





# Reemplazo percutáneo de válvulas cardíacas derechas con técnica “válvula en válvula” en cardiopatías congénitas: experiencia inicial en Argentina

## Right-Side Transcatheter Valve Replacement with “Valve-In-Valve” Technique in Congenital Heart Disease: Initial Experience in Argentina

ALEJANDRO PEIRONE<sup>1</sup>, MTSAC, FPICS, , ALEJANDRO CONTRERAS<sup>1</sup>, MTSAC, , MARCELO CABRERA<sup>1</sup>, EDGARDO BANILLE<sup>1</sup>, , ANTONIO GUEVARA<sup>1</sup>, IGNACIO JUANEDA<sup>1</sup>, MTSAC, , CHRISTIAN KREUTZER<sup>1</sup>, MTSAC, , CARLOS PEDRA<sup>2</sup>, FPICS

### RESUMEN

**Introducción:** El reemplazo quirúrgico con colocación de bioprótesis es una estrategia utilizada frecuentemente para tratar valvulopatías en cardiopatías congénitas.

**Objetivo:** Presentar la experiencia inicial en Argentina con fractura/remodelación del anillo valvular en bioprótesis y posterior reemplazo percutáneo “válvula en válvula” en pacientes con cardiopatías congénitas.

**Material y métodos:** Estudio descriptivo y observacional. Se incluyeron todos los pacientes tratados con reemplazo percutáneo debido a disfunción de prótesis valvular biológica.

**Resultados:** Desde agosto de 2021 hasta mayo de 2023, 5 pacientes (3 de sexo femenino) con disfunción de bioprótesis derechas recibieron tratamiento percutáneo como alternativa a la realización de un nuevo reemplazo quirúrgico. La edad media fue  $21,2 \pm 9,2$  años, el peso medio fue  $56,2 \pm 22,2$  kg. Fueron implantadas cinco válvulas balón expandibles: 3 en posición pulmonar y 2 en posición tricúspide y en 4 casos, con fractura previa del anillo valvular. En todos los pacientes se restauró la función valvular; sin complicaciones. En el seguimiento, en un sólo paciente se objetivó insuficiencia valvular moderada derecha

**Conclusión:** El reemplazo percutáneo “válvula en válvula” en bioprótesis disfuncionantes derechas es una estrategia atractiva y segura en casos seleccionados, que restaura la competencia y elimina las obstrucciones. Esta estrategia es una opción razonable como alternativa a la realización de un nuevo recambio valvular quirúrgico.

**Palabras clave:** Cardiopatías congénitas - Bioprótesis - Disfunción valvular - Reemplazo percutáneo - Válvula en válvula

### ABSTRACT

**Background:** Surgical replacement using bioprostheses is a frequently used strategy to treat right-side heart valves dysfunction in congenital heart disease.

**Objective:** The aim of this study was to present the initial experience in Argentina with right-side bioprosthetic valve ring fracture/remodeling and subsequent transcatheter valve-in-valve replacement in patients with congenital heart disease.

**Methods:** This was a descriptive and observational study including all patients treated with transcatheter replacement due to bioprosthetic valve dysfunction.

**Results:** From August 2021 to May 2023, 5 patients (3 female) with right-side bioprosthetic dysfunction underwent transcatheter intervention as an alternative to *de novo* surgical replacement. Mean age was  $21.2 \pm 9.20$  years and mean weight  $56.2 \pm 22.2$  kg. Five balloon expandable valves were implanted: 3 in pulmonary position and 2 in tricuspid position, in 4 cases with previous fracture of the valve ring. In all cases, valve function was restored without complications. During follow-up, moderate right valve incompetence was observed in one case.

**Conclusion:** Transcatheter “valve-in-valve” replacement in dysfunctional right-side heart bioprostheses is an attractive and safe strategy in selected cases, which restores competence and eliminates obstructions. This approach is a reasonable option as alternative to *de novo* surgical valve replacement.

