

Reemplazo de la raíz aórtica con preservación valvular en niños y adolescentes: experiencia y resultados en una institución pública en Argentina

Valve-Sparing Aortic Root Replacement in Children and Adolescents: Experience and Results in a Public Institution in Argentina

SANDRA SEPÚLVEDA¹, JUAN TORRILLAS², ANALÍA MARTÍN¹, JULIANA MEDINA¹, JULIA BLANDO¹, GUILLERMO MORENO³, MARIELA MOURATIAN¹, PABLO GARCÍA DELUCIS², GLADYS SALGADO¹

RESUMEN

Introducción: La cirugía de reemplazo de la raíz aórtica con preservación valvar tipo reimplante (RRAoPV) está indicada en pacientes con aneurisma de la raíz aórtica.

Objetivo: Evaluar los resultados a mediano plazo e esta técnica quirúrgica en niños y adolescentes en nuestra institución.

Material y métodos: Estudio retrospectivo. Se incluyó a 21 pacientes a quienes se realizó cirugía de RRAoPV entre julio de 2006 y julio de 2022. Se evaluó la relación entre las variables basales y la progresión de insuficiencia aórtica (IAo).

Resultados: La mediana de edad fue de 13 años. Diecisiete pacientes tenían enfermedad del tejido conectivo, (3 de ellos además con aorta bicúspide), 2 cardiopatías congénitas operadas aisladas, 1 válvula aórtica bicúspide aislada y 1 síndrome de Turner. Trece pacientes tenían IAo leve y 5 moderada en el preoperatorio.

Tres pacientes requirieron reemplazo aórtico precoz, 2 por endocarditis y uno por IAo aguda grave. La mediana de seguimiento fue de 4,1 años. De 17 pacientes en seguimiento, 2 evolucionaron con IAo leve-moderada, 2 moderada y 3 grave. Uno de ellos requirió cirugía de Bentall. No se encontró asociación del grado de IAo preoperatoria, ni de la presencia de aorta bicúspide, con la progresión de la IAo postoperatoria. No hubo asociación entre el tipo de coaptación valvular postoperatorio y el desarrollo de la IAo mayor que leve en el seguimiento.

Conclusiones: El RRAoPV tipo reimplante es una técnica quirúrgica viable en pacientes pediátricos con buenos resultados a mediano plazo y baja tasa de reoperación.

Palabras clave: Aneurisma raíz aórtica - Reemplazo raíz aórtica - Preservación valvular.

ABSTRACT

Background: Valve-sparing aortic root replacement (VSARR) with reimplantation technique is indicated in patients with aortic root aneurysm.

Objective: To evaluate the mid-term outcomes of this surgical technique in children and adolescents in our institution.

Methods: Retrospective study. Twenty-one patients who underwent VSARR surgery were included between July 2006 and July 2022. The relationship between baseline variables and progression of aortic regurgitation (AR) was assessed.

Results: The median age was 13 years. Seventeen patients had connective tissue disorders (3 with bicuspid aortic valve), 2 operated congenital heart disease, 1 isolated bicuspid aortic valve and 1 Turner syndrome. Thirteen patients had mild AR and 5 had moderate AR preoperatively.

Three patients underwent early aortic replacement, 2 due to endocarditis and 1 due to severe acute AR. The median follow-up was 4.1 years. Of 17 patients at follow-up, 2 developed mild-moderate AR, 2 moderate AR and 3 severe AR. One of them underwent Bentall surgery. No association was found between the degree of preoperative AR or the presence of bicuspid aortic valve and the progression of postoperative AR. There was no association between the type of postoperative valve coaptation and the development of AR greater than mild at follow-up.

Conclusions: VSARR with reimplantation is a feasible surgical technique with favorable mid-term outcomes and low reoperation rate in pediatric patients.

