arteria pulmonar, pueden fusionarse, lo cual hace que los límites no estén bien definidos, incluso en una intervención quirúrgica en el quirófano (**figura 3**). Así pues, la medición de la aorta es intrínsecamente más compleja y menos exacta que las mediciones que se realizan en las ciencias físicas no médicas. Incluso un mismo especialista experto en la aorta puede establecer fácilmente en diferentes sesiones mediciones que difieran en hasta 3 mm o más al medir la misma aorta en imágenes idénticas del mismo paciente (6-9).

¿INCLUIR O NO LA PARED?

La pared de la aorta tiene generalmente un grosor de entre 1 y 3 mm. Por consiguiente, en función de si se incluye o no entre los cursores la pared de ambos lados, la dimensión medida de la aorta puede variar en hasta 2 a 6 mm. Esta es una causa muy importante de discrepancias (**figura 4**). Así pues, al comparar imágenes secuenciales, es esencial indicar qué mediciones se han hecho con la inclusión de la pared y cuáles se han hecho sin ella.

Las imágenes obtenidas sin contraste no diferencian entre la pared de la aorta y la luz vascular. Por lo tanto, las imágenes obtenidas sin contraste reflejan la dimensión total de la aorta, incluida la pared (**figura 5**).

PUNTOS CLAVE

- Las mediciones de la aorta ascendente muestran a menudo discrepancias entre las distintas modalidades de diagnóstico por la imagen de TAC, RM y ecocardiografía o dentro de una misma modalidad diagnóstica.
- Las discrepancias son consecuencia del procesamiento de la imagen, la definición del diámetro, el contorno irregular de la aorta y la ausencia de uniformidad en los patrones de notificación.
- Se exploran las repercusiones que tienen los siguientes factores específicos:
 - ¿Exploración sincronizada o no?
 - ¿Exploración con o sin contraste? ¿Incluir o no la pared? ¿Sístole o diástole?
 - ¿Medición manual o medición automática de la línea central?
 - ¿Oblicua o perpendicular? ¿Diámetro mínimo o máximo?
 - Para la raíz aórtica: ¿medición de seno a comisura o de seno a seno?

Las imágenes obtenidas con contraste resaltan tan solo la luz de la aorta, y proporcionan un diámetro inferior, ya que el grosor de la pared no es opacificado y no se incluye en la medición.

En consecuencia, cuando sea posible, es mejor comparar las imágenes obtenidas con contraste con otras imágenes con contraste y las imágenes obtenidas sin contraste con otras imágenes sin contraste.

SÍSTOLE FRENTE A DIÁSTOLE

La aorta se expande varios milímetros durante la sístole y se contrae hasta recuperar la dimensión original en la diástole (**figura 2, vídeo 1**). Pueden surgir discrepancias sustanciales si las imágenes se captan en fases diferentes del ciclo cardíaco. La sincronización con el electrocardiograma (ECG) facilita considerablemente la eliminación de las discrepancias derivadas de la variación sistólica/diastólica (10). Nosotros consideramos que la sincronización con el ECG es esencial para medir con exactitud el tamaño de la aorta (1). Sin sincronización, el movimiento de la pared aórtica puede hacer que sea imposible obtener mediciones precisas (2). Concretamente, un artefacto debido al movimiento puede hacer que la aorta parezca más grande que su dimensión real. Puede conseguirse una sincronización efectiva de forma prospectiva o retrospectiva, pero

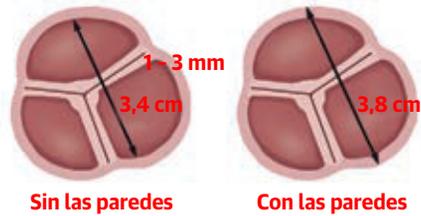
ILUSTRACIÓN CENTRAL Causas de discrepancias en las mediciones de la aorta ascendente

Orígenes de discrepancias en las exploraciones de imagen

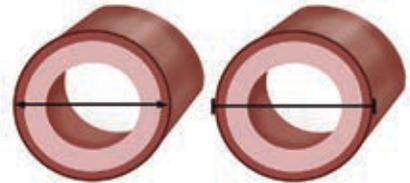
1. ¿Medición sistólica o diastólica?



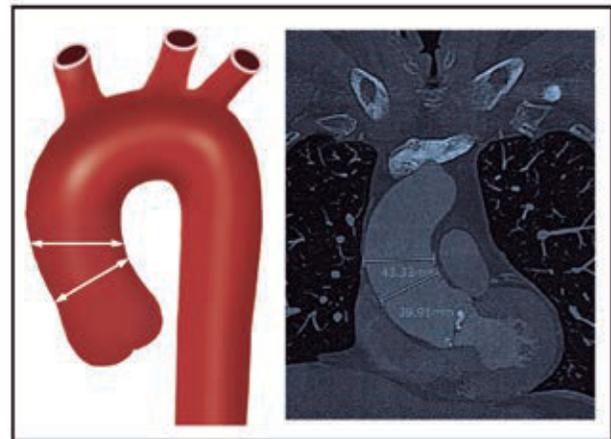
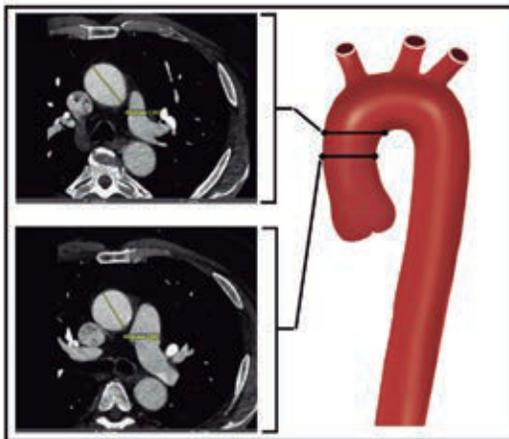
2. ¿Luz solamente o luz más pared aórtica?



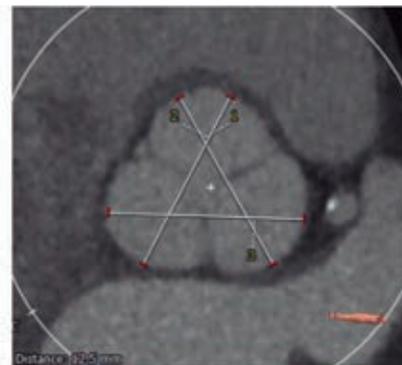
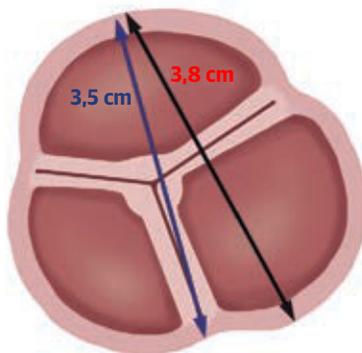
3. Cursor en la pared aórtica o justo fuera de ella



4. Oblicuidad del trayecto aórtico

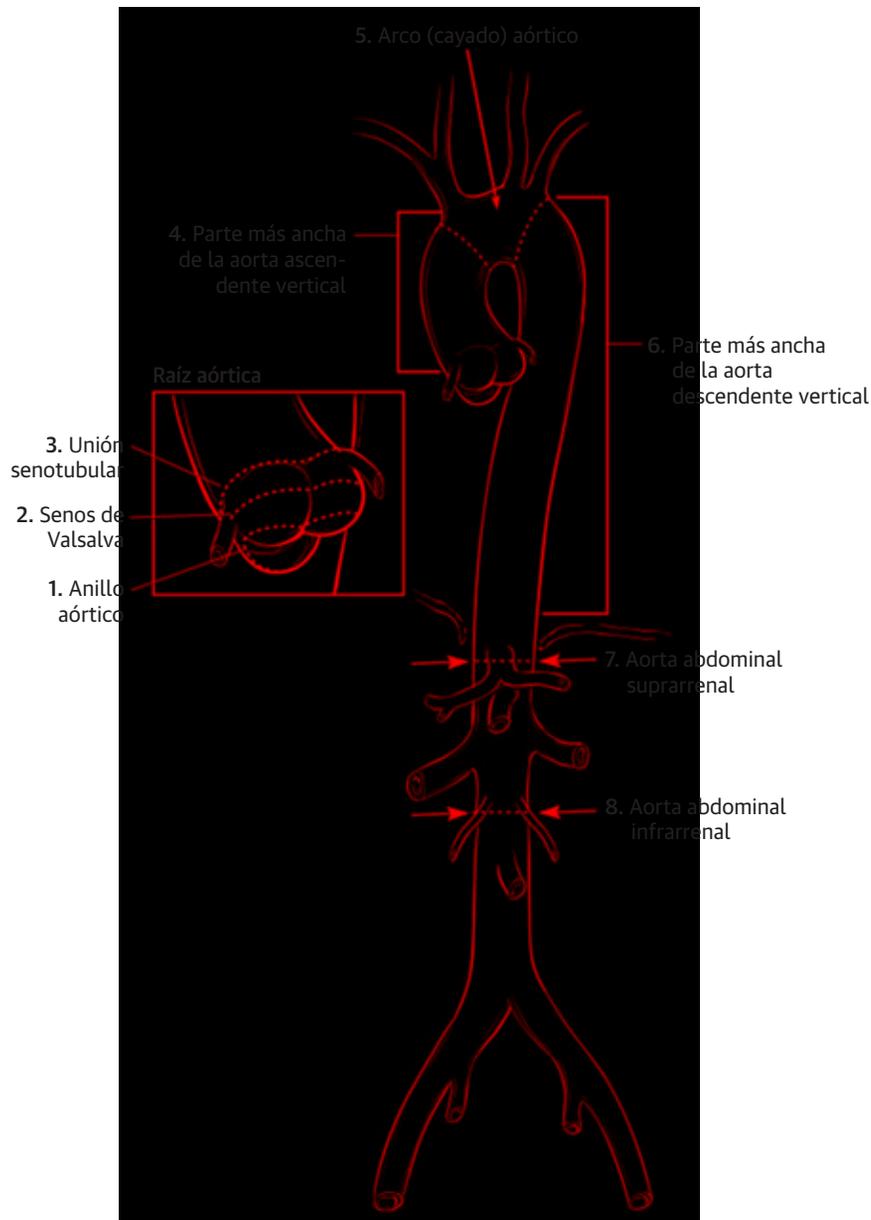


5. Seno de Valsalva: ¿comisura a seno o seno a seno?



Eleftheriades, J.A. et al. J Am Coll Cardiol. 2020;76(2):201-17.

