

폐동맥 분지협착에 스텐트 삽입 후 유발되는 폐동맥의 형태변화 - 폐동맥 폐쇄 부전의 역할 -

연세대학교 의과대학 심장혈관병원 소아심장과, 심혈관 연구소

김미진 · 강두철 · 최재영 · 이종균 · 설준희 · 이승규

Morphologic Changes of the Pulmonary Arteries after Stent Implantation on Branch Pulmonary Artery Stenosis - Impact of Pulmonary Insufficiency -

Me Jin Kim, M.D., Du Cheol Kang, M.D., Jae Young Choi, M.D.
Jong Kyun Lee, M.D., Jun Hee Sul, M.D. and Sung Kyu Lee, M.D.

*Division of Pediatric Cardiology, Yonsei Cardiovascular Hospital and
Cardiovascular Research Institute, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea*

Purpose : Intravascular stent implantation for the treatment of postoperative branch pulmonary artery(PA) stenosis has been used successfully. However, the cross sectional area of contralateral branch PA does not regress in spite of the successful dilation of the stenotic branch PA after stent implantation. We analyzed the morphologic and hemodynamic factors on the size of branch PA after successful stent implantation.

Methods : The subjects in our study were 23 children who had undergone stent implantaion from Jan. 1995 to Jul. 2002 in the Division of Yonsei Pediatric Cardiology. We evaluated the cross sectional area index(CSAI) of branch PA before and after stent implantation at follow-up catheterization. We also investigated factors such as residual pulmonary stenosis, pulmonary regurgitation(PR), systolic pressure of right ventricle, and lung perfusion scan.

Results : The CSAI of the RPA without stenosis changed from mean $238 \pm 17 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ to mean $249 \pm 20 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ ($P=0.47$), but didn't regress. The CSAI of the LPA with stenosis was increased effectively by stent implantation from the mean $102 \pm 12 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ to mean $125 \pm 11 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ ($P < 0.05$). At follow up after stent implantation, the CSAI of PA is correlated with the residual PR fraction after stent implantation.

Conclusion : In a group with increased residual PR, CSAI of RPA was found to be significantly increased between the pre- and post-stages of stent implantation. So, we suspect that the pulmonary regurgitation remaining after right ventricle outlet tract(RVOT) dilatation surgery is correlated with the increase in CSAI of RPA. (*J Korean Pediatr Soc* 2003;46:67-75)

Key Words : Branch pulmonary artery stenosis, Stent implantation, Pulmonary regurgitation

서 론

폐동맥 분지협착은 활로 4징 혹은 그 변형인 폐동맥 폐쇄 등의 선천성 심질환에서 수술 전, 후에 흔히 유발될 수 있는 병변이며¹⁾, 활로 4징의 교정 수술을 시행받은 환아에서 재수술을 하게 되는 가장 흔한 원인 중의 하나이기도 하다²⁾. 한편 활로 4징

의 교정 수술 후에 심한 폐동맥 폐쇄부전과 중등도 이상의 폐동맥 협착이 잔존할 경우 우심실 용적 및 압력의 과부하가 우심실의 기능부전을 유발할 가능성이 있어 이에 대한 적극적인 치료가 필요하다.

폐동맥 분지협착의 경우 수술시 첩포(patch)를 이용한 확장술을 시행하는데 추적 조사시 협착이 재발하는 경우가 많이 있고, 개심술에 따른 위험부담이 높다. 반면에 최근에 시행되고 있는 풍선 혈관확장술(balloon dilatation)이나 혈관내 스텐트(stent) 삽입술은 비수술적인 시술로 심도자실에서 시행할 수 있고, 그 결과도 매우 양호하다. 하지만 폐동맥 폐쇄부전의 치료는 아직

접수 : 2002년 9월 19일, 승인 : 2002년 10월 26일
책임저자 : 이종균, 연세의대 심장혈관병원 소아심장과
Tel : 02)361-7087 Fax : 02)312-9538
E-mail : jklee2@yumc.yonsei.ac.kr

개심술에 의존할 수밖에 없고, 교정수술시 우심실 유출로 확장과 함께 Goretex막을 이용하여 폐동맥 판막을 형성하여 수술 후 유발되는 폐동맥 폐쇄부전을 줄이려는 시도를 하고 있으며, 최근에는 폐동맥 동종이식술(pulmonary homograft)을 시행하고 있다.

