

3세 미만 심방중격결손 소아에서 Amplatzer 기구 폐쇄술의 안전성 및 효용성

연세대학교 의과대학 심장혈관병원, 소아심장과, 가천의과대학교병원 의과대학 소아과학교실*

이수현 · 최덕영* · 김남균 · 최재영 · 설준희

= Abstract =

The efficacy and safety of transcatheter closure of atrial septal defect with Amplatzer septal occluder in young children less than 3 years of age

Soo Hyun Lee, M.D., Deok Young Choi, M.D.*, Nam Kyun Kim, M.D.
Jae Young Choi, M.D. and Jun Hee Sul, M.D.

Division of Pediatric Cardiology, Department of Pediatrics, Severance Cardiovascular Hospital, Yonsei University College of Medicine, Seoul

Division of Pediatric Cardiology*, Gil Heart Center, Gachon University of Medicine, Incheon, Korea

Purpose : Applicability of transcatheter closure of atrial septal defect (ASD) has been expanded by accumulation of clinical experiences and evolutions of the device. This study was performed to evaluate the safety and efficacy of transcatheter closure of ASD with Amplatzer septal occluder (ASO) in young children less than 3 years of age.

Methods : From May 2003 to December 2005, 295 patients underwent transcatheter closure of ASD with ASO in the Severance Cardiovascular Hospital, Yonsei University Health System. Among them, 51 patients less than 3 years of age were enrolled in this study. We investigated procedural success rate, rate of residual shunt, frequency of complications, procedure/fluoroscopy time, and need of modified techniques for device implantation.

Results : The median age was 2.1 years and median body weight was 12 kg. Implantation of device was successful in 50 patients (98%). Seven patients (15%) showed a small residual shunt 1 day after the procedure, but complete occlusion had been documented at 6 month follow-up in all patients (100%). The pulmonary to systemic flow ratio (Qp/Qs), peak systolic pulmonary artery pressure, and peak systolic right ventricular pressure had decreased significantly after closure of ASD. There were 2 complications including device embolization (1, 2%) and temporary groin hematoma (1, 2%).

Conclusion : Transcatheter closure of ASD with ASO can be performed with satisfactory results and acceptable risk even in young children less than 3 years of age. We could suggest that even in very young children with ASD, there is no need to wait until they grow to a sufficient size for the transcatheter closure. (Korean J Pediatr 2009;52:494-498)

Key Words : Heart septal defects, Atrial, Heart catheterization, Device, Child

서 론

심방중격결손은 선천성 심장 질환의 8-10%를 차지하는 비교적 흔한 질환이다^{1,2)}. 1976년 King과 Mills³⁾에 의하여 심방중격결손의 경피적 폐쇄술이 최초로 시도된 이후 여러 기구들이 고안되어 사용되었으며 이 분야의 경험이 축적되고 더 좋은 디자인과 기계적 성질을 가진 기구들이 개발되면서 임상적 적용 영역이 지

속적으로 확대되어 왔다. 현재 사용되는 대개의 기구들은 위치가 만족스럽지 않은 경우 다시 거두어 들일 수 있고(retrievable) 반복적으로 적절한 기구 삽입을 시도할 수 있도록 고안되어 있으며 과거에 비해 훨씬 작은 크기의 도관을 통해 삽입될 수 있도록 만들어져 있다. 이러한 기구의 개선 노력들은 더 크고 복잡한 해부학적 특성을 가진 결손들과 더 어린 소아에서도 기구를 이용한 심방중격결손 폐쇄술을 적용할 수 있게 하였고⁴⁾ 현재는 소아 영역에서도 수술을 대체할 치료법으로 광범위하게 사용되고 있다⁴⁻⁷⁾. 혈액학적으로 중요한 심방중격결손의 폐쇄는 증상의 호전 및 삶의 질 개선을 위하여 필요하며⁸⁾, 결손 폐쇄 시 우심의 긍정적인 재구성(remodeling) 및 폐동맥의 저항 감소를 기대할 수 있다⁹⁾. 심방중격결손 폐쇄 후 우심 및 폐의 재구성 정도는 폐쇄술을 시행받은 연령과 상관있을 것으로 생각되지만¹⁰⁾, 수술과 비교하였을 때 심방중격결손의 경피적 폐쇄술을 시행하기에 적절한 시기는 명확하

Received : 16 September 2008, Revised : 20 October 2008

Accepted : 6 November 2008

Address for correspondence : Jae Young Choi, M.D.