Causas de discrepancias en las mediciones del aneurisma de la aorta torácica en una misma modalidad de exploración de imagen y entre diferentes modalidades.

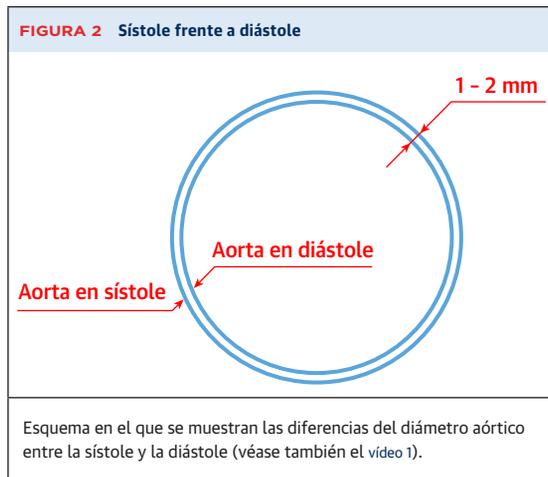
FIGURA 1 Lugares de medición estandarizados

Ocho ubicaciones para la medición y presentación uniformes del diámetro de la aorta. Las mediciones se realizan como sigue: 1) anillo aórtico; 2) senos de Valsalva; 3) unión senotubular; 4) parte más ancha de la aorta ascendente vertical (a cualquier altura específica); 5) diámetro máximo de la región del arco aórtico entre el origen del tronco innominado y el margen distal de la arteria subclavia izquierda; 6) parte más ancha de la aorta descendente vertical (a cualquier altura específica); 7) parte suprarrenal de la aorta abdominal; y 8) parte infrarrenal de la aorta abdominal. Reproducido con permiso de Berger y Elefteriades (3).

la sincronización prospectiva reduce de forma drástica el grado de exposición a la radiación (11). La sincronización suele hacerse en el punto medio de la diástole, cuando los ventrículos tienen el grado más bajo de movimiento (10). La RM y el TAC también pueden sincronizarse (2).

Las mediciones de la aorta pueden presentar una variación sustancial entre los conjuntos de imágenes

obtenidos con y sin sincronización, y ello refleja las diferencias existentes en el tamaño de la aorta en las diferentes fases del ciclo aórtico. A menudo (y probablemente esto sea lo más frecuente), los aneurismas de la aorta ascendente se identifican de forma accidental en exploraciones de imagen realizadas por otras razones. Estas exploraciones se habrán realizado con frecuencia



sin sincronización. Sería útil indicar la anotación de «sin sincronización» de manera sistemática en el informe radiográfico oficial.

TIPO Y COLOCACIÓN DE CURSOR

Los cursores y los marcadores de medición que estos producen difieren en los distintos sistemas de presentación de la imagen. Cuando el cursor produce tan solo una línea recta, parece natural colocarlo de manera que la línea termine exactamente en la pared aórtica. Cuando el cursor produce una línea con un pequeño trazo perpendicular, lo más natural parece colocar el trazo perpendicular inmediatamente por fuera, y tangencial, al contorno de la aorta (figura 6). Estas diferencias existentes en los cursores y la colocación del marcador pueden comportar una discrepancia de uno o 2 milímetros por cursor (y, por consiguiente, de un total de 2 a 4 mm en la medición de la aorta).

DIÁMETRO MÍNIMO O MÁXIMO DE UN CORTE AXIAL

Un corte axial de la aorta ascendente puede no ser exactamente circular. Puede tener, y a menudo tiene, un contorno oval (figura 7). Algunos autores toman la dimensión máxima, ya que la aorta puede ser asimétrica, por lo cual la dimensión máxima del contorno oval sería más representativa del diámetro aórtico máximo. Otros autores consideran que un contorno oval puede reflejar una oblicuidad de la aorta en el plano de imagen para el eje largo de la aorta, y no una forma realmente oval de esta. En tales circunstancias, el diámetro mínimo sería el más pertinente.

OBLICUIDAD EN LA PARTE ALTA DE LA AORTA ASCENDENTE

Tal vez el error más frecuente en la medición de la aorta ascendente sea el que se produce como consecuencia de

una medición oblicua cerca del arco aórtico. El operador, con el empleo de un conjunto de imágenes axial, sube y baja por la aorta ascendente. Si realiza una medición en el arco aórtico en el plano axial, el arco aórtico se apreciará en forma de un «perrito caliente» de forma oblonga en vez de un círculo redondo (figura 8), y la dimensión obtenida no será realmente apropiada para la interpretación.

Cuando se nos dice que «la aorta ha aumentado de tamaño muy rápidamente», esto constituye a menudo un informe erróneo que es consecuencia de la oblicuidad del corte a la altura del arco aórtico. Se nos apremia a identificar todos los casos en los que pueda haber un aumento de tamaño extremadamente rápido de la aorta ascendente. La aorta descendente y la aorta abdominal si que muestran ocasionalmente un aumento rápido real de su tamaño (5).

MEDICIÓN MANUAL O MEDICIONES OBLICUAS DOBLES ASISTIDAS POR ORDENADOR EN LA PARTE MEDIA DE LA AORTA ASCENDENTE

Tal vez la causa más frecuente de discrepancias en mediciones recientes de la aorta sea la transición de los radiólogos para pasar de la medición manual a las mediciones basadas en la «línea central» o las mediciones «oblicuas dobles» asistidas por ordenador. Las técnicas de medi-

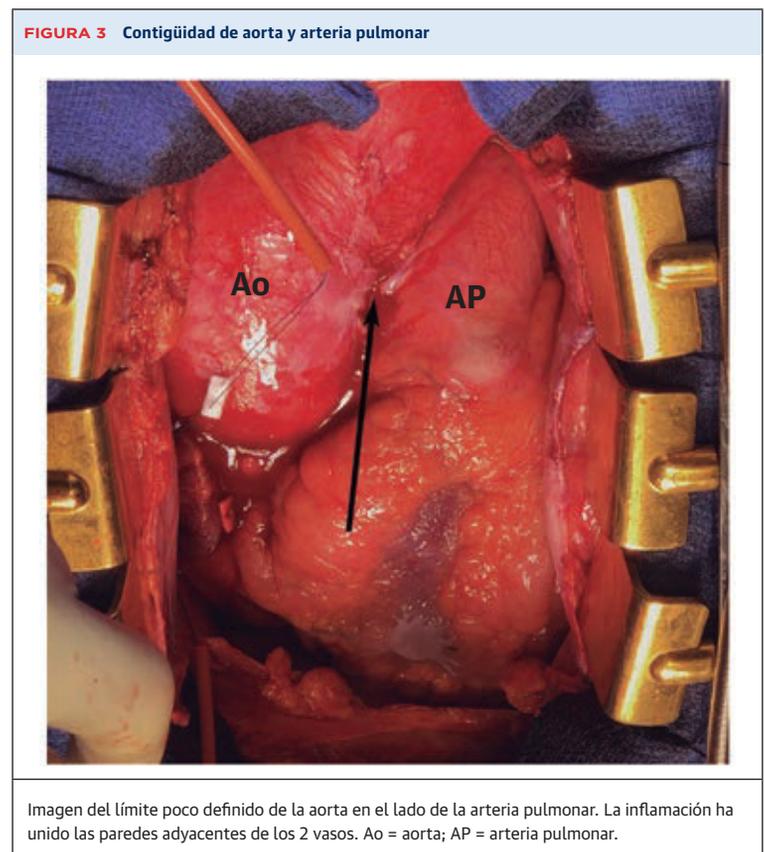
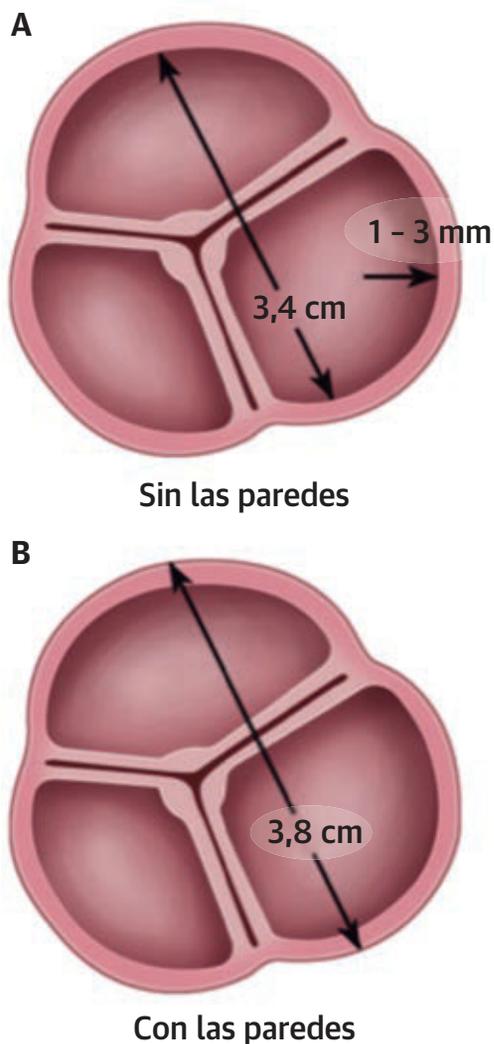
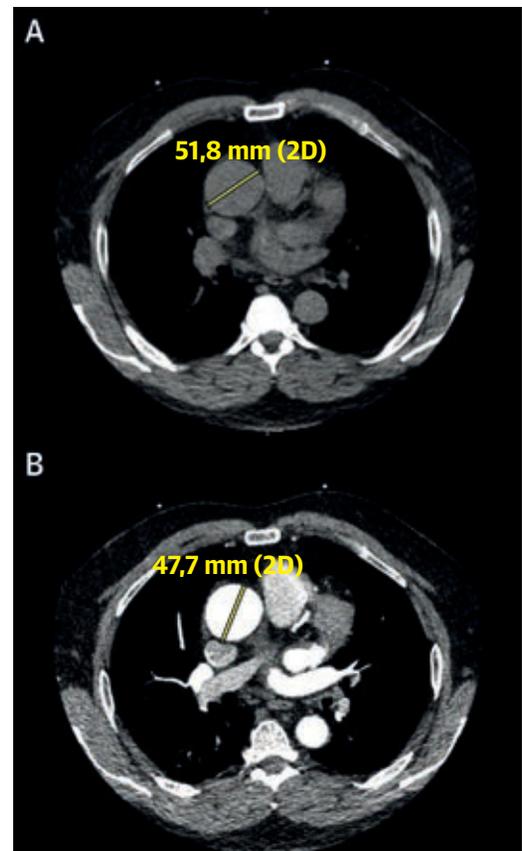


FIGURA 4 ¿Incluir o no la pared? – Representación esquemática

Esquema de las diferencias en la medición del diámetro aórtico con o sin incluir las paredes de la aorta (es decir, solamente la luz o la luz más las paredes). (A) La pared aórtica tiene un grosor de 1 a 3 mm. La inclusión o no de la pared puede comportar una diferencia significativa en el diámetro medido de la aorta. (B) Un grosor de la pared de 2 mm dará lugar a una diferencia global de 4 mm en el diámetro medido si se incluye en él la pared aórtica.

ción oblicua doble y de medición de línea central son métodos diferentes, en ambos casos diseñados para proporcionar un corte transversal para la medición que no sea oblicuo, sino perpendicular al eje largo de la aorta.

