

PROBLEMAS RELEVANTES EN CARDIOLOGÍA 1999

Sustitución valvular aórtica con autoinjerto pulmonar (operación de Ross) en pacientes adultos y pediátricos

Manuel Concha*, Juan J. Legarra*, Jaime Casares*, Manuel Franco**, Dolores Mesa**, Antonio Chacón*, Ignacio Muñoz*, Pedro Alados*, Carlos Merino*, Juan L. Pérez Navero*** y Federico Vallés**

Servicios de *Cirugía Cardiovascular, **Cardiología y ***Cuidados Intensivos Pediátricos. Hospital Universitario Reina Sofía. Córdoba.

La sustitución valvular aórtica con autoinjerto pulmonar fue descrito por Donald Ross en 1967, aunque no fue ampliamente aceptado por cardiólogos y cirujanos cardíacos, fundamentalmente por tratarse de un procedimiento quirúrgico complejo y poner en riesgo dos válvulas cardíacas. En los últimos 10-15 años, los resultados publicados de numerosas series demuestran que se trata de uno de los mejores métodos de reemplazamiento de la válvula aórtica, muy especialmente en pacientes pediátricos y adultos jóvenes.

En el presente trabajo, revisamos las indicaciones y contraindicaciones actuales, así como nuestra experiencia clínica con 26 pacientes (adultos y pediátricos) y el análisis de los primeros 22, con un seguimiento mínimo de 6 meses (180-620 días). El seguimiento fue completo (100%). Cinco pacientes eran menores de 14 años. La edad media del grupo fue de $31,4 \pm 12,6$ años. En 3 pacientes (11%) se había realizado un procedimiento percutáneo previo y otros 4 pacientes (14%) habían sido intervenidos quirúrgicamente. No ha habido ningún caso de mortalidad precoz ni tardía.

En el último seguimiento, 19 de estos 22 pacientes (86,36%) no tenían insuficiencia (\geq grado 1) del autoinjerto y en un caso ésta era moderada (grado 2). Los 2 pacientes restantes desarrollaron una insuficiencia severa (grado 4) y hubieron de ser reintervenidos, evolucionando de forma satisfactoria. El gradiente pico medio era de $7,85 \pm 5$ mmHg (3-29) a los 18 meses. Los pacientes con estenosis aórtica preoperatoria mostraron una reducción significativa del índice de masa miocárdica ($208,7 \pm 32$ a $95,8 \pm 28,8$ g/m²). En estos pacientes, el grosor del septo y de la pared posterior se redujo significativamente, ya en el primer mes.

Dos pacientes pediátricos desarrollaron un gradiente transpulmonar > 50 mmHg, implantándose un *stent* intravascular en uno de ellos. No se ha observado insuficiencia significativa del homoinjerto en ningún caso.

Todos los pacientes continúan asintomáticos (grado funcional I) sin medicación. No se ha observado ningún episodio tromboembólico o hemorrágico ni ningún caso de endocarditis. Ningún paciente recibe tratamiento anti-coagulante.

El seguimiento clínico y ecocardiográfico a medio plazo de nuestra serie demuestra un buen comportamiento, tanto del autoinjerto pulmonar como del homoinjerto, tras el procedimiento de Ross.

Palabras clave: Autoinjerto pulmonar. Procedimiento Ross. Sustitución valvular aórtica.

(*Rev Esp Cardiol* 2000; 53 [Supl 1]: 28-38)

Aortic Valve Replacement with Pulmonary Autograft (the Ross Procedure) in Adult and Pediatric Patients

Aortic valve replacement with pulmonary autograft was first performed by Donald Ross in 1967. Initially, the procedure was not widely accepted, by Cardiologists and Cardiac surgeons fundamentally due to its complexity and demanding surgical technique, and because innumerable series two cardiac valves were at risk. The results published in the last 10-15 years established the pulmonary autograft as one of the best methods of aortic valve replacement, especially in pediatric patients and young adults.

In the present article, we reviewed present indications and contraindications, and our clinical experience with 26 patients (pediatrics and adults). Analysis of the first 22 the patients with a minimum of 6 months of follow-up (180-620 days) was performed. Follow-up is complete (100%). Mean age was 31.4 ± 12.6 years. Five patients were pediatrics (≤ 14 years). Three patients (11%) with previous percutaneous procedures and 4 patients (14%) with previous surgical procedures. There was no early or late mortality.

In the last follow-up, 19 of 22 (86.36%) had no autograft insufficiency (\geq grade 1), and in one patient it was moderate (grade 2). The 2 remaining patients developed severe autograft insufficiency (grade 4) and were reoperated on, with satisfactory postoperative outcome. Mean maximal gradient was 7.85 ± 5 mmHg at 18 months (3-29). Patients with preoperative aortic stenosis showed a significant reduction in myocardial mass index (208.7 ± 32 a 95.8 ± 28.8 g/m²) at 18 months. In these patients, septal

Correspondencia: Prof. M. Concha Ruiz.
Catedrático de Cirugía Cardiovascular.
Dr. Barraquer, 16. 14004 Córdoba.
Correo electrónico: m_concha@arrakis.es
m.concha@teleline.es

and posterior wall thickness decreased significantly, in the first month.

Two pediatric patients have developed transpulmonary gradient > 50 mmHg. One of them underwent successful stent implantation. We have not observed significant homograft insufficiency in any of our patients.

All our patients remain asymptomatic (functional class I) without medical treatment. We have not observed either thromboembolic or haemorrhagic episodes, nor endocarditis. No patient is receiving anticoagulants.

Clinical and echocardiographic mid term results in pulmonary autograft and homograft in our serie, are excellent after the Ross procedure.

Key words: *Pulmonary autograft. Ross procedure. Aortic valve replacement.*

(*Rev Esp Cardiol* 2000; 53 [Supl 1]: 28-38)

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de las técnicas quirúrgicas para sustituir la válvula aórtica, se ha tratado durante muchos años de hallar un sustituto ideal y permanente para la válvula aórtica. Este sustituto ideal debería ser sencillo de implantar, desarrollar una hemodinámica fisiológica, ser duradero, no trombogénico ni inmunógeno, asociarse con una morbimortalidad baja, no interferir con el estilo de vida del paciente y no requerir reoperaciones posteriores. Inicialmente, se desarrollaron varios tipos de válvulas mecánicas, que siempre necesitaron de tratamiento anticoagulante permanente. Otro tipo de sustitutos valvulares, elaborados de tejidos biológicos, no requerían de tratamiento anticoagulante, pero tenían una durabilidad limitada.

La necesidad de anticoagulación permanente y el poco natural diseño de estas prótesis mecánicas llevaron a Donald Ross¹ a implantar el primer homoinjerto aórtico en el Guy's Hospital de Londres en 1962 como sustituto de la válvula aórtica patológica, con la esperanza que se tratara del sustituto valvular ideal. Posteriormente, Barratt-Boyes y Ross^{2,3} desarrollaron ampliamente el empleo de los homoinjertos aórticos. A pesar de la expectación que ello despertó, tras cinco años de implantación de los homoinjertos, tanto tratados con antibióticos como congelados, se dieron cuenta de que no se encontraban ante un sustituto valvular permanente. El homoinjerto estaba constituido por un tejido no vivo, carente de la capacidad para generar una matriz extracelular de colágeno y elastina propia de las células vivas⁴.

Una de las opciones era el empleo de tejidos valvulares vivos frescos (homovitales) trasplantados de forma inmediata de un donante vivo, pero estos sustitutos valvulares podrían requerir un tratamiento inmunosupresor para prevenir su progresiva destrucción.

