

동종 또는 자가이식편을 이용한 판막대치술 Homograft or Autograft Valve Replacement

장병철, 이 삭

연세대학교 의과대학 흉부외과학교실

Byung-Chul Chang, M.D., Sak Lee, M.D.

Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery,
Yonsei University College of Medicine

책임저자 주소: 장병철, 서울시 서대문구 신촌동 134

연세의료원 심장혈관센터

연세대학교 의과대학 흉부외과학교실

전화: 02-2228-8483

팩스: 02-313-2992

e-mail: bcchang@yumc.yonsei.ac.kr

Abstract

Since 1960s, when Ross and Barratt-Boyes introduced homograft replacement of the aortic valve, the valvular replacement using homografts or autografts has been gained increasing acceptance. Aortic or pulmonary valves (with or without associated vascular conduits) transplanted from one individual to another have exceptionally good hemodynamic profiles, a low incidence of thromboembolic complications without chronic anticoagulation, and a low re-infection rate following valve replacement for endocarditis. The homografts were primarily used for complex congenital reconstructions in infants, and children. However, more recently they have been increasingly used in adults requiring aortic valve replacement. Even though there are many advantages, the lack of available homografts, as well as concerns of long-term stenotic problems, may limit their use.

Key words : Autograft, Homograft, Valve replace-

ment.

서론

1962년 Ross¹와 Barratt-Boyes²가 각각 동종판막 (homograft) 을 이용하여 대동맥 심장 판막 대치술에 성공한 이후 전세계적으로 많은 병원에서 다양한 선천성 및 후천성 질환에 대해 자가이식 또는 동종이식을 이용한 심장 판막 대치술이 시행되고 있다. 현재 사용되고 있는 동종이식편은 훌륭한 혈액학적 기능과 감염에 대한 내성, 혈색전증 발생 위험이 적고, 수술 후 항응고제 치료가 불필요한 점, 심내막염에서 사용시 낮은 재감염율 등의 많은 장점들이 있으나, 이식편 확보에 제한이 있고 보관이 용이하지 않은 점, 그리고 수술 후 시간 경과에 따른 판막 변성 가능성에 의한 재수술의 불가피성 등이 단점으로 알려져 있다. 자가이식 (autograft) 심장 판막 대치술은 대동맥 판막 질환이 있는 경우 환자 자신의 폐동맥 판막을 떼어내어 대동맥 판막 위치에 붙여주고, 떼어낸 폐동맥 판막 자리에는 동종이식 판막을 넣어주는 Ross 술식이 대부분으로, 나이가 어린 소아, 항 응고제를 복용하기 어려운 환자, 임신 및 출산 가능한 연령의 여자 환자에서 특히 유용하다. 본 논문에서는 이러한 동종 또는 자가 이식편을 이용한 판막 수술에 대해 알아보려고 한다.

본론

1. 동종이식편의 역사

세계적으로 사체에서 대동맥 및 폐동맥 판막을 획득하여 인체에 이식하려는 시도는 약 45년 전부터 시도되어 왔다. 1962년 영국에서는 Ross¹가 뉴질랜드에서는 Barratt-Boyes²가 각각 독립적으로 대동맥 판막 질환을 가진 환자에게 사체에서 떼어낸 건강한 대동맥판막을 이식하는 수술을 성공적으로 시행하였음을 발표한 이후 1966년 Ross와 Somerville³은 폐동맥발육부전증 환자에서 대동맥판막 동종이식의 성공적인 결과를 보고함으로써 대동맥의 동종이식술은 많은 심장외과 의사의 주목을 받게 되었다.⁴ 1970년대 초에는

미국에서도 대동맥 동종이식술이 활발히 연구되어 임상에 이용되었으나, 1975년 Mayo Clinic의 심장외과 과장으로 있던 McGoon의 대동맥 동종이식술의 불량한 장기추적 결과가 발표됨으로써, 미국에서는 대동맥 동종이식술이 외면되고 오히려 인공 또는 조직판막이 널리 이용되었다.⁵ 그러나, McGoon의 대동맥 동종이식술의 실패이유가 대동맥 동종이식술 자체에 있지 않고, 소위 Mayo Clinic 방법이라고 일컫는 화학적 처리방법과 방사선조사법에 그 결함이 있다는 사실이 밝혀지고, 영국 및 뉴질랜드에서 만족스러운 장기결과가 발표됨에 따라 1980년대 초 대동맥 동종이식에 대한 관심이 세계적으로 다시 부활하게 되는 계기가 되었다.⁴

