

# Insuficiencia pulmonar crónica secundaria a tetralogía de Fallot y estenosis pulmonar intervenida. Recambio valvular pulmonar con prótesis metálica

E. Martínez-Quintana<sup>a</sup>, F. Rodríguez González<sup>b</sup>, J. Ágredo Muñoz<sup>c</sup>, J.S. García Mendieta<sup>c</sup>, J.M. Brito Pérez<sup>c</sup>, R. Llorens León<sup>d</sup> y V. Nieto Lago<sup>a</sup>

Servicios de <sup>a</sup>Cardiología, <sup>b</sup>Medicina Intensiva y <sup>c</sup>Cirugía Cardiovascular. Complejo Hospitalario Universitario Insular-Materno Infantil. Las Palmas de Gran Canaria. <sup>d</sup>Servicio de Cirugía Cardiovascular. Hospital Hospiten Rambla. Santa Cruz de Tenerife. España.

## Introducción

La tetralogía de Fallot y la estenosis pulmonar intervenida son causas frecuentes de consulta en pacientes con cardiopatías congénitas. Las intervenciones realizadas en la infancia conllevan una insuficiencia pulmonar residual que puede requerir recambio valvular pulmonar en la edad adulta.

## Métodos

Entre 2003 y 2007 se controló a 37 pacientes con intervencionismo sobre el tracto de salida del ventrículo derecho y la válvula pulmonar (tetralogía de Fallot y estenosis pulmonar). Se realizó un estudio para evaluar la diferencia entre los parámetros ecocardiográficos de ambas patologías, las indicaciones de recambio valvular pulmonar y el tipo de prótesis implantada.

## Resultados

Del total de pacientes con intervención sobre la válvula pulmonar, 25 (67,6%) tenían tetralogía de Fallot y 12 (32,4%), estenosis pulmonar. De los pacientes con estenosis pulmonar, a 7 se les realizó valvulotomía en la infancia y a 5, valvuloplastia pulmonar en la edad adulta. A los pacientes con tetralogía de Fallot se les realizó una ampliación transanular con parche. La diferencia de medias de los parámetros ecocardiográficos estudiados (diámetros de los ventrículos derecho e izquierdo, grado de insuficiencia pulmonar, gradiente transpulmonar y fracción de eyección del ventrículo izquierdo) no fue significativa. Se realizó recambio valvular pulmonar con prótesis metálica en 5 (13,5%) pacientes, sin morbilidad y con una mejoría significativa del grado funcional.

## Conclusiones

La insuficiencia pulmonar crónica es una complicación frecuente en los pacientes con tetralogía de Fallot y estenosis pulmonar intervenidas. El recambio pulmonar con prótesis metálica es un procedimiento de baja morbilidad y escaso riesgo de complicaciones a corto-medio plazo.

## Palabras clave:

*Tetralogía de Fallot. Estenosis pulmonar. Insuficiencia pulmonar. Prótesis valvular metálica.*

## CHRONIC PULMONARY INSUFFICIENCY AFTER TETRALOGY OF FALLOT AND PULMONARY STENOSIS INTERVENTION. PULMONARY VALVE REPLACEMENT WITH MECHANICAL PROSTHESIS

### Introduction

Tetralogy of Fallot and pulmonary stenosis are a frequent cause of consultation in patients with congenital heart disease. Interventions performed in infancy can cause residual pulmonary insufficiency and may require pulmonary valve replacement when adults.

### Methods

From 2003 to 2007, 37 patients underwent right ventricular outflow tract or pulmonary valve intervention (tetralogy of Fallot and pulmonary stenosis). Differences between echocardiographic parameters in both pathologies, indications for pulmonary valvular replacement and the type of prosthesis used, were studied.

**Correspondencia:** Dr. E. Martínez-Quintana.  
Alcalde Ramírez Bethencourt, 10, 3º A.  
35003 Las Palmas de Gran Canaria. España.  
Correo electrónico: efrenmartinezquintana@yahoo.es

Recibido en enero de 2008.  
Aceptado para su publicación en abril de 2008.