**Key words:** Heart defects - Congenital - Bioprosthesis - Valve dysfunction - Transcatheter replacement - Valve in valve

REV ARGENT CARDIOL 2023;91:443-448. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v91.i6.20713>

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

Dirección para correspondencia: Alejandro Peirone. Valparaíso 4339 (5016) Córdoba, Argentina. E-mail: alepeirone@yahoo.com

No existieron fuentes de financiación

Este artículo resultó ganador del Premio Dr. Rodolfo Kreutzer en el 49 Congreso Argentino de Cardiología



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

©Revista Argentina de Cardiología

<sup>1</sup>Hospital Privado Universitario de Córdoba. Instituto Universitario de Ciencias Biomédicas de Córdoba. Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Cardiología Dante Pazzanese. Secretaría de Salud Pública, San Pablo. Brasil.

## INTRODUCCIÓN

Las válvulas bioprotésicas (VBP) con anillo se utilizan comúnmente para el reemplazo quirúrgico valvular derecho en cardiopatías congénitas. Se han demostrado resultados clínicos y hemodinámicos adecuados a corto y mediano plazo, aunque frecuentemente se desarrolla disfunción valvular en su evolución. Datos sobre la durabilidad de las VBP en posición tricuspídea son escasos; se estima que la libertad de reoperación llega al 81 % a los 10 años post implante, aunque el 42 % presenta disfunción valvular detectada mediante ecocardiografía en el mismo período de tiempo. Además, en los pacientes que requieren implante valvular tricuspídeo antes de los 16 años, la mayoría de la bioprótesis están disfuncionantes a los 5 años de la intervención; la principal causa de disfunción es la incompetencia valvular, hasta en el 89 % de los casos. (1). En VBP colocadas en posición pulmonar, la libertad de nuevo reemplazo valvular y de falla/disfunción valvular a los 10 años se estima en 51,7 % y 20,2 % respectivamente. Entre los factores de riesgo para reoperación se cuentan la edad temprana, el diagnóstico de atresia pulmonar con comunicación interventricular, y el implante de válvulas sin stent. (2)

La técnica transcatóter de colocación "válvula en válvula" está disponible para el tratamiento de la disfunción; sin embargo, puede reducir aún más el diámetro interno de la VBP, especialmente en prótesis de menor calibre, lo que potencialmente lleva a una estenosis funcional o discordancia paciente-prótesis. (3) La fractura intencional o el remodelamiento del anillo de la VBP en posición pulmonar y tricúspide son una técnica atractiva para lograr un mayor diámetro interno y un mejor resultado hemodinámico en esta estrategia, evitando la desproporción paciente-prótesis. Los datos publicados sobre resultados del reemplazo percutáneo con técnica "válvula en válvula" (RPVV) en estas bioprótesis derechas por cardiopatías congénitas son muy limitados.

El objetivo del estudio es presentar la experiencia inicial en Argentina con fractura/remodelación de

anillo valvular en bioprótesis y posterior RPVV en pacientes con cardiopatías congénitas

## MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio descriptivo y observacional. Se incluyeron todos los pacientes tratados con RPVV debido a disfunción de BPV. La BPV había sido implantada como parte de la corrección inicial de una cardiopatía congénita. Se definió disfunción valvular en posición pulmonar a un gradiente pico de presión  $\geq 40$  mm Hg o a la presencia de al menos incompetencia valvular de grado moderada demostrada en ecocardiografía Doppler color. La disfunción de válvula tricúspide se definió como la presencia de incompetencia moderada a severa, y/o un gradiente medio  $\geq 9$  mm Hg. (4)

Los ecocardiogramas Doppler color pre, durante intervención/alta y durante seguimiento fueron realizados por un solo ecocardiografista experimentado (AC) para estandarizar la interpretación de los hallazgos.