Division of Pediatric Cardiology, Department of Pediatrics, Severance Cardiovascular Center, Yonsei University College of Medicine,

134 Sinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea

Tel : +82.2-2228-8280, Fax : +82.2-393-3080

E-mail : cjoy0122@yuhs.ac

지 않다.

따라서, 본 연구에서는 3세 미만의 소아에서 기구를 이용한 심방중격결손 폐쇄술이 얼마나 안전하고 효과적인지 평가하여 기구 폐쇄술을 시행하기에 적절한 시기를 알아보려고 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

2003년 5월부터 2005년 12월까지 연세대학교 심장혈관센터 소아심장과에서 심방중격결손의 경피적 폐쇄술을 시행 받은 환자 295명 중 3세 미만 소아 51명을 대상으로 하였다. 폐쇄술 시 기구는 Amplatzer Septal Occluder (ASO; AGA Medical Corp, Golden Valley, MN, USA)를 사용하였으며 대상 환자의 나이는 0.9-3세였다(Table 1). 심방중격결손의 표준 심초음파검사 서식에 따라 모든 환자는 경흉부 심초음파를 시행하였고, 심방중격결손의 직경, 심방 사이 중격의 길이 및 폐정맥, 승모관, 관상 정맥동, 상대 정맥, 하대 정맥 각각에서 중격까지의 거리를 측정하였다. 대상 환자 중 13명은 단순 심방중격결손 외에 다른 문제나 경피적 심방중격 폐쇄술에 방해가 될 수 있는 해부학적 특성을 동반하고 있었는데, 2명에서 다발성 결손이 관찰되었고, 8명에서 결손 주위 중격연의 결함(rim deficiency) 있었으며, 3명에서 치료가 필요한 폐동맥 협착을 동반하여 풍선 폐동맥관 성형술과 같은 추가 시술이 필요하였다. 심방중격결손 외에 복잡 심기형이나 부분 폐정맥 환류 이상이 동반되거나 체중에 비해 심방중격결손의 크기가 너무 커서 경피적 심방중격결손 폐쇄술의 적응이 되지 않는 경우는 본 연구 대상 51명에서 제외하였다.

2. 방법

전신 마취 하에 심도자술을 시행하였고, 혈액학적 검사를 통해 체순환에 대한 폐순환의 비율(Qp/Qs ratio)을 구하였다. 우폐정맥 조영술을 시행하여 4방 단면도(4-chamber view)를 통해 심방 중격 결손의 크기 및 위치를 확인하였다. 정맥으로 헤파린(70 IU/kg)을 투여한 후 24 mm 또는 27 mm AGA sizing balloon catheter (AGA Medical Corp, Golden Valley, MN, USA)를 이용하여 방사선 투시 검사(fluoroscopy) 및 경식도 초음파 감시 하

에 심방중격결손의 크기를 측정하였고, 이렇게 측정된 결손의 크기와 비슷한 크기의 기구를 시술에 선택하였다. 기구 장착은 기존 문헌에^{10, 11)} 서술된 바와 동일하게 진행하였으며, 기구의 위치 및 심장 내 다른 구조물의 폐쇄, 접촉 유무, 잔류 단락 여부는 기구 장착 후 경식도 초음파를 통해 주의 깊게 관찰하였다. 시술 후 1일, 1개월, 6개월, 12개월, 수년 뒤 경흉부 심초음파를 시행하여 추적 관찰하였으며, 기구 삽입 후 6개월 간 아스피린(5 mg/kg/day)을 복용하게 하였다. 시술 소요 시간, 투시 검사 시간, 폐쇄 성공률, 잔류 단락을, 합병증의 종류 및 발생 빈도를 조사하였으며, 기구 장착 전후의 체폐순환비, 폐동맥압과 우심실압을 측정하였다. 잔류 단락의 정도는 색 도플러 심초음파 검사 상 단락의 폭에 따라 분류하여, 1 mm 미만일 경우 trivial, 1-2 mm일 경우 small, 2-4 mm일 경우 moderate, 4 mm 이상일 경우 large로 정의하였다. 대상 환자에 대한 기구 폐쇄술의 결과를 평가하는 척도로는 시술 성공률, 잔류 단락의 비율(시술 후 24시간 뒤, 최종 추적 관찰 시), 합병증 유무, 시술 소요 시간, 투시 검사 시간, 변형된 기구 장착술의 필요 여부를 사용하였다.