## Results

25 (67.6%) patients had tetralogy of Fallot and 12 (32.4%) pulmonary stenosis. In the pulmonary stenosis group, 7 patients had pulmonary valvulotomy in infancy and 5 had percutaneous pulmonary valvuloplasty in adulthood. Fallot patients received a transannular patch. No significant differences were seen in echocardiographic parameters (right and left ventricular diameter, pulmonary insufficiency, transpulmonary gradient and left ventricular ejection fraction). Mechanical prosthesis valve replacement was performed in 5 (13.5%) patients, with no morbidity-mortality and with a significant improvement of the functional class.

## Conclusions

Chronic pulmonary insufficiency is a frequent complication after intervention of tetralogy of Fallot and pulmonary stenosis. Mechanical prosthesis valve replacement has low morbidity-mortality and low risk of complications after short to medium-term follow-up.

## Key words:

*Tetralogy of Fallot. Pulmonary stenosis. Pulmonary insufficiency. Mechanical prosthesis.*

## INTRODUCCIÓN

La insuficiencia pulmonar es una patología que frecuentemente aparece tras la corrección quirúrgica de la tetralogía de Fallot y tras la valvulotomía o valvuloplastia pulmonar en pacientes con estenosis pulmonar. En la tetralogía de Fallot, clásicamente se realizaba ampliación transannular con parche del tracto de salida del ventrículo derecho, aunque en la actualidad se ha abandonado este procedimiento y se intenta limitar el parche al tracto de salida del ventrículo derecho, preservando la función de la válvula pulmonar.

La insuficiencia pulmonar crónica y grave se ha asociado con la dilatación y disfunción del ventrículo derecho (VD), la disminución del grado funcional, las arritmias ventriculares y la muerte súbita<sup>1</sup>. En los casos de reparación tardía de la insuficiencia pulmonar se produce una recuperación incompleta de la función ventricular derecha, y por lo tanto es importante no retrasarla de forma innecesaria.

Existen diferentes técnicas quirúrgicas, como el implante de homoinjertos, xenoinjertos, prótesis biológicas o metálicas, y otras más recientes, como el implante protésico percutáneo.

El presente estudio pretende valorar el grado de insuficiencia pulmonar y disfunción ventricular existente en estos dos grupos de pacientes y la técnica de reparación a la que han sido sometidos aquellos pacientes con insuficiencia pulmonar crónica y grave.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En la Consulta de Cardiopatías Congénitas del Adulto del Complejo Hospitalario Universitario Insular-Materno

Infantil, se controló, entre los años 2003 y 2007, a 37 pacientes intervenidos de estenosis pulmonar valvular y/o del tracto de salida del VD con el consiguiente riesgo de desarrollar insuficiencia pulmonar (25 con tetralogía de Fallot y 12 con estenosis pulmonar).

Se excluyó del estudio a los pacientes con patología pulmonar no intervenida y a los que, habiendo sido operados a nivel subvalvular o supravalvular pulmonar, la cirugía no afectaba a la válvula pulmonar.

En todos ellos se realizó la historia clínica y la valoración ecocardiográfica. La función ventricular derecha se estimó mediante fracción de eyección (FE) por técnica de Simpson y/o TAPSE (*tricuspid annular plane systolic excursion*), y se etiquetó como función conservada (FE > 50% y/o TAPSE > 20 mm), disfunción ligera (FE 40-45% y/o TAPSE entre 15 y 20 mm), moderada (FE 30-40% y/o TAPSE entre 10 y 15 mm) o grave (FE < 30% y/o TAPSE < 10 mm). La función ventricular izquierda se calculó mediante Teichholz en porcentaje. La insuficiencia pulmonar y tricuspídea se graduó de 0 a IV según fuese inexistente, ligera, moderada, moderada-grave o grave, respectivamente. Los diámetros del ventrículo izquierdo se obtuvieron en el eje paraesternal largo y los del VD, en el eje de mayor tamaño.