La estrategia de ruptura/remodelación del anillo valvular y el implante "válvula en válvula" posterior se realizó según técnicas usuales estandarizadas. (5) El balón no complaciente de ultra-alta presión seleccionado para la fractura, fue del mismo tamaño o hasta 1,5 mm mayor que el diámetro nominal de la bioprótesis a fracturar. La presión de ruptura aplicada fue la necesaria para lograr el objetivo y no superó las 12 atmósferas (Figuras 1 y 2). El diámetro de la válvula balón expandible a implantar fue seleccionado entre 0,5 y 2 mm mayor que el diámetro nominal/comercial de la VBP. Todos los pacientes recibieron aspirina 100 mg/día indefinidamente luego del implante valvular.

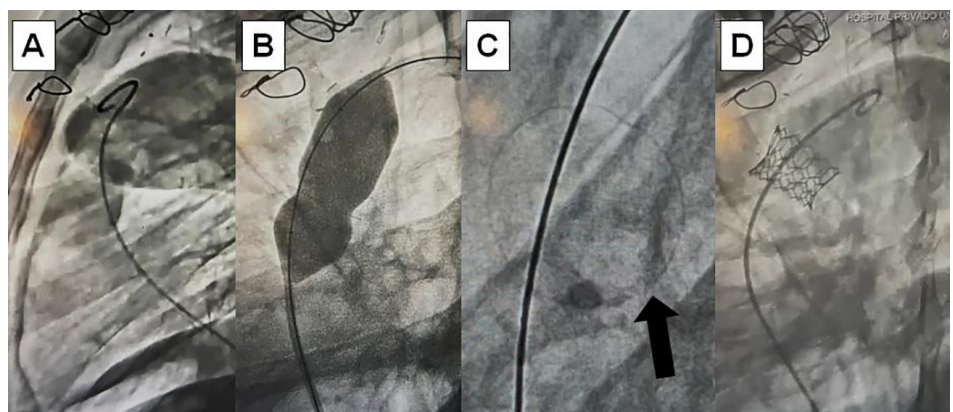
## Análisis estadístico

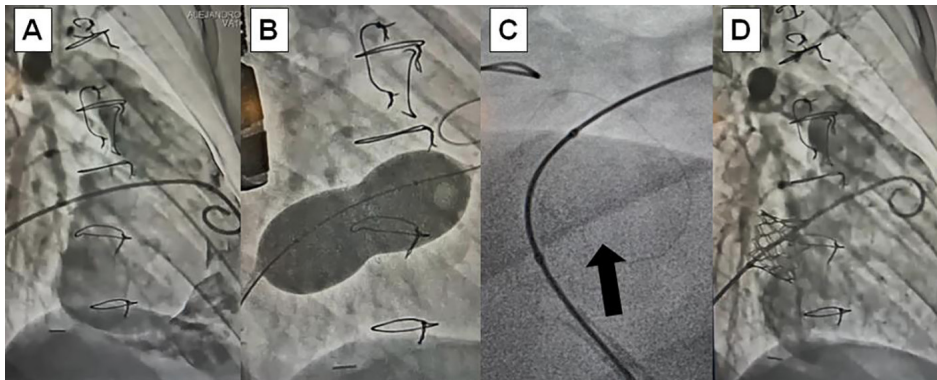
La recolección de datos y el análisis estadístico se realizó de acuerdo con las guías de reporte de mortalidad y morbilidad luego de intervenciones en válvulas cardíacas. (6) Las variables categóricas están expresadas como porcentajes. Las variables continuas están expresadas como media y desviación estándar (DE) o mediana y rango intercuartílico (RIC) según corresponda. La distribución de las variables continuas se analizó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra. Se utilizó el paquete estadístico SPSS 24.