3. 통계적 분석

모든 값은 평균치±표준편차로 표현하였으며, 임상적인 변수들의 비교는 SPSS for Windows (version 12.0, SPSS, Chicago, IL, USA)를 이용하였고 paired t test *P*-value가 0.05미만인 경우 통계학적으로 의미가 있는 것으로 판단하였다.

결 과

1. 대상 환자군의 임상적 특징

조사 기간 동안 심방중격결손에 대한 기구 폐쇄술을 시행 받은 295명의 환자 중 3세 미만의 소아 51명이 본 연구의 대상이었다. 환자들의 남녀비는 13:38로 75%가 여자였고, 시술 당시 연령은 2.04±0.56세(중앙값 2.1세), 체중은 11.8±1.7 kg (중앙값 12 kg)로 이중 15명은 10 kg미만이었다. 심방중격결손의 크기는 16.6±3.6 mm (중앙값 16.5 mm), 이들의 체폐순환비는 2.4±0.9 (중앙값 2.2)이었고, 기구 폐쇄술 시행 후 추적 관찰 기간은 19.8±6.4개월(중앙값 18.5개월)이었다(Table 1).

2. 기구 폐쇄술 시행 전후의 변화

기구를 이용한 심방중격결손 폐쇄술의 임상적 결과들을 살펴 보면, 51명의 대상 환자에서 폐쇄 성공률은 98%였으며, 시술에 소요되는 시간은 평균 87.7±23.6분, 투시 검사 소요 시간은 31.8±14.7분이었다. 잔류 단락은 시술 후 24시간 뒤에 7명(15%)에서 관찰되었으나, 최종 추적 관찰 시에는 모두 폐쇄되었음을 확인할 수 있었다(Table 2).

기구 폐쇄술 시행 전, 후의 혈액학적인 변화를 보면, 체폐순환비는 2.4±0.9에서 1.4±0.3 (*P*<0.001)으로, 주폐동맥압은

Table 1. Profiles of Subjects

Subjects	Profiles
Female : Male	38:13 (75% Female)
Age (years)	2.04±0.6 (median 2.1, 1.0-3.0)
Weight (kg)	11.8±1.7 (median 12, 8.2-16)
Defect size (BOD, mm)	16.6±3.6 (median 16.5, 10-24)
Qp/Qs	2.4±0.9 (median 2.2, 1.5-6)
F/U duration (month)	19.8±6.4 (median 18.5, 5-40)

Abbreviations : BOD, balloon occluding diameter; Qp/Qs, pulmonary blood flow rate/systemic blood flow rate; F/U, follow up

Table 2. Clinical Data of Atrial Septal Defect Occlusion with Amplatzer Septal Occluder

Parameters (n=51)	Data
Success rate (%)	50/51 (98)
Procedure time (min)	87.7±23.6 (65-120)
Fluoroscopy time (min)	31.8±14.7 (21-54)
Residual rate* (%)	
24hr	7/51 (15)
Latest F/U	0/7 (0)

*determined by color Doppler echocardiography
Abbreviation : F/U, follow up

Table 3. Hemodynamic Changes after the Procedure

Parameter	Pre	Post	P value
Qp/Qs	2.4±0.9	1.4±0.3	<0.001
PAP	28.4±6.4	25.5±5.6	0.04
RVP	41.3±11.8	32.6±7.9	<0.001

Abbreviations : Qp/Qs, pulmonary blood flow rate/systemic blood flow rate; PAP, main pulmonary artery pressure (mmHg); RVP, Right ventricle pressure (mmHg)

28.4±6.4 mmHg에서 25.5±5.6 mmHg ($P=0.04$)로, 우심실압은 41.3±11.8 mmHg에서 32.6±7.9 mmHg ($P<0.001$)로 감소하였으며 이는 모두 통계적으로 유의하였다(Table 3).

