

Sustitución valvular aórtica por autoinjerto pulmonar (procedimiento de Ross) en adultos jóvenes. Evolución clínica y correlación ecocardiográfica

Juan J. Legarra¹
M. Luz Polo¹
Dario Durán¹
Antonio Cabrera¹
Manuel Vilar²
Francisco Calvo³
José L. Escribano³
Gonzalo Pradas¹

¹Unidad de Cirugía Cardíaca
Instituto Galego de Medicina Técnica
MEDTEC
²Servicio de Cardiología
Hospital Povisa
³Servicio de Cardiología
Hospital do Meixoeiro
Vigo (Pontevedra)

Correspondencia:
Juan José Legarra
Av. García Barbón 62,
8°C Torre 1
36201 Vigo (Pontevedra)
E-mail:
jjlagarra@jazzfree.com

Resumen

Objetivos: Analizar los resultados postoperatorios y el comportamiento hemodinámico del autoinjerto pulmonar (AP), mediante seguimiento clínico y estudios ecocardiográficos periódicos.

Material: Desde marzo/1998 hasta marzo/2001 se han intervenido 18 pacientes (p) en nuestra Unidad, con una media de $41,1 \pm 8,3$ años (16-55 años). El 72% han sido varones (13p); 28% mujeres (5p). El seguimiento mínimo de 1 y máximo de 36 meses. La lesión valvular preoperatoria fue estenosis aórtica o doble lesión con predominio obstructivo (EAo) en 10p (55,6%); Insuficiencia aórtica (IAo) en 8p (44,4%). Se encontraban en grado funcional preoperatorio III/IV 5p. La fracción de eyección media preoperatoria era de $62,1 \pm 18,4\%$ (33-80%).

Métodos: Implantación subanular del AP como nueva raíz aórtica con reimplantación de los ostia coronarios. Anuloplastia aórtica de sutura en 5p (27,8%) con el fin de acomodar el diámetro del anillo aórtico al diámetro del AP. Reconstrucción del tracto de salida del ventrículo derecho con un homoinjerto pulmonar criopreservado. El diámetro medio empleado ha sido de 25,1mm. Protección miocárdica con cardioplejia hemática retrógrada, fría e intermitente. Ecocardiograma transesofágico preoperatorio en todos los pacientes.

Resultados: Las pérdidas hemáticas medias postoperatorias fueron de $609,8 \pm 210,7$ cc (350-1110cc); no han requerido transfusión alguna de hemoderivados 11p (61,1%). El tiempo medio de intubación orotraqueal ha sido $4,6 \pm 1,5$ h. El tiempo medio de ingreso en UCI ha sido de 24,7 h (15-45 h). Como complicaciones postoperatorias, episodios autolimitados de fibrilación auricular y bloqueo AV (2p). No ha habido ningún caso de mortalidad precoz ni tardía. El tiempo medio de hospitalización ha sido de 7 ± 2 días (5-14 días). Se ha realizado seguimiento clínico y ecocardiográfico de todos los pacientes, 1 semana, 1 mes y cada 6 meses posteriormente. El seguimiento es completo (100%).

La evolución clínica posterior de los pacientes ha sido excelente (seguimiento medio: $15,7 \pm 5,9$ meses), encontrándose todos ellos asintomáticos (grado funcional I), sin medicación cardiológica alguna y permitiéndoles realizar, a gran parte de ellos, actividad física en su vida diaria. Ningún paciente ha presentado insuficiencia neo-aórtica en los estudios ecocardiográficos. No hemos observado estenosis o insuficiencia significativas en el

homoinjerto pulmonar criopreservado. El AP ha presentado un gradiente transvalvular máximo de $8,25 \pm 3,29$ mmHg (3-12 mmHg). El índice de masa miocárdico se ha reducido de forma significativa en todos los pacientes. Ningún paciente recibe medicación anticoagulante. No hemos observado complicaciones relacionadas con ambas válvulas.

Conclusiones: El seguimiento clínico y ecocardiográfico, a corto plazo, de nuestra serie, muestra un comportamiento hemodinámico excelente tanto del AP como del homoinjerto, tras el procedimiento de Ross, reflejándose en la regresión de la dilatación e hipertrofia del VI y permitiendo realizar una vida activa a este tipo de pacientes.

Palabras clave: Procedimiento de Ross. Autoinjerto pulmonar. Remodelación ventricular.

Summary

Objectives: The purpose of this study was to review our institutional experience with the Ross procedure.