La otra opción era el empleo de un tejido valvular vivo autólogo, anatómicamente idéntico, condición

que únicamente cumplía la válvula pulmonar del propio paciente. Los primeros trabajos sobre la válvula pulmonar y su funcionamiento fueron realizados por Hochrein⁵, un fisiólogo alemán, en 1927 y de forma experimental, trabajando con un simulador rudimentario del pulso. Con posterioridad, en 1960, Lower et al⁶ demostraron experimentalmente la posibilidad de sustituir la válvula aórtica por la válvula pulmonar autóloga. Realizaron implantaciones del autoinjerto pulmonar en la aorta descendente, de forma experimental, en casos de insuficiencia de la válvula aórtica.

Cinco años más tarde, en 1966, Pillsbury y Shumway⁷ llevaron a cabo trabajos experimentales sobre el autoinjerto pulmonar, sustituyendo la válvula aórtica. Estos trabajos llevaron a que Donald Ross⁸ realizara un año más tarde, el 6 de agosto de 1967, de forma exitosa, la primera aplicación clínica de este procedimiento. La primera serie reportada por Ross⁴ consta de 14 pacientes, en 2 de los cuales el autoinjerto pulmonar se implantó en posición mitral y el resto en posición aórtica. La intervención se realizó en adultos jóvenes con enfermedad valvular aórtica aislada y con una esperanza de vida de unos 40 años. Debido a la similar estructura de la válvula pulmonar con la válvula aórtica normal, y al ser un tejido vivo autólogo, se esperó que la válvula pulmonar fuera el sustituto ideal para el reemplazamiento valvular aórtico, sobre todo en estos pacientes jóvenes.

Las ventajas que ofrecía el autoinjerto pulmonar, según Donald Ross, consistían en la presencia de un flujo laminar central, la desaparición de los ruidos de las prótesis valvulares mecánicas, de la hemólisis y de la necesidad de anticoagulación. Como se trataba de un tejido autógeno vivo, presentaba la posibilidad de crecer y de funcionar de forma indefinida, con el paciente.

Este procedimiento no fue entonces ampliamente aceptado por los cardiólogos y cirujanos cardíacos debido a que se trataba de una intervención compleja y una técnica quirúrgica exigente. Surgieron dudas sobre la capacidad de la válvula pulmonar para soportar las presiones diastólicas sistémicas, debido a su primitiva anatomía y a la fina consistencia de las valvas pulmonares. Así mismo, el hecho de poner en riesgo dos válvulas cardíacas, con la posibilidad de añadir una enfermedad valvular pulmonar sobre una enfermedad valvular aórtica preexistente, ensombrecía esta intervención, que recibió numerosas críticas, y muchos pensaron que con el paso del tiempo este procedimiento quirúrgico se olvidaría.

En 1970 se publicaron los resultados de los primeros pacientes (84 y 97 pacientes, respectivamente) en los que se realizó el procedimiento de Ross^{9,10}. En 1971, Marcel Geens¹¹ estudió la relación anatómica de las arterias coronarias con la raíz pulmonar, estableciendo un punto clave en el desarrollo de esta intervención.

El entusiasmo por el autoinjerto pulmonar desapareció con el desarrollo de mejores prótesis valvulares, de más fácil implantación y con relativos buenos resultados hemodinámicos. A esto había que añadir, además, la dificultad técnica en la implantación de los homoinjertos y la desilusión, consecuencia de la degeneración estructural de los mismos. Sin embargo, Donald Ross continuó realizando esta intervención durante muchos años¹², y el interés por el procedimiento resurgió de nuevo a partir de 1980, tras la publicación de los primeros resultados en la serie de pacientes de Donald Ross¹³⁻¹⁵, demostrándose que el autoinjerto pulmonar, al contrario que los homoinjertos, no sufría un proceso de degeneración a largo plazo, presentando una supervivencia superior y estable a los 20 años^{14,16,17}. Igualmente, demostraron una incidencia baja de complicaciones relacionadas con el injerto valvular en el seguimiento.

En agosto de 1986, Stelzer y Elkins¹⁸ realizaron el primer procedimiento de Ross en los Estados Unidos. En 1984, Murata¹⁹ había demostrado la capacidad de crecimiento del autoinjerto pulmonar. Por este motivo, Elkins et al²⁰ ampliaron su utilización a los niños, aduciendo que si el autoinjerto pulmonar permanecía viable y era capaz de crecer de acuerdo al crecimiento somático de los niños, significaría un importante avance en el manejo de la enfermedad valvular aórtica congénita pediátrica.

Estos hechos y los pobres resultados observados con otros sustitutos valvulares biológicos (homoinjertos, bioprótesis porcinas y pericárdicas) hicieron que otros grupos quirúrgicos, en los últimos 10 años, adoptaran el autoinjerto pulmonar como sustituto valvular de primera elección en pacientes jóvenes con patología valvular aórtica²¹. Los trabajos experimentales de Lower⁶ y los estudios con tests de estrés biomecánico sobre el autoinjerto pulmonar, realizados en Polonia por Gorczynski²² en 1982, confirmaron que la fuerza tensil de las valvas de la válvula pulmonar era superior a las de la válvula aórtica. Weerasena²³, en 1992, preconizó una excelente función hemodinámica de la válvula pulmonar en un estudio *in vitro*. Las propiedades biomecánicas en términos de resistencia tensil, tanto inmediatas como a lo largo del tiempo, se han corroborado, no observándose fallo mecánico a corto y largo plazo al someter al autoinjerto pulmonar a presiones sistémicas¹⁴.

El reconocimiento de la importancia de una correcta coaptación de las valvas para evitar un anormal estrés sobre ellas ha llevado a modificaciones en la técnica quirúrgica que han reducido la incidencia de regurgitación valvular precoz. Al igual que los homoinjertos, el autoinjerto pulmonar se implantaba, inicialmente, de forma subcoronaria. La dificultad residía en conseguir una válvula funcionalmente competente debido a la complejidad de la técnica de implantación. Dificultades similares se habían encontrado con los homoinjer-

tos valvulares. La mayor parte de las regurgitaciones eran consecuencia de una mala suspensión de las cúspides del homoinjerto o del autoinjerto pulmonar^{24,25}. Por este motivo, Donald Ross^{26,27} comenzó en 1982 a implantar el autoinjerto pulmonar como cilindro de inclusión, técnica que ya había empleado con los homoinjertos desde 1965. De esta manera, al implantarse todo el conjunto en una misma unidad valvular, se conservaba mejor la geometría valvular. Varios años después, en 1986, Donald Ross^{26,28} desarrolló la técnica de reemplazo total de la raíz aórtica.

En 1993 se establecieron el Coloquio Anual de Ross y el Registro Internacional del Procedimiento de Ross²⁹ en un esfuerzo para asimilar retrospectivamente la información en la serie de Donald Ross, recoger la experiencia actual y proporcionar un banco de datos de las características de los pacientes, técnicas quirúrgicas y resultados. En la actualidad, son más de 160 los equipos quirúrgicos que están realizando este procedimiento quirúrgico, y alrededor de 2.000 los pacientes que se han sometido a esta intervención, que se ha convertido en el procedimiento de elección en niños y adultos jóvenes que requieren de una sustitución valvular aórtica. En noviembre de 1997 iniciamos en nuestro hospital el procedimiento de Ross para pacientes pediátricos y adultos jóvenes³⁰.

INDICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE ROSS

La indicación principal original del autoinjerto pulmonar fue el tratamiento de la patología valvular aórtica, no susceptible de reparación, en aquellos pacientes jóvenes y con una esperanza de vida igual o superior a los 20 años. Durante estos 30 años, con la experiencia adquirida, las indicaciones que estableció Donald Ross para el empleo de esta técnica quirúrgica se han ampliado de forma importante, y aún siguen creciendo a medida que la familiaridad con este procedimiento también lo hace.

Pacientes jóvenes portadores de una prótesis mecánica o biológica aórtica disfuncionante también pueden ser candidatos apropiados a este procedimiento. Incluso aquellos adultos que recibieron alguna forma de proceso reconstructivo de la raíz aórtica y actualmente requieren una nueva cirugía sobre el mismo.

