

Nuevas técnicas de imagen en diagnóstico y planeación quirúrgica: reporte de caso de anillo vascular

New imaging techniques in diagnosis and surgical planning: case report of vascular ring

Isabel C. Sánchez-Escobar^{1*}, Keerby Hernández-Ruiz¹, Alejandro Quintero-Gómez² y Rafael Lince-Varela^{3,4}

¹Servicio de Cardiología Pediátrica, Universidad Pontificia Bolivariana; ²Servicio de Cirugía Cardiovascular, Clínica CardioVID; ³Servicio de Cardiología Pediátrica, Clínica CardioVID; ⁴Servicio de Hemodinámica. Medellín, Colombia

Resumen

El crecimiento del campo de las imágenes cardíacas ha permitido realizar diagnósticos más precisos de enfermedades cardíacas complejas, con mejores planeaciones quirúrgicas; por esta razón, las imágenes multimodales cada vez son más útiles en el ámbito clínico y quirúrgico, ya que ofrecen información mejorada sobre la anatomía intracardiaca y extracardiaca. Se presenta el caso de un paciente masculino de once meses de edad, con sintomatología respiratoria y gastrointestinal, en quien se documentó doble arco aórtico gracias a la evaluación imagenológica multimodal, que permitió comprender, con mayor detalle morfológico, la anatomía cardiovascular y, a su vez, evaluar las diferentes proyecciones con las que los cardiólogos y los cirujanos cardíacos están familiarizados. Se contó con la posibilidad de realizar la impresión de corazones tridimensionales, lo cual facilita la comprensión de las relaciones anatómicas, y conduce a mejoría en la toma de decisiones clínicas individualizadas.

Palabras clave: Tomografía computarizada. Cardiopatía congénita. Anillo vascular.

Abstract

The growth in the field of cardiac imaging has made it possible to make more accurate diagnoses of complex cardiac pathologies, with better surgical planning. This is because the multimodal images are increasingly useful in the clinical and surgical setting, since they allow improved information on intracardiac and extracardiac anatomy. We present the case of an eleven-month-old male patient with respiratory and gastrointestinal symptoms, in whom a double aortic arch was documented and, thanks to the multimodal imaging evaluation, it made it possible to understand cardiovascular anatomy in greater morphological detail, in turn evaluating the different projections with which cardiologists and cardiac surgeons are familiar, with the possibility of performing the impression of three-dimensional hearts that can facilitate comprehension of the intracardiac anatomy, leading to improvement in individualized clinical decision making.

Keywords: Computed tomography. Congenital heart disease. Vascular ring.

*Correspondencia:

Isabel C. Sánchez-Escobar

E-mail: isasanchez36@gmail.com

0120-5633 / © 2022 Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Publicado por Permanyer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Fecha de recepción: 26-02-2021

Fecha de aceptación: 26-04-2022

DOI: 10.24875/RCCAR.21000030

Disponible en internet: 23-12-2022

Rev Colomb Cardiol. 2022;29(5):601-608

www.rccardiologia.com

Introducción

Los anillos vasculares comprenden anomalías en el desarrollo embrionario del arco aórtico y los grandes vasos, que se originan por la persistencia de los cuartos arcos aórticos que rodean total o parcialmente a la tráquea y al esófago, comprimiéndolos y generando síntomas respiratorios y gastrointestinales^{1,2}. Son defectos vasculares poco frecuentes y representan el 0.8% de las cardiopatías congénitas. El término anillo vascular incluye no sólo los anillos completos, sino anillos parciales con o sin bandas o ligamentos fibrosos que también causan compresión traqueal o esofágica, como el arco aórtico izquierdo con arteria subclavia derecha anómala. La forma más común de anillo vascular completo es el doble arco aórtico^{3,4}. En la mayoría de los casos existen dos arcos permeables, con dominancia del derecho, en ocasiones con estenosis o atresia del izquierdo. Raras veces ambos arcos son simétricos^{2,3}.

Su diagnóstico implica un alto índice de sospecha clínica, requerimiento de evaluación a través de diferentes modalidades de imagen que permitan una exacta caracterización anatómica, evaluación de las relaciones espaciales y planeamiento quirúrgico adecuado; las imágenes no invasivas son los estudios de primera línea, antes de la evaluación confirmatoria invasiva.

El objetivo de este reporte es describir los principales hallazgos clínicos de un paciente en quien se documentó doble arco aórtico, gracias a la evaluación multimodal y a los avances en imagen cardíaca no invasiva, como la reconstrucción 3D, de esta enfermedad cardiovascular en el abordaje y planeación de la estrategia quirúrgica.