Material: Between mars 1998 and mars 2001, 18 patients (p) underwent a Ross operation at our institution (5 women and 13 men). Mean age was 41.1 ± 8.3 years (16-55 years). The primary indication for surgery was aortic stenosis or mixed aortic valve disease in 10p (55.6%), and aortic insufficiency in 8p (44.4%). New York Heart Association (NYHA) preoperatively was class II, 73.6%; and class III, 26.3%. Mean preoperative ejection fraction was $62.1 \pm 18.4\%$ (33-80%).

Methods: All patients underwent aortic root replacement and subanular insertion of pulmonary autograft. Annuloplasty for aortic annulus reduction to match the autograft was performed in 5p (27.8%). The RVOT was reconstructed using a cryopreserved pulmonary homograft (mean diameter 25.1mm). Myocardial protection by intermittent retrograde cold blood cardioplegia.

Results: Transesophageal echocardiography in the operating room showed normal autograft valve function (no or trivial aortic insufficiency) in all patients. Mean 24-hours bleeding was 609.8 ± 210.7 cc (350-1110 cc); in 61.1% of patients (11p) blood transfusion was not required. Mean ICU time was 24.7 hours (15-45 hours). Operative mortality was 0%. Postoperative morbidity included supraventricular arrhythmias, and atrioventricular block (2p). Mean time for discharge was 7 ± 2 days (5-14days). Follow-up ranged from 1 to 36

months (mean: 15.7 ± 5.9 months) and was 100% complete. Late mortality was 0%. Echocardiographic assessment showed trace or no regurgitation in autograft and homograft valve. Currently, 100% of patients are in NYHA functional class I. Autograft and homograft valve peak gradients were low and reproducible. No patient is on anticoagulation therapy, and no events of thromboembolism, valve thrombosis or bleeding were observed. No patients required reoperation.

Conclusions: The Ross procedure can be performed with low mortality and excellent short-term results. Optimal hemodynamics by echocardiography indicate that pulmonary autograft is probably the most suitable solution for aortic valve replacement in young patients.

Keywords: Ross procedure. Pulmonary autograft. Left ventricular remodeling.

Introducción

Los primeros trabajos experimentales con la válvula pulmonar en la circulación sistémica fueron llevados a cabo por Lower y Shumway¹ en 1960. Cuando Donald Ross² realizó en 1967, la primera aplicación clínica de este procedimiento, nadie hubiera pensado, que más de 30 años después, el autoinjerto pulmonar fuera considerado como el mejor sustituto para la válvula aórtica patológica en los pacientes con una esperanza de vida prolongada. De esta forma, son actualmente muchos los grupos quirúrgicos que están demostrando interés por el procedimiento de Ross, no sólo a nivel internacional, sino también en nuestro país³. Este trabajo quiere reflejar la experiencia de nuestro grupo ante esta fascinante intervención.

Material y métodos

Desde Marzo de 1998 hasta Marzo de 2001, se han realizado en nuestra Unidad 18 intervenciones quirúrgicas implantando el autoinjerto pulmonar en posición aórtica. En todos los pacientes se realizó la implantación del autoinjerto pulmonar como reemplazo total de la raíz aórtica. El tracto de salida del ventrículo derecho se ha reconstruido en todos los casos empleando un homoinjerto pulmonar criopreservado. La edad media de estos pacientes ha sido de $41,1 \pm 8,3$ años (rango 16-55 años). El 72% de los pacientes han sido varones (13 pacientes), y el 28% restante mujeres (5 pacientes).

En 12 de los 18 pacientes (66,6%) la lesión de la válvula aórtica tenía un origen congénito, en 4 reumático, y en 2 degenerativo. La paciente restante,

con doble lesión sobre válvula aórtica bicúspide, presentó una endocarditis valvular que respondió de forma favorable al tratamiento antibiótico, aunque persistiendo una insuficiencia valvular severa. Ningún paciente había sido intervenido previamente. La lesión valvular preoperatoria fue estenosis aórtica o doble lesión valvular con predominio de la lesión obstructiva (EAO) en 10 pacientes (55,6%); insuficiencia aórtica (IAo) en 8 pacientes (44,4%). Cinco de los 18 pacientes se encontraban de forma preoperatoria en grado III / IV según la clasificación funcional de la New York Heart Association (NYHA). El seguimiento mínimo de los pacientes es de 1 mes y máximo de 36 meses (seguimiento medio: $15,7 \pm 5,9$ meses).