Key words: A root aneurysm - Aortic root replacement - Valve-sparing

REV ARGENT CARDIOL 2024;92:222-226. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v92.i3.20768>

Recibido: 27/11/2023 - Aceptado: 24/03/2024

Dirección para correspondencia: Sandra Sepúlveda. Combate de los Pozos 1801 (1245). E-mail: sandrasepulveda21@gmail.com



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

©Revista Argentina de Cardiología

¹ Servicio de Cardiología. Hospital de Pediatría "Dr. Juan P. Garrahan". Buenos Aires, Argentina.

² Servicio de Cirugía Cardiovascular. Hospital de Pediatría "Dr. Juan P. Garrahan". Buenos Aires

³ Servicio de Recuperación Cardiovascular. Hospital de Pediatría "Dr. Juan P. Garrahan". Buenos Aires

INTRODUCCIÓN

Los aneurismas de la raíz aórtica son raros en niños, y se asocian típicamente a enfermedades del tejido conectivo, (1,2) como los síndromes de Marfan o Loeys-Dietz, o a la evolución de las cardiopatías troncoconales. (2) Estos aneurismas pueden desarrollar ruptura, disección o insuficiencia aórtica (IAo) grave. (2,3) El reemplazo de la raíz aórtica está indicado para evitar el riesgo de estas complicaciones. Las guías de manejo clínico y la indicación quirúrgica se basan en el tamaño de la raíz aórtica, en la progresión de la dilatación (mm/año) y en el síndrome genético.

El objetivo de la cirugía de Tirone David es reemplazar el segmento patológico del complejo de la raíz Ao mientras se preserva la integridad anatómica y funcional de las valvas. (4) La ventaja con respecto a la cirugía de Bentall (reemplazo de la raíz aórtica con un tubo valvulado mecánico), es que evita la anticoagulación de por vida y los riesgos inherentes a ella. Sin embargo, la principal limitación del reemplazo de la raíz aórtica con preservación valvar (RRAoPV) en la población pediátrica es la potencial necesidad de reoperación, ya que con el crecimiento, la raíz aórtica reconstruida y la válvula aórtica podrían llegar a ser pequeñas para la futura superficie corporal. (4)

En el presente estudio se evalúa nuestra experiencia y resultados de la RRAoPV con técnica de Tirone David en el Hospital Nacional de Pediatría J.P. Garrahan.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio retrospectivo. Se revisaron las historias clínicas y las grabaciones de los ecocardiogramas de 21 pacientes que requirieron cirugía de RRAoPV con técnica de Tirone David entre julio de 2006 y julio de 2022. Se evaluó el grado de IAo, morfología valvular, medición de la raíz aórtica y *z scores* mediante ecocardiograma transtorácico y transesofágico intraoperatorio (ETEi). En un 60 % se asoció otro estudio de imagen (tomografía/ resonancia cardíaca).

Los datos estadísticos fueron analizados con el software STATA. Las variables continuas se expresan como mediana y rango intercuartilo (RIC). Las variables categóricas se presentan como frecuencias y porcentaje. Se analizó la relación entre las variables basales y la progresión de la IAo.

RESULTADOS

Características preoperatorias

La mediana de edad al momento de la cirugía fue de 13,1 (10,5-14,4) años; la mediana de peso 40 (13-99) kg. El paciente de menor edad tenía 2,9 años y un peso de 13kg. Cinco pacientes tenían menos de 8 años. Once pacientes eran de sexo femenino. Todas las cirugías fueron programadas y se indicaron por el tamaño de la raíz aórtica y la progresión de su dilatación (de acuerdo con las guías de práctica). Diecisiete pacientes tenían diagnóstico de enfermedad de tejido conectivo: 13 Marfan (2 con asociación de aorta bicúspide), 3 Loeys-Dietz (uno asociado con cardiopatía troncoconal) y 1 no caracterizado; 1 paciente síndrome de Turner con aorta

bicúspide, 2 cardiopatías congénitas operadas aisladas (1 troncoconal y 1 cerclaje de comunicación interventricular múltiple), y 1 paciente aorta bicúspide aislada.