Caso clínico

Paciente de sexo masculino, de 11 meses de vida, producto del primer embarazo, sin alteraciones en los controles prenatales, con ecografías obstétricas normales; parto a término, peso y talla adecuados para la edad gestacional y adaptación neonatal espontánea; antecedente de infecciones respiratorias a repetición, sin antecedentes familiares de importancia. Inició con cuadro insidioso de tos persistente, estridor inspiratorio, que se exacerbaba con la alimentación, asociado a episodios de reflujo, por lo cual fue valorado inicialmente por medicina general, que encontró un inadecuado crecimiento ponderal (bajo peso para la edad, -1.69 desviaciones estándar —SD—, baja talla

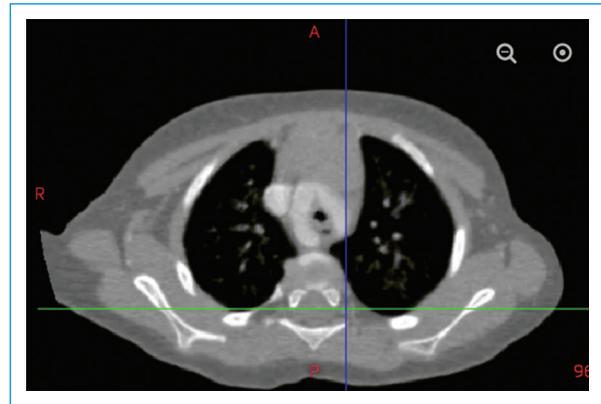


Figura 1. Angiotomografía de tórax. Se observa imagen de doble arco aórtico que conformaba un anillo vascular completo.

para la edad, -2.13 SD, peso para la talla en -0.68 SD) y auscultación cardiopulmonar normal. Se indagó acerca de enfermedades atópicas o antecedentes alérgicos, los cuales fueron negativos. Se descartó etiología pulmonar del cuadro, por lo cual se consideró pertinente una evaluación con radiografía de las vías digestivas altas, la cual reportó indentación del aspecto posterior del esófago hacia el mediastino superior. Con base en este reporte se solicitó valoración especializada por cardiología pediátrica.

Fue valorado por la especialidad, sin encontrar hallazgos anormales al examen cardiovascular, por lo que se decidió realizar estudios de extensión, con ecocardiografía pediátrica modo M, bidimensional y doppler color, que resultó normal. En vista del cuadro clínico y los hallazgos patológicos de la radiografía de vías digestivas, se realizó angio-TC de tórax, la cual evidenció doble arco aórtico que conformaba un anillo vascular verdadero, con disminución en el diámetro de la tráquea inferior en una longitud de aproximadamente de 6 mm y luz mínima de 3 mm y del esófago torácico; de la porción derecha emergía la carótida común y la subclavia derecha (no había tronco braquiocefálico) y de la porción izquierda emergían la carótida común y la subclavia izquierda; el resto del estudio no mostró alteraciones (Fig. 1). La tomografía fue analizada con el *software* Materialise Mimic Viewer version 1.0.165.0. Se realizaron imágenes por medio de paquetes de *software* que permitieron ilustrar mejor los detalles de la anatomía cardíaca; se obtuvieron imágenes multiplanares y se hizo una reconstrucción tridimensional por medio de métodos de representación de volumen, en los cuales se pudo alterar la configuración de la