En este corte, nos centramos en la oblicuidad ya que esta afecta a las mediciones realizadas en la parte media de la aorta ascendente. Cuando la parte media de la aorta ascendente se alarga, tiene que curvarse, con la parte cóncava hacia el lado izquierdo y la parte convexa hacia el lado derecho. Como consecuencia de esa curvatura, un

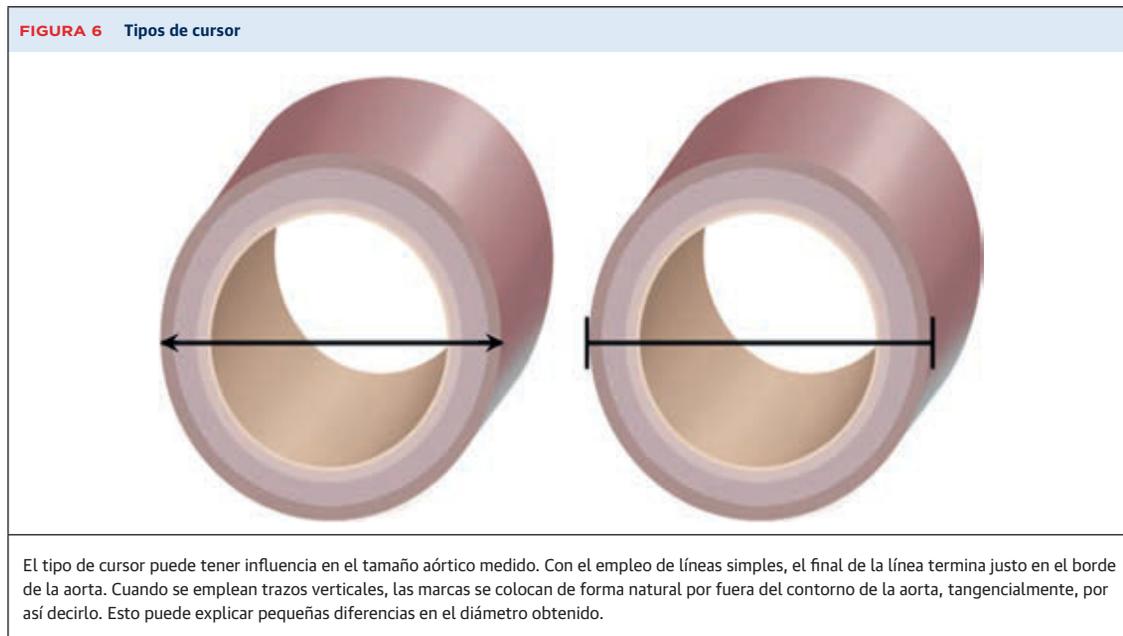
FIGURA 5 ¿Incluir o no la pared? – Imagen radiográfica

Diferencias entre «incluir o no la pared» en las mediciones de la aorta. Obsérvese que en la imagen sin contraste (A) se obtiene una medición mayor que la de la imagen con contraste (B). El contraste marca tan solo la luz, y no la pared, mientras que en una imagen sin contraste no se diferencia la luz de la pared. 2D = bidimensional.

plano axial puede no ser perpendicular a la línea central de la aorta (figura 9). Los clínicos se encuentran a menudo más cómodos al realizar mediciones a partir de imágenes axiales, aun aceptando que ello puede comportar una exageración de carácter menor del diámetro aórtico real. Es frecuente que los clínicos introduzcan un «control» respecto a este efecto realizando también mediciones en imágenes coronales, que contrarrestan la vulnerabilidad a la sobreestimación que tienen las mediciones manuales.

MEDICIÓN MANUAL O MEDICIÓN DE LA LÍNEA CENTRAL PARA LOS SENOS DE VALSALVA

Los problemas de medición y discrepancia se complican al evaluar los senos de Valsalva (figura 10) (2). La raíz aórtica es la parte geoméricamente más compleja de la aorta. ¿Cómo se define el diámetro de un trébol? Además, el trébol es casi siempre asimétrico en los pacientes con



aneurisma de la raíz de la aorta, de tal manera que el seno no coronario es el más dilatado (carece del soporte de fibras de colágeno que existen en las inserciones de la arteria coronaria derecha o izquierda (**figura 11**). Más difícil aún que definir el centro de un trébol es el problema de definir el centro y el diámetro de este trébol asimétrico. Plonek *et al.* (1) señalan que «el diámetro de la raíz de la aorta no existe ya que es asimétrica y no circular». Por otra parte, muchos de los sistemas de línea central comercializados están patentados y usan metodologías de «diámetro» opacas.

La medición de la raíz aórtica asistida por ordenador puede infravalorar gravemente el diámetro máximo real en los senos de Valsalva, dando lugar a una infradetección y el consiguiente infratratamiento de un aumento de tamaño sustancial de la raíz de la aorta (1, 12). Las diferencias entre el diámetro mínimo y el máximo fueron de > 5 mm en más de la mitad de los pacientes. Se ha resaltado la posibilidad de que ello comporte consecuencias adversas graves para los pacientes, y existe el temor real de que puedan aparecer complicaciones «con peligro para la vida» como consecuencia del retraso en la intervención quirúrgica necesaria.

Método de seno a comisura. Con las técnicas de línea central estándares (13), el «diámetro» de la aorta a la altura de los senos de Valsalva se determina trazando una línea desde el punto más profundo de un seno perpendicularmente hacia el «centro» de la comisura opuesta. Esto se denomina medición «de seno a comisura» (**figura 12**). Con ella se obtiene una dimensión precisa, pero pequeña (1). Si se colocara el compás calibrador en los senos en esos lugares del «diámetro», no se podría rotar

la aorta alrededor del centro, puesto que la protrusión de los senos adyacentes «bloquearía» la rotación del compás (vídeo 2). En este proceso de determinación de la línea central, es imprescindible elegir el plano de interrogación de tal manera que capte la parte más ancha de los senos de Valsalva, generalmente en la parte media de los senos. Es importante no elegir un plano caudal o craneal a este nivel de máxima amplitud (**figura 13**).

MÉTODO DE SENO A SENO. Cabría argumentar que una definición alternativa del diámetro máximo de la raíz