3. 합병증

대상 환자 51명의 시술 과정이나 추적 관찰기간 도중 생체 징후에 영향을 주거나 지속적인 치료 및 집중 감시를 요하는 주요 합병증은 발생하지 않았으나, 2명에서 기구 폐쇄술과 관련한 합병증이 발생하였는데, 결손 크기가 20 mm였던 2세 여환의 경우 기구가 갑자기 이탈하면서 우심방으로 색전이 발생하여 기구 제거 후 수술로 심방중격결손을 폐쇄하였다. 2년 6개월 남환의 경우는 24 mm 결손의 기구 폐쇄술 직후 큰 혈종이 서혜부 주위로 발생하였으나 곧 호전되었으며 혈관 도플러 초음파 검사상 혈관 주위로 특이 소견은 관찰되지 않았다.

고 찰

심방중격결손증은 선천성 심장질환의 약 6-10%를 차지하는 비교적 흔한 질환으로, 치료방법으로 수술적 폐쇄와 기구를 이용한 경피적 폐쇄가 있다. 두 방법 모두 사망률이 낮고 합병증이 적어 안전한 것으로 보고되지만¹²⁻¹⁶⁾ 1976년 King 등¹⁷⁾이 처음 기구를 이용한 경피적 폐쇄술을 시도한 이후 심폐 우회로 사용에 따른 문제와 전신 마취를 줄이고 입원 기간과 비용의 단축, 수술 반흔과 관련된 장점 때문에 점차 경피적 폐쇄술이 수술적 치료를 대체해 가고 있다^{11, 18-18)}.

심방중격결손증은 결손의 크기가 작을 경우 자연 폐쇄될 수 있으나 비교적 큰 결손의 경우 소아에서 체중 증가와 함께 오히려

크기가 증가할 수도 있다^{21, 22)}. McMahon 등²¹⁾에 의하면 단독 심방중격결손 환자 중 65%가 조사 기간 3.1년 동안 연간 0.8 mm 결손 크기 증가를 보였으며 그 중 30%는 크기 증가가 50% 이상이었다. 또 다른 연구에서는 3.5년간 관찰한 단일 심방중격결손증 환자 250여명 중 34%는 자연 폐쇄되었으나, 21%는 4 mm 이상 결손이 지속되었으며, 18%는 수술이나 기구 폐쇄술이 필요하였다는 보고도 있었다²²⁾. 일반적으로 심부전 증상이 동반되지 않거나, 있어도 경미한 심방중격결손의 경우 만 5-6세경 폐쇄술을 시행하는 것이 권장되어 왔으나²³⁾, 최근의 한 연구는 5세 미만 환자에서 Cardio-SEAL/StarFLEX device (Nitinol Medical Technical Inc., Boston, MA, USA)나 ASO를 이용하여 경피적 폐쇄술을 시행한 경우, 시술 시 87%, 퇴원 시 94% 및 1년 후 추적 관찰 시 100%의 폐쇄 성공률을 보이는 좋은 결과를 보고하였다¹⁸⁾. 아울러 이 연구에서 시술 전후에 특이할 만한 합병증은 발생하지 않아 5세 미만 환자에서도 기구를 이용한 경피적 폐쇄술이 안전하고 효과적인 치료임을 증명하였다. 또 다른 연구에서도 ASO를 이용한 폐쇄술로 15 kg 미만의 증상을 가진 심방중격결손 환자를 치료하여 94%에서 성공적인 폐쇄를, 92%에서 임상 증상의 호전을 보였다는 보고를 하였으며²⁴⁾ 이러한 문헌적 근거들과 함께 점차 더 어린 환자에서 더 안전하게 치료하려는 노력들이 늘고 있다. 본 연구에서도 대상 환자 51명에서 폐쇄 성공률은 98%, 외래 추적 관찰 중 잔류 단락은 100% 폐쇄가 확인되어, 3세 미만 소아에서도 경피적 심방중격결손 폐쇄술이 안전하고 효과적인 방법임을 확인할 수 있었다. 한편 저자에 따라서는 8-10 kg 정도의 환자에서 기구를 이용한 폐쇄가 가능하다면 더 기다릴 필요 없이 치료하는 것이 좋으며 그렇게 함으로써 결손의 크기가 더 커져서 경피적 폐쇄술이 불가능해지는 경우를 방지할 수 있다는 주장도 있다^{25, 26)}.