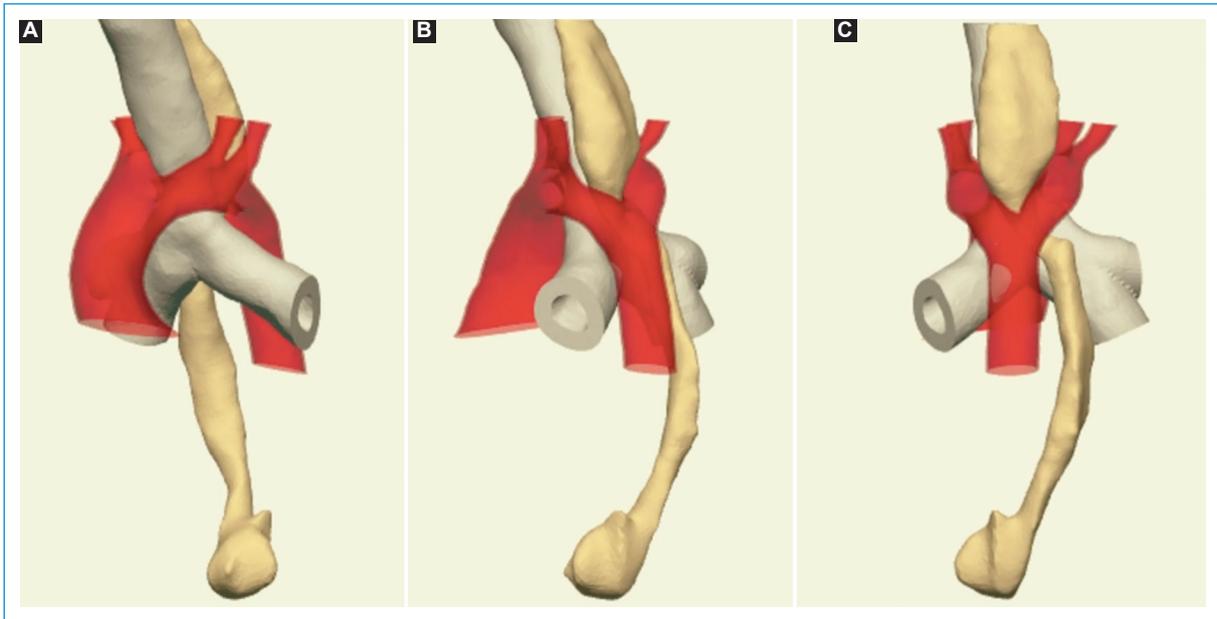


Figura 2. A, B y C: imágenes de reconstrucción 3D. Reconstrucción tridimensional por medio de métodos de representación de volumen, se observa doble arco aórtico y sus relaciones espaciales con la tráquea y el esófago.

imagen a través del ajuste de las ventanas, la atenuación de los tejidos con la selección de las unidades Hounsfield y la alteración de la opacidad y los colores de los componentes, con algoritmos informáticos llamados funciones de transferencia. Por medio del editor CLUT de 16 bits, se pudieron manipular cuantitativamente la ventana, las funciones de transferencia y el desplazamiento del mapa de colores (Figs. 2, 3 y 4). Posterior a este hallazgo, el caso se presentó en junta médico-quirúrgica, en la que se decidió realizar corrección del anillo vascular por toracotomía.

Se realizó corrección quirúrgica por toracotomía posterolateral izquierda, que consistió en la disección de la aorta descendente, la subclavia izquierda, el ductus arterioso y el doble arco aórtico. Se midieron las presiones y, con base en estos hallazgos, se consideró mantener permeable el arco aórtico derecho, sin evidenciar gradientes de presión; se seccionó el ductus arterioso. Posterior a esto, se liberó tanto el arco aórtico izquierdo como el derecho del esófago y de la tráquea, se escindió el arco aórtico izquierdo justo después del origen de la subclavia izquierda, se completó la liberación de las estructuras vecinas, se realizó praxia de la aorta descendente hacia la pared, para alejar el muñón de sutura del esófago, se cerró la pleura parietal y se dejó sonda a tórax (Fig. 5).

Posteriormente, fue trasladado a la unidad de cuidados intensivos pediátricos, donde fue extubado, y

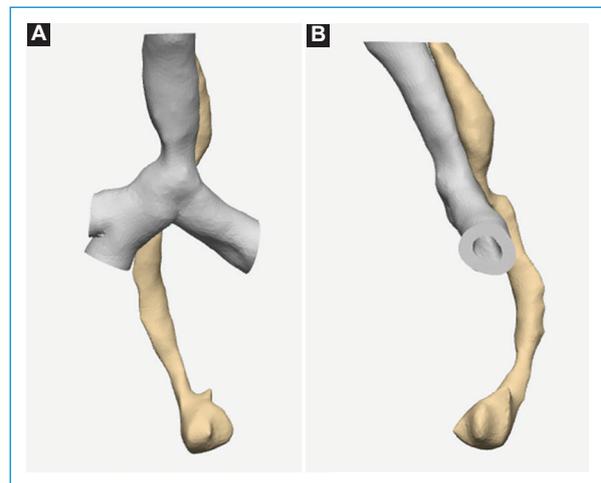


Figura 3. A y B: imagen de reconstrucción tomográfica. Se observa compresión de las estructuras adyacentes tráquea y esófago por el doble arco aórtico.

permaneció sin soporte inotrópico o vasopresor y se dio manejo analgésico parenteral. Tuvo una respuesta adecuada al tratamiento, y fue dado de alta al cuarto día posoperatorio.

En consulta externa de seguimiento un mes posterior a la cirugía, se encontró asintomático desde el punto de vista cardiovascular, se había resuelto el estridor inspiratorio y no reportó nuevos episodios de infecciones respiratorias. La ecocardiografía de control

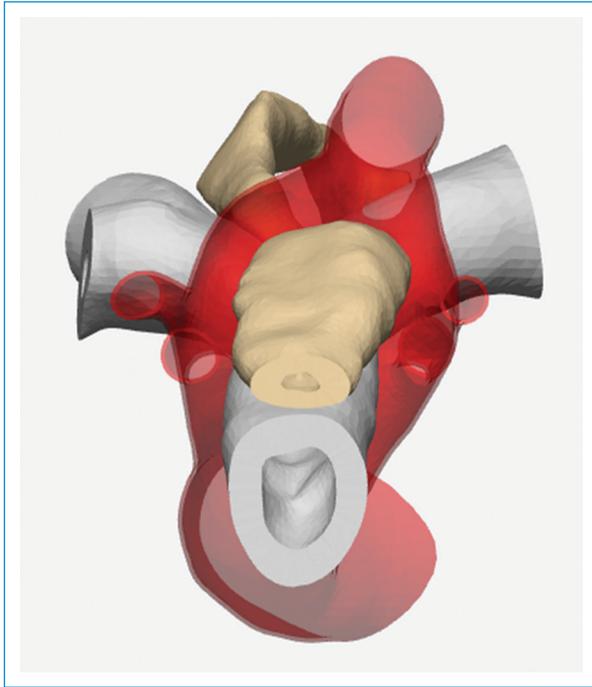


Figura 4. Imagen de reconstrucción tomográfica. Se observa doble arco aórtico y su relación con las estructuras adyacentes tráquea y esófago.