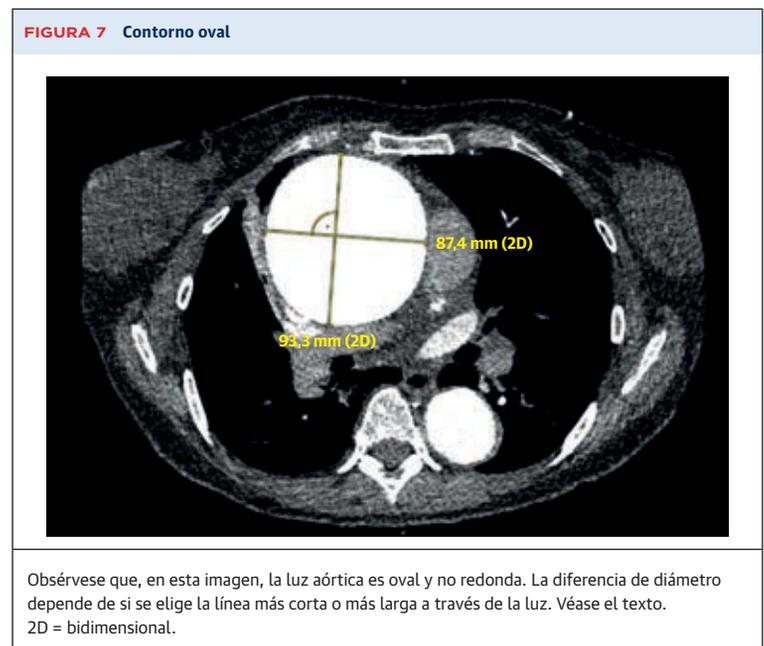
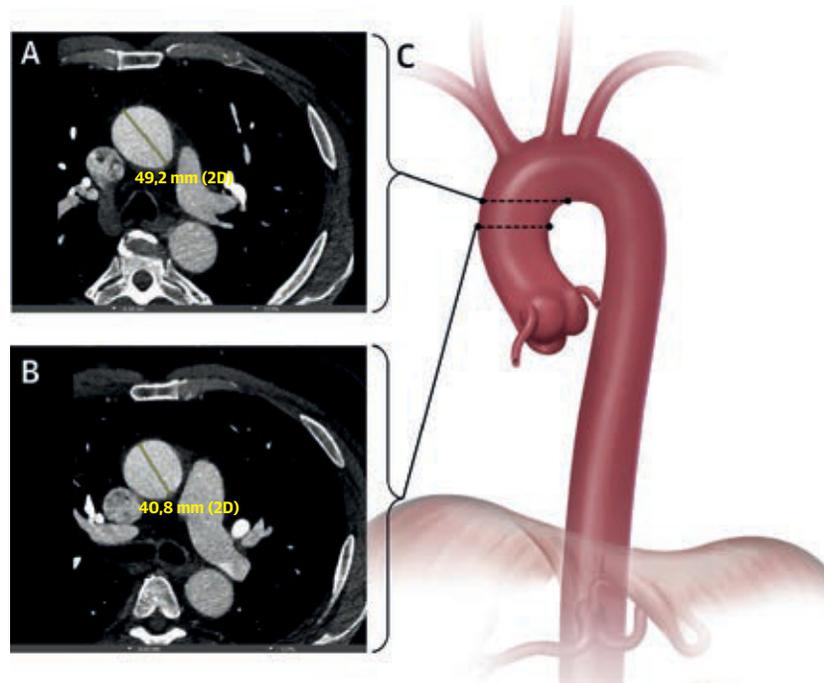
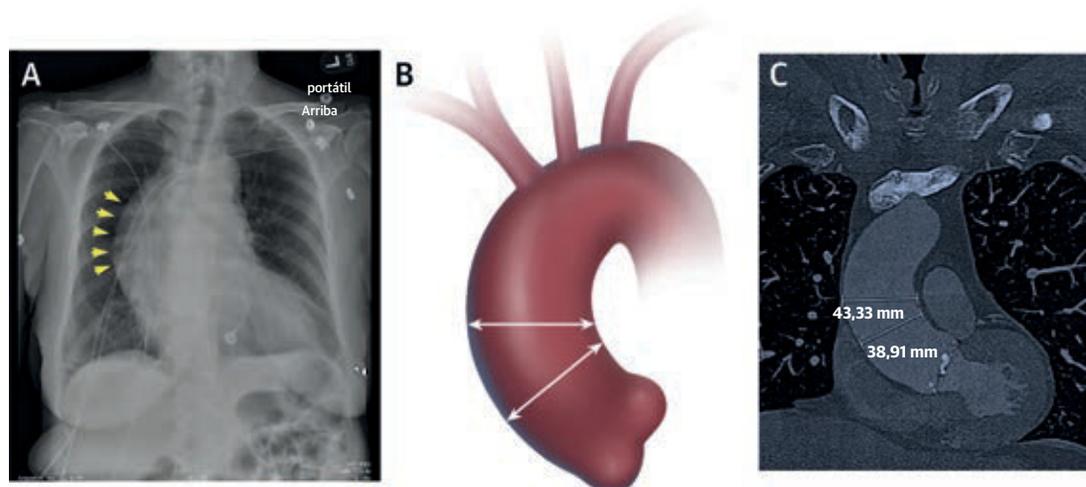
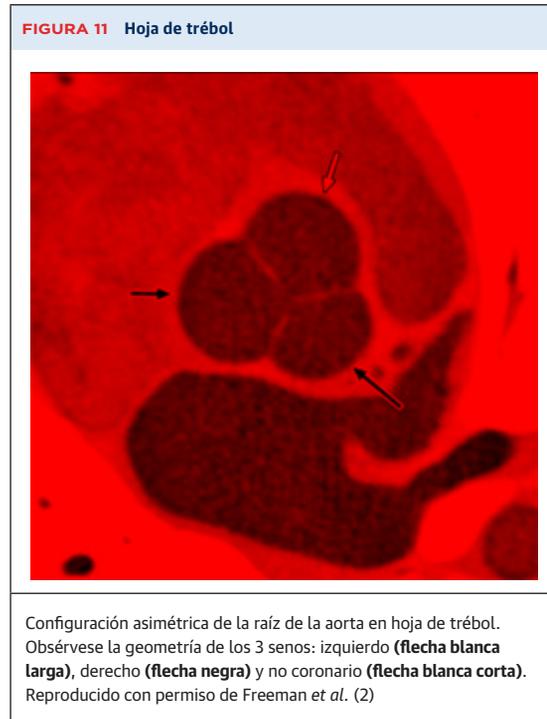
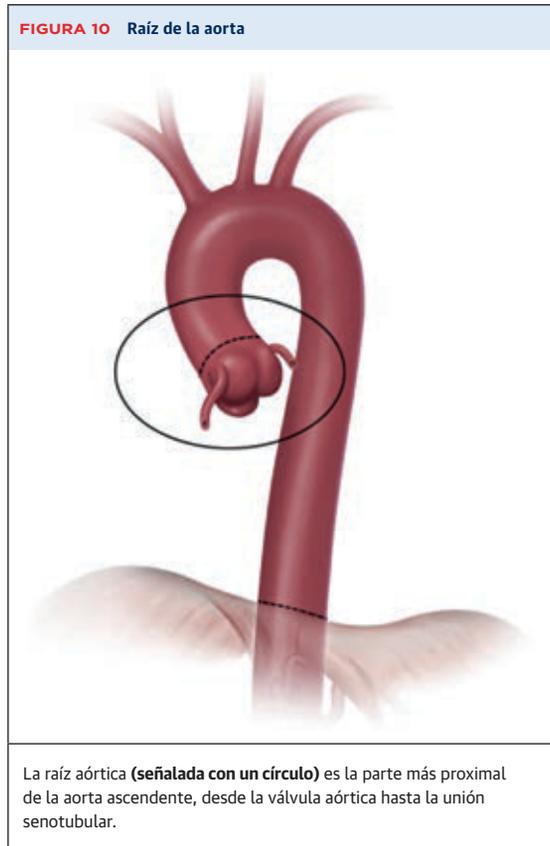


FIGURA 8 Oblicuidad a través del arco aórtico

Una imagen axial (transversal) elegida en un lugar un poco demasiado alto (A) exagerará la dimensión real de la aorta debido al plano oblicuo a través del arco aórtico, en comparación con lo que ocurre con una imagen elegida de manera adecuada en la parte más alta de la aorta ascendente, pero por debajo del arco aórtico en sí (B). Esquema de los planos de corte axiales (C): la ubicación de la **línea punteada superior** es demasiado alta; la ubicación de la **línea punteada inferior** es apropiada, y está situada de forma precisa en la parte más alta de la aorta ascendente, pero no tan alta como para producir un corte oblicuo a través del arco aórtico. 2D = bidimensional.

FIGURA 9 Forma en C de la aorta ascendente

La forma en C de una aorta ascendente con elongación puede distorsionar las mediciones axiales del diámetro aórtico. (A) Obsérvese que esta aorta está tan alargada y curvada que se observa claramente que su convexidad se extiende más allá de la sombra mediastínica derecha normal. Las **flechas** señalan el contorno de la pared aórtica. (B) Representación esquemática de la forma en C de una aorta con elongación. La medición axial será superior a la medición real perpendicular al eje largo de la aorta. (C) Nuevamente, en esta imagen de tomografía computarizada real, una medición axial sobrevalorará la medición perpendicular real. Véase el texto.



de la aorta sería la de la línea más larga que puede trazarse dentro del contorno de la raíz aórtica, generalmente desde el centro del seno más profundo hasta el centro de un seno adyacente. Goldstein *et al.* (13) denominan a este

método medición «de seno a seno» y señalan que generalmente produce un diámetro superior en 2 mm o más al que indica el método de seno a comisura (**figura 12**). Tal como se muestra en la **figura 14**, a poder ser deben medirse las 3 dimensiones de seno a seno. Como alternativa puede indicarse la mayor de las 3. Colocando el compás calibrador en estos lugares de la medición de seno a seno, se puede rotar la raíz de la aorta dentro del compás, tal

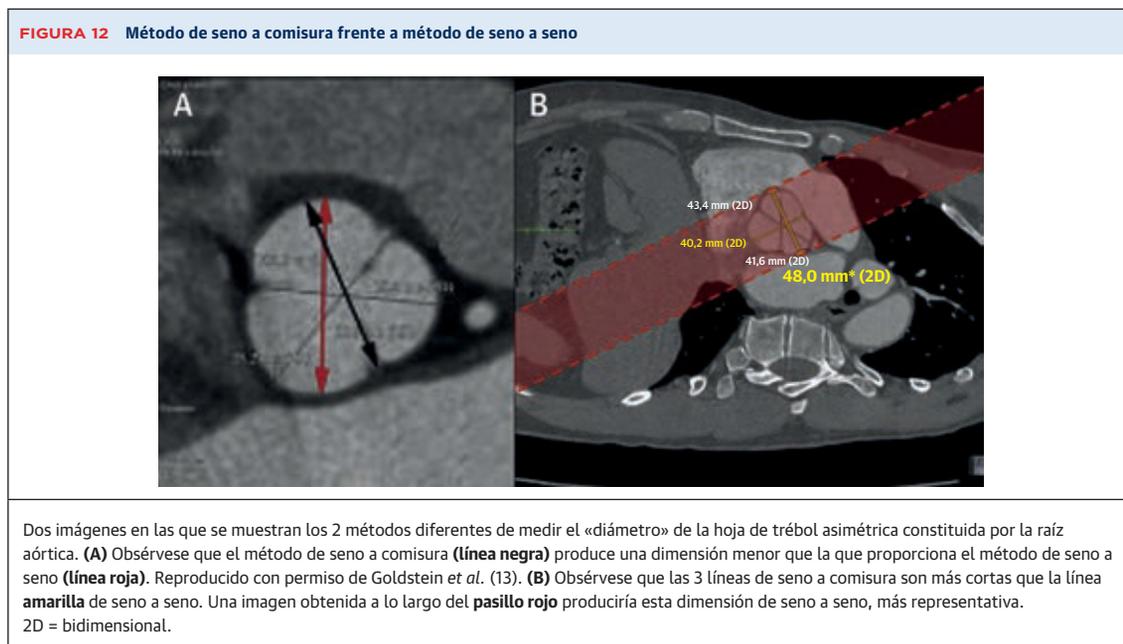
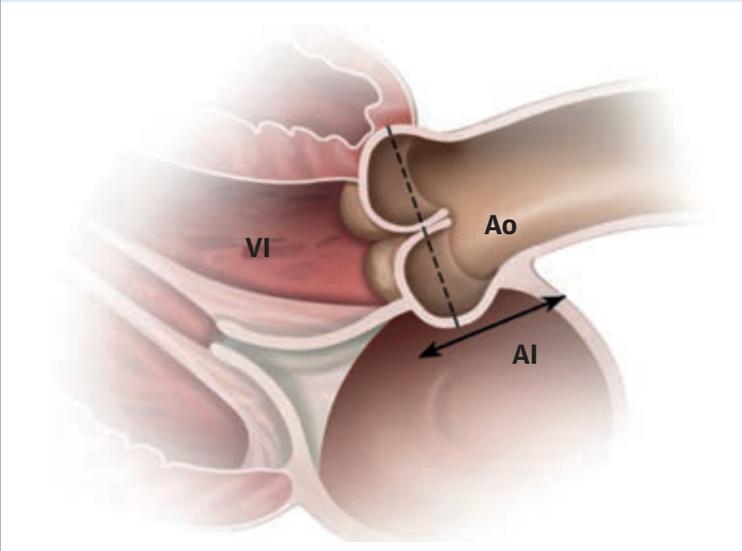


FIGURA 13 Optimización de la medición ecocardiográfica de la raíz de la aorta



En este proceso de determinación de la línea central, es imprescindible elegir el plano de interrogación de tal manera que capte la parte más ancha de los senos de Valsalva, generalmente en la parte media de los senos. Es importante no elegir un plano proximal o distal de este nivel de máxima amplitud. Ao = aorta; AI = aurícula izquierda; VI = ventrículo izquierdo.