A los 5 pacientes con insuficiencia pulmonar intervenidos de recambio valvular pulmonar se les realizó ecocardiografía y angiografía, además de resonancia magnética (RM) a uno de ellos antes de la operación. Tras la intervención, fueron controlados mediante ecocardiografía. También se determinó el QRS y el QTc antes y después de la cirugía, el tipo de prótesis implantada, la edad a la que se realizó la primera intervención, el tiempo pasado desde ésta hasta el recambio valvular pulmonar y su evolución posterior.

En cada grupo de estudio, las variables categóricas se resumieron mediante frecuencias y porcentajes, y las numéricas, en medias y desviaciones estándar. Las medias se compararon con el t-test y las medianas, con el test de Wilcoxon. Un contraste de hipótesis se consideró estadísticamente significativo cuando  $p < 0,05$ . El paquete estadístico empleado fue el SPSS 14.0.

## RESULTADOS

Del total de pacientes, 25 (67,6%) tenían tetralogía de Fallot y 12 (32,4%), estenosis pulmonar intervenida. La edad media de los pacientes con tetralogía de Fallot fue de  $30,7 \pm 9,9$  años, con el 68% (17 pacientes) de varones, y la de los pacientes con estenosis pulmonar intervenida fue de  $26,3 \pm 7,6$  años, con un 83% (10 pacientes) de varones.

Todos los pacientes con tetralogía de Fallot fueron operados en la infancia a excepción de uno, que fue intervenido en la edad adulta. Del total de pacientes con estenosis pulmonar, 7 fueron valvulotomías pulmonares realizadas en la infancia (4 con ampliación del tracto de

salida del VD y 3 con valvulotomías simples) y 5 valvuloplastias pulmonares realizadas en la edad adulta.

Los datos ecocardiográficos obtenidos de los pacientes con tetralogía de Fallot y estenosis pulmonar intervenida se muestran en la tabla 1. No se evidenció significación estadística entre ninguno de los parámetros estudiados entre ambos grupos, aunque se observó que el valor medio del diámetro diastólico del VD en la tetralogía de Fallot era superior al de la estenosis pulmonar ( $p = 0,06$ ). En la tabla 2 se describe la función del VD en ambos grupos.

De los 37 pacientes, 5 requirieron recambio valvular pulmonar (sin precisar ninguno de ellos anuloplastia tricuspídea) en la edad adulta (3 con tetralogía de Fallot y 2 con estenosis pulmonar). Uno de los pacientes con tetralogía de Fallot tenía asociada agenesia valvular pulmonar con dilatación/insuficiencia aórtica grave, y 2, taquicardia ventricular monomórfica sostenida; se les implantó a ambos un desfibrilador automático implantable. En uno de ellos estuvo indicado el desfibrilador junto con la cirugía de recambio pulmonar, y al otro, al cabo de 10 meses debido a recidiva arritmogénica; desde entonces, ambos pacientes permanecen asintomáticos.

Los 2 pacientes con estenosis pulmonar habían sido intervenidos en la infancia mediante valvulotomía, asociada a parche transanular en uno de ellos. En los 5 pacientes, el tiempo medio transcurrido desde el nacimiento hasta la primera cirugía fue de  $4,2 \pm 2,7$  años y desde la primera intervención hasta el recambio valvular pulmonar, de  $32,4 \pm 5,4$  años.

El recambio valvular pulmonar se realizó con prótesis metálicas, 3 pacientes con prótesis de St. Jude (n.º 21 y 23) y 2 con prótesis de Carbomedics (n.º 23). El tiempo medio de seguimiento tras el recambio pulmonar fue de  $3,2 \pm 1,6$  años. En la tabla 3 se exponen los datos clínicos, ecocardiográficos y electrocardiográficos recogidos antes y después de la cirugía; sólo se observó significación estadística en la reducción de la insuficiencia pulmonar y en la mejoría del grado funcional tras el implante.