국내에서는 1980년대부터 동종판막 이식이 시도되었으나 사체의 손상을 금기시하는 사회적 관습과 뇌사가 사망으로 인정되지 않는 국내의 특수한 사정으로 활발한 시도가 이루어지지 못하다가 1992년 11월 심장이식이 성공하고 뇌사자의 장기 공여에 대한 일반인의 인식이 변화함에 따라 여러 병원에서 독자적으로 동종판막 처리 시설을 갖추고 임상에 적용하기 시작하였다.

2. 동종이식편의 처리 및 보관

초기에는 동종이식편을 살균소독(sterilization)후 화학물질(propriolactone 또는 ethylene oxide) 이나 방사선 조사(irradiation)로 보존(preservation)시켜 사용하였으나 이렇게 처리한 동종이식편은 판엽 석회화나 파열에 의한 높은 판막부전 발생율을 초래하여 10~12년 판막부전 발생율이 50%, 15~20년에는 90%에 이르렀다.⁶ 이러한 판막부전의 병리학적 소견은 다양한 숙주의 조직 과형성(overgrowth) 및 지지구조와 세포의 소실, 섬유형성(fibrosis), 석회화 등의 현저한 구조적 변화, 그리고 판엽의 파열 등으로 나타난다.⁷ 이후 지속적인 기술적 발전으로 냉동보존방식으로 처리된 동종이식편이 개발되어 판막변성으로 인한 재수술 요구율이나 내구성에 있어 조직판막과 유사한 정도의 성적을 보이고 있다.

1) 대동맥 및 대동맥판막과 폐동맥 및 폐동맥 판막의 절제

공여자의 심장을 무균적으로 절제한 후 대동맥과 폐동맥, 그리고 그 판막들을 각각 분리하여 절제한 후 냉동 보존한다. 먼저 심낭을 종으로 대동맥 기시부부터 횡격막 부위까지 절개하여 심장을 완전히 노출시킨 후 상공정맥과 하공정맥을 노출시키고 대동맥은 상행대동맥과 뇌혈관들을 포함한 대동맥궁까지 박리하여 노출시킨다. 폐동맥 역시 박리하여 양폐동맥 분지를 가능한 길게 노출시키고, 상하공정맥을 각각 절제한 후 심장을 심낭부로부터 들어올려 폐정맥을 노출시킨

후에, 폐정맥을 절제한다. 좌우 폐동맥을 첫번째 분지가 나타날 때까지 박리하여 절제한 후 대동맥은 전대동맥 및 하행대동맥의 근위부까지 박리하여 절제하여 Ringer solution 에 rinsing하여 혈전과 혈액을 깨끗이 제거한다. 절제된 심장에서 대동맥과 폐동맥을 조심스레 분리하고, 좌우 관상동맥을 약 1 cm 정도 박리하여 heavy black silk로 결찰한 후 좌심실을 종으로 절개하고 좌심방을 열어 승모판막의 전엽에 붙어있는 chorda를 절제하여 좌심실쪽에서 대동맥의 판막륜을 확인한 후 좌심실 중격을 판막륜에서 5 mm 정도 남도록 대동맥 동종판막을 분리해 낸다. 폐동맥 판막은 우심실 유출로를 제거하여 판막륜의 분리를 용이하도록 한 후 심실중격 부위에서 적절한 깊이로 절제한다.

2) 동종이식편의 크기 및 길이 측정

절제한 대동맥, 폐동맥과 판막을 자와 sizer를 이용하여 측정한다. 대동맥과 폐동맥은 분지되기 전까지의 길이와 각 분지의 길이를 측정하여 기록하고, 판막은 자체 제작한 hegar dilator를 이용하여 내경을 측정하여 기록한다. 측정된 동종이식편은 일부를 떼어 세균검사실로 보내어 세균배양을 시행하고, 무균적 항생제 용액에 담가 냉장 보관한다.

3) 냉동보관 (cryopreservation)

동종이식편 dimethyl-sulfoxide용액에 담가 멸균 및 진공 포장한 후 필요한 내용을 기록하여 부착시키고, -196℃의 액체 질소탱크에서 냉각시켜 보존한다.