## Consideraciones éticas

La fractura intencional de una VBP y posterior implante de válvulas balón expandibles con técnica "válvula en válvula" como alternativa a un nuevo cambio quirúrgico fue aprobado

**Fig. 1.** (A) Angiografía de bioprótesis Epic Supra® (St Jude Medical, USA) disfuncionante en posición pulmonar en proyección oblicua lateral izquierda estricta 90°. (B) Balón no complaciente de ultra-alta presión para producir fractura intencional del anillo valvular. (C) Anillo valvular fracturado (flecha). (D) Angiografía en la misma proyección inicial: válvula balón expandible Myval® (Meril, India) implantada con técnica "válvula en válvula" en posición pulmonar





**Fig. 2.** (A) Angiografía de bioprótesis Epic Supra® (St Jude Medical, USA) disfuncionante en posición tricuspídea en proyección oblicua anterior derecha 45°. (B) Balón no complaciente de ultra-alta presión para producir fractura intencional del anillo valvular. (C) Anillo valvular fracturado (flecha). (D) Angiografía en la misma proyección inicial: válvula balón expandible Myval® (Meril, India) implantada con técnica "válvula en válvula" en posición tricuspídea.

por el comité de ética de la institución. Todos los pacientes mayores de edad o sus padres/tutores en caso de ser menores de edad, firmaron un acta de información sanitaria antes de la realización del procedimiento. Este estudio fue realizado siguiendo las recomendaciones de la Declaración de Helsinki para estudios observacionales revisada en 1989.

## RESULTADOS

Desde agosto de 2021 hasta mayo de 2023, 5 pacientes con disfunción de bioprótesis derechas recibieron RPVV como alternativa a la realización de un nuevo reemplazo quirúrgico. La edad media fue 21,2 años (DE 9,20), el peso medio fue 56,2 kg (DE 22,2) y el 60 % eran de sexo femenino. Dos tenían diagnóstico inicial de tetralogía de Fallot; dos, enfermedad de Ebstein, y la restante dilatación idiopática de tronco de arteria pulmonar con incompetencia valvular grave. Todos los pacientes tenían síntomas de insuficiencia cardíaca clase funcional III/IV. En un caso, se había realizado el diagnóstico de endocarditis infecciosa de la VBP en posición tricuspídea 6 meses antes de la intervención percutánea.

Con respecto a la disfunción valvular, tres pacientes presentaban disfunción protésica con estenosis valvular pulmonar predominante, uno con estenosis tricuspídea pura y el restante con doble lesión tricuspídea (Tabla 1). El tiempo medio transcurrido desde el implante quirúrgico de la válvula hasta la intervención percutánea fue de 6,1 años (DE 2,6).

Durante el procedimiento de RPVV, cuatro pacientes fueron sometidos a fractura intencional del anillo de la bioprótesis, utilizando balones no complacientes de ultra-alta presión Atlas Gold® o True Balloon® (Bard, USA) con un diámetro igual o hasta 1,5 mm mayor que el tamaño nominal/comercial del anillo a fracturar; la presión media de ruptura del anillo fue 9,7 atmósferas (DE 2,6). En todos los casos se logró la ruptura durante la primera insuflación a alta presión y luego fueron implantadas válvulas balón expandibles durante la misma intervención. En ningún caso fue necesario realizar estimulación con marcapasos tran-

sitorio concomitante durante el implante valvular. En los cuatro pacientes que recibieron fractura intencional del anillo, el tamaño final de la válvula implantada fue 1,2 mm mayor (0,5-2 mm) que el diámetro nominal/comercial inicial de la bioprótesis. En todos los casos los gradientes transvalvulares se resolvieron (los gradientes pulmonares pico disminuyeron de 74 mm Hg a 13,6 mm Hg y los gradientes tricuspídeos medios descendieron de 11,2 mm a 3,2 mm Hg) con ausencia de incompetencia valvular post implante inmediato (Tabla 2). El tiempo medio de radioscopia fue 19,3 minutos (DE 10,3). Los pacientes permanecieron internados una mediana de 24 horas (RIC 18) y el tiempo medio de seguimiento fue de 13,8 meses (DE 6,2). No se registraron complicaciones inmediatas ni durante el seguimiento a corto y mediano plazo.