No se obtuvieron diferencias significativas en la valoración de la función ventricular derecha (FE en porcentaje) mediante ecocardiografía y angiografía antes de la cirugía ( $40 \pm 7,9$ ;  $41 \pm 6,51$ ;  $p = 0,31$ ) y después de ésta ( $44,8 \pm 3,89$ ;  $41 \pm 6,51$ ;  $p = 0,50$ ). Los hallazgos angiográficos, ecocardiográficos y de RM en el paciente al que se le realizaron las tres pruebas, previamente al recambio valvular pulmonar, fueron superponibles. También se obtuvo una buena correlación entre la FE ventricular derecha calculada por Simpson (en apical 4 cámaras y paraesternal corto) ( $44,8 \pm 3,89\%$ ), TAPSE ( $14,5 \pm 3,27$  mm), pico sistólico del TDI (*tissue doppler imaging*) en el anillo tricuspídeo ( $8,8 \pm 1,89$  cm/s) y el índice de trabajo ventricular derecho calculado por Doppler tisular ( $0,43 \pm 0,10$ ) en los pacientes operados de recambio valvular pulmonar. El

TABLA 1. Comparación de datos ecocardiográficos en la tetralogía de Fallot y la estenosis pulmonar

	Fallot	Estenosis pulmonar	p*
Diámetro diastólico VD (mm)	$32,8 \pm 7,0$	$28,2 \pm 6,4$	0,06
Insuficiencia pulmonar (grados)	$1,8 \pm 1,4$	$2,1 \pm 1,4$	0,53
Gradiente sistólico pulmonar (mmHg)	$20,8 \pm 19,0$	$17,4 \pm 9,9$	0,48
Gradiente medio pulmonar (mmHg)	$11,1 \pm 10,8$	$9,4 \pm 5,2$	0,51
FE del VI (%)	$59,7 \pm 7,6$	$60 \pm 7,4$	0,77
Diámetro diastólico VI (mm)	$46,1 \pm 7,0$	$43,7 \pm 6,3$	0,30

\*Valor de p obtenido mediante la prueba de t de Student.

FE: fracción de eyección; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo.

TABLA 2. Función del ventrículo derecho por ecocardiografía en la tetralogía de Fallot y la estenosis pulmonar

Función VD	Tetralogía de Fallot	Estenosis pulmonar
Normal	11 (44,0)	8 (66,7)
Disfunción ligera	6 (24,0)	1 (8,3)
Disfunción moderada	6 (24,0)	2 (16,7)
Disfunción grave	2 (8,0)	1 (8,3)

Los datos se expresan en frecuencia (porcentajes).

VD: ventrículo derecho.

TABLA 3. Datos ecocardiográficos prerrecambio y posrecambio valvular pulmonar

	Pre-RVP	Pos-RVP	p*
Diámetro diastólico VD (mm)	$34,5 \pm 6,9$	$34,7 \pm 7,3$	1,00
Insuficiencia pulmonar (grados)	$3,5 \pm 0,5$	$0,2 \pm 0,5$	0,05
Gradiente sistólico pulmonar (mmHg)	$29,7 \pm 19,8$	$31,2 \pm 15,6$	1,00
Gradiente diastólico pulmonar (mmHg)	$15,5 \pm 10,5$	$18,7 \pm 10,2$	0,46
FE del VI (%)	$55,5 \pm 11,1$	$53,5 \pm 16,0$	0,65
Diámetro diastólico VI (mm)	$50 \pm 6,7$	$48 \pm 2,4$	0,65
BRD (mm/s)	$130 \pm 20,0$	$140 \pm 23,0$	0,31
QTc (mm/s)	$402,5 \pm 75,0$	$370 \pm 88,6$	0,18
Grado funcional (NYHA)	$2,6 \pm 0,5$	$1,2 \pm 0,4$	0,03

\*Valor de p obtenido mediante el test para muestras emparejadas de Wilcoxon.