FIGURA 14 Tres mediciones de senos



ID	Tipo	Etiqueta	Valor
1	Diámetro	Diámetro	39,8 mm
2	Diámetro	Diámetro	39,3 mm
3	Diámetro	Diámetro	41,0 mm

Obsérvense los 3 diámetros de seno a seno que pueden medirse. Pueden presentarse las 3 dimensiones medidas o bien la que tenga el valor mayor.

como se aprecia en el vídeo 2, sin contactar con ellos, ya que el compás está situado en los puntos más «rellenos» de la raíz. Goldstein *et al.* (13) apuntan que el método «de seno a seno» tiene ventajas respecto al método «de seno a comisura», como son la semejanza con las mediciones monoplanares del TAC (cortes coronales), la estrecha correlación con las mediciones ecocardiográficas y la mayor facilidad de aplicación a válvulas bicúspides. Desde un punto de vista biomecánico, sería de prever que este diámetro fuera más representativo de la tensión máxima en la pared de la aorta, y por lo tanto predijera de manera más natural los eventos aórticos (1).

USO DE UNA IMAGEN CORONAL DE LA RAÍZ AÓRTICA.

Puede obtenerse una aproximación de la dimensión máxima de la profundidad de un seno a la profundidad de otro seno en las imágenes coronales (o sagitales) mediante técnicas manuales sencillas (figura 15). Se toma el diámetro máximo que encaja en la zona de la raíz aórtica en las imágenes coronales. Consideramos que esta dimensión tiene un significado clínico. Además, la determinación del diámetro más «grueso» en las imágenes coronales permite obviar el problema de las técnicas de línea central de identificar el plano caudal a craneal apropiado a lo largo de la línea central para poder realizar las mediciones. El diámetro máximo se pone claramente de manifiesto en las imágenes coronales simples. Por otra parte, como veremos en el apartado siguiente, la dimensión de la profundidad de un seno a la profundidad de otro seno es una metodología que se parece mucho a la de la medición de la dimensión de la raíz aórtica mediante ecocardiografía. A los operadores de ecocardiografía se les enseña a orientar el haz de ultrasonidos de manera precisa para captar la dimensión transversal máxima.

Resulta crucial recordar que nuestros nomogramas clínicos predictivos de Yale, ampliamente utilizados y citados en las guías (14), se basan todos ellos en mediciones realizadas manualmente a partir de imágenes ortogonales estándares. El empleo de mediciones de la raíz aórtica automáticas mediante ordenador, basadas en métodos de seno a comisura, puede exponer a los pacientes a un riesgo clínico de ruptura.

PROBLEMAS DE LA ECOCARDIOGRAFÍA

La ecocardiografía transtorácica (ETT) y la ecocardiografía transesofágica (ETE) permiten visualizar bien la raíz aórtica y la aorta proximal. Sin embargo, es frecuente que la parte media y superior de la aorta ascendente queden fuera de la ventana ecocardiográfica.

Las convenciones, trucos y dificultades de la evaluación ecocardiográfica de la raíz aórtica y la aorta ascendente han sido objeto de una revisión reciente por parte de Hull (15) y de un examen detallado por parte de Golds-

tein *et al.* (13). La aorta ascendente suele visualizarse en la proyección de eje largo paraesternal (**figura 16**).

FASE DEL CICLO CARDIACO. Por convención, las mediciones del anillo se realizan en la parte media de la sístole y las mediciones aórticas se obtienen en la fase telediastólica. El hecho de no atenderse a la fase del ciclo cardiaco puede comportar una discrepancia de varios milímetros.

¿INCLUIR O NO LA PARED?. Por convención, la medición de la aorta se realiza con la técnica de «borde delantero a borde delantero» (*leading edge-to-leading edge*). En este nombre, «delantero» indica el primer borde de la aorta con el que se encuentra el haz de ultrasonidos (**figura 16**). En la ETT, esto corresponde a la pared anterior de la aorta, cerca de la pared torácica. En la ETE, corresponde a la pared posterior de la aorta, cerca del esófago. El primer borde delantero está «volteado» entre la ETT y la ETE (de delante a atrás) (15).

Las mediciones del diámetro se realizan desde el borde externo de la pared aórtica cercana hasta el borde interno de la pared aórtica lejana. Por consiguiente, la medición global incluye 1 pared y la luz, pero no la otra pared. En cierto sentido, corresponde a un «promedio» de las opciones de medir tan solo la luz o realizar la medición incluyendo las paredes. Hay múltiples razones que subyacen en la decisión de usar la técnica de borde delantero a borde delantero. En primer lugar, el empleo de una convención es esencial para que haya una uniformidad en la interpretación. En segundo lugar, el borde delantero es el lugar más próximo a la sonda de ecocardiografía y el primero con el que se encuentra el haz de ultrasonidos. Por consiguiente, el borde delantero es el que proporciona la mayor resolución. Por último, se ha observado que la técnica de borde delantero a borde delantero es la que muestra una mejor correlación con las mediciones aórticas correspondientes en la TAC, lo cual mejora las comparaciones entre distintas modalidades de exploración.

MEDICIÓN DEL SENO. Para obtener una evaluación exacta del diámetro de la llamada raíz aórtica en los senos de Valsalva, se requiere pericia y atención. Es esencial rotar el haz de ultrasonidos para visualizar las «caderas» de los senos aórticos. Si no se abren así los senos, la raíz aórtica aparecerá plana en la zona del seno y producirá un diámetro pequeño erróneo. Ello puede conducir a infravaloraciones muy notables, de hasta 5 mm o más (**figura 17**) (1, 13). Es importante mantener la línea de medición del diámetro paralela al anillo aórtico y perpendicular al eje largo de la aorta. Goldstein *et al.* (13) afirman que «sino se busca la medición máxima correctamente orientada puede infravalorarse el diámetro de la raíz aórtica», y ello tiene consecuencias clínicas negativas.

CORRECCIÓN SEGÚN EL TAMAÑO CORPORAL Y LA EDAD. Los rangos normales de las dimensiones ecocar-

FIGURA 15 Raíz aórtica en el plano coronal



Medición del diámetro máximo de la raíz de la aorta en el plano coronal en la imagen de tomografía computarizada. 2D = bidimensional.

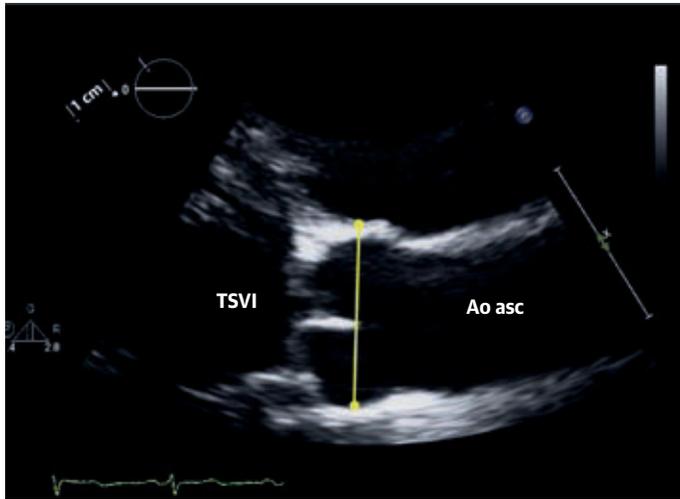
diográficas de la raíz aórtica varían en función del tamaño corporal y de la edad del paciente. En los individuos con un tamaño corporal mayor o de mayor edad es «aceptable» que el tamaño de la raíz aórtica sea mayor. Los nomogramas que se reproducen en la **figura 18** permiten tener en cuenta estos parámetros. El mismo principio es el que subyace en los nomogramas de área de superficie corporal y de altura corporal que ha publicado el *Aortic Institute at Yale* (5, 16).

INTEGRACIÓN

¿De qué forma integramos toda esta información?

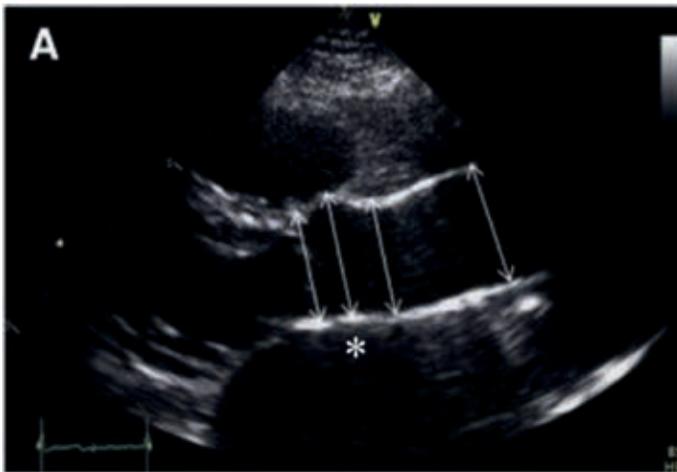
Es justo decir que cada una de estas distintas metodologías y técnicas de medición tiene algo de verdad. No existe una única verdad universal en la medición de la aorta ascendente.