El ecocardiograma Doppler color de seguimiento mostró un gradiente pulmonar con media de 16 mm Hg (DE 3,6) y tricuspídeo de 6,6 mm Hg (DE 1,2). Solo un paciente desarrolló incompetencia valvular tricuspídea de grado moderado. Clínicamente se objetivó una mejoría a CF I en cuatro casos y CF II en el caso restante y no se reportaron muertes, explantes valvulares, eventos de endocarditis infecciosa o realización de alguna otra reintervención.

## DISCUSIÓN

El reemplazo quirúrgico de valvulopatías derechas (entre ellas tetralogía de Fallot o enfermedad de Ebstein) con implante de bioprótesis es una estrategia muy utilizada, basada en su amplia disponibilidad, la no necesidad de uso de anticoagulación posterior y sus buenos resultados comparados con prótesis mecánicas. (7,8) La mayoría de las bioprótesis han sido utilizadas *off label* para reemplazo quirúrgico en estas posiciones, ya que su desarrollo inicial fue para reemplazo valvular en posición aórtica. Estas bioprótesis desarrollan deterioro progresivo que se traduce en estenosis y/o incompetencia con cambios patológicos que incluyen calcificación, engrosamiento, formación de pannus,

**Tabla 1.** Características basales de los pacientes

	Edad (años)	Genero	Peso (Kg)	Patología	Tipo de disfunción protésica	Gradiente transvalvular	Clase funcional
#1T	17	Varón	73	Ebstein	Estenosis tricuspídea	11*	III
#2T	16	Mujer	36	Ebstein	Estenosis/Insuficiencia tricuspídea	11*	IV
#3P	36	Varón	86	Dilatación idiopática pulmonar	Estenosis pulmonar	76**	III
#4P	24	Mujer	48	Tetralogía de Fallot	Estenosis pulmonar	67**	III
#5P	13	Mujer	38	Tetralogía de Fallot	Estenosis pulmonar	79**	III

P: Pulmonar; T: Tricúspide; \*: Gradiente transvalvular tricuspídeo medio. \*\*: Gradiente transvalvular pulmonar máximo \* y \*\* expresados en mm Hg.

**Tabla 2.** Procedimiento percutáneo y resultados

	Bioprótesis	Número	Fractura alta presión	Balón alta presión	Válvula implantada	Número	Gradiente residual	Clase funcional seguimiento	Regurgitación
#1T	St Jude Epic	25	Si	True Balloon (26 mm) 12 atm	Myval	26	1,4*	I	Moderada
#2T	Hancock	25	No	No	Myval	23	6*	II	No
#3P	St Jude Epic	27	Si	Atlas Gold 26 mm (7 atm)	Myval	27,5	19**	I	No
#4P	St Jude Epic	21	Si	Atlas Gold 22 mm (12 atm)	Melody	22	11**	I	No
#5P	St Jude Epic	23	Si	True Balloon 24 mm (8 atm)	Myval	24,5	14**	I	No

Atm: atmósferas; P: Pulmonar; T: Tricúspide; \*: Gradiente transvalvular tricuspídeo medio; \*\*: Gradiente transvalvular pulmonar máximo \* y \*\* expresados en mm Hg.

trombosis, desgarros e inflamación, relacionados potencialmente con la ocurrencia de endocarditis infecciosa. (9) En general, es aceptado que las VBP se mantienen estables hasta los 5 años post implante. Sin embargo, cerca del 80 % de los pacientes requerirán una reoperación o manifestarán disfunción significativa a los 10 años de la colocación. Un tamaño de bioprótesis pulmonar pequeño y una edad menor que 13 años fueron identificados como factores de riesgo para reintervención precoz. (10) Kwak y col. (11) reportaron que la edad menor de 20 años se asocia a una mayor incidencia de disfunción valvular en comparación con pacientes adultos, inclusive con diámetros de bioprótesis mayores.