활로 4징과 같이 우심실 유출로 확장이 필수적인 선천성 심질환의 경우 정도의 차이가 있기는 하지만 폐동맥 폐쇄부전이 잔존하여 우심실 용적 과부하를 유발할 수밖에 없고, 폐동맥 분지협착이 동시에 병발될 경우에 협착부측은 폐혈류의 제한에 의해 폐동맥 발육부전이 유발될 수 있고, 반대측은 상대적으로 증가된 폐혈류에 의하여 폐동맥의 확장 및 울혈이 유발된다. 그러므로 이런 경우 폐동맥의 혈액학 및 형태 변화를 정상화시키는 것이 장기적인 수술 후 예후를 향상시키는데 필수적인 것이다. 최근에 시행되고 있는 폐동맥의 스텐트 삽입은 시술 즉시 폐동맥의 크기를 확장시킬 수 있는 획기적 치료법³⁾이고 추적결과도 매우 양호하지만 시술 후 폐동맥의 형태변화에 대한 연구결과는 미미하며, 특히 잔존하는 폐동맥 폐쇄부전이 시술 후 폐동맥의 형태에 미치는 영향에 대한 연구는 아직 없다. 이에 저자들은 수술 후 잔존하는 폐동맥 분지협착에 스텐트 삽입 후 추적 심도자 검사 및 심혈관 조영술을 시행한 23례의 환아를 대상으로 스텐트 삽입 후 유발되는 폐동맥의 혈류 및 형태변화를 조사하고, 잔존하는 폐동맥 협착 및 폐쇄부전 등의 혈액학적 변화가 폐동맥의 형태변화에 미치는 영향을 분석하였다.

대상 및 방법

1995년 1월부터 2002년 7월까지 연세대학교 심장혈관병원 소아심장과에서 수술 후 잔존하는 폐동맥 분지협착이 있어 경피적 혈관내 스텐트 삽입을 시행받고, 추적 심도자 검사를 시행한 환아 23례를 대상으로 하였다. 대상환아는 활로 4징의 교정술 13례와 그 변형인 폐동맥 폐쇄 혹은 양대혈관 우실기기로 우심실-폐동맥간 도관삽입술 8례(REV 수술 2례 포함)이었으며 대혈관 전위로 동맥치환술 및 동맥관 개존으로 동맥관 결찰술을 시행 받은 환아가 각각 1례이었다(Table 1). 환아들은 교정수술 후 평균 64개월간 외래 추적 관찰 중 1) 이면성 심초음파 검사에서 폐동맥 분지협착이 관찰되고 도플러 검사에서 의미있는 압력차(20 mmHg 이상)가 측정되거나, 2) 폐관류 검사에서 협착부측(ipsilateral)의 폐관류량이 전체 폐혈류에 대한 비율이 0.25 이하일 때, 혹은 3) 폐동맥 혈관 조영술을 시행했을 때 폐동맥 분지협착 소견이 뚜렷이 관찰될 경우 스텐트를 삽입하였다. 모든 대상 환아들은 스텐트 삽입 전후와 추적 심도자 검사 시에 심초음파 검사 및 폐관류 검사를 동시에 시행하였다.

심도자 검사는 Optimus 200 양면 X-선 발생기(Philips Medical System, Netherlands)를 사용하여 시행하였고, 심혈관 조영술시 조영제는 Optiray(Mallinkrodt Medical Inc., Quebec, Canada) 1-2 mL/kg를 자동주입기를 이용하여 1-2초에 걸쳐서 주입하였다. 스텐트 삽입시 예방적 항생제를 환아에게 정맥으로

투여하였고, 10세 미만인 환아나 의료인과 협조가 잘 이루어지지 않는 환아는 생체 징후를 관찰하면서 ketamine을 정맥 주사하여 진정시키고 심도자 검사를 시행하였다. 심실 및 협착부를 포함한 폐동맥 각 부위에서 압력과 산소포화도 등의 혈액학적 검사 후 심혈관 조영술을 시행하여 1) 협착부의 위치 확인과 최소직경 측정, 2) 협착 원위부의 폐동맥 직경 측정 및 3) 말초 폐동맥 분지의 순환양상을 확인하여 부수적인 협착과 단절 및 혈전 형성 여부를 확인하였다. 스텐트 삽입은 이미 잘 정립되어 있는 표준방법³⁾을 사용하였고, 스텐트 삽입 후 시술 중 사용하였던 유도 철선(guiding wire)을 유지한 상태로 guiding catheter를 스텐트 근위부에 위치시킨 후 폐동맥 조영술을 다시 시행하여 스텐트의 삽입부위 및 협착부의 확장결과를 확인하였다. 시술 후 혈소판과 혈전응고를 예방하기 위하여 24시간 동안 헤파린(100 unit/kg)을 연속해서 정주하였으며, 이후 6-12개월간 아스피린(5 mg/kg)을 경구투여 하였다.

좌우 폐동맥 직경은 폐동맥 조영술 결과 수축기의 최대직경과 이완기최소직경의 평균치로 하였고, 측정부위는 양측의 상하엽지(upper, lower lobar branch)로 갈라지는 근위부에서 측정하였다. 측정한 좌우 폐동맥 크기는 Nakata 등⁴⁾이 폐동맥의 단면적을 양적으로 표준화하기 위하여 제시한 지수인 체표면적 당 폐동맥 단면적의 비(cross-sectional area index, CSAI)를 구하여 폐동맥지수로 비교분석 하였다.