La evaluación preoperatoria de los pacientes incluye un estudio ecocardiográfico que permite una valoración y medición de los diámetros del anillo aórtico y del autoinjerto pulmonar, medición de las dimensiones y cuantificación de la función del ventrículo izquierdo, que mostró un valor medio de $62,1 \pm 18,4\%$ (rango 33-80%). Para completar el estudio preoperatorio, en algunos pacientes se realizó cateterismo cardíaco, permitiendo de esta forma observarse la distribución de la primera rama septal de la descendente anterior.

Técnica quirúrgica

Todas las intervenciones se realizaron de forma electiva. Tras la realización de una esternotomía media, la circulación extracorpórea se instauró según técnica habitual con canulación aórtica y de ambas cavas, e hipotermia leve ($32-34^{\circ}$ C). La protección miocárdica se realizó mediante cardioplejia hemática fría intermitente, cada 20-25 minutos, a través de una cánula colocada en el seno coronario.

La técnica quirúrgica, basada en las descripciones y enseñanzas transmitidas por Donald Ross⁴, ha sido parcialmente modificada. En todos los casos, el autoinjerto pulmonar se implantó como reemplazo total de la raíz aórtica. Tras comprobar que la válvula pulmonar no presentaba ninguna anomalía que la invalidase como sustituto de la válvula aórtica, se procedió a su extracción con un faldón de 2-3 mm de músculo del tracto de salida del ventrículo derecho. La raíz aórtica se reseco realizando dos amplias pastillas con los ostia coronarios. La implantación del autoinjerto pulmonar se realizó en un plano subanular, sobre la valva anterior de la mitral y el septo membranoso, utilizando 3 suturas continuas de polipropileno 4/0, que se anudaron sobre una banda de pericardio autólogo. En aquellos casos en los que existía una discrepancia entre las dimensiones del

anillo aórtico y el diámetro del autoinjerto pulmonar se ha realizado una anuloplastia aórtica de sutura como preconiza Elkins^{5,6}. Esta técnica originalmente descrita por Carpentier⁷, se ha realizado en 5 pacientes (27,8%). En los casos con una aorta ascendente distal dilatada, se realizó una aortoplastia triangular, con el fin de reducir su diámetro y acomodarlo al diámetro distal del autoinjerto pulmonar. Los botones coronarios fueron reimplantados en sus correspondientes senos de Valsalva.

La reconstrucción del tracto de salida del ventrículo derecho se realizó, en todos los casos, con un homoinjerto pulmonar criopreservado. El diámetro medio del homoinjerto pulmonar empleado ha sido de $25,2 \pm 1,5$ mm (22-28 mm). Nuestra intención ha sido implantar homoinjertos pulmonares ligeramente sobredimensionados, isogrupo y siempre del donante más joven posible.

En todos los casos se realizó la comprobación del resultado quirúrgico (situación final del autoinjerto pulmonar y de la reconstrucción del tracto de salida del ventrículo derecho) mediante ecocardiografía transesofágica en la sala quirúrgica, una vez desconectada la circulación extracorpórea.

Seguimiento postoperatorio

Se ha realizado un control postoperatorio de todos los pacientes intervenidos, con el fin de evaluar a corto y medio plazo, el comportamiento del autoinjerto pulmonar, del homoinjerto pulmonar, y la evolución de la hipertrofia del ventrículo izquierdo. El protocolo de seguimiento incluía control ecocardiográfico antes del alta hospitalaria, revisión clínica periódica con ecocardiograma al mes de la intervención y posteriormente cada 6 meses aproximadamente. No ha habido ninguna pérdida en el seguimiento, de forma que éste ha sido completo (100%).

Resultados

Resultados quirúrgicos

El tiempo medio de clampaje aórtico fue de $177,60 \pm 18,64$ minutos (rango 124-237 minutos), y el tiempo medio de circulación extracorpórea de $225,64 \pm 23,43$ minutos (rango 184-294 minutos).

El funcionamiento del autoinjerto pulmonar en quirófano fue considerado correcto mediante ecocardiografía transesofágica (ETE) en todos los

pacientes, con ausencia de regurgitación neoaórtica o ésta fue considerada trivial (1+). Del mismo modo no se observó estenosis ni insuficiencia en la reconstrucción del tracto de salida del ventrículo derecho. Ningún paciente ha presentado signos de bajo gasto postoperatorio.