El procedimiento de Ross resulta especialmente atractivo en aquellas mujeres jóvenes que deseen, posteriormente, quedarse embarazadas²⁹. Además de la potencial capacidad de crecimiento del autoinjerto pulmonar y su esperada duración a largo plazo, se añade la no necesidad de empleo de anticoagulantes orales, potencialmente teratogénos y con riesgo inherente de complicaciones hemorrágicas durante el período de gestación y el parto⁴.

Aquellos jóvenes adultos, atletas o con práctica deportiva habitual, se beneficiarían de las características

fisiológicas y hemodinámicas del autoinjerto pulmonar, evitando, además, el tratamiento anticoagulante. También deben incluirse aquellos pacientes en los que el empleo de anticoagulantes orales no es adecuado, o aquellos que no deseen ser anticoagulados⁴.

Posteriormente, los límites de edad se volvieron a considerar, sobre todo tras la demostración de la viabilidad del autoinjerto pulmonar y la potencial capacidad de crecimiento del autoinjerto pulmonar. Así, la implantación de la válvula autóloga pulmonar se extendió a los neonatos, niños y adolescentes. Con la experiencia adquirida durante estos años, el desarrollo que se ha producido en la técnica quirúrgica y la implantación del autoinjerto pulmonar como sustitución total de la raíz aórtica, el empleo del autoinjerto pulmonar en los niños ha experimentado una expansión importante, incluyéndose a aquellos niños con obstrucciones complejas del tracto de salida del ventrículo izquierdo y la corrección de la asociación del defecto ventricular septal con la insuficiencia valvular aórtica.

Recientemente, también se ha empleado el autoinjerto pulmonar en aquellos enfermos afectados de endocarditis infecciosa limitada a la válvula aórtica nativa, endocarditis protésica e incluso aquellos pacientes con afectación extensa de la raíz aórtica, demostrándose excelentes resultados a corto y medio plazo.

Finalmente, cabe incluir aquellos pacientes que tras una información detallada sobre el autoinjerto pulmonar y el procedimiento quirúrgico, basándose en su forma de vida o por motivos relacionados con su actividad laboral, deciden optar por esta intervención.

CONTRAINDICACIONES

La coexistencia de enfermedad coronaria multivaso contraindicaría la realización de esta intervención. Algunos cirujanos consideran como excepción a aquellos pacientes jóvenes con enfermedad coronaria limitada, de uno o dos vasos, susceptible de revascularización con injertos arteriales, que posibilitaría ofrecerles una supervivencia superior a los 20 años tras la realización del procedimiento de Ross.

La patología polivalvular, con la necesidad de una segunda sustitución valvular, debería ser considerada como contraindicación para el procedimiento de Ross, excepto en aquellas circunstancias en las que el cirujano pueda predecir con cierta fiabilidad que la reparación valvular mitral o tricuspídea podría proporcionar un resultado estable a largo plazo.

Una de las contraindicaciones más rotundas para la implantación del autoinjerto pulmonar es la existencia de enfermedades del tejido conectivo³¹ (síndromes de Marfan, Ehlers-Danlos, etc.) que, al tratarse de procesos sistémicos, lógicamente también han de afectar a la integridad de la válvula pulmonar, sospechándose anomalías estructurales en la pared y en la propia válvula pulmonar.

La patología valvular aórtica con etiopatogenia inmune^{32,33} (lupus eritematoso, espondilitis anquilosante, síndrome de Reiter, etc.) podría hacernos sospechar la afectación de la válvula pulmonar por el proceso de base. Kumar et al³² han comunicado recientemente el desarrollo de una insuficiencia neoaórtica progresiva en una población reumática joven tras el procedimiento de Ross. Los efectos a largo plazo de la enfermedad reumática en la válvula pulmonar trasplantada están todavía por evaluar. La enfermedad reumática valvular activa debe ser considerada como contraindicación relativa, debido a la potencial capacidad de afectar a la válvula pulmonar³⁴.

Anormalidades de la válvula pulmonar, deformidades congénitas (válvula pulmonar bicúspide), adquiridas (reumáticas o infecciosas), iatrogénicas (daño valvular en el momento de la extracción del autoinjerto pulmonar) desaconsejan la realización del procedimiento de Ross. Habitualmente una insuficiencia pulmonar central trivial fisiológica previa a la intervención es aceptada y permite su utilización como válvula sistémica³⁵.

PROCEDIMIENTO DE ROSS INFANTIL

Clásicamente, la mayor parte de los casos de estenosis valvular aórtica se han manejado de forma conservadora en la infancia y la adolescencia. La estrategia quirúrgica incluye la valvuloplastia percutánea y la valvulotomía a cielo abierto, con la idea de retrasar el problema de la sustitución valvular a la infancia o adolescencia. En ocasiones, tanto el tratamiento quirúrgico como el percutáneo dejan al niño con lesiones residuales, que afectan de forma progresiva al ventrículo izquierdo, comprometándolo para el momento de la reparación definitiva³⁶.

El tratamiento paliativo con valvuloplastia percutánea ofrece buenos resultados a corto y medio plazo³⁷. Sin embargo, si la estenosis aórtica se asocia con una válvula severamente displásica e incluso incompetente, estenosis del anillo, estenosis subvalvular o supravalvular, la posibilidad de alcanzar resultados satisfactorios con la dilatación con balón es escasa³⁸, resultando obstrucciones residuales o insuficiencias significativas.

La valvulotomía aórtica quirúrgica es un tratamiento de primera línea en la estenosis aórtica congénita^{39,40}. Una parte de estos niños no necesitarán una posterior reoperación, manteniéndose en debate si es la valvulotomía quirúrgica o la valvuloplastia percutánea la que ofrece una mejor salida a largo plazo⁴¹.

La sustitución valvular aórtica infantil plantea un desafío, tanto técnico como filosófico, en la cirugía cardíaca. Este procedimiento está raramente indicado en los niños pequeños debido a los aceptables resultados obtenidos con la valvuloplastia percutánea y la valvulotomía quirúrgica. A lo anteriormente mencio-

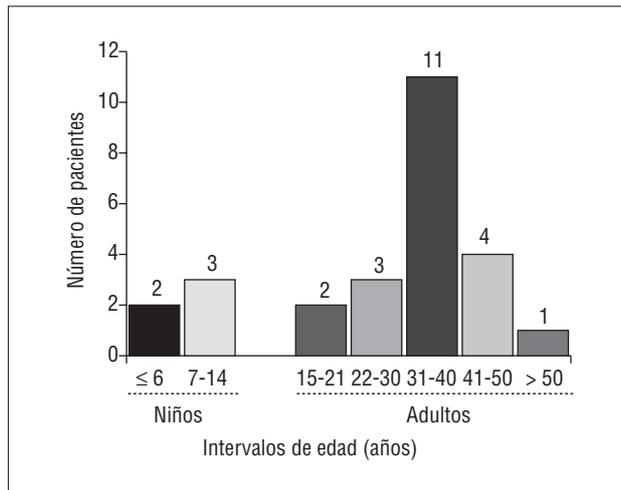


Fig. 1. Distribución de pacientes del procedimiento de Ross según edad.

nado añadimos que la sustitución valvular en neonatos y niños no deja de ser un tratamiento paliativo debido a las complicaciones relacionadas con la válvula y al crecimiento somático de los niños.

Las prótesis biológicas se demostraron inadecuadas de implantar en los niños, particularmente en el corazón izquierdo^{42,43}, presentando calcificación y degeneración estructural acelerada.

Actualmente, las prótesis mecánicas bivalvas de bajo perfil presentan mejores resultados hemodinámicos, incluso en los tamaños más pequeños⁴⁴. A pesar de ello, estos niños en los que se ha implantado una prótesis necesitarán una o dos posteriores intervenciones para solucionar una estenosis aórtica recurrente, como consecuencia del desarrollo y crecimiento del niño o por crecimiento de *pannus* subvalvular⁴⁵.