La mediana del diámetro del anillo aórtico fue de 25mm con un *z score* de + 3,5 (+2,85-+5,7), y la de los senos de Valsalva de 42,5 (36,5-51,5) mm con un *z score* de +6,2 (+4,6 -+7,5). Respecto de la IAo preoperatoria, 13 pacientes tenían IAo leve, 1 leve-moderada, 5 moderada y 2 no tenían IAo.

Datos quirúrgicos

En todos los pacientes se utilizó la técnica de Tirone David. El tamaño del tubo más pequeño usado fue de 22 mm y el más grande de 30 mm. A todos se les colocó tubo recto. La mediana del tiempo de circulación extracorpórea (CEC) fue de 179 min y de clampeo de 156 min. Los tiempos más prolongados de CEC se debieron a realización de procedimientos asociados (recambio de homoinjerto pulmonar, plásticas mitrales, reemplazo del arco transversal y aorta descendente). Un solo paciente (Marfan con aorta bicúspide) requirió reintervención en el mismo procedimiento para resuspensión valvar.

En todos los pacientes se realizó ETEi. Quince pacientes quedaron con IAo trivial, el resto sin insuficiencia. De 14 pacientes en quienes se evaluó la altura de coaptación en relación con el tubo, 9 pacientes tenían coaptación tipo B y 5 tipo C. (5)

Evolución

La mediana de internación en terapia intensiva fue de 7 días. Tres pacientes requirieron reemplazo aórtico precozmente. Un paciente, con síndrome de Marfan con aorta bicúspide, que había requerido resuspensión valvular intraquirúrgica, presentó IAo aguda grave a los 2 días del postoperatorio, y debió realizarse cirugía de Bentall. Hubo 2 fallecidos en el posoperatorio inmediato por complicaciones infecciosas (una mediastinitis a los 28 días y una endocarditis a los 47 días). Tres pacientes requirieron marcapaso por bloqueo auriculoventricular. Dos pacientes presentaron endocarditis, uno de ellos a *Klebsiella* en la válvula mitral, complicada con pseudoaneurisma de la fibrosa mitroaórtica a los 61 días del postoperatorio, por lo que se colocó homoinjerto aórtico; el otro, con afectación aórtica y mitral por *S. aureus* metilino resistente, a los 47 días del postoperatorio, por lo que requirió colocación de homoinjerto aórtico.

La mediana de seguimiento de 17 pacientes con cirugía con técnica de Tirone David fue de 4,1 (1,35-12) años, con un paciente perdido durante el mismo. El 43 % de los pacientes controlados desarrolló dilatación de la aorta distal al tubo implantado. Uno de ellos, con síndrome genético no caracterizado, requirió reemplazo de la aorta ascendente a los 4 años del postoperatorio, y falleció por disección de la aorta descendente al año de la segunda cirugía

Se evidenció aneurisma del botón coronario en 5 pacientes.

Dos pacientes evolucionaron con IAo leve-moderada, 3 moderada y dos grave, de los cuales uno requirió cirugía de Bentall a los 9 años del RRAoPV. El resto se mantuvo con insuficiencia leve. Los grados mayores de insuficiencia se debieron a prolapso valvar. La mediana del tamaño del anillo Ao postoperatorio fue de 21mm con *z score* de +2,4 (+1,65 – +2,8). Un paciente con aorta bicúspide desarrolló IAo moderada en el seguimiento.

El 81,2 % de los pacientes en seguimiento se encuentran al momento libres de reoperación.