Resultados postoperatorios

La complicación más frecuentemente observada durante el postoperatorio ha sido la aparición de arritmias supraventriculares (fibrilación auricular, taquicardia supraventricular) fácilmente controladas con tratamiento farmacológico. Dos pacientes han presentado bloqueo atrioventricular completo postoperatorio, requiriendo de la implantación de un marcapasos endocavitario bicameral (DDD) definitivo. En ningún paciente se han observado arritmias ventriculares. La evolución postoperatoria de todos los pacientes fue satisfactoria. Las pérdidas hemáticas medias por los drenajes torácicos, hasta la retirada de los mismos, fueron de $609,8 \pm 210,7$ cc (rango: 350-1110 cc). Una paciente hubo de ser reexplorada por sangrado postoperatorio. Once de los 18 pacientes (61,1%) no han requerido de transfusión alguna de hemoderivados. El tiempo medio de intubación orotraqueal ha sido de $4,6 \pm 1,5$ horas. No ha habido ningún caso de mortalidad precoz. El tiempo medio de ingreso en UCI ha sido de 24,7 horas (rango: 15-45 horas). El tiempo medio de hospitalización ha sido de 7 ± 2 días (rango: 5-14 días), siendo éste más largo para aquellos dos pacientes en los que se implantó el marcapasos endocavitario definitivo.

Evolución posterior de los pacientes

No ha habido ningún caso de mortalidad tardía. La situación clínica de los pacientes es satisfactoria, realizando todos ellos una vida normal, y encontrándose el 100% en grado funcional I (NYHA). El seguimiento medio de los pacientes ha sido de $15,7 \pm 5,9$ meses. Ningún paciente está recibiendo anticoagulantes orales ni antiagregantes plaquetarios. No se han documentado fenómenos tromboembólicos ni cuadros de endocarditis bacteriana durante el periodo de seguimiento.

El comportamiento del autoinjerto pulmonar durante el seguimiento, mediante controles ecocardiográficos, ha sido excelente, mostrando ausencia de regurgitación o regurgitación trivial 1+ en todos los pacientes. El gradiente pico medio a través del tracto de salida del ventrículo izquierdo ha sido de $8,25 \pm 3,29$ mm Hg (rango 3-12 mm Hg). No hemos ob-

servado regurgitación ni estenosis en el homoinjerto pulmonar implantado en el tracto de salida del ventrículo derecho, en ninguno de los pacientes.

Discusión

El propósito de la cirugía de sustitución valvular aórtica es la desaparición de los síntomas asociados con la anormal situación hemodinámica y la eventual normalización de la función del ventrículo izquierdo. La válvula aórtica humana está conformada por tres valvas o velos valvulares. El anillo aórtico, los velos, y los senos valvulares actúan como una unidad funcional, y todos estos componentes contribuyen en el desarrollo de la actividad normal de la válvula aórtica. El anillo aórtico es una estructura dinámica que modifica su tamaño en cada una de las fases del ciclo cardíaco.

En los últimos tiempos se ha realizado un continuo esfuerzo para conseguir el sustituto valvular ideal. Este sustituto valvular ideal para la válvula aórtica debería de contar con unas características hemodinámicas fisiológicas, no desarrollar gradientes de presión, dehiscencias perivalvulares, y presentar un flujo transvalvular laminar. Este sustituto valvular debería de ser no trombogénico ni inmunógeno, viable y duradero, de forma que no se requirieran de posteriores reintervenciones para su reemplazo. El homoinjerto valvular aórtico, podría representar el sustituto valvular ideal para la válvula aórtica nativa, si no fuera porque su inevitable degeneración a largo plazo, al tratarse de un tejido no viable, nos obliga reintervenir a estos pacientes.

Donald Ross² realizó por primera vez, en 1967, el autotrasplante de la válvula pulmonar a la posición aórtica y la posterior reconstrucción del tracto de salida del ventrículo derecho. Esta técnica quirúrgica no consiguió llamar la atención de la comunidad científica hasta la presentación de los resultados⁸, en la serie inicial de pacientes, actualmente por encima de los 20 años de seguimiento⁹. Así, en estos momentos, el procedimiento de Ross es probablemente la mejor solución y más duradera para reemplazar la válvula aórtica, debido a su longevidad y ausencia de complicaciones relacionadas con la válvula implantada.