폐동맥 폐쇄부전의 양적 분석은 심초음파 검사에서 좌측 흉골 연 단축상(parasternal short axis view)에서 폐동맥 판막을 중심으로 연속파(continuous wave) 도플러 검사를 시행하여 심장주기 당 심실이완기에 폐동맥에서 우심실로 향하는 역행성(retrograde) 혈류의 속도파형 면적(폐동맥 역류)과 심실수축기에 우심실에서 폐동맥을 향하는 전향성(antegrade) 혈류의 속도파형 면적(우심실 박출)을 각각 velocity time integral(VTI)로 산

Table 1. Diagnoses and Previous Surgical Intervention(n=23)

Diagnosis	Cases	Operation name	Cases
TOF*	13	RVOT [†] augmentation to LPA	7
		with Lt. BT [‡] shunt	3
		RVOT augmentation to MPA	6
		with Lt. BT shunt	1
DORV [§]	2	RVOT augmentation to LPA	1
		with Lt. BT shunt	1
		RV to PA conduit	1
PA/VSD	6	RV to PA conduit	5
		with Lt BT shunt	2
		with Bilateral BT shunt	2
		RVOT augmentation to MPA	1
TGA [¶]	1	Arterial switch operation	1
PDA ^{**}	1	Ligation	1

Data are presented as number of patients
 *tetralogy of Fallot, [†]right ventricular outlet tract, [‡]Blalock Tausiig shunt, [§]double outlet of right ventricle, ^{||}pulmonary artesia with ventricular septal defect, [¶]transposition of great artery, ^{**}patent of ductus arteriosus

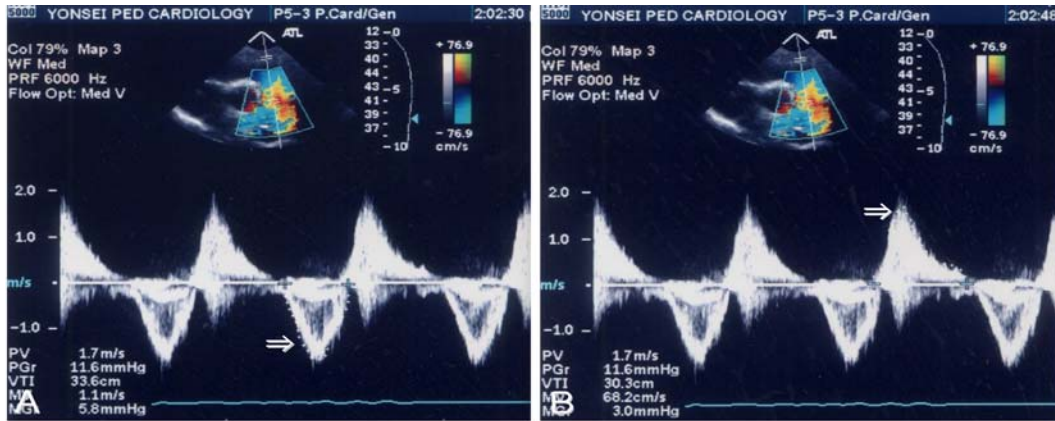


Fig. 1. Doppler echocardiogram on left parasternal short axis view shows velocity time integral of pulmonary flow by the planimetry. An arrow on (A) shows antegrade pulmonary blood flow, (B) shows retrograde pulmonary regurgitation flow.

출하였는데, 연속한 3개의 심장주기에서 각각 산출한 측정치의 평균값으로 표시하였다(Fig. 1). 폐동맥 폐쇄부전의 정도를 표시하기 위하여 우심실 박출에 대한 폐동맥 역류의 면적을 백분율로 구하여 이를 폐동맥 폐쇄부전의 역류 분율(pulmonary regurgitatory fraction, PR fraction)로 하였다. 스텐트 삽입 후에 잔존한 폐동맥 폐쇄부전 역류 분율의 변화 정도를 구하여, 23례의 표준오차를 기준으로 1 표준오차보다 감소한 군(1군; 10례), 증감폭이 1 표준오차 이내의 군(2군; 6례) 및 1 표준오차보다 증가한 군(3군; 7례)으로 구분하였다.

중등도나 심한 폐동맥 부전이 있는 환자들에서는 협착이 있던 분지 폐동맥에 대한 스텐트 삽입의 효과를 객관적이고 정량적으로 측정하기 어려울 수 있기 때문에⁵⁾ 폐관류 검사를 시행하여 협착측 폐관류량을 전체에 대한 비율의 값을 비교하였다.