최근 기구를 이용한 심방중격결손 폐쇄술이 더 안전하고 용이하게 사용되면서 심방중격결손의 치료 후 발생하는 합병증에 대한 수술과 기구 폐쇄 시술간의 비교연구가 활발히 진행되었는데, 경피적 심방중격결손 폐쇄술이 수술적 치료에 비해서 치료의 합병증은 더 적으면서 치료 성적은 뒤지지 않는다는 대체로 유사한 결과들을 보고하였다^{19, 20, 27-29)}. 경피적 심방중격결손 폐쇄술의 합병증으로는 시술 과정에서 공기 색전³⁰⁾이 발생할 수 있으며, 시술 후에 단락의 지속, 심방 부정맥, 혈전, 기구의 골절, 기구의 이탈이나 색전증, 심내막염^{31, 32)} 등이 보고되어 있다. 이 외에도 천자 부위의 혈관 손상, 혈전에 의한 혈관 폐색 등으로 수술이 필요할 수 있으며^{33, 34)}, 기구에 의한 심장 천공이나 심낭압전, 심벽의 손상, 대동맥-우심방루와 같은 드물지만 응급 수술이 필요한 상황도 발생할 수 있다^{35, 36)}. 본원에서는 51명의 대상 환자 중 2명에서 기구 폐쇄술과 관련한 합병증이 발생하였는데, 한 명은 20 mm 결손을 동반한 2세 여환으로 폐쇄술 시행 후 기구 이탈로 우심방 색전증이 발생하여 결국 기구를 제거하고, 수술로 심방 중격 결손을 폐쇄하였다. 나머지 한 경우는 2년 6개월된 남환으로 24 mm 결손 폐쇄술 시행 후 일시적으로 서혜부에 큰 혈종이 발생하였으나, 도플러 초음파상 특이 소견이 없고, 자연 흡수되어 별다른 조치 없이 경과

관찰하였다. 수술과 관련한 합병증으로는 전신 혈전증, 심낭 삼출과 압전, 절개 부위에 발생하는 부정맥 등이 흔하며³¹⁾ 그 외 기흉, 출혈, 흉막 삼출액, 감염, 무기폐, 장관 내 요로 감염 등이 보고된 바 있다¹⁵⁾. 특히 심낭 삼출은 수술적 심방 중격 폐쇄를 시행한 환자에서 비교적 흔하게 발생하며, 빠른 속도로 진행하여 심낭 압전에 이를 경우 매우 치명적이어서 이전에 외과적 배액이 필요하다³⁴⁾. 한편 수술 후 초기에 발생하는 심율동 이상은 수개월 후 심각한 부정맥이 초래될 가능성을 시사하며, 최근 연구에 따르면 심방 중격결손 폐쇄 1개월 후 심율동 조절에 대한 이상은 기구 폐쇄술보다 수술을 받은 경우에 더 흔한 것을 알 수 있었다³⁷⁾. 이처럼 기구 폐쇄술과 수술의 합병증을 비교해 볼 때 주요 합병증은 수술 직후 더 많이 발생하며 수술 시 전신 마취나 장기 입원을 고려해야 함을 감안한다면 심방중격결손 소아에서 기구 폐쇄술이 긍정적인 치료법으로 고려될 수 있음을 판단할 수 있었다.