El autoinjerto pulmonar ofrece un comportamiento hemodinámico fisiológico, desarrollando unos gradientes transvalvulares máximos inferiores a 10 mmHg en reposo, como se puede comprobar por los estudios ecocardiográficos realizados en nuestros pacientes y los resultados de otros grupos quirúrgi-

cos¹⁰. En nuestra serie de pacientes, el gradiente pico medio a través del autoinjerto pulmonar ha sido de $7,85 \pm 5,59$ mmHg y el valor medio de $4,06 \pm 3,17$ mmHg. Las velocidades de flujo a través del autoinjerto pulmonar son normales (inferiores a 1,8 m/s). Santangelo, *et al.*¹¹ demostraron la normalización de las dimensiones y de la masa del ventrículo izquierdo en pacientes pediátricos en los que se implantó el autoinjerto pulmonar. Sievers, *et al.*¹² confirmaron un comportamiento fisiológico del autoinjerto pulmonar, en su serie de pacientes. Este magnífico comportamiento hemodinámico de la válvula pulmonar se mantiene también, durante el ejercicio¹³, observándose unos gradientes transvalvulares fisiológicos, como han comprobado Oury, *et al.*¹³ en una serie de 14 atletas jóvenes.

Diversos trabajos en la literatura científica demostraron la importancia de la persistencia de una hipertrofia ventricular izquierda residual tras reemplazo valvular aórtico, como un factor determinante en la función ventricular a largo plazo^{14,15}, y en la génesis de arritmias¹⁶, afectando de forma significativa en la evolución de los pacientes a largo plazo¹⁷.

La persistencia de esta hipertrofia y de la fibrosis intersticial podría ser el resultado de un gradiente residual a través de la prótesis valvular, consecuencia de la desproporción entre el área valvular efectivo y el teórico para la superficie corporal^{18,19}. Existe una relación estadística entre la regresión de la masa ventricular izquierda y los cambios en la velocidad y gradiente transvalvular²⁰. Parece por lo tanto evidente que unas características de flujo transvalvular aórtico no fisiológicas y un gradiente residual de presión son determinantes de la evolución a largo plazo de los pacientes¹⁷. Los cambios observados en las dimensiones telediastólicas y la rápida regresión del índice de masa ventricular son el resultado de las superiores características hemodinámicas del autoinjerto pulmonar^{11,21,22}. Los gradientes transvalvulares mínimos y el importante descenso en el estrés sistólico de la pared ventricular se traducen en una rápida resolución de la hipertrofia del ventrículo izquierdo y mejoría del grado funcional²³.

A pesar de que el procedimiento de Ross es una técnica quirúrgica más compleja que un reemplazo valvular aórtico convencional, la nula repercusión en la supervivencia postoperatoria y el pequeño número de complicaciones observadas a corto plazo, el comportamiento del autoinjerto pulmonar, y la normalización progresiva de los parámetros de función del ventrículo izquierdo nos han animado a continuar empleando esta técnica quirúrgica en los pacientes jóvenes. El autoinjerto pulmonar, debido a su esperada durabilidad y ausencia de trombogenicidad sin

tratamiento anticoagulante, es probablemente, la mejor opción terapéutica para aquellos pacientes jóvenes con valvulopatía aórtica, que desean continuar realizando posteriormente, una vida activa. La calidad de vida observada en nuestros pacientes, tras la intervención es buena, encontrándose todos ellos en grado funcional I. Otros autores^{21,22} han reflejado también, unos resultados similares en la evolución clínica postoperatoria de los pacientes.

Sin embargo, persiste cierta preocupación en algunos grupos quirúrgicos²⁴ con respecto al procedimiento de Ross, en cuanto a la longevidad del autoinjerto pulmonar en la circulación sistémica (potencial dilatación y/o disfunción del autoinjerto pulmonar a medio-largo plazo), y ante la reconstrucción del tracto de salida del ventrículo derecho al poner en riesgo dos válvulas cardiacas. Un seguimiento cuidadoso, a largo plazo, de los pacientes intervenidos nos permitirá discernir si el adecuado comportamiento del autoinjerto pulmonar en la circulación sistémica se mantiene con el paso del tiempo. En lo que respecta a nuestra serie de pacientes, los resultados quirúrgicos, la situación clínica de los pacientes, la función del autoinjerto valvular y del ventrículo izquierdo tras la realización del procedimiento de Ross son buenos, hechos que motivan a nuestro grupo a seguir trabajando en este campo y a recomendar la realización de esta técnica quirúrgica en aquellos pacientes con valvulopatía aórtica y una esperanza de vida prolongada.