BRD: bloqueo de rama derecha (del haz de His); FE: fracción de eyección;

NYHA: New York Heart Association; RVP: recambio valvular pulmonar;

VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo.

cálculo del índice de trabajo ventricular derecho por Doppler pulsado, en estos pacientes, fue de  $0,21 \pm 0,10$ .

En la tabla 4 se muestran algunas de las indicaciones de recambio valvular pulmonar en pacientes con insuficiencia pulmonar<sup>2</sup>, y al margen, los pacientes de nuestra serie que cumplían cada una de ellas.

**TABLA 4. Indicaciones de reintervención en la insuficiencia pulmonar grave**

	Número de pacientes en nuestra serie
Sintomatología clínica (disnea o datos de fallo VD)	4/5
Dilatación progresiva/disfunción VD	4/5
Arritmias clínicamente significativas	2/5
Insuficiencia tricúspide progresiva	0/5

VD: ventrículo derecho.

## DISCUSIÓN

La insuficiencia pulmonar es un hallazgo frecuente a largo plazo entre los pacientes con cardiopatía congénita tipo Fallot (50%)<sup>3</sup> y estenosis pulmonar intervenida (30%)<sup>4</sup>.

Todavía es motivo de debate el momento en que se ha de llevar a cabo la reparación de la insuficiencia pulmonar<sup>5,6</sup>; por un lado, porque los pacientes suelen permanecer asintomáticos hasta fases avanzadas de dilatación/disfunción ventricular derecha y, por otro lado, porque se unen la dificultad de la valoración de la FE del VD mediante ecocardiografía y la frecuente inexperiencia al tratarse de una patología poco común.

La ecocardiografía es una técnica de primera línea, muy empleada por su fácil accesibilidad y que permite obtener una buena graduación de la insuficiencia pulmonar<sup>7,8</sup>. Sin embargo, la anatomía compleja del VD, asociada a la distorsión de su geometría por la cirugía de reparación previa, puede dificultar su valoración adecuada. Hoy en día existen técnicas, como el TAPSE<sup>9</sup>, el pico sistólico del TDI en el anillo tricúspideo<sup>10</sup>, el índice de trabajo ventricular derecho<sup>11</sup> o la técnica de Simpson<sup>12</sup> con determinación de bordes, mejorada por el uso de contrastes intravenosos, que han intentado paliar estas limitaciones, obteniendo una buena correlación con la medicina nuclear, la angiografía y la RM<sup>12-14</sup>. En la actualidad, la RM es la prueba de elección para valorar la función del VD y la insuficiencia pulmonar, y para el recambio valvular pulmonar la indicación es un volumen telediastólico final del VD > 150 ml/m<sup>2</sup><sup>15,16</sup>.

En nuestra serie, todos los pacientes intervenidos de recambio valvular pulmonar fueron sometidos a estudio angiográfico, y uno de ellos también a RM antes de la cirugía; se obtuvieron datos concordantes con los hallazgos ecocardiográficos. No se realizó estudio de RM en todos los pacientes debido a que los hallazgos angiográficos, clínicos y ecocardiográficos fueron suficientes para indicar la cirugía de recambio valvular, y porque al haber sido intervenidos de media hace más de 3 años, no disponíamos en nuestro medio de la RM como técnica de determinación de la función ventricular derecha.

Los datos ecocardiográficos de función ventricular derecha obtenidos tras el recambio valvular pulmonar fue-

ron superponibles independientemente de la prueba realizada para su cálculo (Simpson, TAPSE, pico sistólico TDI en el anillo tricúspideo o índice de trabajo ventricular derecho por Doppler tisular). Sin embargo, encontramos cifras más bajas a las esperadas en el índice de trabajo ventricular derecho calculado por Doppler pulsado, hallazgos similares a los obtenidos por otros autores<sup>17,18</sup> y que podrían explicarse por la existencia de un VD no distensible que acorte el tiempo de relajación isovolumétrica del VD.