다만 본 연구는 동일한 기간 심방중격결손 환자 중 수술을 시행 받은 환자와 기구 폐쇄술을 시행 받은 환자를 함께 비교하지 않았으므로, 3세 이하 소아에서 기구 폐쇄술이 긍정적인 치료일 수는 있으나 수술과 비교하여 더 유리한 측면이 있는지 알 수 없는 한계가 있다. 또한 기구 폐쇄술 시행 전 경흉부 심초음파를 통하여 폐쇄술 시행에 합당한 소아에게 시술을 시행하였으므로, 대상 환자를 선택하여 연구를 진행하였다는 제한점이 있다. 그러나, 실제 임상적인 측면에서 본 연구의 대상과 같은 환자군에서의 무작위 연구는 현실적인 어려움과 윤리적인 문제 때문에 현실성이 별로 없다고 생각된다. 아울러 본 연구에서는 3세 미만 중 얼마나 어린 환자에서 안전한 시술이 가능할 지에 대한 기준을 제시할 수는 없었으며 대상 환자의 대부분이 1세 이상이었음을 감안할 때 1세 미만의 영아에서는 별도의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

목적 : 심방중격결손의 기구 폐쇄술은 현재 소아 영역에서 수술을 대체할 치료법으로 광범위하게 사용되고 있으나 수술과 비교하였을 때 적절한 시행 시기는 명확하지 않다. 본 연구에서는 3세 미만의 심방중격결손 소아에서 기구 폐쇄술의 안전성, 효용성 및 임상 결과를 평가하여 시술을 시행하기에 적절한 시기를 알아보려고 하였다.

방법 : 2003년 5월부터 2005년 12월까지 연세대학교 의과대학 심장혈관병원 소아심장과에서 Amplatzer septal occluder (ASO)를 이용한 심방중격결손의 기구 폐쇄술을 시행 받은 환자 295명 중 3세 미만 소아 51명을 대상으로 하였다. 시술 소요 시간, 투시 검사 시간, 폐쇄 성공률, 잔류 단락율, 합병증의 종류 및 발생 빈도를 조사하였고, 기구 장착 전후의 체폐순환비, 폐동맥압, 우심실압을 측정하였으며 시술 후 1일, 1개월, 6개월, 12개월 및 이후 1년 간격으로 경흉부 심초음파를 시행하여 추적 관찰하였다.

결과 : 대상 환자의 75% (38/51)가 여자였으며, 시술 당시 연령은 2.0±0.6세, 체중은 11.8±1.7 kg, 심방 중격 결손의 크기는 16.6±3.6 mm, 이들의 체폐순환비는 2.4±0.9이었고, 기구 폐쇄술 시행 후 추적 관찰 기간은 19.8±6.4개월이었다. 시술의 폐쇄성공률은 98% (50/51), 소요 시간은 87.7±23.6분, 방사선 투시 시간은 31.8±14.7분이었으며 잔류 단락은 시술 후 24시간 뒤 51명중 7명 (15%)에서 관찰되었으나, 최종 추적 관찰 시에는 모두 폐쇄되었다. 폐쇄술 시행 전과 시행 직후의 체폐순환비는 2.4±0.9에서 1.4±0.3 ($P<0.001$)으로, 주폐동맥압은 28.4±6.4 mmHg에서 25.5±5.6 mmHg ($P=0.04$)로, 우심실압은 41.3±11.8 mmHg에서 32.6±7.9 mmHg ($P<0.001$)로 감소하였다. 대상 환자 중 2명에서 시술과 관련한 합병증이 있었으며 기구 이탈과 관련한 우심방 색전증 1예, 서혜부에 발생한 혈종 1예가 관찰되었다.

결론 : 심방중격결손 소아에서 ASO를 이용한 경피적 심방중격결손 폐쇄술은 3세 미만의 작은 소아에서 안전하고 효과적으로 시행할 수 있으며 더 성장하기까지 시술을 연기할 필요는 없는 것으로 생각된다. 작은 영아에서의 효용성과 안전성에 대해서는 더 광범위한 연구가 필요하다.