DISCUSIÓN

Los aneurismas de la raíz aórtica son poco frecuentes en niños y adolescentes y están mayormente asociados con enfermedades del tejido conectivo, (1-4) sobre todo con el síndrome de Marfan y el síndrome de Loeys-Dietz, y la aorta bicúspide. (2,4) También se han descrito aneurismas después de cirugías de cardiopatías troncoconales. (2) El riesgo de disección o ruptura se relaciona con el diámetro de la raíz aórtica y la aorta ascendente. (2-4) Las guías para el seguimiento e indicación quirúrgica se basan en la progresión de la dilatación (mm/año), (1) el tamaño de la raíz aórtica y la asociación o no con un síndrome genético.

No se han establecido guías acerca del tiempo quirúrgico en niños, por lo que las indicaciones se extrapolan de las recomendaciones de adultos. (5) En esta población el riesgo de estos eventos es muy bajo, y tienden a ocurrir en la adolescencia tardía. (5,6) En menores de 12 años las indicaciones quirúrgicas son aún menos definidas, por lo que se tienen en cuenta además de lo anterior, la expresión del síndrome genético y el grado de I Ao. (1,4,6). De acuerdo con su experiencia, diferentes grupos definen criterios de reemplazo de la raíz aórtica en niños (Tabla 1). En el caso del síndrome de Loeys- Dietz, Lange y cols. consideran que la ciru-

gía de Tirone David debe ser pospuesta hasta que el anillo alcance un diámetro de al menos 18 mm, para usar un tubo protésico ≥ 22 mm y evitar una posterior reoperación. (4)

En adultos se utiliza el índice de Svensson, que considera el área seccional de la aorta indexada por altura; un valor ≥ 10 implica mayor riesgo de disección, (7) pero ello no está validado en niños o adultos con cardiopatía congénita operada. (8) La indicación quirúrgica basada en un crecimiento del aneurisma $> 2-3$ mm/año puede ser dificultosa en niños, debido a que hay un crecimiento natural de la aorta. Davies y cols. establecieron el Índice de Tamaño Aórtico (ASI) que se define como el diámetro aórtico/ superficie corporal, para evaluar riesgo de eventos adversos. Un ASI de 2,75-4,25 cm/m^2 está asociado con un riesgo moderado de ruptura (8 %/año) mientras que un ASI $> 4,25$ cm/m^2 implica un alto riesgo de ruptura (20-25 %/año). (6,8,9)

Durante las últimas dos décadas se desarrollaron técnicas quirúrgicas diversas para tratar a estos pacientes. Inicialmente se planteó el reemplazo de la raíz aórtica con tubo valvulado mecánico (cirugía de Bentall), pero esto requiere anticoagulación de por vida, riesgo de tromboembolismo y sangrado. Debido a estos riesgos surgieron las técnicas de RRAoPV, cuyo objetivo es preservar la funcionalidad y la hemodinámica de la válvula aórtica. (4) Estas técnicas son la de remodelamiento o de Yacoub, y la de reimplante o de Tirone David. (2) Hay numerosas publicaciones de resultados de estas últimas técnicas en la población adulta, pero muy pocos en la población pediátrica. (1) La mayor serie en este grupo etario ha sido reportada por Fraser y cols. del Hospital John Hopkins, con 100 casos consecutivos en 20 años. (2) Para la población de cardiopatías troncoconales operadas (tronco arterioso, Fallot, transposición de grandes vasos) y en el procedimiento de Ross, que tienen un riesgo muy bajo de disección, se recomienda la cirugía de reemplazo

Tabla 1. Indicaciones de cirugía para el reemplazo de la raíz aórtica

	Marfan	Loeys-Dietz	Aorta bicúspide
Fraser y cols. (2)	Diám. > 5 cm Incremento $> 0,5$ cm/año $> 4,5$ cm con historia familiar de ruptura $> 4 - 5$ cm cirugía valvular mitral	Tipo I y II: $> 3,5-4$ cm o Z score > 3 Tipo III: Diám. $> 4-4,5$ cm	Diám. $> 5,5$ cm
Lange y cols. (4)	Diám. < 5 cm si Z score > 5	Z score > 3	
Kluin y cols. (6)	Z score $> 4 - 4,5$	Z score > 3 Diám. $> 3,5$ cm	
AHA/ACC 2022	Diám ≥ 5 cm	Diám. $\geq 4,5$ cm	Diám. $\geq 5,5$ cm
Guías de patología Ao (7)	Con FR, Diám. $\geq 4,5$ cm Incremento $\geq 0,3$ cm/año Rel. área raíz Ao/altura ≥ 10	En ptes de riesgo, Diám. ≥ 4 cm	Rel. área raíz Ao/ altura ≥ 10 Con FR, Diám. > 5 cm