El procedimiento de Ross, a pesar de tratarse de una intervención más complicada, puede ofrecer una mejor salida para estos niños. En niños con estenosis aórtica crítica, la sustitución precoz de la raíz aórtica por el autoinjerto pulmonar puede ser la mejor forma de conservar la función del ventrículo izquierdo⁴⁶. El uso del autoinjerto pulmonar o incluso de un aloinjerto ha disminuido la necesidad de reoperación y ha mejorado la supervivencia a largo plazo en los niños con enfermedad valvular aórtica congénita^{20,31,47}. El homoinjerto empleado para reconstruir el tracto de salida del ventrículo derecho probablemente necesite ser reemplazado, pero cabe pensar que no sea preciso antes de la adolescencia⁴⁸.

El momento adecuado para realizar el procedimiento de Ross continúa en controversia⁴⁹. Los criterios clásicos, cuando el reemplazo valvular protésico era la opción terapéutica, tendían al retraso de dicho procedimiento. Actualmente, ante el potencial de crecimiento, los excelentes resultados hemodinámicos y la ausencia de necesidad de anticoagulación, se procura

realizar el procedimiento de Ross más tempranamente en la evolución de la historia natural de la enfermedad valvular aórtica. Así, la sustitución valvular se debe realizar antes de desarrollarse una disfunción ventricular significativa y debe asociarse a un riesgo operatorio aceptablemente bajo. Se ha empleado el autoinjerto pulmonar en neonatos con enfermedad valvular aórtica crítica. En casos de insuficiencia valvular severa, tras valvuloplastia percutánea o por severa degeneración mixomatosa de la válvula aórtica. Los buenos resultados han llevado a algunos cirujanos a cuestionarse la eficacia de la valvuloplastia aórtica.

EXPERIENCIA CLÍNICA

Desde noviembre de 1997 hasta noviembre de 1999 se han realizado en el Hospital Universitario Reina Sofía de Córdoba 26 intervenciones quirúrgicas empleando el autoinjerto pulmonar para sustituir la válvula aórtica patológica en pacientes con edades comprendidas entre los 6 y los 54 años (edad media, $31,44 \pm 12,61$ años). Diecinueve pacientes (64%) fueron varones y 7 de ellos mujeres (31%). De los 26 pacientes, 5 eran pacientes pediátricos (menores de 14 años) (fig. 1).

La etiología de la lesión valvular aórtica fue congénita en 14 pacientes (53%), destacando un síndrome de Shone, 2 casos con obstrucción subaórtica y afectación valvular, y un síndrome de Laubry intervenido previamente. Los otros 12 pacientes restantes presentaban una lesión valvular aórtica adquirida. Esta lesión era reumática en 11 de ellos (42%). El paciente restante había desarrollado una endocarditis valvular que respondió de forma adecuada al tratamiento médico, persistiendo una insuficiencia valvular aórtica severa.

La lesión valvular aórtica fue etiquetada como estenosis aórtica en 9 pacientes (34%), insuficiencia aórtica en 12 (47%) y doble lesión aórtica en 5 (19%). Un paciente adulto tenía una membrana subaórtica y una paciente pediátrica previamente intervenida presentaba una membrana subaórtica y miocardiopatía hipertrófica obstructiva. La paciente con síndrome de Shone, que tenía una miocardiopatía hipertrófica obstructiva y una membrana supraavicular, fue intervenida de coartación aórtica una semana antes del procedimiento de Ross. Un paciente varón de 29 años presentaba un aneurisma de aorta ascendente de 7,13 cm de diámetro e insuficiencia aórtica

Del total de pacientes, en 3 (11%) se había realizado anteriormente un procedimiento percutáneo sobre la válvula aórtica. En uno de estos 3 pacientes la valvuloplastia percutánea se realizó en 2 ocasiones. En 4 pacientes (15%) se había realizado una intervención quirúrgica previa. Estas intervenciones quirúrgicas fueron comisurotomía aórtica en un caso, resección de membrana subaórtica y miectomía en otro paciente, reparación de una coartación aórtica en el paciente con síndrome de Shone, y cierre de comunicación inter-

ventricular y plastia valvular aórtica de Trusler en el paciente con enfermedad de Laubry.

Once de los 26 pacientes (42%) se encontraban en grado funcional preoperatorio III/IV, según la clasificación de la New York Heart Association (NYHA). Un paciente se encontraba en programa de hemodiálisis por insuficiencia renal crónica, y en espera de recibir un trasplante renal. Otros 3 pacientes presentaban una enfermedad de Von Willebrand, un síndrome de Wolff Parkinson White y un déficit de colinesterasa, respectivamente.

La intervención quirúrgica se realizó según la técnica convencional descrita por Donald Ross⁵⁰ y publicada previamente por nuestro grupo³⁰. El tiempo medio de clampaje aórtico fue de $124 \pm 18,6$ min (100-160 min). El tiempo medio de circulación extracorpórea fue de $170,6 \pm 23,4$ minutos (135-220 min). En todos los pacientes se empleó cardioplejía hemática retrógrada, siendo esta modalidad de protección miocárdica empleada exclusivamente en 20 pacientes (76%). En todos los casos se empleó aprotinina 1.000.000 KIU (unidades del inhalador de la kalinesna) en el cebado de la bomba y sistemáticamente se transfundieron de 4-8 unidades de plaquetas después de desconectada la circulación extracorpórea.

Se realizaron diversos procedimientos asociados en 9 pacientes (34%). En cinco pacientes se realizó aortoplastia con el fin de acomodar el diámetro de la aorta ascendente al diámetro distal del autoinjerto pulmonar. En 3 se realizó miectomía y resección de membrana intravalvular. En un paciente con aneurisma de aorta ascendente se realizó anuloplastia, reducción anular y sustitución con injerto de dacrón de la aorta ascendente distal.

El tracto de salida de ventrículo derecho se reconstruyó en todos los casos con un homoinjerto pulmonar criopreservado. El diámetro medio fue de $26,3 \pm 3,5$ mm (19-35 mm), recibiendo todos los pacientes pediátricos un homoinjerto procedente de un donante adulto.

RESULTADOS

En todos los casos se documentó el resultado de la intervención quirúrgica, una vez desconectada la circulación extracorpórea, mediante ecocardiografía transesofágica intraoperatoria, excepto en 4 pacientes en los que se realizó en el postoperatorio inmediato. La función del autoinjerto fue evaluada como normal en todos los pacientes, demostrándose ausencia de regurgitación o siendo ésta trivial (fisiológica) y no observándose gradiente transvalvular. La función del homoinjerto pulmonar fue igualmente normal en todos los casos.

En ningún paciente se observaron arritmias intraoperatorias en las primeras 24 h del postoperatorio. Un paciente pediátrico desarrolló disfunción ventricular izquierda transitoria en quirófano y ninguno de los 25

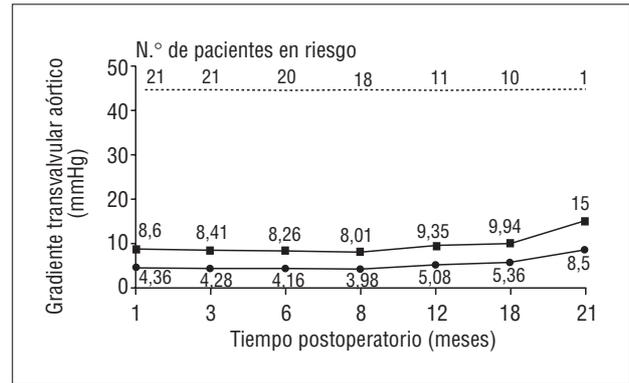


Fig. 2. Curva de distribución del valor medio del gradiente transvalvular neo-aórtico máximo y medio en el seguimiento el procedimiento de Ross. mmHg: milímetros de mercurio; N.º: número; j: gradiente transvalvular neo-aórtico máximo; ●: gradiente transvalvular neo-aórtico medio.

pacientes restantes desarrollaron síndrome de bajo gasto. Sólo 1 paciente requirió reexploración por hemorragia postoperatoria.