evidenció arco aórtico izquierdo con flujo proximal laminar y ligadura distal, arco aórtico derecho con flujo adecuado, sin obstrucciones y gradiente máximo de 15 mmHg en la aorta descendente.

Discusión

En el curso de la morfogénesis cardíaca se desarrollan cinco pares de arcos aórticos, que conectan las aortas ventrales y dorsales. La persistencia de los cuartos arcos aórticos y de ambas aortas dorsales origina el doble cayado, que rodea al intestino anterior del que derivan la tráquea y el esófago. Lo más frecuente es que ambos cayados sean asimétricos con dominancia derecha; los arcos simétricos son menos frecuentes y se presentan entre el 9 y el 11% de los casos²⁻⁵, contrario a lo que reporta la serie de Kocis et al.⁶ en la que es mayor la frecuencia de arcos simétricos. Adicionalmente, predominan en el género masculino⁷⁻⁹.

El doble cayado aórtico ocurre como lesión aislada; sin embargo, puede asociarse a otra cardiopatía congénita en 22% de los casos², en cuyo caso el defecto septal ventricular y la tetralogía de Fallot son las más frecuentes, seguidas por la transposición de grandes

arterias y el tronco arterioso común^{10,11}. Las anomalías no cardíacas incluyen fístula traqueoesofágica, queilopalatosquisis y estenosis subglótica¹². También se presentan en algunos síndromes genéticos, como delección del brazo corto del cromosoma 22q11 hasta en 24% de los casos¹³. En esta ocasión, el paciente presentó alteraciones fenotípicas compatibles con 22q11, pese a lo cual no se realizó técnica de hibridación *in situ* con fluorescencia (FISH) para comprobación diagnóstica.

Con frecuencia, se encuentran como un hallazgo incidental en un estudio imagenológico por otras causas, pero algunos pacientes pueden padecer compresión importante de la vía respiratoria superior y el esófago con sintomatología^{14,15} variable e inespecífica, incluso obstrucción crítica de la vía aérea, especialmente en neonatos¹⁶, síntomas de compresión esofágica, como disfagia, dificultad en la alimentación y emésis de predominio prandial, así como síntomas relacionados con la compresión traqueal, como estridor, infecciones respiratorias a repetición, tos y sibilancias. En el caso descrito, el paciente presentó un cuadro insidioso de síntomas respiratorios asociado a dificultades en la alimentación que comprometieron el estado nutricional en el momento de la evaluación¹⁶.

El diagnóstico implica un alto índice de sospecha clínica, ya que los anillos vasculares en la población pediátrica son causas relativamente poco frecuentes de sintomatología respiratoria en este grupo etario; en el paciente del caso, la combinación de síntomas respiratorios y gastrointestinales llevó a la sospecha diagnóstica, una vez se descartaron las etiologías respiratorias, las cuales son mucho más prevalentes en los niños.

La secuencia y elección de los estudios de imagen no han sido evaluadas de manera rigurosa¹⁷. Sin embargo, es indiscutible que desempeñan un papel fundamental en ayudar a esclarecer el diagnóstico y posteriormente a planear la mejor estrategia terapéutica para cada caso en particular. El diagnóstico de las alteraciones cardiovasculares se ha basado en el estudio imagenológico complementario de ayudas tradicionales. Algunas descripciones en la literatura promueven la realización de una radiografía de tórax para evaluar no solo la enfermedad pulmonar, sino la lateralidad del arco aórtico y las alteraciones en la silueta cardíaca que pudieran estar presentes, seguido por una ecocardiografía para determinar la anatomía cardíaca, establecer el patrón de ramificación del arco aórtico y establecer la anatomía vascular¹⁸.