References

- 1) Benson LN, Freedom RM. Atrial septal defect. In: Freedom RM, Benson LN, Smalhorn JF, editors. Neonatal Heart Disease. London: Springer-Verlag, 1992:633-44.
- 2) Hoffman JE, Christianson R. Congenital heart disease in a cohort of 19,502 births with long term follow up. Am J Cardiol 1978;42:641-47.
- 3) King TD, Mills NL. Secundum atrial septal defects: non-operative closure during cardiac catheterization. JAMA 1974; 235:2506-9.
- 4) Fischer G, Stieh J, Uebing A, Hoffmann U, Morf G, Kramer HH. Experience with transcatheter closure of secundum atrial septal defects using the Amplatzer septal occluder: a single centre study in 236 consecutive patients. Heart 2003; 89:199-204.
- 5) Lock JE, Rome JJ, Davis R, Van Praagh S, Perry SB, Van Praagh R, et al. Transcatheter closure of atrial septal defects: experimental studies. Circulation 1989;79:1091-9.
- 6) Masura J, Gavora P, Formanek A, Hijazi ZM. Transcatheter closure of secundum atrial septal defects using the new self-centering Amplatzer septal occluder: initial human experience. Cathet Cardiovasc Diagn 1997;42:388-93.
- 7) Hijazi ZM, Cao Q, Patel HT, Rhodes J, Hanlon KM. Transesophageal echocardiographic results of catheter closure of atrial septal defect in children and adults using the Amplatzer device. Am J Cardiol 2000;85:1387-90.
- 8) Roos-Hesselink JW, Meijboom FJ, Spitaels SE, Van Domburg R, Van Rijen EH, Utens EM, et al. Excellent survival and low incidence of arrhythmias, stroke and heart failure long term after surgical ASD closure at young age (a prospective follow up study of 21-33 years). Eur Heart J 2003;24:190-7.