Un nuevo recambio valvular quirúrgico ha sido la conducta más aceptada luego de la disfunción de estas

bioprótesis, aunque esta técnica está asociada a riesgo incrementado de morbimortalidad particularmente en pacientes con cardiopatías congénitas con múltiples cirugías previas. (12) La técnica de RPVV no es nueva, ya que existe experiencia en disfunción de prótesis biológicas izquierdas, principalmente cuando la disfunción que prevalece es la insuficiencia. (13) Por el contrario, en casos de estenosis valvular pura, puede coexistir disfunción protésica con desproporción prótesis-paciente, por lo que es lógico pensar que implantar una válvula percutánea podría reducir aún más el tamaño de anillo y no resolver la estrechez valvular. Sin embargo, Allen y Johansen (3,14) demostraron que las bioprótesis pueden ser fracturadas utilizando balones no complacientes de ultra-alta presión con un diámetro al menos 1 mm mayor que el diámetro nominal/

comercial de la válvula implantada, con excepción de las bioprótesis Trifecta (Abbott, USA) y la Hancock II (Medtronic, USA). Dicha estrategia permite el implante “válvula en válvula”, disminuyendo el problema de la desproporción prótesis-paciente. La presión de ruptura requerida mostró una variación entre 8 y 24 atmósferas y la fractura del anillo fue seguida con una inmediata caída de la presión en el balón y frecuentemente un “crack” audible.

Los resultados recientes reportados utilizando esta técnica en VBP en posición tricúspide y pulmonar, seguida de RPVV demostraron una mejoría clínica objetiva, un incremento significativo en el diámetro interno de la bioprótesis y un mejor resultado hemodinámico luego del implante valvular percutáneo. (15,16)

Con respecto a la técnica de ruptura/remodelación de la bioprótesis, es probable que para lograr una fractura exitosa entren en juego otras variables, más allá del tipo y tamaño de la bioprótesis a fracturar, que incluyen la remodelación del tejido dentro y alrededor de la válvula como así también la geometría de la ubicación del implante. De todas maneras, seguimos las recomendaciones en la utilización de balones no complacientes de ultra-alta presión, con un tamaño al menos 1 mm mayor que el diámetro nominal/comercial de la válvula y hasta 3-5 mm más grande que el diámetro interno verdadero (3,15) y con esta estrategia, pudimos fracturar intencionalmente todos los anillos durante la primera insuflación. La única paciente de la cohorte con bioprótesis no fracturable Hancock II (Medtronic, USA), presentaba clase funcional IV, un episodio de endocarditis infecciosa previa y una superficie corporal pequeña, por lo que se consideró que el RPVV no conduciría a una desproporción prótesis-paciente. Es pertinente remarcar aquí que la expansión máxima final de una bioprótesis fracturada no está definida con claridad, ya que hay variables inherentes a la válvula y también al tejido circundante que afectan el diámetro final. (3,17) También está en discusión si el implante de un stent previo a la colocación de un RPVV es necesario para evitar el *recoil* de la válvula fracturada, aunque las observaciones que sugieren la existencia de fuerzas diferenciales que contribuyen al mismo no han sido claramente establecidas. (18) Es por esto que consideramos que el implante de válvulas balón expandibles con fuerza radial adecuada es suficiente para mitigar la posibilidad de *recoil* posterior evitando de esta manera el implante de un stent adicional. Paralelamente, también se ha sugerido que la fractura intencional del anillo podría realizarse posteriormente al RPVV, aunque esta estrategia presenta el riesgo hipotético de que los balones de ultra-alta presión utilizados puedan dañar las valvas y/o distorsionar el esqueleto de la válvula percutánea implantada. (19)

Otro punto a destacar es la ocurrencia de endocarditis infecciosa en pacientes con bioprótesis y RPVV. De acuerdo con lo publicado por Cabalka y col. (20) el riesgo relativo no es mayor comparado con el reemplazo percutáneo de una válvula sobre homoinjerto u otros

tipos de conductos. Sin embargo, esta asociación merece ser estudiada en profundidad, sobre todo por datos publicados en el registro de la Sociedad de Cirujanos Torácicos, en el cual el 12 % de los pacientes adultos que requirieron cambio quirúrgico de su válvula pulmonar post intervenciones percutáneas tenían historia de endocarditis infecciosa. (21) En el estudio multicéntrico mencionado anteriormente (20) la ocurrencia de endocarditis infecciosa previa a un RPVV no se relacionó con eventos adversos ni impactó negativamente en los resultados durante el seguimiento.