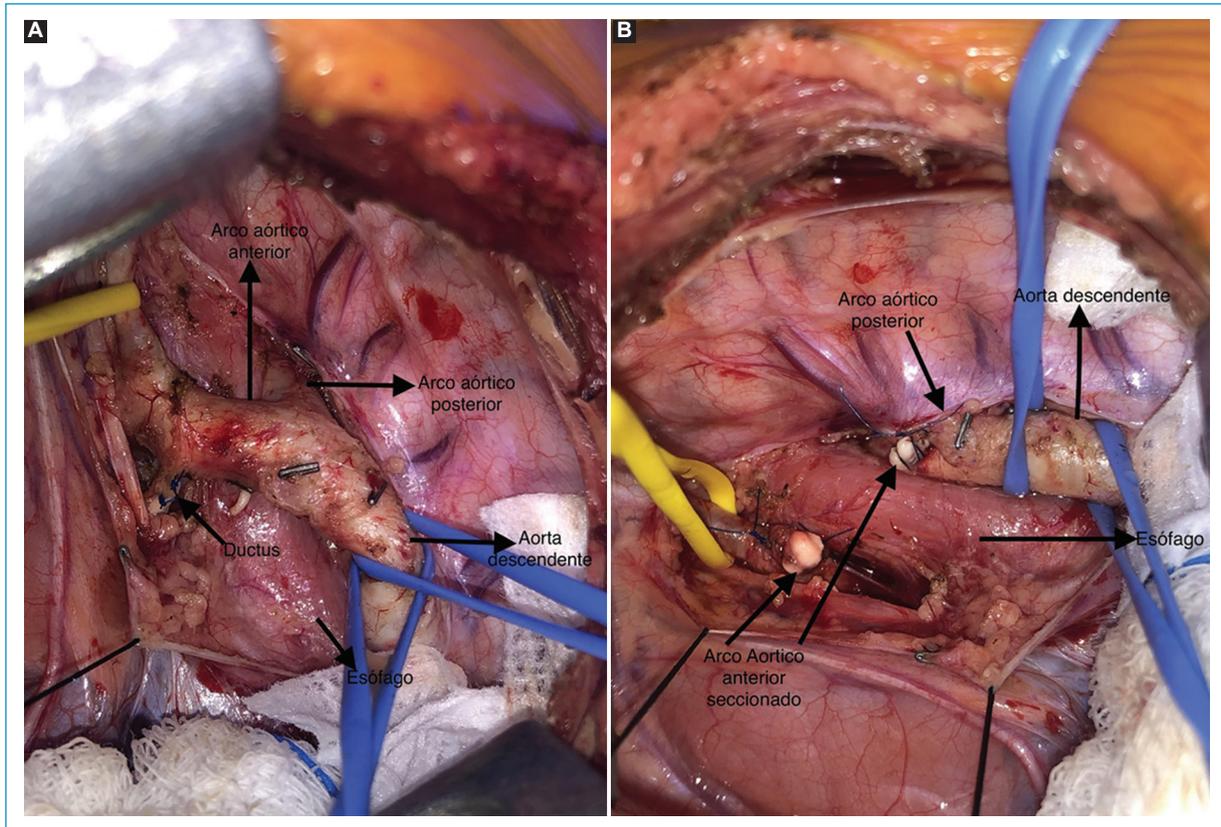


Figura 5. Abordaje quirúrgico. **A:** se aprecia el doble arco aórtico, el anterior con el ductus arterioso ligado con doble sutura de polipropileno, con reparos azules se encuentra la aorta descendente. El reparo amarillo es la arteria subclavia izquierda. Entre el arco aórtico anterior y posterior se encuentra el esófago, más posterior se encuentra la tráquea, no visualizada por el esófago. **B:** se aprecia el arco aórtico anterior seccionado y ligado, dando espacio al esófago que se visualiza más anterior. Reparos azules en la aorta ascendente y reparo amarillo en la arteria subclavia izquierda.

Existen anomalías cardíacas tan complejas que hacen necesaria la utilización de herramientas diagnósticas complementarias que permitan una mejor orientación espacial de las estructuras tridimensionales, y, de este modo, que la anatomía de cada paciente en particular, pueda ser completamente entendida antes de realizar una corrección quirúrgica.

Los diferentes métodos diagnósticos ofrecen ciertas ventajas y desventajas que deberán ser evaluadas en el momento de solicitarlos, así como la disponibilidad y la experiencia en su interpretación en determinado centro. En la actualidad, la ecocardiografía transtorácica es una herramienta ampliamente disponible en la mayoría de los centros, es portátil y no invasiva; sin embargo, es dependiente del operador y su resultado se puede ver limitado por la disminución de las ventanas acústicas en algunos pacientes. Así mismo, su menor resolución espacial frente a otros estudios de imagen, hace que con frecuencia arroje falsos

negativos, principalmente en el caso de subclavia anómala izquierda o derecha; además, no logra detectar anillos sin doppler color ni anomalías de las vías respiratorias^{19,20}.

Con frecuencia se solicitan radiografías como estudios iniciales para realizar el diagnóstico, ya que pueden mostrar algunos hallazgos sugestivos de esta enfermedad, como lo son la lateralidad del arco, que se puede inferir en una radiografía anteroposterior (AP), dado por el patrón de indentación de la columna de aire traqueal, que es desde la derecha en un arco derecho, izquierda en un arco izquierdo y bilateral en un arco doble; por otro lado, en la vista lateral puede evidenciarse el estrechamiento traqueal²⁰. La ubicación de la aorta torácica puede inferirse en la línea paraespinal y en el receso árgico-esofágico; es así como en el paciente del caso se reportó indentación del aspecto posterior del esófago hacia el mediastino superior, que llevó a la sospecha diagnóstica.