Cinco pacientes (20%) presentaron algún episodio transitorio de arritmia supraventricular (fibrilación auricular, taquicardia supraventricular) fácilmente revertida con tratamiento farmacológico. Una paciente pediátrica presentó derrame pleural recidivante que requirió drenaje pleural y descorticación posterior.

No ha habido ningún caso de mortalidad hospitalaria. Se han estudiado 22 de los 26 pacientes con un seguimiento de al menos 3 meses. El seguimiento ha sido completo (100%). Todos estos pacientes han sido revisados dentro de los últimos 3 meses. El seguimiento medio de estos pacientes es de 432 días (rango, 113-629 días). No ha habido ningún caso de mortalidad tardía.

Autoinjerto pulmonar

En el último seguimiento, 19 de los 22 pacientes (86,36%) no tenían insuficiencia valvular neo-aórtica, o bien ésta era considerada como leve (grado 1/4). Trece pacientes (59,09%) no tenían insuficiencia valvular y el grado era mínimo o leve (1/4) en otros 6 pacientes (27,2%). Una paciente pediátrica, con insuficiencia neo-aórtica leve, presentaba en el último seguimiento una regurgitación moderada (grado 2/4). Dos pacientes desarrollaron una insuficiencia neo-aórtica severa a lo largo del seguimiento, siendo reintervenidos e implantándose una prótesis mecánica. La reintervención se realizó con éxito. En el primer paciente, el análisis anatomopatológico del tejido valvular pulmonar explantado demostró la existencia de una degeneración mixoide. El segundo paciente, con insuficiencia aórtica reumática preoperatoria, tenía una discrepancia importante entre el diámetro de los anillos aórtico y pulmonar.

TABLA 1. Evolución de los parámetros de función ventricular tras el procedimiento de Ross en el grupo de pacientes con estenosis aórtica o doble lesión aórtica preoperatoria e insuficiencia aórtica preoperatoria

	Grupo de pacientes					
	Estenosis aórtica/Doble lesión aórtica			Insuficiencia aórtica		
	PreQx	Primer mes (n = 11)		PreQx	Primer mes (n = 11)	
	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	p	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	p
SD (mm)	13,27 ± 3,69	11,60 ± 2,44	0,0165	9,86 ± 3,456	10,24 ± 2,27	0,9510
Rango	7,5-18	8-15		5,6-15	7-13,7	
PPD (mm)	12,04 ± 3,75	9,48 ± 2,47*	0,0338*	9,436 ± 2,411	9,37 ± 1,36	0,4808
Rango	5,5-17	6,6-14*		5-14	7-12	
DdVI (mm)	50,71 ± 10,20	44,98 ± 7,29	0,0491	68,50 ± 8,39	59,04 ± 9,21	0,0017
Rango	35-73	32,5-54		59-86	47-79	
DsVI (mm)	28,52 ± 8,47	25,02 ± 4,85*	0,1192*	44,06 ± 6,39	39,03 ± 7,99	0,0081
Rango	15-43	16-32*		31-56	31,6-54	
Índice de la masa VI (g/m ²)	179,01 ± 62,26	115,74 ± 37,62	0,0021	186,25 ± 85,21	140,58 ± 62,02	0,0011
Rango	84,95-268,15	71,23-191,16		76,81-384,25	87,56-285,95	

*Tercer mes. DdVI: diámetro diastólico del ventrículo izquierdo; DE: desviación estándar; DsVI: diámetro sistólico ventrículo izquierdo; g: gramos; m: metros; mm: milímetro; n: número; p: probabilidad; PPD: grosor de la pared posterior en diástole; PreQx: preoperatorio; SD: grosor del septo interventricular en diástole; \bar{X} : media.

TABLA 2. Evolución de los parámetros ecocardiográficos de función ventricular tras el procedimiento de Ross en el grupo de pacientes con insuficiencia aórtica y estenosis aórtica o doble lesión aórtica preoperatoria

	Grupo de pacientes					
	Estenosis aórtica/Doble lesión aórtica			Insuficiencia aórtica		
	PreQx	Primer mes (n = 11)		PreQx	Primer mes (n = 11)	
	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	p	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	p
SD (mm)	14,6 ± 3,05	9,04 ± 0,86	0,0104	10,71 ± 3,23	10,77 ± 1,91	0,9331
Rango		7,8-10			6,2-13,7	
PPD (mm)	14,20 ± 3,83	8,16 ± 1,53	0,0128	10,25 ± 1,72	9,94 ± 1,37	0,2909
Rango		6-10			5,5-12	
DdVI (mm)	51,20 ± 5,40	46,24 ± 8,31*	0,1477	67,66 ± 10,27	57,05 ± 6,39	0,0229
Rango		32,5-53,7			40-79	
DsVI (mm)	28,80 ± 8,52	27,60 ± 7,02	0,7396	46,60 ± 5,94	37,82 ± 11,87	0,0719
Rango		16-35			25-56,5	
Índice de la masa VI (g/m ²)	208,77 ± 32,89	95,89 ± 28,82	0,0003	217,70 ± 98,02	146,73 ± 84,65	0,0131
Rango		60,17-137,32			79,26-278,64	

*12.º mes. DdVI: diámetro diastólico ventrículo izquierdo; DE: desviación estándar; DsVI: diámetro sistólico ventrículo izquierdo; g: gramos; m: metros; mm: milímetro; n: número; p: probabilidad; PPD: grosor de la pared posterior en diástole; PreQx: preoperatorio; SD: grosor del septo interventricular en diástole; \bar{X} : media.

El autoinjerto pulmonar ha demostrado un comportamiento hemodinámico excelente, con un gradiente pico medio de $7,85 \pm 5,59$ mmHg durante el seguimiento (rango, 3-29 mmHg) (fig. 2). En todos los pacientes se ha producido una reducción estadísticamente significativa del índice de masa miocárdica ya en el primer mes. A los 18 meses, los pacientes con estenosis aórtica preoperatoria tenían un índice de masa miocárdica normal ($95,89 \pm 28,82$ g/m²), siendo de $208,7 \pm 32$ m² antes de la intervención. En estos pacientes, el grosor del septo y de la pared posterior se redujeron de forma estadísticamente significativa en el primer mes. En el grupo de pacientes con insuficiencia aórtica pre-

operatoria se produjo una reducción de las dimensiones diastólicas del ventrículo izquierdo, también en el primer mes. Estos parámetros ventriculares se mantienen en el último seguimiento (tablas 1 y 2).

Tras la implantación de la válvula pulmonar en posición aórtica hemos observado un incremento en el diámetro del anillo neoaórtico. El índice del anillo neoaórtico se incrementó en un 8,44% en el primer mes (p = 0,0101), manteniéndose durante los primeros 12 meses. Tras este aumento del anillo neoaórtico en el postoperatorio inmediato, la válvula pulmonar parece adaptarse al cambio de presiones, y cuando se comparan los índices del anillo neoaórtico de los pacientes

con estudios ecocardiográficos entre el primer o tercer mes y a los 12 meses, se observa una reducción en su valor del 1,68%.

No se ha presentado ningún episodio tromboembólico ni complicación hemorrágica durante el seguimiento. Tampoco se ha desarrollado ningún caso de endocarditis sobre el autoinjerto pulmonar.