AORTA ASCENDENTE PROPIAMENTE DICHA. Consideremos la aorta ascendente propiamente dicha (por encima de la unión senotubular). En la mayor parte de

FIGURA 16 Medición ecocardiográfica de los senos de Valsalva

Ecocardiografía transtorácica en proyección de eje largo paraesternal que muestra la medición del diámetro de la raíz de la aorta a la altura del seno de Valsalva en la fase telediastólica, con el empleo del método de borde delantero a borde delantero (*leading edge-to-leading edge*). Ao asc = aorta ascendente; TSVI = tracto de salida ventricular izquierdo. Reproducido con permiso de Goldstein et al. (13).

aortas, que han sufrido poco alargamiento y, por lo tanto, poca curvatura, las mediciones realizadas con el simple diámetro en imágenes axiales diferirán muy poco de las mediciones oblicuas dobles realizadas mediante ordenador. Cuando la aorta ascendente ha sufrido una elongación considerable y, por consiguiente, se ha curvado, la oblicuidad del plano axial respecto a la línea central de

FIGURA 17 Medición errónea del seno «plano»

Obsérvese que una adquisición deficiente de la imagen puede dar lugar a un «seno plano» (asterisco), que no se corresponde con la anatomía normal de la raíz aórtica e infravalora la dimensión real de esta. Reproducido con permiso de Son et al. (23).

la aorta introducirá una discrepancia moderada de varios milímetros; las mediciones axiales «sobreestimarán» el diámetro respecto al obtenido con las mediciones oblicuas dobles. En el ámbito clínico, una simple medición adicional del diámetro en las imágenes coronales permitirá corregir esa oblicuidad.

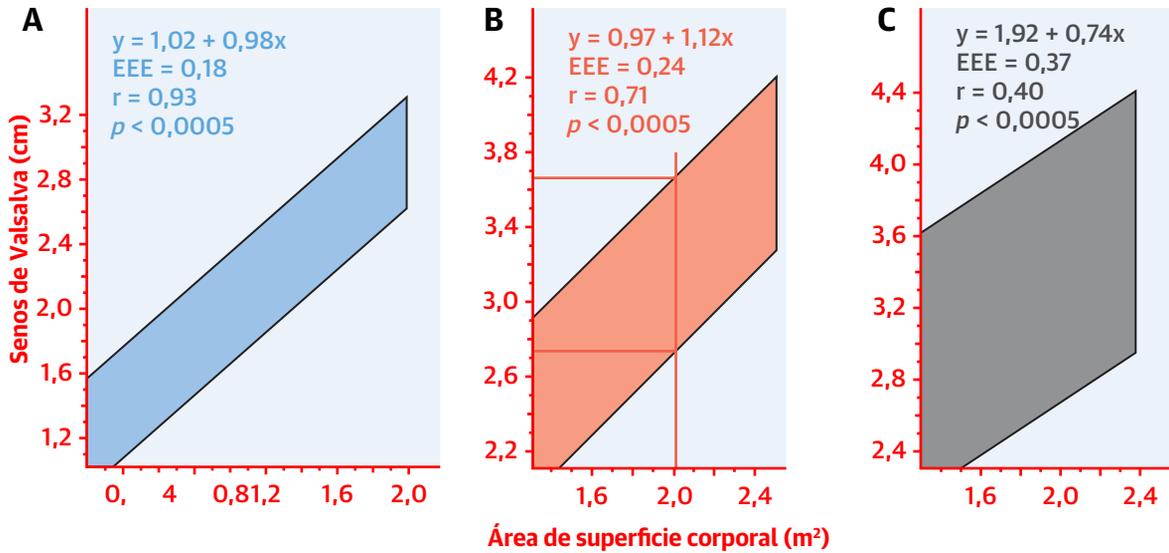
ARCO AÓRTICO. La oblicuidad es inherente, por definición, en el cayado de la aorta. Debe tenerse cuidado de no realizar una medición oblicua a través del arco aórtico en imágenes axiales y obtener por tanto las dimensiones aórticas astronómicas de un corte transversal inapropiado.

RAÍZ AÓRTICA. Las mayores discrepancias (infravaloración del diámetro en comparación con las mediciones ortogonales convencionales) son las que se producen en la zona de la raíz aórtica. La raíz de la aorta es la parte que tiene mayor complejidad de medición, debido a las dificultades que comporta definir y medir un trébol asimétrico. Se han descrito las limitaciones que tiene el método de seno a comisura en comparación con el método de «protrusión más gruesa» (método de seno a seno o medición ortogonal simple en una imagen coronal). Una posible opción para el futuro puede ser el examen de nuevas formas de medición del trébol asimétrico de la raíz aórtica. Es posible que el perímetro o el área transversal resulten ser índices mejores (más predictivos) que el diámetro por sí solo (figura 19).

SÍNTESIS. Es importante señalar que muchas de las guías para la intervención aórtica (14, 17) se basan de forma sustancial en nuestros estudios de la evolución natural del trastorno (18-20) realizados en el *Yale Aortic Institute*. Conviene resaltar que nuestras evaluaciones y cálculos se basan en todos los casos en mediciones manuales tradicionales de la dimensión de la parte media de la aorta ascendente en las imágenes axiales y en la dimensión de la raíz aórtica en las imágenes coronales. En Yale se han acumulado muchos miles de mediciones a lo largo de décadas, y la metodología de evaluación manual uniforme es previa a la introducción de los métodos de medición oblicua doble y de línea central. Las mediciones oblicuas dobles y las mediciones de línea central producirán, comparativamente, una infravaloración. Por consiguiente, podemos optar o bien por realizar las mediciones tradicionales o bien por desplazar «a la izquierda» nuestros valores de decisión de intervención (a diámetros de intervenciones menores compatibles con la infravaloración relativa que producen las técnicas informatizadas más recientes) (figura 20) (16).

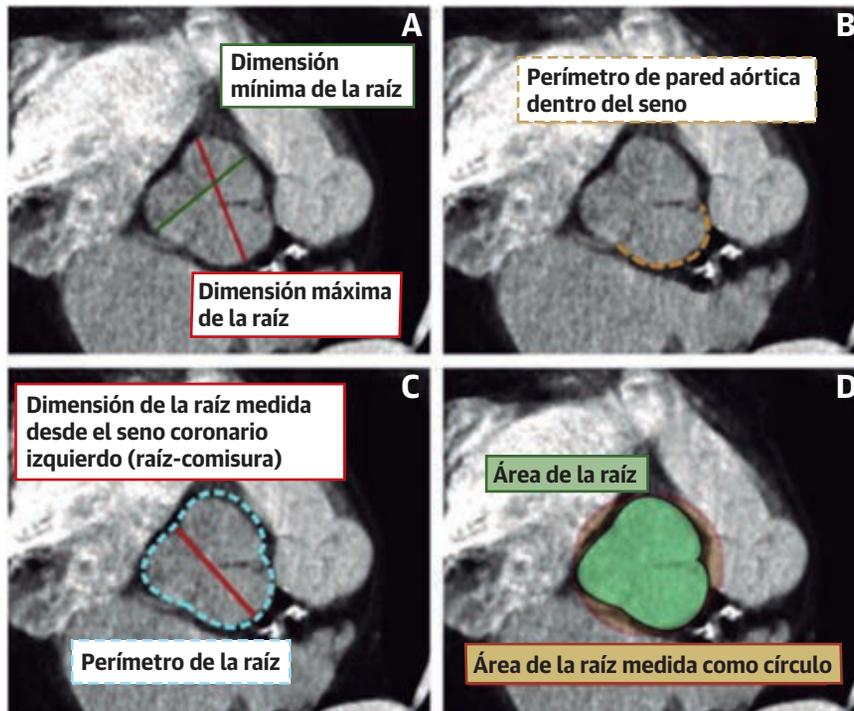
Quienes tratamos las enfermedades aórticas nos encontramos en una encrucijada. Las técnicas asistidas por ordenador proporcionan unas mediciones que no son estrictamente comparables con las de los métodos larga-

FIGURA 18 Tamaño aórtico normal según el ASC y la edad



Relación entre el rango normal de tamaño de la raíz aórtica y el área de superficie corporal (ASC) en individuos <15 años (A), 20 a 39 años (B) y > 40 años de edad (C). Reproducido con permiso de Goldstein et al. (13). EEE = error estándar de la estimación.

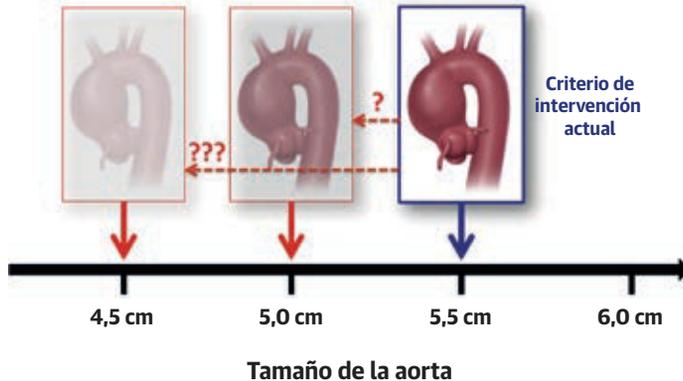
FIGURA 19 Perspectivas futuras para la medición de la raíz aórtica



Nuevas sugerencias de medición para captar de forma óptima el aumento de tamaño de la raíz de la aorta. (A) Mediciones de "diámetro" convencionales. (B) Perímetro de un solo seno. (C) Perímetro de la raíz aórtica. (D) Área de la raíz aórtica representada por un círculo que la envuelve. Reproducido con permiso de Plonek et al. (1).

FIGURA 20 ¿«Desviación a la izquierda» en los criterios quirúrgicos?

¿Ha llegado el momento de aplicar una desviación a la izquierda en las guías para la intervención sobre la aorta ascendente?