Adicionalmente, se puede realizar esofagograma con bario, sobretodo en niños que tienen dificultades para alimentarse; se busca el patrón de hendidura esofágica y traqueal en la radiografía, ya que la indentación del esófago posterior ocurre en un doble arco, arco derecho con una arteria subclavia aberrante o arco izquierdo con una arteria subclavia derecha aberrante. La hendidura bilateral se debe a un doble arco y la hendidura derecha es causada por un arco derecho o un arco doble con atresia izquierda. La hendidura izquierda está causada por un arco aórtico doble con atresia del arco derecho o un arco aórtico circunflejo con conducto derecho. Sin embargo, el esofagograma no permite visualizar directamente el anillo, por lo que ha sido reemplazado por otras herramientas de diagnóstico²⁰.

La angiografía se realizaba con regularidad para confirmar el diagnóstico; pero, a medida que ha pasado el tiempo, la tomografía computarizada (TC) y la angiografía por resonancia magnética (IRM) han permitido un diagnóstico no invasivo, dejando la angiografía de lado; además, suministran una anatomía tridimensional vascular que permite un diagnóstico preciso de anillo vascular, con un campo de visión más amplio, capacidad de imágenes multiplanares^{20,21} e información de las relaciones espaciales con cada estructura necesaria para planificar el procedimiento quirúrgico. No obstante, la TC implica la exposición del paciente a radiación y la IRM requiere un tiempo de adquisición de las imágenes más largo y frecuentemente en la población pediátrica es necesario realizarlas bajo anestesia o sedación, especialmente en lactantes y niños menores. Tiene, así mismo, una resolución más baja que la TC, la necesidad de medios de contraste a base de gadolinio y un mayor costo; además, la intubación limita la evaluación traqueal^{20,21}. Por estas razones, en la actualidad, la TC se ha convertido en el estudio de imagen preferido para el diagnóstico y la caracterización de los anillos vasculares, dado su menor tiempo de adquisición, el no requerimiento de sedación o anestesia general, su alta resolución espacial y temporal, el gran campo de visión, la posibilidad de reconstrucción multiplanar y la evaluación simultánea de la vasculatura y las vías respiratorias, con posibilidad de reconstrucción virtual del árbol traqueobronquial y el esófago^{20,22}. La última generación de escáneres multidetectores es competitiva y produce una resolución espacial < 0.5 mm (0.8-1.5 mm para IRM) y una resolución temporal de < 50 ms²².

Es por esta razón que, en el paciente del caso, la TC fue la modalidad de diagnóstico que permitió conocer la causa de los síntomas.

Teniendo en cuenta que la compresión de la tráquea y el esófago en los anillos vasculares, es tanto izquierda y derecha, como anterior y posterior en el caso del doble arco aórtico, mientras que es principalmente posterior en caso de existir una subclavia izquierda o derecha anómala, se requeriría, entonces, un estudio que logre captar todas las dimensiones del defecto. Es por ello que hoy se dispone de métodos diagnósticos complementarios que ofrecen la posibilidad de realizar una reconstrucción tridimensional, y facilitar así la obtención de información más confiable y de mejor calidad, como en el caso descrito, en el cual la reconstrucción tridimensional permitió el entendimiento anatómico y contribuyó a una conducta quirúrgica más acertada. Se debe tener en cuenta la disponibilidad de esta tecnología como una alternativa frente a otras ayudas diagnósticas en casos particularmente complejos.

Durante los últimos años, debido al avance tecnológico, la impresión de modelos tridimensionales (3D) ha revolucionado el entendimiento de las cardiopatías congénitas ya que permite generar copias idénticas del corazón y de los grandes vasos a partir de datos obtenidos de la tomografía o la resonancia magnética, gracias a su superioridad para mejorar la comprensión de la anatomía intracardiaca y extracardiaca con modelos cardiacos en tiempo real, así como para la planeación quirúrgica y la simulación de técnicas intervencionistas, aportando un grado de seguridad que no se puede comparar con las técnicas de imagen 3D convencionales. Sus ventajas radican en la representación del tamaño real de las estructuras, la profundidad, la percepción táctil y la relación espacial con estructuras en diferentes planos; sus limitaciones están condicionadas por el tiempo de preparación y el costo económico²³⁻²⁵.