Homoinjerto pulmonar

En el estudio ecocardiográfico realizado dentro del primer mes, el anillo del homoinjerto se redujo de forma estadísticamente significativa con respecto a su valor preoperatorio. La reducción media del diámetro del anillo a los 18 meses fue de $1,92 \pm 1,25$ mm (rango, 0,1-4 mm). El gradiente medio a través del homoinjerto, entre el primer mes y a los 18 meses, no se incrementó de forma significativa. Dos pacientes pediátricos presentaron gradientes significativos a través del homoinjerto pulmonar (≥ 50 mmHg). Uno de estos pacientes recibió tratamiento paliativo a los 12 meses de la intervención mediante dilatación e implantación de un *stent* intravascular. El otro paciente está pendiente de valoración. No se han presentado otras complicaciones sobre el homoinjerto pulmonar criopreservado.

Todos los pacientes que continúan manteniendo el autoinjerto pulmonar original se encuentran clínicamente asintomáticos, en grado funcional I (NYHA) a los 21 meses de seguimiento. No se ha empleado tratamiento anticoagulante en ninguno de los 26 pacientes.

DISCUSIÓN

El procedimiento de Ross es una intervención quirúrgica compleja; a pesar de ello, en la actualidad su realización no supone un incremento en la mortalidad operatoria y/u hospitalaria con respecto a un reemplazo valvular aórtico convencional ($\leq 1\%$)^{4,51}. Incluso cuando se ha asociado esta intervención con otros procedimientos quirúrgicos, la mortalidad hospitalaria observada ha sido baja. En nuestra serie, en el momento del cierre del estudio, la mortalidad hospitalaria incluyendo adultos y niños ha sido del 0%. El Registro Internacional del Procedimiento de Ross refleja una mortalidad en los 30 primeros días del 2,5%. La mortalidad tardía global es del 4,6%, siendo el fallo miocárdico su causa más frecuente. A partir de 1987, ésta es del 1,7%.

El autoinjerto pulmonar presenta un comportamiento hemodinámico fisiológico. En los estudios ecocardiográficos realizados en los pacientes de nuestra serie se ha observado un comportamiento hemodinámico del autoinjerto pulmonar excelente, sin apreciarse gradiente transvalvular neoaórtico. El gradiente pico medio a través del autoinjerto pulmonar ha sido de $7,85 \pm 5,59$ mmHg y el valor medio del gradiente medio de

$4,06 \pm 3,17$ mmHg. Estas cifras se han mantenido constantes a lo largo del seguimiento. La paciente pediátrica con obstrucción del tracto de salida del ventrículo izquierdo tipo túnel, en la que se realizó una miectomía, presentaba en el último seguimiento un gradiente máximo de 15 mmHg. Un paciente adulto con doble lesión aórtica y estenosis subaórtica hipertrofica tenía en el último seguimiento 29 mmHg de gradiente máximo. Resultados similares no se pueden alcanzar con las prótesis mecánicas o biológicas. Estos resultados ecocardiográficos confirman al autoinjerto pulmonar como el mejor sustituto valvular en posición aórtica. Estas características hemodinámicas influyen de forma importante en la remodelación ventricular izquierda.

Rubay et al⁵², en la Universidad de Louvain, Bruselas, han observado también en todos los pacientes unos gradientes neoaórticos inferiores a 10 mmHg durante todo el período de seguimiento. Estos autores consideran que estos gradientes son muy inferiores a los que se pueden medir con las válvulas mecánicas y bioprótesis, en reposo y durante el ejercicio.

De esta forma, el procedimiento de Ross permite una recuperación de la función ventricular, incluso en aquellos pacientes tras un período prolongado de insuficiencia aórtica, como han demostrado Rubay et al⁵², comprobando posteriormente que estos beneficios se mantienen en el tiempo. Unos resultados similares han sido observados por Moidl et al⁵³, en la Universidad de Viena.

En nuestro grupo de pacientes con insuficiencia aórtica se ha podido apreciar cómo se han reducido las dimensiones diastólicas del ventrículo izquierdo de forma significativa, ya en el primer mes, reducción que se mantiene durante todo el seguimiento. Con respecto a las dimensiones del ventrículo izquierdo en sístole hemos apreciado así mismo una reducción estadísticamente significativa en los primeros 3 meses. Con posterioridad a los 18 meses, estas dimensiones se mantienen reducidas, aunque sin significación estadística, tal vez por el reducido número de pacientes que han alcanzado este seguimiento. Estos cambios morfológicos en las dimensiones del ventrículo izquierdo confirman las excelentes características hemodinámicas que ofrece el autoinjerto pulmonar. En los pacientes con insuficiencia aórtica, el grosor del septo interventricular se incrementó y, por el contrario, la pared posterior disminuyó de tamaño. En ambos valores no se alcanza significación estadística. Hay que tener en cuenta que estamos hablando de una muestra reducida de pacientes con insuficiencia aórtica en la que existe una gran variabilidad, según el momento de la intervención y la severidad de la insuficiencia aórtica.

Los trabajos ecocardiográficos de Santangelo et al⁵⁴, en Oklahoma, y de Rubay et al⁵², en la Universidad de Louvain, Bruselas, confirman que la reducción de estos parámetros (diámetro telediastólico del ventrículo

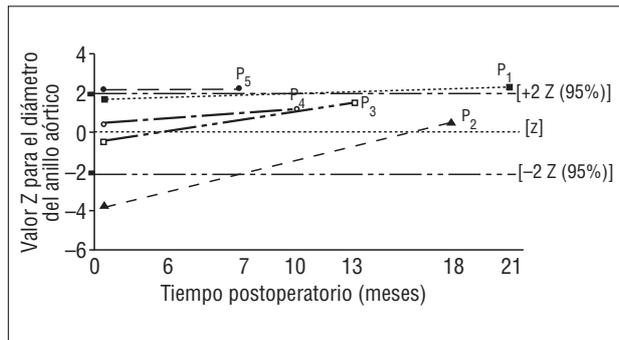


Fig. 3. Valores individuales de Z para el diámetro del anillo aórtico en 5 pacientes pediátricos (< 15 años). P: paciente número.

izquierdo, grosor de la pared posterior del ventrículo izquierdo y del septo interventricular) significa una disminución efectiva en la presión y sobrecarga de volumen del ventrículo izquierdo tras la implantación del autoinjerto pulmonar.

Jones y Lupinetti⁴⁵, en Washington, han observado también una reducción estadísticamente significativa del grosor de la pared posterior del ventrículo izquierdo en diástole, en mediciones ecocardiográficas en el postoperatorio inmediato y a lo largo del seguimiento (seguimiento medio: 10,2 meses) en 23 pacientes pediátricos. Estos autores compararon estos resultados con los obtenidos con 8 homoinjertos aórticos durante el mismo período, y observaron que las características hemodinámicas del autoinjerto pulmonar son incluso superiores a las que ofrece el homoinjerto aórtico.

Debido a su viabilidad y capacidad de crecimiento, el autoinjerto pulmonar se ha convertido en el sustituto valvular de elección en los pacientes jóvenes y en los casos de obstrucción compleja del tracto de salida del ventrículo izquierdo. En nuestra serie son 5 los pacientes con una edad menor o igual a 14 años. Tres de estos pacientes tenían un diámetro aórtico preoperatorio relacionado con la superficie corporal dentro de los valores considerados normales para la población ($\pm 2 Z$). La paciente con el síndrome de Laubry tenía preoperatoriamente un valor ligeramente superior (+ 2,2 Z), mientras la paciente diagnosticada de síndrome de Shone tenía un valor preoperatorio muy inferior a los valores normales (-3,7 Z). Los 5 pacientes pediátricos han experimentado durante el seguimiento un aumento en el tamaño del diámetro neoaórtico compatible con el crecimiento del autoinjerto pulmonar (fig. 3). Es probable que, en parte, este aumento del tamaño del autoinjerto pulmonar también se deba a la dilatación que experimenta el autoinjerto pulmonar en el primer año. En qué medida afecta a cada uno de los factores es difícil de determinar. En el último seguimiento, la paciente con el síndrome de Laubry se mantenía en un valor ligeramente superior a los valores normales (+2,2 Z) y otra paciente pediátrica que tenía previamente un valor de +2 Z había alcanzado también el va-

lor de +2,2 Z. Los 3 pacientes restantes, incluyendo la paciente con síndrome de Shone, se encontraban dentro de los valores normales en el último seguimiento. Todos los pacientes presentaban un funcionamiento valvular normal del autoinjerto pulmonar en el último seguimiento, excepto una paciente pediátrica con obstrucción al tracto de salida del ventrículo izquierdo tipo túnel que tenía una insuficiencia valvular moderada.