Ao: aórtica; Diám: diámetro; FR: factores de riesgo; ptes: pacientes

de la raíz con diámetros superiores a 50 mm y /o un índice de Svensson >10 cm/m², aún en ausencia de IAo. (9) En pacientes con síndrome de Turner con ASI $\geq 2,5$ cm/m² y factores de riesgo es razonable realizar la cirugía de Tirone David. En diferentes series se ha demostrado que la técnica de remodelamiento de la raíz no es recomendable en niños debido al alto riesgo de falla en el mediano plazo, por desarrollo de IAo secundaria a dilatación progresiva del anillo. (2,3,5,6) En cambio la técnica de reimplante es de bajo riesgo y brinda mejores resultados, dado que provee estabilización anular eficiente porque el tubo se implanta en la unión ventriculoarterial. La principal preocupación es el estrés que se produce en las valvas por la falta de la formación de los remolinos, que ocurren fisiológicamente en los senos. (1) Para disminuir este estrés se han desarrollado tubos con senos formados (Valsalva *grafts*), pero el tamaño más chico es de 24mm, por lo que no se pueden utilizar en niños muy pequeños. (4) El comportamiento de las valvas dentro del tubo rígido a largo plazo es aún incierto. En pacientes con cardiopatía congénita operada, Myers y cols. también demostraron mejores resultados en cuanto a necesidad de reoperación con la técnica de reemplazo de la raíz, y advierten que subestimar el tamaño del tubo podría resultar en deterioro valvular temprano. (9)

En cuanto a la elección del diámetro de la prótesis, algunos grupos, en lo posible, difieren la cirugía hasta que el tamaño de la raíz permita el implante de un tubo para adultos. (10) En nuestra institución, usamos un tubo de diámetro 3-4mm mayor que la medida de la unión sinotubular (UST) óptima, como lo recomiendan Cameron y Vricella, para asegurar la mejor aposición de las valvas. (11) Ellos utilizan tubos 2-3mm mayores que la UST óptima en pacientes con síndrome de Loeys-Dietz. (12) Nuevas técnicas para menores de 3 años han sido descritas usando un anillo subanular y otro superior en la UST, para minimizar la aparición tardía de IAo. (13)

Las contraindicaciones para la cirugía de RRAoPV incluyen marcada asimetría valvar, grandes fenestraciones de las valvas, disección aguda, prolapso severo, calcificación valvar y ventriculización de los senos. (2) Según la experiencia de Baltimore, no es una contraindicación la válvula bicúspide para la preservación

valvar, pero se debe tener cuidado en mantener la geometría cuando se resuspendan las comisuras y de esta manera asegurar competencia valvular postoperatoria. (2)

El 43 % de los pacientes de nuestra serie evolucionó con aneurismas en otras porciones de la aorta distal al tubo. A un paciente se le realizó reemplazo de la Ao ascendente a los 4 años del postoperatorio, y a otro se le realizó reemplazo del arco al tiempo de la cirugía de Tirone David. Lange y Fraser recomiendan reconsiderar el manejo de la aorta ascendente distal, así como el arco aórtico en pacientes con enfermedad grave del tejido conectivo. (2,4) Otros grupos no lo aconsejan por el alto riesgo de daño neurológico, (6) evitando líneas de suturas adicionales que puedan incrementar el riesgo de sangrado y pseudoaneurismas.