¿Ha llegado el momento de aplicar una desviación a la izquierda en las guías para la intervención sobre la aorta ascendente? La infravaloración del diámetro aórtico, en comparación con las mediciones manuales tradicionales, en las que se basan las guías, puede contrarrestarse mediante una «desviación a la izquierda» de nuestros criterios, para pasar a utilizar dimensiones menores de las que se habían recomendado anteriormente. Reproducido con permiso de Ziganshin et al. (16).

mente utilizados que subyacen en las recomendaciones de intervención de las guías actuales. Es posible que sea necesario aceptar un «factor de desplazamiento» de entre 3 y 5 mm. Ha de advertirse a los clínicos que no deben poner en peligro a sus pacientes esperando a que las dimensiones obtenidas mediante ordenador cumplan los criterios de intervención quirúrgica que se basan en mediciones obtenidas manualmente.

Un avance en este sentido, según lo indicado por Freeman et al. (2), es el de presentar para todos los pacientes mediciones tanto de seno a comisura como de seno a seno. De esta forma se detecta y se presenta tanto el «diámetro» menor como el mayor. Nosotros respaldamos esa sugerencia. También apoyamos la sugerencia de Freeman (2) de que se incluya en el informe oficial la técnica exacta utilizada para medir la raíz aórtica, con objeto de permitir una comparación adecuada con otros estudios. Podría considerarse la posible conveniencia de presentar tanto las mediciones por ordenador basadas en la línea central como las mediciones coronales tradicionales en todos los pacientes. Otra solución sería rebajar nuestro umbral para la intervención aórtica, como se ha comentado antes en el texto, con objeto de adaptar los criterios a las mediciones actuales realizadas con el método de la línea central mediante ordenador (16).

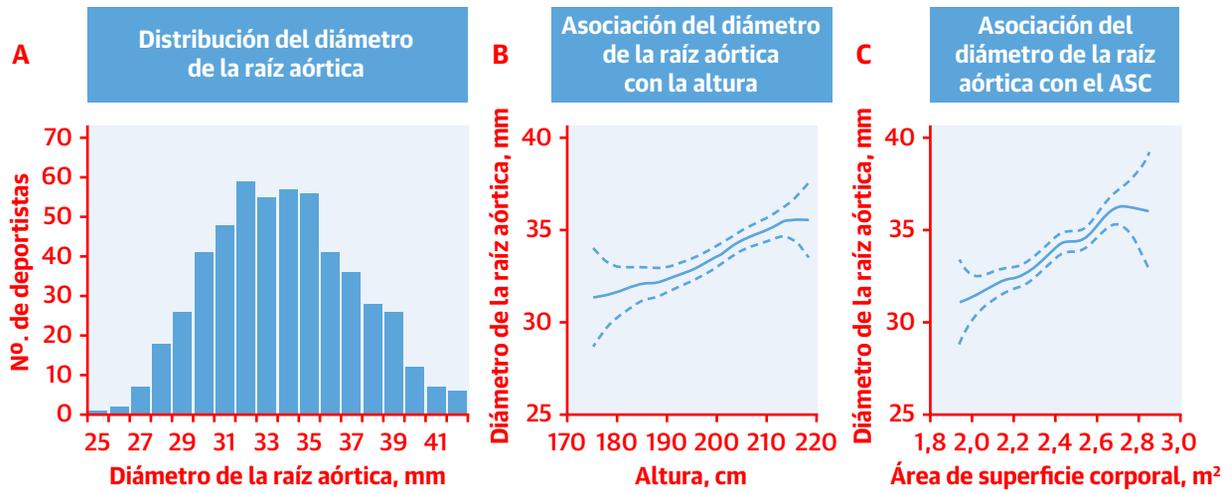
Todas las modalidades de medición descritas aquí son «verdaderas» en sus contextos específicos. Simplemente debemos continuar siendo conscientes de las adverten-

cias antes mencionadas respecto a la toma de decisiones clínicas. Reconocer la existencia de discrepancias en la medición será útil para reducir la confusión en los clínicos y mejorar la seguridad de los pacientes.

PREGUNTAS FRECUENTES

1. ¿Cómo definimos un aneurisma de la aorta ascendente? Nosotros utilizamos un criterio de 4 cm para definir un aneurisma y para iniciar el seguimiento clínico de la aorta. Sabemos bien que el tamaño de la aorta varía en función del tamaño corporal (véase el texto previo). Sin embargo, incluso en los jugadores de baloncesto profesionales es frecuente que no se supere la dimensión aórtica de > 4 cm (figura 21).
2. ¿Cuál es el cambio mínimo de diámetro que debe considerarse real o significativo? Teniendo en cuenta las considerables variaciones que hemos comentado, pensamos que las mediciones de la aorta deben tomarse «con ciertas reservas». Se pueden producir fácilmente diferencias de 2 a 3 mm en las mediciones entre una exploración y otra sin que haya ningún cambio real del tamaño de la aorta.
3. ¿En dónde debe medirse la aorta ascendente? Es esencial medir la aorta a la altura de la raíz y de la parte ascendente. En muchos pacientes la dilatación puede estar limitada a 1 de estas localizaciones (figura 22). Ambas zonas proporcionan datos concluyentes. Estos diámetros deben presentarse por separado. Por lo que respecta a la aorta ascendente en sí, nosotros sugerimos presentar la dimensión máxima, sea cual sea el lugar en la que se haya obtenido, desde la unión senotubular hasta el arco aórtico.
4. ¿Debemos incluir o no la pared en las mediciones de la aorta? Nosotros recomendamos incluir la pared, ya que en muchos pacientes las exploraciones de TAC iniciales o posteriores se realizarán sin contraste. Sin el empleo de contraste, no es posible diferenciar la pared de la luz, lo cual hace que se incluya automáticamente la pared en la medición. Así pues, si se realizan exploraciones de imagen posteriores con contraste, hay que tener también la precaución de presentar las mediciones con la inclusión de la pared. De esta forma, las mediciones realizadas en exploraciones con y sin contraste serán comparables.
5. ¿Qué ocurre con las imágenes de exploraciones «antiguas»? Hay que tener precaución al hacer comparaciones con exploraciones realizadas años atrás, cuando los métodos de adquisición de las imágenes eran muy diferentes de los actuales (por ejemplo, sin sincronización). Estas imágenes anti-

FIGURA 21 Dimensiones de la aorta ascendente en jugadores de baloncesto



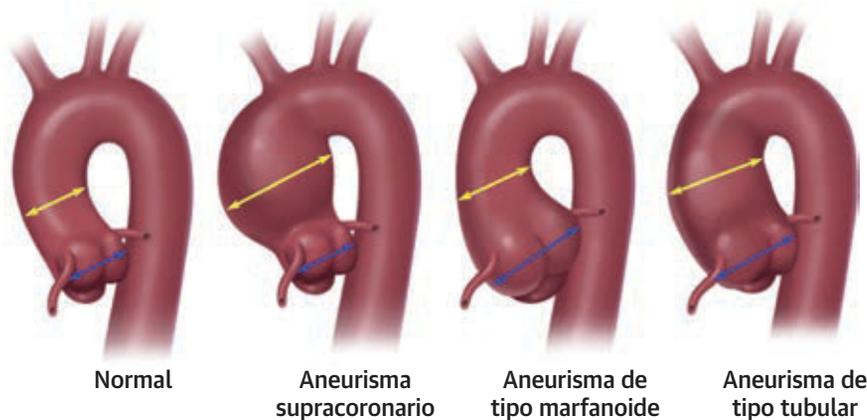
Dimensión máxima de la aorta en jugadores profesionales de baloncesto (altura media 2,01 m). Obsérvese en **A** que la dimensión de la aorta superó los 4 cm tan solo en muy pocos pacientes. Obsérvese en **B** y **C** que la estabilización de las líneas medias continuas (diámetro de la raíz aórtica) incluso a una altura corporal extrema. Reproducido con permiso de Engel et al. (24). ASC = área de superficie corporal.

guas pueden no ser directamente comparables con las de las exploraciones efectuadas con los métodos modernos.

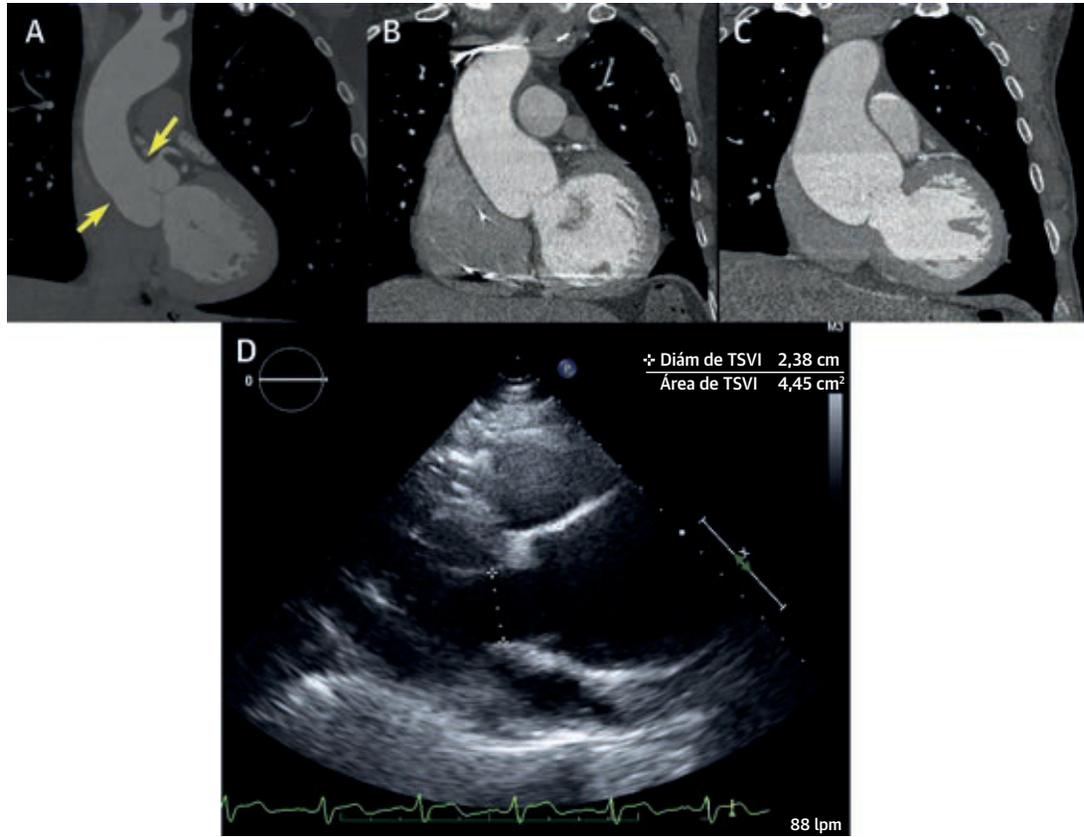
- ¿Con qué frecuencia deben repetirse las exploraciones de imagen? Por lo que respecta al examen ordinario de los aneurismas de la aorta ascendente de tamaño pequeño o moderado, recomendamos repetir el examen ordinario de TAC con una frecuencia no superior a la de cada 2 o 3 años. La aorta torácica

dilatada aumenta de tamaño lentamente, en alrededor de 1 a 2 mm al año (5, 21, 22). (En la aorta abdominal puede haber a veces un aumento de tamaño rápido, pero no así en la torácica. La mayor parte de informes que indican un aumento rápido del tamaño de la aorta ascendente corresponden a casos falsos, debidos a la oblicuidad de la imagen o a la comparación de segmentos que no se corresponden.) Por consiguiente, no hay una necesidad