3. 자가 또는 동종이식판막의 이용

1) Ross술식을 이용한 대동맥판막 대치술

1967년에 Ross에 의해 소개된 방법으로 대동맥 판막에 환자 자신의 폐동맥 판막을 자가이식하고, 폐동맥 판막은 동종이식편을 이용하여 대치하는 방법이다.⁸ 자가이식편을 이용한 이 방법은 동종이식이 갖고 있는 많은 장점들 외에도 소아나 젊은 어른 환자들에게 이식했을 때 성장 가능성 (growth potential)이 있고, 혈액학적으로 폐동맥 자가이식편이 대동맥과 유사한 장점이 있으나, 동종이식편을 이용한 우심실 유출로 재건술을 요하기 때문에 일반적인 대동맥 판막술보다 기술적으로 더 어렵고, 장기적으로 하나의 판막이 아닌 두 개의 판막부전이 올 가능성이 있다는 단점이 있다. Elkins등⁹은 생후 7일 된 환아 ~ 21세의 젊은 환자들 150명에서 Ross 술식 후 97.3%의 8년 생존율과 자가이식판막부전 또는 좌심실유출로 협착에 의한 재수술의 자유도가 90%로 우수한 성적을 보고하여, 특히 소아 연령에서 낮은 수술위험과 항응고제 복용

없이 활동적인 생활이 가능하다는 것을 입증하였다. 또한, Stelzer¹⁰은 17세에서 68세까지 145명의 성인 환자들에서 Ross 술식 후 5년과 7년 생존율이 각각 84.5%, 90.5%라고 하였으며, 단지 5명의 환자들에서만 재수술을 요하여 성인에서도 자가 이식편이 유용하다고 하였다. Ross 술식의 한 가지 문제점으로 지적되는 것은 판막륜의 점차적 확장으로 인한 자가이식판막의 폐쇄부전으로,^{11,12} 이는 어린 환자들에서 판막륜을 자가 심낭이나 Teflon의 가느다란 조각(strip)을 이용하여 보강하는 방법으로 해결할 수 있다.

2) 동종이식편을 이용한 우심실 유출로 재건술

우심실 유출로 재건술은 오랫동안 폐동맥 동종이식편을 이용하여 시행되어 왔으나, 최근에는 대동맥 동종이식편으로도 시행되고 있다. 많은 보고들에서 대동맥 보다는 폐동맥 동종이식편을 이용할 때 더 높은 재수술에 대한 자유도를 나타내는데, 이는 대동맥 동종이식편에 내재성 칼슘 함유량이 더 많고, 다소 뻣뻣하기 때문으로 추측되고 있다.¹³⁻¹⁷ 폐동맥 동종이식편은 특히 대동맥간, 복잡 활로씨 4중후군, 폐동맥 폐쇄증 및 심실중격 결손, 대동맥 전위증, 양대동맥 우심실 기시등과 같은 복잡성 심기형 환자들에서 많이 사용되어 오고 있으며, 단기 성적은 우수하나, 장기적으로 볼 때 동종이식편의 점차적인 협착이 문제점으로 지적되고 있으며, 이는 저급(low-grade)의 면역반응 때문인 것으로 생각되고 있다.^{18,19}

연세대학교 심장혈관센터에서는 1998년부터 2005년까지 1~43세의 20명의 환자에서 동종판막을 이용한 우심실 유출로 재건술을 시행하였는데, 수술 사망은 없었으며, 이식편 실패의 8년 자유도가 87.5%로 양호한 성적을 보였으며, 특히 10세 이상의 환자들에서는 이식편 기능부전의 7년 자유도가 100%로 우수하였다.