Elkins et al^{20,31,54}, así como Gerosa et al¹⁷, han comprobado, mediante estudios ecocardiográficos, que el aumento de tamaño del autoinjerto pulmonar se produce en relación con el crecimiento somático del paciente, tanto en casos con válvula de inserción subcoronaria como con reemplazo de raíz total. Junto a este hecho, la viabilidad celular y el funcionamiento correcto del autoinjerto pulmonar permiten evitar la necesidad de reintervenir al niño para reemplazar una válvula cuando éste crece. Elkins et al también han advertido un aumento del diámetro del autoinjerto pulmonar cuando se ha implantado como nueva raíz aórtica por encima de lo que corresponde al crecimiento somático para la población normal. El concepto de que la progresiva dilatación del anillo tras el reemplazo total de la raíz aórtica representa crecimiento y no un proceso patológico que pudiera favorecer el desarrollo de una regurgitación valvular subsiguiente resulta atractivo, aunque permanece en discusión para algunos autores.

El homoinjerto pulmonar criopreservado es en la actualidad el tratamiento de elección para reconstruir el tracto de salida del ventrículo derecho. Elkins et al, en Oklahoma, en un trabajo realizado por Ward⁵⁵, han realizado la medición ecocardiográfica del anillo valvular y del gradiente máximo por Doppler, valoración de la calidad de las valvas, localización de la obstrucción y grado de regurgitación valvular. Estos autores han observado cómo se ha producido una reducción media de $4 \pm 3,5$ mm (rango, 1-9 mm) en el anillo valvular del homoinjerto pulmonar, en el seguimiento postoperatorio de 82 pacientes (88%). Esta reducción media del 15% (0-35%) en el diámetro del anillo valvular es estadísticamente significativa, aunque habitualmente no se ha asociado con el desarrollo de una obstrucción manifiesta. El valor medio del gradiente máximo en el último seguimiento era de $17 \pm 12,9$ mmHg. El seguimiento medio fue de 3,2 años (5 meses-8,4 años). El gradiente máximo por Doppler sufre también un incremento progresivo y significativo, aunque únicamente un 20% de los pacientes desarrollaron gradientes máximos entre 25-40 mmHg. Un 4% de los pacientes desarrollaron un gradiente > 50 mmHg sin relación con la línea de sutura. Este incremento en los gradientes se produjo dentro del primer año debido a la calcificación y contractura de la pared del homoinjerto. Tres de los cuatro pacientes que desarrollaron gradientes > 50 mmHg lo hicieron entre los 4 y 12 me-

ses tras la intervención. Por este motivo, Elkins et al recomiendan el empleo de homoinjertos valvulares levemente sobredimensionados.

Tantengco et al⁵⁶, en Detroit, Michigan, han estudiado a 18 pacientes adultos y pediátricos de su serie, midiendo un gradiente medio a través del homoinjerto pulmonar de $17,8 \pm 2,3$ mmHg en el tercer año de seguimiento. Sólo han reintervenido a uno de los pacientes, que desarrolló una degeneración acelerada con gradiente obstructivo moderado-severo a los 16,5 meses de la intervención.

Rubay et al comunican en su serie de 80 pacientes adultos y pediátricos, a los 5 años de seguimiento, un 20% de pacientes (16 casos) con un gradiente a través del homoinjerto pulmonar > 10 mmHg. El gradiente a través del homoinjerto se encuentra entre 20 y 40 mmHg en 6 pacientes (7,6%) (4 niños y 2 adultos). La probabilidad de estar libre de presentar un gradiente significativo (> 20 mmHg) a través del homoinjerto pulmonar es de $73 \pm 9\%$ a los 5 años (seguimiento medio, 32 ± 16 meses).

Un mayor seguimiento de los pacientes podrá determinar la evolución a largo plazo, tanto del autoinjerto pulmonar como del homoinjerto pulmonar, y las posibilidades que realmente tiene el procedimiento de Ross. Debido a sus características hemodinámicas, viabilidad y capacidad de crecimiento, ya que no se requiere tratamiento anticoagulante, el autoinjerto pulmonar es actualmente el tratamiento ideal para los niños, pacientes jóvenes y adultos que realicen un estilo de vida activa.

BIBLIOGRAFÍA

- Ross DN. Homograft replacement of the aortic valve. *Lancet* 1962; 2: 487.
- Barrat-Boyes BG. A method for preparing and inserting a homograft aortic valve. *Br J Surg* 1965; 52: 47-56.
- Barrat-Boyes BG, Roche AHG, Brandt PWT, Smith JC, Lowe JB. Aortic homograft valve replacement. A long-term follow-up of an initial series of 101 patients. *Circulation* 1969; 40: 763-775.
- Ross DN, Jackson M, Davies J. Pulmonary autograft aortic valve replacement: long term results. *J Cardiac Surg* 1991; 6 (Supl 4): 529-533.
- Hochrein M. Der mechanismus der semulinklappen des herzen. *Dtsch Arch Klin Med* 1927; 54: 131-164.
- Lower R, Stofor RC, Shumway EN. Autotransplantation of the pulmonic valve into the aorta. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1960; 39: 680-687.
- Pillsbury RC, Shumway NE. Autotransplantation of the pulmonic valve with the autologous pulmonary valve. *Surg Forum* 1966; 17: 176-177.
- Ross DN. Replacement of aortic and mitral valves with a pulmonary autograft. *Lancet* 1967; 2: 956-959.
- González Lavin L, Geens M, Ross DN. Pulmonary valve autograft for aortic valve replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1970; 60: 322-340.
- González Lavin L, Dawborn C, Ross DN. Autologous pulmonary valve replacement of the diseased aortic valve. *Circulation* 1970; 42: 781-785.
- Geens M, González Lavin L, Dawborn C, Ross DN. The surgical anatomy of the pulmonary artery root in relation to the pulmonary valve autografts and surgery of the right ventricular outflow tract. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1971; 62: 262-267.
- González Lavin L, Graf D, Ross DN. Indications and surgical technique of the aortic valve replacement with the autologous pulmonary valve. En: Yankah AC, Hetzer R, Miller DC, Ross DN, Somerville J, Yacoub MH, editores. *Cardiac valve allografts 1962-1987. Current concepts on the use of aortic and pulmonary allografts for heart valve substitutes* (1.ª ed.). Nueva York: Steinkoff Verlag Darmstadt, Springer-Verlag 1987; 173-180.
- Robles A, Vaughan M, Lau JK, Bodnar E, Ross DN. Long-term assessment of aortic valve replacement with autologous pulmonary valve. *Ann Thorac Surg* 1985; 39: 238-242.
- Matsuki O, Okita Y, Almeida RS, McGoldrick JP, Hooper TE, Robles A et al. Two decades' experience with aortic valve replacement with pulmonary autograft. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1988; 95: 705-711.
- González Lavin L, Robles A, Graf D. Morbidity following the Ross operation. *J Cardiac Surg* 1988; 3: S305-S308.
- Bodnar E, Wain WH, Martelli V, Ross DN. Long term performance of 580 homograft and autograft valves used for aortic valve replacement. *Thorac Cardiovasc Surg* 1979; 27: 31-38.
- Gerosa G, McKay R, Ross DN. Replacement of the aortic valve or root with a pulmonary autograft in children. *Ann Thorac Surg* 1991; 51: 424-429.
- Stelzer P, Elkins RC. Pulmonary autograft: an American experience. *J Cardiac Surg* 1987; 2: 429-433.
- Murata H. A study of autologous pulmonary valve replantation. *J Jpn Assoc Thorac Surg* 1984; 32: 144-148.
- Elkins RC, Knott-Craig CJ, Randolph JD et al. Medium term follow-up of pulmonary autograft replacement of aortic valves in children. *Eur J Cardiothorac Surg* 1994; 8: 379-383.
- Metras D. *Allogreffes et autogreffes valvulaires cardiaques: conversation et chirurgie* (1.ª ed.). París: Masson, 1994.
- Gorzynski A, Trenker M, Anisimowicz L et al. Biomechanics of the pulmonary autograft valve in the aortic position. *Thorax* 1982; 37: 535-539.
- Weerasena N, Lockie KJ, Butterfield M, Fisher J, Kearney JN, Davies GA. The hydrodynamic function and leaflet dynamics of aortic and pulmonary roots and valves: an *in vitro* study. *Eur J Cardio-Thorac Surg* 1992; 6: 350-356.
- Christie GW, Barrat-Boyes BG. Identification of a failure mode of the antibiotic sterilized aortic allograft after 10 years: implications for their long-term survival. *J Card Surg* 1991; 6: 462-467.
- Willems TP, Van Herwerden LA, Steyerberg EW et al. Subcoronary implantation or aortic root replacement for human tissue valves: sufficient data to prefer either technique? *Ann Thorac Surg* 1995; 60: S83-S86.
- Somerville J, Ross DN. Homograft replacement of aortic root with reimplantation of coronary arteries. *Brit Heart J* 1982; 47: 473-482.
- Ross DN. Aortic root replacement with a pulmonary autograft – Current trends. *J Heart Valve Dis* 1994; 3: 258-260.
- Gerosa G, McKay R, Ross DN. Pulmonary autografts for the aortic valve or aortic root replacement in children. En: Bodnar E, editor. *Surgery for heart valve disease. Proceedings of the 1989 symposium*. Londres: ICR Publishers, 1990; 354-357.
- Oury JH, Angell WW, Eddy AC, Cleveland JC. Pulmonary autograft past, present and future. *J Heart Valve Dis* 1993; 2: 365-375.
- Concha M, Casares J, Ross DN, González Lavin L, Franco M, Mesa D et al. Reemplazamiento valvular aórtico con autoinjerto pulmonar (operación de Ross), en pacientes adultos y pediátricos. Estudio preliminar. *Rev Esp Cardiol* 1999; 52: 119-119.
- Elkins RC. Pulmonary autograft: expanding indications and increasing utilizations. *J Heart Valve Dis* 1994; 3: 356-357.