La insuficiencia pulmonar en los pacientes con tetralogía de Fallot intervenida fue de grado III-IV en el 50% de los pacientes según Oliver Ruiz<sup>3</sup>; estos resultados fueron similares, aunque algo superiores, a los de nuestro estudio, que fue de un 36%. Por el contrario, los pacientes con estenosis pulmonar intervenida tuvieron un menor grado de insuficiencia valvular y un menor diámetro ventricular derecho que aquéllos con tetralogía de Fallot, lo cual probablemente se debía al menor porcentaje de pacientes sometidos a cirugía de ampliación del tracto de salida del VD en el primer grupo.

El sustrato de las arritmias parece estar relacionado con las cicatrices quirúrgicas de ampliación del tracto de salida del VD, aunque la dilatación de las cavidades derechas secundaria a insuficiencia pulmonar y/o insuficiencia tricúspidea (IT) actúan como desencadenante<sup>19</sup>. La sustitución valvular consigue la mejoría del grado funcional y disminuye la incidencia de arritmias<sup>20</sup>, hallazgos superponibles a los de nuestro trabajo.

En nuestra serie, la necesidad de recambio valvular pulmonar fue de un 12% para los pacientes con tetralogía de Fallot y de un 16,6% para los que habían sufrido intervencionismo sobre la estenosis pulmonar; estos hallazgos fueron similares a otros trabajos en los que la necesidad de recambio valvular por insuficiencia pulmonar fue de un 15% de los pacientes con tetralogía de Fallot<sup>21</sup> y de un 9% de aquéllos con estenosis pulmonar intervenida<sup>4</sup>.

La mortalidad en la cirugía de recambio valvular pulmonar es baja (1-4%), según Yemets et al<sup>22</sup>, con una excelente supervivencia a los 10 años<sup>23,24</sup>, aumentando el riesgo perioperatorio cuando existe disfunción del VD<sup>24</sup>. En nuestra serie no hubo morbilidad, si bien se trata de una muestra reducida.

Existen diferentes opciones quirúrgicas para la corrección de la insuficiencia pulmonar. Los homoinjertos y xenoinjertos porcinos se han utilizado ampliamente, aunque con el inconveniente de una degeneración temprana, una menor disponibilidad y de que no crezca el tejido protésico con respecto al niño si la cirugía se realiza a edades tempranas. Para la reparación de anillos pulmonares pequeños, otros autores han utilizado conductos bovinos valvulados (Contegra), con buenos resultados a medio plazo<sup>25</sup>, aunque los hay que han hallado una mayor incidencia de estenosis supraavulares<sup>26</sup>. Las prótesis metálicas, debido a su gran durabilidad y baja incidencia de

acontecimientos trombóticos, han sido propuestas por Waterbolk et al<sup>27</sup>. En la actualidad, el implante de válvulas expandibles por vía percutánea parece ser una técnica prometedora, aunque aún existen limitaciones en sus indicaciones y se han de esperar los resultados a largo plazo<sup>28,29</sup>.

En nuestro estudio, el recambio valvular pulmonar se realizó con prótesis metálicas debido a la menor necesidad futura de reintervenciones en estos pacientes en comparación con aquellos que han recibido prótesis biológicas u homoinjertos. De estos últimos, el 53% desarrollaron estenosis pulmonar o insuficiencia pulmonar significativa al cabo de 10 años del recambio valvular pulmonar<sup>30</sup>. Nuestros pacientes han tenido una buena evolución a corto-medio plazo, sin que se asocien complicaciones trombóticas ni hemorrágicas (rango de anticoagulación con INR de 2,5 a 3,5). No se obtuvo mejoría en los parámetros ecocardiográficos de la función ventricular derecha tras el recambio, lo que podría indicarnos una cierta tardanza en el recambio pulmonar, aunque sí del grado funcional, la estabilización de la duración del QRS y la incidencia de arritmias.