3) 동종이식편을 이용한 좌심실 유출로 재건술

폐동맥 동종이식편은 좌심실 유출로 재건술에도 이용되었으나, 많은 보고들에서 좋지 않은 결과를 보여 그 이용이 다소 제한적이다. Mair²⁰은 175명의 환자에서 폐동맥 동종이식편으로 대동맥 판막 치환술을 시행한 결과 수술 사망률이 4.57%였으며, 평균 3.8년간의 추적관찰 결과 12.5%의 환자에서 심한 판막폐쇄부전으로 인한 재수술을 요하였고, 5.14%의 환자에서는 감염성 심내막염이 발생하여 폐동맥 동종이식편은 대동맥 판막 치환술에 권장할 만 하지 못하다고 하였다. 다른 보고들에서도 비슷한 결과를 보이고 있으나, 한 연구에서는 폐동맥 고혈압이 있던 공여자의 폐동맥 동종이식편을 이용하여 대동맥 판막 치환술을 한 경우, 정상 폐동맥압의 공여자에게서 얻은 폐동맥 동종이식편을 이용한

경우보다 좋은 중단기 성적을 보여주었다는 흥미로운 보고도 있다.²¹

4) 그 외의 동종판막의 이용

폐동맥 동종판막을 삼첨판막이나 승모판막에 이용한 보고들도 있으나, 그 사용이 극히 제한적이다.^{22,23} 그 외에도 대동맥 전환술이나 다른 심장내 기형을 동반한 대동맥이나 대동맥궁 협착에서 대동맥 재건술을 필요로 하는 경우에 첩포로 사용할 수 있는데, 특히 폐동맥 동종이식편은 취급이 용이하고, 무긴장 (tension-free) 봉합이 가능하며 재협착률이 낮아 용이하게 사용된다.^{24,25} 폐동맥 동종판막은 심장내 또는 혈관내 종양이 있는 경우에도 종양 제거술 후 결함 조직의 재건술에도 용이하게 사용될 수 있으나, 종양의 재발이 잘 된다는 단점이 있다.²⁶

4. 동종판막 이식 후 장기 성적에 영향을 주는 요인들

동종판막 이식 후 장기 성적을 불량하게 하는 위험인자들로는 수혜자의 연령이 어린 경우, 작은 동종판막의 이식, Ross 술식 이외의 수술, 대동맥 동종판막의 사용 등이 알려져 있으며,^{27,28} 동종판막 기능이상을 유발하는 기전에 대한 이론적 설명으로는 냉동 보존 시의 조직 손상, 수술 중 손상, 해부학적 위치를 벗어남에 따르는 3차원적 구조의 변화, 면역학적 반응 등을 들 수 있다. 한편, 어떤 연구에서는 현재의 냉동 보존 기술로는 이식 당시 동종판막에 성장가능성이 있는 세포가 일부 살아있을 가능성에 대하여 제시하였다.²⁹ 하지만, 남아있는 세포의 범위나 기능적 활동성여부, 그리고 실제로 살아있는 동종판막 세포가 장기 내구성에 중요한 역할을 하는 지에 대해서는 알 수 없으며, 오히려 이러한 세포 보존이 면역 반응에 관여해 해로운 결과를 나올 수도 있다. 이와 같이 여러 이론적 원인이 알려져 있으나, 이러한 여러 요인 및 기전들을 종합하여 보면 결국 작은 동종판막의 사용과 면역학적 반응의 두 가지 요인으로 요약될 수 있다.³⁰

1) 동종판막의 크기 선택

동종판막의 장기 성적에 대한 많은 문헌에서 동종판막의 절대적 크기가 작은 경우 판막의 기능 부전이나 재수술의 위험이 큰 것으로 보고되고 있다. 이는 성장 가능성이 없는 동종판막의 사용에 따른 어쩔 수 없는 결과로, 다른 위험 요인(수혜자의 낮은 연령, 공여자의 낮은 연령, Ross 술식 이외의 수술, 어린 나이에 교정을 요하는 일부 선천성 심질환) 등도 모두 이와 직접, 간접으로 연관된다고 할 수 있다. 그러나, 소아 연령의 환자에게 너무 큰 동종판막을 이식하는 경우 주변

장기를 압박할 우려가 있고, 동종판막의 기능 이상은 협착에 의하기 보다는 폐쇄부전에 의한다는 점이 환아의 크기에 부합하는 동종판막을 사용하자고 주장하는 사람들의 공통된 주장이다.³¹ 하지만, 소아 연령의 환자에게 동종판막을 이식하는 경우 대부분의 외과 의사는 환아의 크기에 해당하는 크기보다 큰 동종판막을 선호하며,³² 심지어 모든 환아에게 성인에게서 적절한 동종판막을 이식한다는 보고까지 있다.³³ 따라서 아직까지 성장 가능성이 있는 소아환자들에서 어떤 크기의 동종판막을 이용해야 하는지에 대해서는 추후 여러 연구들을 통한 의견의 일치가 필요할 것으로 보인다.³⁰