- 9) Veldtman GR, Razaack V, Siu S, El-Haii H, Walker F, Webb GD, *et al.* Right ventricular form and function after percutaneous atrial septal defect device closure. *J Am Coll Cardiol* 2001;37:2108-13.
- 10) Kort HW, Balzer DT, Johnson MC. Resolution of right heart enlargement after closure of secundum atrial septal defect with transcatheter technique. *J Am Coll Cardiol* 2001; 38:1528-32.
- 11) Choi JY. Recent advances in transcatheter treatment of congenital heart disease. *Korean J Pediatr* 2006;49:917-29.
- 12) Murphy JG, Gersh BJ, McGoon MD, Mair DD, Porter CJ, Ilstrup DM, *et al.* Long term outcome after surgical repair of isolated atrial septal defect: follow up at 27 to 32 years. *N Engl J Med* 1990;323:1645-50.
- 13) Berger F, Ewert P, Bjornstad PG, Dahnert I, Krings G, Brilla-Austenat I, *et al.* Transcatheter closure as standard treatment for most interatrial defects: experience in 200 patients treated with the Amplatzer septal occluder. *Cardiol Young* 1999;9:468-73.
- 14) Kalmar P, Irrgang E. Cardiac surgery in the Federal Republic of Germany during 1990: a report by the German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery. *Thorac Cardiovasc Surg* 1991;39:167-9.
- 15) Galal MO, Wobst A, Halees Z. Peri-operative complications following surgical closure of atrial septal defect type II in 232 patients: a baseline study. *Eur Heart J* 1994;15:1381-4.
- 16) Prieto LR, Foreman CK, Cheatham JP, Latson LA. Intermediate-term outcome of transcatheter secundum atrial septal defect closure using the Bard Clamshell septal umbrella. *Am J Cardiol* 1996;78:1310-2.
- 17) King TD, Thompson SL, Steiner C, Mills NL. Secundum atrial septal defect. Nonoperative closure during cardiac catheterization. *JAMA* 1976;235:2506-9.
- 18) Butera G, De Rosa G, Chessa M, Rosti L, Negura DG, Luciane P, *et al.* Transcatheter closure of atrial septal defect in young children: results and follow up. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:241-45.
- 19) Thomson JD, Aburawi EH, Watterson KG, Van Doorn C, Gibbs JL. Surgical and transcatheter (Amplatzer) closure of atrial septal defect: a prospective comparison of results and cost. *Heart* 2002;87:466-69.
- 20) Berger F, Vogel M, Alexi-Meskishvili V, Lange PE. Comparison of results and complications of surgical and Amplatzer device closure of atrial septal defects. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999;118:674-8.
- 21) McMahon CJ, Feltz TF, Fraley JK, Bricker JT, Grifka RG, Tortoriello TA, *et al.* Natural history of growth of secundum atrial septal defects and implications for transcatheter closure. *Heart* 2002;87:256-9.
- 22) Andreas H, Ulrich P, Ulrike SM, Susanne GP, Christoph M. Predictors of spontaneous closure of isolated secundum atrial septal defect in children: A longitudinal study. *Pediatrics* 2006;118:1560-5.
- 23) Mayer JE. Atrial septal defect. In: Castaneda AR, Jonas RA, Mayer JE, Hanley FL, editors. *Cardiac Surgery of the Neonate and Infants*. Philadelphia: WB Saunders Co, 1994: 143-50.
- 24) Cardenas L, Panzer J, Boshoff D, Malekzadeh-Milani S, Ovaert C. Transcatheter closure of secundum atrial defect in small children. *Cathet Cardiovasc Intervent* 2007;69:447-52.
- 25) Hijazi ZM, Celiker A. Closure of atrial septal defects. *Anadolu Kardiyol Derg* 2005;5:331.
- 26) Holzer R, Hijazi ZM. Interventional approach to congenital heart disease. *Curr Opin Cardiol* 2004;19:84-90.
- 27) Butera G, Carminati M, Chessa M, Youssef R, Drago M, Giamberti A, *et al.* Percutaneous versus surgical closure of secundum atrial septal defect: comparison of early results and complications. *Am Heart J* 2006;151:228-34.
- 28) Bialkowski J, Karwot B, Szkutnik M, Sredniawa B, Chodor B, Zeifert B, *et al.* Comparison of heart rate variability between surgical and interventional closure of atrial septal defect in children. *Am J Cardiol* 2003;92:356-8.
- 29) Kim NY, Kwon HJ, Choi DY, Jung MJ, Choi CH, Kim SH. Closure of secundum atrial septal defect: comparison between percutaneous and surgical occlusion. *Korean J Pediatr* 2007;50: 469-75.
- 30) Apitz C, Ambrock C, Roller R, Kaulitz R, Sieverding L, Schmelz M, *et al.* Bacterial endocarditis of a recanalized Waterston-Cooley anastomosis: Interventional transcatheter occlusion with an Amplatzer-ASD occluder. *Clin Res Cardiol* 2007;96:51-5.
- 31) Krumsdorf U, Ostermayer S, Billinger K, Trepels T, Zadan E, Horvath K, *et al.* Incidence and clinical course of thrombus formation on atrial septal defect and patent foramen closure devices in 1,000 consecutive patients. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:302-9.
- 32) Jea SJ, Kwon HJ, Jang GY, Lee JY, Kim SJ, Son CS, *et al.* Complications of transcatheter closure of atrial septal defects using the amplatzer septal occluder. *Korean J Pediatr* 2008; 51:401-8.
- 33) Chan KC, Godman MJ, Walsh K, Wilson N, Redington A, Gibbs JL. Transcatheter closure of atrial septal defect and interatrial communications with a new self expanding nitinol double disc device (Amplatzer septal occluder): multicentre UK experience. *Heart* 1999;82:300-6.
- 34) Rome JJ. Pediatric interventional catheterization: reasonable exceptions and outcomes. *Pediatr Clin North Am* 2004;51: 1589-610.
- 35) Divekar A, Gaamangwe T, Shaikh N, Raabe M, Ducas J. Cardiac perforation after device closure of atrial septal defects with the Amplatzer septal occluder. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:1213-8.
- 36) Amin Z, Hijazi ZM, Bass JL, Cheatham JP, Hellenbrand WE, Kleinman CS. Erosion of Amplatzer septal occluder device after closure of secundum atrial septal defects: review of registry of complications and recommendations to minimize future risk. *Catheter Cardiovasc Interv* 2004;63:496-502.
- 37) Meijboom F, Hess J, Szatmari A, Utents EM, McGhie J, Deckers JW, *et al.* Long-term follow-up (9 to 20 years) after surgical closure of atrial septal defect at a young age. *Am J Cardiol* 1993;72:1431-4.