En conclusión, la insuficiencia pulmonar y la dilatación ventricular derecha son complicaciones frecuentes a largo plazo entre los pacientes con tetralogía de Fallot y estenosis pulmonar congénita intervenidas. La ecocardiografía es un buen método de diagnóstico y seguimiento para los pacientes con insuficiencia pulmonar grave. El recambio con prótesis metálica pulmonar en nuestra serie se ha realizado con una baja morbimortalidad y un escaso riesgo de complicaciones a corto-medio plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Gatzoulis MA, Balaji S, Webber SA, Siu SC, Hokanson JS, Poile C, et al. Risk factors for arrhythmia and sudden cardiac death late after repair of tetralogy of Fallot: A multicentre study. *Lancet*. 2000;356:975-81.
- Bonow RO, Carabello BA, Chatterjee K, de Leon AC Jr, Faxon DP, Freed MD, et al. ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (writing Committee to Revise the 1998 guidelines for the management of patients with valvular heart disease) developed in collaboration with the Society of Cardiovascular Anesthesiologists endorsed by the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions and the Society of Thoracic Surgeons. *J Am Coll Cardiol*. 2006;48:1-148.
- Oliver Ruiz JM. Congenital heart disease in adults: Residua, sequelae, and complications of cardiac defects repaired at an early age. *Rev Esp Cardiol*. 2003;56:73-88.
- Roos-Hesselink JW, Meijboom FJ, Spitaels SE, Van Domburg RT, Van Rijen EH, Utens EM, et al. Long-term outcome after surgery for pulmonary stenosis (a longitudinal study of 22-33 years). *Eur Heart J*. 2006;27:482-8.
- Therrien J, Siu SC, McLaughlin PR, Liu PP, Williams WG, Webb GD. Pulmonary valve replacement in adults late after repair of tetralogy of fallot: Are we operating too late? *J Am Coll Cardiol*. 2000;36:1670-5.
- Lim C, Lee JY, Kim WH, Kim SC, Song JY, Kim SJ, et al. Early replacement of pulmonary valve after repair of tetralogy: Is it really beneficial? *Eur J Cardiothorac Surg*. 2004;25:728-34.
- Li W, Davlouros PA, Kilner PJ, Pennell DJ, Gibson D, Henein MY, et al. Doppler-echocardiographic assessment of pulmonary regurgitation in adults with repaired tetralogy of Fallot: Comparison with cardiovascular magnetic resonance imaging. *Am Heart J*. 2004;147:165-72.
- Bouzas B, Kilner PJ, Gatzoulis MA. Pulmonary regurgitation: Not a benign lesion. *Eur Heart J*. 2005;26:433-9.
- Bleeker GB, Steendijk P, Holman ER, Yu CM, Breithardt OA, Kaandorp TA, et al. Assessing right ventricular function: The role of echocardiography and complementary technologies. *Heart*. 2006;92 Suppl 1:19-26.
- Meluzín J, Spinarová L, Bakala J, Toman J, Krejčí J, Hude P, et al. Pulsed Doppler tissue imaging of the velocity of tricuspid annular systolic motion; a new, rapid, and non-invasive method of evaluating right ventricular systolic function. *Eur Heart J*. 2001;22:340-8.
- Gondi S, Dokainish H. Right ventricular tissue Doppler and strain imaging: Ready for clinical use? *Echocardiography*. 2007;24:522-32.
- Kaul S, Tei C, Hopkins JM, Shah PM. Assessment of right ventricular function using two-dimensional echocardiography. *Am Heart J*. 1984;107:526-31.
- Spinale FG, Smith AC, Carabello BA, Crawford FA. Right ventricular function computed by thermodilution and ventriculography. A comparison of methods. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1990;99:141-52.
- Grothues F, Moon JC, Bellenger NG, Smith GS, Klein HU, Pennell DJ. Interstudy reproducibility of right ventricular volumes, function, and mass with cardiovascular magnetic resonance. *Am Heart J*. 2004;147:218-23.
- Dave HH, Buechel ER, Dodge-Khatami A, Kadner A, Rousson V, Bauersfeld U, et al. Early insertion of a pulmonary valve for chronic regurgitation helps restoration of ventricular dimensions. *Ann Thorac Surg*. 2005;80:1615-20.
- Buechel ER, Dave HH, Kellenberger CJ, Dodge-Khatami A, Pretre R, Berger F, et al. Remodelling of the right ventricle after early pulmonary valve replacement in children with repaired tetralogy of Fallot: Assessment by cardiovascular magnetic resonance. *Eur Heart J*. 2005;26:2721-7.
- Abd El Rahman MY, Abdul-Khaliq H, Vogel M, Alexi-Meskischvili V, Gutberlet M, Hetzer R, et al. Value of the new Doppler-derived myocardial performance index for the evaluation of right and left ventricular function following repair of tetralogy of fallot. *Pediatr Cardiol*. 2002;23:502-7.
- Yasuoka K, Harada K, Toyono M, Tamura M, Yamamoto F. Tei index determined by tissue Doppler imaging in patients with pulmonary regurgitation after repair of tetralogy of Fallot. *Pediatr Cardiol*. 2004;25:131-6.
- Zahka KG, Horneffer PJ, Rowe SA, Neill CA, Manolio TA, Kidd L, et al. Long-term valvular function after total repair of tetralogy of Fallot. Relation to ventricular arrhythmias. *Circulation*. 1988;78 5 Pt 2:III14-9.
- Karamlou T, Silber I, Lao R, McCrindle BW, Harris L, Downar E, et al. Outcomes after late reoperation in patients with repaired tetralogy of Fallot: The impact of arrhythmia and arrhythmia surgery. *Ann Thorac Surg*. 2006;81:1786-93.
- Gatzoulis MA, Elliott JT, Guru V, Siu SC, Warsi MA, Webb GD, et al. Right and left ventricular systolic function late after repair of tetralogy of Fallot. *Am J Cardiol*. 2000;86:1352-7.