Finalmente, consideramos que la colaboración entre cirujanos cardiovasculares y hemodinamistas que determinen el tipo de bioprótesis a implantar y el manejo a largo plazo es crucial para lograr que esta estrategia sea llevada a cabo con éxito.

### Limitaciones

Existen limitaciones en este estudio. Los datos fueron recopilados retrospectivamente y de un único centro con experiencia en implantes valvulares percutáneos por lo que los resultados presentados pueden no ser de aplicación general. También puede haber un sesgo de selección al incorporar a pacientes de alto riesgo con bioprótesis disfuncionantes. Finalmente, es un reporte inicial y preliminar de un procedimiento novedoso con válvulas aprobadas *off label* para uso en tracto de entrada y salida de ventrículo derecho con evidente necesidad de un seguimiento a más largo plazo.

### CONCLUSIONES

El RPVV en válvulas derechas en pacientes con cardiopatías congénitas es una estrategia atractiva y segura en casos seleccionados que restaura la competencia y elimina las obstrucciones en bioprótesis disfuncionantes. La fractura intencional de una VBP es una intervención eficaz para incrementar el diámetro de la válvula a implantar siendo el procedimiento técnicamente seguro y eficaz. Esta estrategia es una opción razonable como alternativa a la realización de un nuevo recambio valvular quirúrgico. Un mayor número de casos y un seguimiento más prolongado serán necesarios para confirmar estos hallazgos iniciales.

### 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).

### BIBLIOGRAFÍA

1. Burri M, Vogt MO, Hörer J, Cleuziou J, Kasnar-Samprec J, Kühn A, et al. Durability of bioprostheses for the tricuspid valve in patients with congenital heart disease. *Eur J Cardiothorac Surg* 2016;50:988-93. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw094>
2. Lee C, Park C, Lee C, Kwak J, Kim S, Shim W, et al. Durability of bioprosthetic valves in the pulmonary position: Long-term follow-up of 181 implants in patients with congenital heart disease. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2011;142:351-8. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2010.12.020>