La mayoría quedó con una IAo trivial residual en el ETEi. Durante el mismo evaluamos la presencia o no de IAo, el grado de severidad, la dirección del jet y la altura de coaptación relacionada al tubo. (14) Un paciente Marfan con aorta bicúspide e IAo residual significativa, con jet excéntrico, reingresó en CEC para resuspensión de comisuras, y quedó con IAo ligera. A los dos días presentó clínica de IAo aguda grave y requirió cirugía de Bentall. Está descrito que el desarrollo de IAo progresiva podría deberse a degeneración estructural de las valvas por una distribución anormal del flujo durante el cierre diastólico, o a falla funcional secundaria a una altura de coaptación inadecuada (menor de 11mm/coaptación tipo C). (14-17) De nuestros pacientes, 5 evolucionaron con IAo moderada o mayor en el postoperatorio alejado, todos con enfermedad del tejido conectivo (Tabla 2). No encontramos asociación del grado de IAo preoperatoria o la presencia de aorta bicúspide con el desarrollo de IAo, a diferencia de los factores de riesgo descritos por Tirone David en la población adulta. (18)

En relación con el tipo de coaptación valvular postoperatorio, no hubo asociación con el desarrollo de IAo mayor que leve en el seguimiento, a diferencia del estudio de Hall y cols., posiblemente por la baja muestra. Por el poco tiempo de seguimiento no podemos hipotetizar si la causa de la progresión de la IAo en nuestros pacientes fue por el nivel de coaptación de las cúspides con respecto al tubo, por el impacto del

Tabla 2. Insuficiencia aórtica preoperatoria y postoperatoria

Grado de IAo	Preoperatorio (n = 21)	Postoperatorio inmediato (n = 21)	Postoperatorio alejado (n = 16)
No	2	5	1
Leve	13	16	8
Leve - moderada	1	0	2
Moderada	5	0	2
Grave			3

En el postoperatorio inmediato 1 paciente falleció y 3 requirieron reemplazo valvular. Un paciente se perdió en el seguimiento. IAo: insuficiencia aórtica

desorden del tejido conectivo o la degeneración valvar. Sería necesario mayor tiempo de seguimiento para determinar las causas de la progresión.

En nuestra serie, 5 pacientes desarrollaron aneurisma de los botones coronarios, como se han descrito en la evolución de las formas más graves de tejido conectivo. (9)

En el seguimiento de estos pacientes se recomienda realizar controles clínicos y ecocardiograma semestral durante el primer año postquirúrgico y luego anual, sumando tomografía o resonancia cardiaca al menos cada 2 años. (2,4,10) En los casos de Marfan y Loeys-Dietz se recomienda un control más estricto durante el primer año postoperatorio, con ecocardiograma cada 3 a 6 meses. Se debe mantener la prescripción con betabloqueantes y/o antagonistas de receptores de la angiotensina.

Como limitaciones de nuestro trabajo debemos reconocer su diseño retrospectivo y el bajo tamaño de la muestra.

CONCLUSIONES

Es posible realizar la cirugía de Tirone David en niños y adolescentes con patología del tejido conectivo o cardiopatías congénitas operadas, con buenos resultados y baja tasa de reoperación a mediano plazo. Ni la presencia de aorta bicúspide ni la insuficiencia aórtica preoperatoria parecen asociarse con mayor disfunción valvular aórtica en el seguimiento.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

(Véanse formularios de conflicto de intereses de los autores en la Web).