2) 동종판막의 면역학적 반응

동종판막을 이용한 수술은 유전적 형질이 다른 두 개체간의 이식이므로 면역학적 반응을 피할 수 없다. 그렇지만 동종판막 이식 후 면역 억제 요법이 시행되는 경우는 거의 없으며, 이로 인해 동종판막 이식 후의 면역학적 반응에 대해서는 수많은 연구 결과가 보고되어 있다. 동종판막에 존재하는 세포의 종류는 섬유아 세포 (Fibroblast), 내피세포 (Endothelium), 혈관 평활근 세포 (Vascular Smooth Muscle Cell, VSMC), 심근 세포 (Cardiac Muscle Cell, CMC) 등 4가지이다. 이 중 VSMC 및 CMC는 면역학적 반응을 심하게 유발하는 것으로 알려져 있으나, VSMC는 그 양이 매우 적고 CMC는 이식 시 대부분 절제되므로 임상적 의미는 없다.³⁰ 주로 면역학적 반응을 일으키는 세포 형태는 내피 세포이며, 냉동 보존 시 그 형태와 기능이 유지된다고 알려져 있다. 이에 반하여 섬유아 세포는 판막 조직의 간질을 생산하여 그 형태를 유지하게 하므로 오히려 그 생육성 (viability)이 장기 성적을 결정하는 요인이 된다는 주장이 많다.³⁰

결론

냉동보존된 동종판막과 자가판막은 다양한 선천성 심질환에서 성인 판막질환에 이르기까지 다양한 술식에 이용되고 있다. 내구성, 항혈전성 등을 보완한 새로운 기계 및 조직판막이 개발되어 그 이용이 제한적이지만, 감염에 내성적이며, 성장 가능성이 있는 등의 장점은 소아 연령의 환자들에서 유용하게 쓰일 수 있다. 동종판막과 자가판막의 조기 성적은 우수하며, 장기적으로 볼 때에도 대부분 우수하다고 보고하고 있지만, 수혜자가 제한되어 있고, 판막 부전으로 인한 재수술을 요하는 경우가 여전히 해결해야 할 문제점이다. 하지만, 동종판막의 보관 및 처리 방법의 향상, 면역억제 사용의 시도, 적절한 환자 선택 등으로 이러한

문제들도 앞으로 해결할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- Ross D. Application of homografts in clinical surgery. *J Cardiac Surg* 1987; 2(Suppl): 175-83.
- Barratt-Boyes BG, Roche AH, Brandt PW, *et al.* Aortic homograft valve replacement. A long-term follow-up of an initial series of 101 patients. *Circulation* 1969; 40: 763-75.
- Somerville J & D. Ross. Homograft replacement of aortic root with reimplantation of coronary arteries. *Br Heart J* 1982; 47: 473-82.
- Song MG, Lee DS. Aortic and pulmonic homograft transplantation utilizing cryopreservation. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg* 1990; 23: 622-39.
- Kirklın JK. Homograft replacement of the aortic valve. *Cardiology clinics* 1985; 3 : 3.
- Grunke-meier GL, Bodnar E. Comparison of structural valve failure among different models of homograft valves. *J Heart Valve Dis* 1994; 3: 556.
- Hudson REB. Pathology of the human aortic valve homograft. *Br Heart J* 1996; 28: 291.
- Ross DN. Replacement of aortic and mitral valves with a pulmonary autograft. *Lancet* 1967; 14 : 90 - 4.
- Elkins RC, Knott-Craig CJ, Ward KE, *et al.* The Ross operation in children: 10-year experience. *Ann Thorac Surg* 1998; 62: 450-5.
- Stelzer P, Weinrauch S, Tranbaugh RF. Ten years of experience with the modified Ross procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; 115: 1091-100.
- Oswalt JD. Acceptance an versatility of the Ross procedure. *Curr Opin Cardiol* 1999; 14: 90-4.
- Elkins RC, Lane MM, McCue C. Pulmonary autograft reoperation: incidence and management. *Ann Thorac Surg* 1996; 62: 450-5.
- Stark J, Bull C, Stajevic M, *et al.* Fate of subpulmonary homograft conduits: determinants of late homograft failure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; 115: 506- 16.
- Angelini GD, Quaegebeur JM. Extended use of a pulmonary homograft for right ventricular outflow