El proceso de adquisición de las imágenes consiste en un movimiento constante de la mesa, mientras el gantry rota continuamente y emite rayos X. Hay una atenuación de los rayos X por los diferentes tejidos dependiendo de su densidad y esto es percibido por los detectores. La imagen final consiste en un mapa de atenuación en el que cada pixel tiene un valor que depende del componente de cada tejido²⁶. En las cardiopatías congénitas se usa medio de contraste monomérico no iónico de baja osmolaridad, de 300 mg/ml, con una dosis de 1.5-2 ml/kg. Habitualmente, se obtiene una hélice desde el opérculo torácico hasta la cúpula diafragmática y la adquisición se inicia con rastreo automático del bolo en la aorta. El volumen reconstruido se envía a la consola auxiliar, en la que se emplean

diferentes algoritmos y técnicas de reconstrucción aórtica o cardiaca, multiplanar, de máxima intensidad de proyección y volumétrica tridimensional para las estructuras vasculares y multiplanar, y de superficie o navegación virtual para la valoración de la vía aérea²⁷.

Los datos tridimensionales en formato DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) se cargan en un *software* de visualización 3D, y son segmentados por un experto en el tema, gracias a una variedad de herramientas de segmentación. Luego se exportan a un archivo de estereolitografía en un *software* de visualización 3D y se transforma en un formato de diseño, el cual es asistido por un computador que es capaz de convertir un objeto físico usando una impresora 3D. Los propios archivos stl se pueden visualizar en un lector de PDF 3D, sin necesidad de imprimirlos, en aquellos casos en los que solo se requiera comprender las relaciones espaciales²².

Existen estudios en los cuales, al igual que en nuestro caso, la visualización 3D mejora la comprensión de la anatomía y ayuda a redefinir el abordaje quirúrgico hasta en el 47% de los casos de cardiopatías congénitas complejas, con modificaciones significativas en el 25% de estos²⁸.

La delimitación de los modelos anatómicos cardiacos y vasculares requiere una intervención manual de un médico con experiencia en imágenes, lo cual le confiere a la técnica una variabilidad interobservador que debe ser tenida en cuenta. En la actualidad se están investigando programas que permitan la realización de este procedimiento completamente automático^{29,30}.

Este caso, da cuenta de la importancia del uso de múltiples modelos de estudio que permiten realizar planeaciones individuales y altamente específicas en cirugías cardiovasculares con anatomías infrecuentes, como lo es el anillo vascular, que, de otra manera, llevarían a un procedimiento quirúrgico con gran incertidumbre y a las complicaciones que de este se derivan.

Financiamiento

Los autores declaran no haber recibido financiamiento.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

Bibliografía

1. Van Son JA, Julsrud PR, Hagler DJ, Sim EK, Pairolero PC, Puga FJ, et al. Surgical treatment of vascular rings: The Mayo Clinic Experience. *Mayo Clin Proc.* 1993;68:1056-63. DOI: 10.1016/s0025-6196(12)60898-2.
2. Park SC, Zuberbuhler JR: Vascular ring and pulmonary sling. In: Anderson RH, Baker EJ, Macartney RF, Rigby ML, Shinerbourne EA, Tynan M (ed.) *Paediatric Cardiology*, 2nd ed. London Harcourt Publishers; 2002. p. 1559-75.
3. Backer CL. Vascular rings, slings and tracheal rings. *Mayo Clinic Proc.* 1993;68:1131-3.
4. Chun C, Colombani PM, Dudgeon DL, Haller AJ. Diagnosis and management of congenital vascular ring: a 22-year experience. *Ann Thorac Surg.* 1992;53:597-603. DOI: 10.1016/0003-4975(92)90317-w.
5. Cordobilla ZG, Cabo SJ, Galeote SE, Moreno GF, Álvarez DF. Anillo vascular de origen aórtico, experiencia en 43 casos. *Rev Esp Cardiol.* 1994;47:468-75.
6. Kocis KC, Midgley FM, Ruckman RN. Aortic arch complex anomalies: 20-year experience with symptoms, diagnosis, associated cardiac defects, and surgical repair. *Pediatric Cardiol.* 1997;18:127-32.
7. Licari A, Manca E, Rispoli GA, Mannarino S, Pelizzo G, Marseglia GL. Congenital vascular rings: a clinical challenge for the pediatrician. *Pediatr Pulmonol.* 2015;50(5):511-24. DOI: 10.1002/ppul.23152.
8. Brockes C, Vogt PR, Rothe TB, Arbenz U, Turina J. Double aortic arch: clinical aspects, diagnosis and therapy in children and adults. *Z Kardiol.* 2001;90(2):127-32. DOI: 10.1007/s003920170199.
9. Shah RK, Mora BN, Bacha E, Sena LM, Buonomo C, Del Nido P, et al. The presentation and management of vascular rings: an otolaryngology perspective. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2007;71(1):57-62. DOI: 10.1016/j.ijporl.2006.08.025.
10. Pickhardt PJ, Siegel MJ, Gutierrez FR. Vascular rings in symptomatic children: frequency of chest radiographic findings. *Radiology.* 1997;203(2):423-6. DOI: 10.1148/radiology.203.2.9114098.
11. Backer CL, Hillman N, Mavroudis C, Holinger LD. Resection of Kommerell's diverticulum and left subclavian artery transfer for recurrent symptoms after vascular ring division. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2002;22(1):64-9. DOI: 10.1016/s1010-7940(02)00213-0.
12. McElhinney DB, McDonald-McGinn D, Zackai EH, Goldmuntz E. Cardiovascular anomalies in patients diagnosed with a chromosome 22q11 deletion beyond 6 months of age. *Pediatrics.* 2001;108(6):E104.
13. McElhinney DB, Clark B J, Weinberg PM, Kenton ML, McDonald-McGinn D, Driscoll DA, et al. Association of chromosome 22q11 deletion with isolated anomalies of aortic arch laterality and branching. *J Am Coll Cardiol.* 2001;37:2114-9. DOI: 10.1016/s0735-1097(01)01286-4.
14. Bryant R, Yoo SJ. Vascular rings, pulmonary arterial sling, and related conditions. *Pediatric Cardiology.* Anderson's. 2020;47(4):e877-900.
15. Alsenaidi K, Gurofsky R, Karamlou T, Williams WG, McCrindle BW. Management and outcomes of double aortic arch in 81 patients. *Pediatrics.* 2006;118(5):e1336-41. DOI: 10.1542/peds.2006-1097.
16. Hernanz-Schulman M. Vascular rings: a practical approach to imaging diagnosis. *Pediatr Radiol.* 2005;35(10):961-79. DOI: 10.1007/s00247-005-1529-0.
17. Humphrey C, Duncan K, Fletcher S. Decade of experience with vascular rings at a single institution. *Pediatrics.* 2006;117(5):e903-8. DOI: 10.1542/peds.2005-1674.
18. Fulton DR, Prosnitz AR. Vascular rings and slings. In: Triedman JK, Post TW, (eds.). *UpToDate*. Waltham, MA: UpToDate Inc.; 2019. Disponible en: https://www.uptodate.com/contents/vascular-rings-and-slings?search=vascular%20rings&source=search_result&selectedTitle=1-3&usage_type=default&display_rank=1.