Financiamiento

No se recibió financiamiento para la realización del presente trabajo

BIBLIOGRAFÍA

1. Roubertie F, Ben Ali W, Raisky O, Tamisier D, Sidi D, Vouhé PR, et al. Aortic root replacement in children: a word of caution about valve-sparing procedures. *European Journal of Cardio-thoracic Surgery*. 2009;35:136-40. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2008.09.043>
2. Fraser CD 3rd, Liu RH, Zhou X, Patel ND, Lui C, Pierre AS, et al. Valve-sparing aortic root replacement in children: outcomes from 100 consecutive cases. *Ann Thoracic Surgery*. 2012;98:299-301.
3. Patel ND, Arnaoutakis GJ, George TJ, Allen JG, Alejo DE, Dietz HC,

et al. Valve-sparing aortic root replacement in children: intermediate-term results. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2011;12:415-9. <https://doi.org/10.1510/icvts.2010.255596>

4. Lange R, Badiu CC, Vogt M, Voss B, Hörer J, Prodan Z, et al. Valve-sparing aortic root replacement in children with aortic root aneurysm: mid-term results. *European Journal of Cardio-thoracic*. 2013;43:958-64. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezs598>

5. Vricella LA, Williams JA, Ravekes WJ, Holmes KW, Dietz HC, Gott VL, et al. Early experience with Valve-sparing aortic root replacement in children. *Ann Thoracic Surgery*. 2005;80:1622-7. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2005.04.062>

6. Kluin J, Koolbergen DR, Sojak V, Hazekamp MG. Valve-sparing root replacement in children. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2016;50:476-81. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw096>

7. 2022 ACC/AHA Guideline for the Diagnosis and Management of Aortic Disease. American heart Association. *J Am Coll Cardiol* 2022;80:e223-e393.

8. Davies RR, Gallo A, Coady MA, Tellides G, Botta DM, Burke B, et al. Novel measurement of relative aortic size predicts rupture of thoracic aortic aneurysm. *Ann Thorac Surg*. 2006;81:169-77. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2005.06.026>

9. Buratto E, Konstantinov IE. Valve-sparing aortic root surgery in children and adults with congenital heart disease. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2021;162:955-62. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2020.08.116>

10. Rakhra SS, Brizard CP, d'Udekem Y, Konstantinov IE. Valve-sparing aortic root replacement in children. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2012;144:980-1. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.05.038>

11. Duke C, Luca V. Valve-Sparing Aortic Root Replacement in Children. Operative techniques in thoracic and cardiovascular surgery. 2013;18:2-14. <https://doi.org/10.1053/j.optechstcvs.2013.04.001>

12. Patel ND, Alejo D, Crawford T, Hibino N, Dietz HC, Cameron DE, et al. Aortic Root Replacement for Children With Loeys-Dietz Syndrome. *Ann Thorac Surg*. 2017;103:1513-18. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2017.01.053>

13. Kirklin JK, Johnson WH Jr, Cook BB, Law MA, McMahon WS, Romp RL, et al. Novel technique of valve-sparing aortic root replacement in two children younger than 3 years of age. *Ann Thorac Surg*. 2012;94:299-301. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2012.01.083>

14. Hall T, Shah P, Wahi S. The role of transesophageal echocardiography in aortic valve preserving procedures. *Indian Heart J*. 2014;66:327-33. <https://doi.org/10.1016/j.ihj.2014.05.001>

15. Pethig K, Milz A, Hagl C, Harringer W, Haverich A., et al. Aortic valve reimplantation in ascending aortic aneurysm: risk factors for early valve failure. *Ann Thorac Surg*. 2002;73:29-33. [https://doi.org/10.1016/S0003-4975\(01\)03312-4](https://doi.org/10.1016/S0003-4975(01)03312-4)

16. David TE, David CM, Feindel CM, Manlhiot C. Reimplantation of the aortic valve at 20 years. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2017;153:238-9. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2016.10.081>

17. Kachroo P, Kelly MO, Bakir NH, Cooper C, Braverman AC, Kouchoukos NT, et al. Impact of aortic valve effective height following valve-sparing root replacement on postoperative insufficiency and reoperation. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2022;164:1672-80. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2022.02.065>

18. David T, Feindel C, David C, Manlhiot C. A quarter of a century of experience with aortic valve-sparing operations. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2014; 148:872-80. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2014.04.048>