22. Yemets IM, Williams WG, Webb GD, Harrison DA, McLaughlin PR, Trusler GA, et al. Pulmonary valve replacement late after repair of tetralogy of Fallot. *Ann Thorac Surg.* 1997;64:526-30.
23. Oechslin EN, Harrison DA, Harris L, Downar E, Webb GD, Siu SS, et al. Reoperation in adults with repair of tetralogy of Fallot: Indications and outcomes. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1999;118:245-51.
24. Therrien J, Siu SC, Harris L, Dore A, Niwa K, Janousek J, et al. Impact of pulmonary valve replacement on arrhythmia propensity late after repair of tetralogy of Fallot. *Circulation.* 2001;103:2489-94.
25. Chiappini B, Barrea C, Rubay J. Right ventricular outflow tract reconstruction with conegra monocuspid transannular patch in tetralogy of Fallot. *Ann Thorac Surg.* 2007;83:185-7.
26. Meyns B, Van Garsse L, Boshoff D, Eyskens B, Mertens L, Gewillig M, et al. The Contegra conduit in the right ventricular outflow tract induces supralvalvular stenosis. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2004;128:834-40.
27. Waterbolk TW, Hoendermis ES, den Hamer IJ, Ebels T. Pulmonary valve replacement with a mechanical prosthesis. Promising results of 28 procedures in patients with congenital heart disease. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2006;30:28-32.
28. Khambadkone S, Coats L, Taylor A, Boudjemline Y, Derrick G, Tsang V, et al. Percutaneous pulmonary valve implantation in humans: Results in 59 consecutive patients. *Circulation.* 2005;112:1189-97.
29. Schreiber C, Horer J, Vogt M, Fratz S, Kunze M, Galm C, et al. A new treatment option for pulmonary valvar insufficiency: First experiences with implantation of a self-expanding stented valve without use of cardiopulmonary bypass. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2007;31:26-30.
30. Oosterhof T, Mulder BJ, Vliegen HW, de Roos A. Cardiovascular magnetic resonance in the follow-up of patients with corrected tetralogy of Fallot: A review. *Am Heart J.* 2006;151:265-72.