Bibliografía

- Lower R, Stofer RC, Shumway NE. Autotransplantation of the pulmonic valve into the aorta. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1960;39:680-7.
- Ross DN. Replacement of aortic and mitral valves with a pulmonary autograft. *Lancet* 1967;2:956-8.
- Concha M, Legarra JJ, Casares J, et al. Sustitución valvular aórtica con autoinjerto pulmonar (operación de Ross), en pacientes adultos y pediátricos. *Rev Esp Cardiol* 2000;53[Supl 1]:28-38.
- Concha M, Casares J, Ross DN, et al. Reemplazamiento valvular aórtico con autoinjerto pulmonar (operación de Ross), en pacientes adultos y pediátricos. Estudio preliminar. *Rev Esp Cardiol* 1999;52:113-20.
- Elkins RC, Knott-Craig CJ, Howell CE. Pulmonary autografts in patients with aortic annulus dysplasia. *Ann Thorac Surg* 1996;61:1141-5.
- Elkins RC, Lane MM, McCue C, Chandrasekaran K. Ross operation and aneurysm or dilation of the ascending aorta. *Sem Thorac Cardiovasc Surg* 1999;11(4) [Suppl 1]:50-4.
- Carpentier A. Cardiac valve surgery - the "French correction". *J Thorac Cardiovasc Surg* 1983;86:323-37.
- Matsuki O, Okita Y, Almeida RS, et al. Two decades' experience with aortic valve replacement with pulmonary autograft. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1988;95(4):705-11.
- Chambers JC, Somerville J, Stone S, Ross DN. Pulmonary autograft procedure for aortic valve disease. Long-term results of the pioneer series. *Circulation* 1997;96:2206-14.
- Legarra JJ, Concha M, Casares J, Merino C, Muñoz I, Alados P. Left ventricular remodeling after pulmonary autograft replacement of the aortic valve (Ross operation). *J Heart Valve Dis* 2001;10:43-8.
- Santangelo K, Elkins RC, Stelzer P, et al. Normal left ventricular function following pulmonary autograft replacement of the aortic valve in children. *J Cardiac Surg* 1991;6:633-7.
- Sievers HH, Leyh R, Loose R, Guha M, Petry A, Bernhard A. Time course of dimension and function of the autologous pulmonary root in the aortic position. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1993;105:775-80.
- Oury JH, Doty DB, Oswald JD, et al. Cardiopulmonary response to maximal exercise in young athletes following the Ross procedure. *Ann Thorac Surg* 1998;66:S153-S154.
- Lund O, Jensen FT. Functional status and left ventricular performance late after valve replacement for aortic stenosis. Relation to preoperative data. *Eur Heart J* 1988;9:1234-43.
- Carroll JD, Gaasch WH, Zile MR, Levine HJ. Serial changes in left ventricular function after correction of chronic aortic regurgitation. Dependence on early changes in preload and subsequent regression of hypertrophy. *Am J Cardiol* 1983;51:476-82.
- Bikkina M, Larson MG, Levy D. Asymptomatic ventricular arrhythmias and mortality risk in subjects with left ventricular hypertrophy. *J Am Coll Cardiol* 1993;22:1111-6.
- Lindblom D, Lindblom U, Quist J, Lundstrom H. Long-term survival rates after heart valve replacement. *J Am Coll Cardiol* 1990;15:566-73.
- Jin XY, Gibson DG, Pepper JR. Left ventricular function after aortic valve replacement. *Ann Card Surg* 1995;125-34.
- Rao V, Jamieson E, Ivanov J, Armstrong S, David TE. Prosthesis-patient mismatch affects survival after aortic valve replacement. *Circulation* 2000;102 [suppl III]:III-5-III-9.
- Del Rizzo DF, Sever J, Christakis GT, et al. Left ventricular remodeling following aortic valve replacement with the

Toronto SPV valve (ed2). Oxford, UK: Isis Medical Media, 1999:143-51.

21. Rubay JE, Shango P, Clement S, *et al*. Ross procedure in congenital patients: Results and left ventricular function. *Eur J Cardiothoracic Surg* 1997;11:92-9.
22. Hokken RB, Crome-Dijkhuis AH, Bogers AJJC, *et al*. Clinical outcome and left ventricular function after pulmonary autograft implantation in children. *Ann Thorac Surg* 1997;63:1713-77.
23. Jin XY, Zhang ZM, Gibson DG, Yacoub MH, Pepper JR. Effects of valve substitute on changes in left ventricular function and hypertrophy after aortic valve replacement. *Ann Thorac Surg* 1996;62:683-90.
24. David TE, Omran A, Armstrong S. Dilatation of the pulmonary autograft after the Ross procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000;119:210-20.