3. Allen K, Chhatriwalla A, Cohen D, Saxon J, Aggarwal S, Hart A, et al. Bioprosthetic valve fracture to facilitate transcatheter valve-in-valve implantation. *Ann Thorac Surg* 2017;104:1501-8. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2017.04.007>
4. Blauwet L, Danielson G, Burkhart H, Dearani J, Malouf J, Connolly H, et al. Comprehensive echocardiographic assessment of the hemodynamic parameters of 285 tricuspid valve bioprostheses early after implantation. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:1045-59. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2010.08.007>
5. Allen K, Chhatriwalla A, Saxon J, Huded C, Sathananthan J, Nguyen T, et al. Bioprosthetic valve fracture: a practical guide. *Ann Cardiothorac Surg* 2021;10:564-70. <https://doi.org/10.21037/acs-2021-tviv-25>
6. C, Miller D, Turina M, Kouchoukos N, Blackstone E, Grunkemeier G, et al. Guidelines for reporting mortality and morbidity after cardiac valve interventions. *Ann Thorac Surg* 2008;85:1490-5. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2007.12.082>
7. Nomoto R, Sleeper L, Borisuk M, Bergerson L, Pigula FA, Emani S et al. Outcome and performance of bioprosthetic pulmonary valve replacement in patients with congenital heart disease. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2016;152:1333-42. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2016.06.064>
8. Liu P, Qiao WH, Sun FQ, Ruan XL, Al Shirbini M, Hu D, et al. Should a Mechanical or Biological Prosthesis Be Used for a Tricuspid Valve Replacement? A Meta-Analysis. *J Card Surg* 2016;31:294-302. <https://doi.org/10.1111/jocs.12730>
9. Saleeb S, Newburger J, Geva T, Baird C, Gauvreau K, Padera R, et al. Accelerated degeneration of a bovine pericardial bioprosthetic aortic valve in children and young adults. *Circulation* 2014;130:51-60. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.009835>
10. McKenzie ED, Khan MS, Dietzman TW, Guzmán-Pruneda FA, Samayoa AX, Liou A, et al. Surgical pulmonary valve replacement: a benchmark for outcomes comparisons. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2014;148:1450-3. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2014.02.060>
11. Kwak J, Lee C, Lee M, Lee C, Jang S, Lee S, et al. Does implantation of larger bioprosthetic pulmonary valves in young patients guarantee durability in adults? Durability analysis of stented bioprosthetic valves in the pulmonary position in patients with tetralogy of Fallot. *Eur J Cardiothorac Surg* 2016;49:1207-12. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezv298>
12. Enezate T, Omran J, Bhatt DL. Percutaneous Versus Surgical Pulmonic Valve Implantation for Right Ventricular Outflow Tract Dysfunction. *Cardiovasc Revasc Med* 2019;20:553-8. <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2018.08.020>
13. Buchholz C, Mayr A, Purbojo A, Glöckler M, Toka O, Cesnjevar RA, et al. Performance of stented biological valves for right ventricular outflow tract reconstruction. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2016;23:933-9. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivw264>
14. Johansen P, Engholt H, Tang M, Nybo RF, Rasmussen P, Nielsen-Kudsk J. Fracturing mechanics before valve-in-valve therapy of small aortic bio- prosthetic heart valves. *EuroIntervention*. 2017;13:e1026-e1031. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-17-00245>
15. Shahanavaz S, Asnes J, Grohmann J, Qureshi, A, Rome J, Tanase D, et al. Intentional Fracture of Bioprosthetic Valve Frames in Patients Undergoing Valve-in-Valve Transcatheter Pulmonary Valve Replacement. *Circ Cardiovasc Interv*. 2018;11:e006453. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.118.006453>
16. McElhinney D, Cabalka A, Aboulhosn J, Eicken A, Boudjemline Y, Schubert S, et al. Transcatheter tricuspid valve-in-valve implantation for the treatment of dysfunctional surgical bioprosthetic valves. An International, multicenter registry study. *Circulation* 2016;133:1582-93. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.019353>
17. Tanase D, Georgiev S. Concept of fracturing a small-sized bioprosthesis for further valve in valve implantation. *Catheter Cardiovasc Interv* 2022;99:E47. <https://doi.org/10.1002/ccd.29126>
18. Wilson WM, Benson LN, Osten MD, Shah A, Horlick EM. Transcatheter Pulmonary Valve Replacement With the Edwards Sapien System: The Toronto Experience. *JACC Cardiovasc Interv* 2015;8:1819-27. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2015.08.016>
19. Ziccardi MR, Groves EM. Bioprosthetic Valve Fracture for Valve-in-Valve Transcatheter Aortic Valve Replacement: Rationale, Patient Selection, Technique, and Outcomes. *Interv Cardiol Clin* 2019;8:373-82. <https://doi.org/10.1016/j.iccl.2019.05.004>
20. Cabalka A, Asnes J, Balzer D, Cheatham J, Gillespie M, Jones T et al. Transcatheter pulmonary valve replacement using the Melody valve for treatment of dysfunctional surgical bioprostheses: A multicenter study. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2018;155:1712-24. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2017.10.143>
21. Khanna A, Hill K, Pasquali S, Wallace A, Masoudi F, Jacobs M et al. Benchmark outcomes for pulmonary valve replacement using the Society of Thoracic Surgeons databases. *Ann Thorac Surg* 2015;100:138-45. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2015.03.025>