- tract reconstruction. *Ann Thorac Surg* 1989; 47: 784-5.
15. Bailey WW. Cryopreserved pulmonary homograft valved external conduits: early results. *J Cardiac Surg* 1987; 2: 199-204.
 16. Bando K, Danielson GK, Schaff HV, *et al.* Outcome of pulmonary and aortic homografts for right ventricular outflow tract reconstruction. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1995; 109: 509-18.
 17. Daenen W, Gewillig M. Factors influencing medium-term performance of right-sided cryopreserved homografts. *J Heart Valve Dis* 1997; 6: 347-54.
 18. Urban AE, Sinzobahamvya N, Brecher AM, *et al.* Truncus arteriosus: ten-year experience with homograft repair in neonates and infants. *Ann Thorac Surg* 1998; 66 : S183 -8.
 19. Yankah AC, Alexi-Meskhisvili V, Weng Y, *et al.* Performance of aortic and pulmonary homografts in the right ventricular outflow tract in children. *J Heart Valve Dis* 1995; 4: 392-5.
 20. Mair R, Peschl F, Gross C, *et al.* The pulmonary homograft as aortic valve substitute. 7 years' follow up. *Eur J Cardio-Thorac Surg* 1997; 11: 910-6.
 21. Gaudino M, Van Geldorp T, Daenen W, *et al.* Are pulmonary homografts subjected to pulmonary hypertension more appropriate for aortic valve replacement than normal pulmonary homografts? Results of echocardiography in a multicenter study. *Eur J Cardio-Thorac Surg* 1997; 11: 676-81.
 22. McKay R, Sono J, Arnold RM. Tricuspid valve replacement using an unstented pulmonary homograft. *Ann Thorac Surg* 1988; 46: 58-62.
 23. Renzulli A, Cerasuolo F, Festa M, *et al.* Stentless fresh pulmonary homograft in mitral position. *Texas Heart Inst J* 1995; 22: 301-3.
 24. Tchervenkov CI, Tahta SA, Cecere R, *et al.* Single-stage arterial switch with aortic arch enlargement for transposition complexes with aortic arch obstruction. *Ann Thorac Surg* 1997; 64: 1776-81.
 25. Tchervenkov CI, Tahta SA, Jutras L, *et al.* Single-stage repair of aortic arch obstruction and associated intracardiac defects with pulmonary homograft patch aortoplasty. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; 116: 897-904.
 26. Dossche K, Wellens F, Goldstein JP, *et al.* Pulmonary homograft replacement for primary leiomyosarcoma of the pulmonary artery. *J Thoracic Cardiovasc Surg* 1992; 104: 844-6.
 27. Niwaya K, Knott-Craig CJ, Lane MM, *et al.* Cryopreserved homograft valves in the pulmonary position: risk analysis for intermediate-term failure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999; 117: 141-7.
 28. Conte S, Jashari R, Eyskens B, *et al.* Homograft valve insertion for pulmonary regurgitation late after valveless repair of right ventricular outflow tract obstruction. *Eur J Cardio-Thorac Surg* 1999; 15: 143-9.
 29. O'Brien M, Stafford E, Gardner M, *et al.* A comparison of aortic valve replacement with viable cryopreserved and fresh allograft valves with a note on chromosomal studies. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1987; 94: 812.
 30. 윤태진. 선천성 심기형에서의 동종이식 심장판막의 사용. *소아심장* 2004; 7: 63-7.
 31. Wells WJ, Arroyo H Jr, Bremner RM, *et al.* Homograft conduit failure in infants is not due to somatic outgrowth. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2002; 124: 88-96.
 32. Lange R, Weipert J, Homann M, *et al.* Performance of allografts and xenografts for right ventricular outflow tract reconstruction. *Ann Thorac Surg* 2001; 71: S365-7.
 33. Sardari F, Gundry SR, Razzouk AJ, *et al.* The use of larger size pulmonary homografts for the Ross operation in children. *J Heart Valve Dis* 1996; 5: 410-3.