32. Kumar N, Gallo R, Gometza B, Halees Z, Duran CMG. Pulmonary autograft for aortic valve replacement in rheumatic disease. An ideal solution? *J Heart Valve Dis* 1994; 3: 384-387.
33. Van Suylen RJ, Schoof PH, Bos E, Frohn-Mulder OME et al. Pulmonary autograft failure after aortic root replacement in a patient with juvenile rheumatoid arthritis. *Eur J Cardio-Thorac Surg* 1992; 6: 571-572.
34. Al-Halees Z, Kumar N, Gallo R, Gometza B, Duran CMG. Pulmonary autograft for aortic valve replacement in rheumatic disease: a caveat. *Ann Thorac Surg* 1995; 60: S172-S176.
35. Reddy VM, McElhinney DB, Phoon CK, Brook MM, Hanley FL. Geometric mismatch of pulmonary and aortic annuli in children undergoing the Ross procedure: implications for surgical management and autograft valve function. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; 115: 1255-1263.
36. Starnes VA, Luciani GB, Well WJ, Allen RB, Lewis AB. Aortic root replacement with the pulmonary autograft in children with complex left ventricular obstruction. *Ann Thorac Surg* 1996; 62: 442-449.
37. Van Son JAM, Reddy VM, Black MD, Rajasinghe H, Haas GS, Hanley FL. Morphologic determinants favoring surgical aortic valvuloplasty versus pulmonary autograft aortic valve replacement in children. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996; 111: 1149-1157.
38. Castañeda AR. Pediatric valve replacement. En: Castañeda AR, Jonas RA, Mayer JE, Hanley FL, editores. *Cardiac surgery of the neonate and infant* (1.ª ed.). Filadelfia: Saunders, 1994; 387-395.
39. Vobecky JS, Chartrand C, Angate H, Stanley P. Surgery for critical aortic stenosis in newborns is still good therapy after 25 years. *Can J Surg* 1992; 35: 489-492.
40. Balaji S, Keeton BR, Sutherland GR, Shore DF, Monro JL. Aortic valvotomy for critical aortic stenosis in neonates and infants aged less than one year. *Br Heart J* 1989; 61: 358-360.
41. Gatzoulis MA, Rigby ML, Shinebourne EA, Redington AN. Contemporary results of balloon valvuloplasty and surgical aortic stenosis. *Arch Dis Child* 1995; 73: 66-69.
42. Wada J, Yokoyama M, Hasimoto A et al. Long-term follow-up of artificial valves in patients under 15 years old. *Ann Thorac Surg* 1980; 29: 519-521.
43. Williams DB, Danielson GK, McGoon DC et al. Porcine heterograft valve replacement in children. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1982; 85: 446-450.
44. Schaffer MS, Clarke DR, Campbell DN et al. The St. Jude Medical cardiac valve in infants and children – role of anticoagulant therapy. *J Am Coll Cardiol* 1987; 9: 235-239.
45. Lupinetti FM, Warner J, Jones TK, Herndon SP. Aortic valve replacement in children. *Circulation* 1997; 96: 321-325.
46. McKay R, Smith A, Leung M et al. Morphology of the ventriculoaortic junction in critical aortic stenosis. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1992; 140: 434-442.
47. Ross DN. The versatile homograft and autograft valve. *Ann Thorac Surg* 1989; 48 (3 Suppl): S69-S70.
48. Runciman M, Ostman-Smith I, Westaby S. Infant Ross procedure for recurrent aortic stenosis. *Heart* 1997; 76: 449-450.
49. Ross DN. The Ross procedure in neonates. *J Heart Valve Dis* 1996; 5: 174-175.
50. Ross DN. Replacement of the aortic valve with a pulmonary autograft: the «Switch» Operation. *Ann Thorac Surg* 1991; 52: 1346-1350.
51. Jagers J, Harrison JK, Bashore TM, Davis RD, Glower DD, Ungerleider RM. The Ross procedure: short hospital stay, decreased morbidity, and cost effective. *Ann Thorac Surg* 1998; 65: 1553-1558.
52. Rubay JE, Buche M, El Khoury GA, Vanoverscheide JJ, Sluysmans TH, Marchandise B et al. The Ross operation: mid-term results. *Ann Thorac Surg* 1999; 67: 1355-1358.
53. Moidl R, Chevthik O, Simon P et al. Early reversal of ventricular dilatation after correction of isolated aortic incompetence: comparison between mechanical and human valves [resumen]; VII International Symposium Cardiac Bioprostheses, Sitges, España, 1997.
54. Santangelo KL, Elkins RC, Stelzer P et al. Normal left ventricular function following pulmonary autograft replacement of the aortic valve in children. *J Cardiac Surg* 1991; (Supl 6): S633-S637.
55. Ward KE, Elkins RC, Overholt DE, Knott-Craig CJ, Razoook JD, Lane MM et al. Evaluation of cryopreserved homografts in the right ventricular outflow tract after the Ross procedure: intermediate – term follow-up. *J Heart Valve Dis* 1997; 6: 130-133.
56. Tantengco MVT, Humes RA, Clapp SK, Lobdell KW, Walters III HL, Hakimi M et al. Aortic root dilatation after the Ross procedure. *Am J Cardiol* 1999; 83: 915-920.