19. Soleimantabar H, Sabouri S, Khedmat L, Salajeghe S, Memari B, Heshmat Ghahderijani B. Assessment of CT angiographic findings in comparison with echocardiography findings of chest among patients with aortic arch anomalies. *Monaldi Arch Chest Dis.* 2019;89(3). DOI: 10.4081/monaldi.2019.1120.
20. Etesami M, Ashwath R, Kanne J, Gilkeson RC, Rajiah P. Computed tomography in the evaluation of vascular rings and slings. *Insights Imaging.* 2014;5:507-21.
21. Smith BM, Lu JC, Dorfman AL, Mahani MG, Agarwal PP. Rings and slings revisited. *Magn Reson Imaging Clin N Am.* 2015;23(1):127-35. DOI: 10.1016/j.mric.2014.09.011.
22. Garcia L, Garcia E, et al. Tomografía computarizada con multideTECTORES en las anomalías congénitas del arco aórtico: anillos vasculares. *Rev Esp Cardiol.* 2016;69(7):681-93.
23. Martelli N, Serrano C, van den Brink H, Pineau J, Prognon P, Borget I, et al. Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review. *Surgery.* 2016;159(6):1485-500. DOI: 10.1016/j.surg.2015.12.017.
24. Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, Smith RG, Ho S, Gee JC, et al. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage.* 2006;31(3):1116-28. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.01.015.
25. Cano RZ, Hernandez EK, et al. Efectos de la impresión 3D en la planificación quirúrgica de las cardiopatías congénitas. *Arch Cardiol Mex.* 2021;91(1):1-6. DOI: 10.24875/ACM.20000395.
26. D.P. Frush, J.R. Herlong. Pediatric thoracic CT angiography. *Pediatr Radiol.* 2005;35:11-25. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00247-004-1348-8>.
27. Bret-Zurita M, Cuesta E, Cartón A, Díez J, Aroca A, Oliver JM, et al. Utilidad de la tomografía computarizada de 64 detectores en el diagnóstico y el manejo de los pacientes con cardiopatías congénitas. *Rev Esp Cardiol.* 2014;67:898-905. Disponible en: <https://www.revespcardiol.org/es-linkresolver-utilidad-tomografia-computarizada-64-detectores-S0300893214002061>
28. Valverde I, Gomez-Ciriza G, Hussain T, Suarez-Mejias C, Velasco-Forte MN, Byrne N, et al. Three-dimensional printed models for surgical planning of complex congenital heart defects: an international multicentre study. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2017;52:1139-48. DOI: 10.1093/ejcts/ezx208.
29. Moore RA, Riggs KW, Kourtidou S, Schneider K, Szugye N, Troja W, et al. Three-dimensional printing and virtual surgery for congenital heart procedural planning. *Birth Defects Res.* 2018;110(13):1082-90.
30. Kumar S, et al. A new low-cost method of virtual cardiac dissection of computed tomographic datasets. *Annals of Pediatric Cardiology.* 2019;110-6. DOI: 10.4103/apc.APC_167_18.