FIGURA 22 Tres patrones de dilatación aneurismática de la aorta ascendente



Recomendamos medir la aorta ascendente a la altura de la raíz aórtica (flechas azules) y a la altura de la aorta ascendente supracoronaria (flechas amarillas). Esto facilita la distinción de 3 tipos principales diferentes de aneurismas aórticos: supracoronarios (que afectan tan solo a la aorta ascendente y no a la raíz aórtica), marfanoides (que afectan tan solo a la raíz aórtica y no a la aorta ascendente, de manera similar a la afectación de la raíz que se da en los pacientes con síndrome de Marfan, de ahí su nombre) y tubulares (que afectan tanto a la raíz aórtica como a la aorta ascendente).

FIGURA 23 Borramiento aórtico

(A) Raíz aórtica normal con la «cintura» indicada mediante las **flechas amarillas** (véase el texto). **(B y C)** Ejemplos de borramiento aórtico tal como se observan en una tomografía computarizada, indicativos de una enfermedad de la pared aórtica. **(D)** Borramiento observado en la ecocardiografía. TSVI = tracto de salida ventricular izquierdo.

clínica de exponer a los pacientes a la radiación de una TAC a intervalos anuales. Las exploraciones de ecocardiografía son completamente inocuas, por lo que no hay objeción a realizarlas anualmente. Sin embargo, con la ecocardiografía sola, sin exámenes intermitentes mediante TAC, generalmente no se visualizará la parte media y superior de la aorta ascendente.

- ¿Cómo abordar una dilatación aórtica temprana detectada en imágenes de TAC obtenidas para otros fines? Dado que el aneurisma de la aorta torácica es en gran medida una enfermedad asintomática, es frecuente que se detecte en exploraciones (de ecocardiografía o TAC) realizadas por otras razones. La dilatación aórtica se detecta con frecuencia en exploraciones de TAC realizadas por otros motivos (por ejemplo, detección del cáncer de pulmón, puntuación de calcio coronario o descartar una embolia pulmonar). Recomendamos vivamente que se señalen

los informes radiológicos que muestren un aneurisma de la aorta ascendente, con objeto de poner en marcha un seguimiento secuencial de la aorta.

- ¿En qué fase del ciclo cardíaco (sístole o diástole) deben obtenerse las imágenes de la aorta? No hay un consenso entre los centros al respecto. Nosotros sugerimos obtener las imágenes y realizar las mediciones en la fase mesodiastólica de la TAC sincronizada con el ECG. Esta fase es la más larga; la obtención de las imágenes en esta fase reduce la probabilidad de que aparezcan artefactos causados por el movimiento de la raíz aórtica. Como mínimo, el informe de TAC debe indicar la fase en la que se han obtenido las imágenes.
- ¿Qué otras características de la aorta se evalúan aparte del tamaño? Consideramos que el «borramiento» aórtico (en el que se pierde la «cintura» normal de la aorta a la altura de la unión senotubu-

lar) es un indicador importante de la enfermedad intrínseca de la pared de la aorta (figura 23) y que debe mencionarse específicamente en el informe aórtico.

10. ¿Qué especificaciones técnicas cabe esperar encontrar en un informe de TAC aórtica? Para optimizar las comparaciones entre distintos centros, nosotros sugerimos que los informes de TAC aórtica incluyan las siguientes especificaciones mediante un anexo estándar del centro añadido a los dictámenes:

- ¿Exploración sincronizada o no sincronizada?
- ¿Exploración con o sin contraste?
- ¿Medición incluyendo o no las paredes?
- ¿Imágenes obtenidas en sístole o en diástole?
- ¿Mediciones realizadas en la parte ascendente, en la raíz o en ambas zonas?
- ¿Método de medición de la raíz: de seno a comi-sura o de seno a seno?

CONCLUSIONES

Las exploraciones de diagnóstico por la imagen constituyen un elemento central de la evaluación aórtica y la asistencia. Esperamos que esta revisión y comentario sean de utilidad a los clínicos para abordar las complejidades de las técnicas modernas de obtención de imágenes de la aorta y su interpretación clínica, y les permitan realizar una interpretación juiciosa de las discrepancias observadas en la medición de la aorta ascendente.

AGRADECIMIENTOS. Los autores dan las gracias a los Drs. Bulat A. Ziganshin y Mohammad A. Zafar por su ayuda en la preparación del artículo.

DIRECCIÓN PARA LA CORRESPONDENCIA: Dr. John A. Elefteriades, Aortic Institute at Yale New Haven, 789 Howard Avenue, Clinic Building, CB-317, New Haven, Connecticut 06519, Estados Unidos. Correo electrónico: john.elefteriades@yale.edu. Twitter: @JElefteriades.

BIBLIOGRAFÍA

1. Plonek T, Berezowski M, Bochenek M, et al. A comparison of aortic root measurements by echocardiography and computed tomography. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2019;157:479-86.
2. Freeman LA, Young PM, Foley TA, Williamson EE, Bruce CJ, Greason KL. CT and MRI assessment of the aortic root and ascending aorta. *AJR Am J Roentgenol* 2013;200:W581-92.
3. Berger JA, Elefteriades JA. Toward uniformity in reporting of thoracic aortic diameter. *Int J Angiol* 2012;21:243-4.
4. Elefteriades JA, Rizzo JA, Coady MA. Thoracic aorta. *Radiology* 1999;211:889.
5. Elefteriades JA, Farkas EA. Thoracic aortic aneurysm clinically pertinent controversies and uncertainties. *J Am Coll Cardiol* 2010;55:841-57.
6. Regeer MV, van Rosendaal PJ, Kamperidis V, et al. Effect of statins on aortic root growth rate in patients with bicuspid aortic valve anatomy. *Int J Cardiovasc Imaging* 2015;31:1583-90.
7. Rudarakanchana N, Bicknell CD, Cheshire NJ, 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;47:19-26.
8. Singh K, Jacobsen BK, Solberg S, et al. Intra- and interobserver variability in the measurements of abdominal aortic and common iliac artery diameter with computed tomography. *The Tromsø study. Eur J Vasc Endovasc Surg* 2003;25: 399-407.
9. Quint LE, Liu PS, Booher AM, Watcharotone K, Myles JD. Proximal thoracic aortic diameter measurements at CT: repeatability and reproducibility according to measurement method. *Int J Cardiovasc Imaging* 2013;29:479-88.
10. Desjardins B, Kazerooni EA. ECG-gated cardiac CT. *AJR Am J Roentgenol* 2004;182:993-1010.
11. Velankar P, Chaikriangkrai K, Dewal N, et al. Prognostic performance of prospective versus retrospective electrocardiographic gating in coronary computed tomographic angiography. *Tex Heart Inst J* 2018;45:214-20.
12. Burman ED, Keegan J, Kilner PJ. Aortic root measurement by cardiovascular magnetic resonance: specification of planes and lines of measurement and corresponding normal values. *Circ Cardiovasc Imaging* 2008;1:104-13.
13. Goldstein SA, Evangelista A, Abbara S, et al. Multimodality imaging of diseases of the thoracic aorta in adults. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28: 119-82.
14. Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA, 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. *J Am Coll Cardiol* 2010;55:e27-129.
15. Hull S. Tips and pitfalls of imaging of echocardiographic imaging of the aorta. *AORTA (Stamford)* 2020. In press.
16. Ziganshin BA, Zafar MA, Elefteriades JA. Descending threshold for ascending aortic aneurysmectomy: is it time for a "left-shift" in guidelines? *J Thorac Cardiovasc Surg* 2019;157:37-42.
17. Erbel R, Aboyans V, Boileau C, et al. 2014 ESC guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases. *Eur Heart J* 2014;35:2873-926.
18. Coady MA, Rizzo JA, Hammond GL, et al. What is the appropriate size criterion for resection of thoracic aortic aneurysms? *J Thorac Cardiovasc Surg* 1997;113:476-91.
19. Davies RR, Goldstein LJ, Coady MA, et al. Yearly rupture or dissection rates for thoracic aortic aneurysms: simple prediction based on size. *Ann Thorac Surg* 2002;73:17-27.
20. Davies RR, Gallo A, Coady MA, et al. Novel measurement of relative aortic size predicts rupture of thoracic aortic aneurysms. *Ann Thorac Surg* 2006;81:169-77.
21. Elefteriades JA, Ziganshin BA, Rizzo JA, et al. Indications and imaging for aortic surgery: size and other matters. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2015;149 Suppl:S10-3.
22. Zafar MA, Li Y, Rizzo JA, et al. Height alone, rather than body surface area, suffices for risk estimation in ascending aortic aneurysm. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2018;155:1938-50.
23. Son MK, Chang SA, Kwak JH, et al. Comparative measurement of aortic root by transthoracic echocardiography in normal Korean population based on two different guidelines. *Cardiovasc Ultrasound* 2013;11:28.
24. Engel DJ, Schwartz A, Homma S. Athletic cardiac remodeling in US professional basketball players. *JAMA Cardiol* 2016;1:80-7.

PALABRAS CLAVE raíz aórtica, aorta ascendente, tomografía computarizada, ecocardiografía, discrepancias en exploraciones de imagen, aorta torácica

APÉNDICE Pueden consultarse vídeos complementarios en la versión online de este artículo.