측정치는 평균(mean)±표준오차(standard error of mean)로 표시하고 통계적 분석 방법으로는 ANOVA, paired T-test, correlation analysis, regression analysis를 시행하였으며, P<0.05를 통계적 유의수준으로 하였다.

결 과

1. 대상 환자의 임상적 특징

잔존 폐동맥 분지협착의 가능한 원인으로 동반 심질환 및 수술방법과의 연관관계를 분석할 때 교정수술 전에 이미 좌폐동맥 분지협착이 있어 폐동맥 확장 혹은 경관류 침포 확장술(transannular patch enlargement)을 좌폐동맥 분지까지 연장하여 확장시킨 예가 8례 있었다. 대상환자 중 초기진단 시 동맥관개준이 동반된 경우가 13례 있었고, 수술 전에 이미 좌폐동맥의 전반적인 발육부전이나 기시부 협착이 동반된 환자가 8례 있었다. 또한 일차적으로 변형 Blalock-Tausig 단락수술을 시행받은 환자가 총 9례(좌측 7례 및 양측 2례)로 대부분의 환자에서 이미 교정수술 전부터 폐동맥 분지협착 혹은 발육부전을 유발할 위험

Table 2. Demographic Data

Sex(Male/Female)	13/10
Age at corrective surgery(mo [*])	34±8.3(13; 3-161)
Age at stent implantation(mo)	74±11(66; 11-239)
Follow-up duration	10±1(9; 5-22)
after stent implantation(mo)	
BSA [†] at stent implantation(mm ²)	0.75±0.07(0.70; 0.33-1.72)
BSA at F/U	0.81±0.07(0.77; 0.35-1.73)
after stent implantation(mm ²)	

*mo : months, †BSA : body surface area
mean±SEM(median; range)

Table 3. Technical Procedure and Type of Stents Implantation

Method of stent implantation(n=23)	
Transcatheter	20
Intraoperative	3
Type of stent (n=23)	
P [*] -308	9
P-188	11
PS [†] -204	1
P-308+P-188	1 [†]
Jostent [§]	1

* Palmaz stent

[†]Palmaz-Schatz stent by Johnson and Johnson Interventional System Co, NJ, USA

[‡]First P-308 stent was migrated into the distal PA and 2nd P-188 was implanted

[§]Jostent by JOMED GmbH, Germany

이 높았다(Table 1). 대상 환자들은 생후 34±8개월에 선천성 심기형의 교정 수술시행 후 잔존 폐동맥 분지협착으로 74±11개월에 스텐트 삽입을 시행 받았으며, 스텐트 삽입 후 5개월에서 22개월(평균 10±1개월) 경과 후 추적 심도자 검사를 시행하였다(Table 2).

2. 폐동맥 분지협착의 스텐트 삽입 결과

심도자를 이용하여 경피적으로 스텐트 삽입한 경우가 20례이 있으며, 나머지 3례는 수술 중 시술하였다. 23례의 환아를 대상으로 24개의 스텐트가 삽입되었다. 사용된 스텐트는 balloon expandable Palmaz stent(Johnson & Johnson International System, USA)에서 제작한 P-188이 11례, P-308이 9례, PS-204 1례 및 Jostent(JOMED GmbH, Germany)가 1례에서 사용되었으며, 모든 예에서 좌폐동맥 분지협착 부위에 삽입되었다 (Table 3).

3례의 환아에서 스텐트의 이주가 유발되었는데, 1례에서는 경

피적 스텐트 삽입 도중 스텐트가 원위부로 이주되어 이주된 스텐트는 의도적으로 원위부에 위치시키고, 추가로 스텐트 1개를 더 삽입한 경우가 있었다. 또한 1례는 경피적 스텐트 삽입 후 시술 당일 우심실로 스텐트가 이주되어 스텐트 제거 수술을 시행과 함께 제거한 스텐트를 수술 중에 다시 삽입하였다. 나머지 1례는 PS-204 스텐트를 반으로 분리하여 수술 중 스텐트를 삽입을 한 경우로 스텐트 확장 후 풍선도자를 제거하는 과정에 스텐트가 협착부의 원위부로 이동하여, 나머지 반으로 재삽입한 환아이다. 시술 직후 모든 환아는 단순 흉부 X-선 검사로 스텐트의 위치 및 폐부종 여부를 확인하였으며, 심초음파 검사 및 폐관류 검사를 시행후 퇴원한 후 중대한 합병증 없이 외래를 통하여 추적 관찰하였다. 추적 관찰 중 항응고제의 장기 투여로 인한 혈액 응고 장애나 뇌혈관 장애 등은 본 저자들의 경험에서는 관찰되지 않았다(Table 4).

Table 4. Pitfalls of Stent Implantation Procedure

Stent migration	3 cases*
To LPA	2 cases
To RV	1 case
Excessive protrusion	2 cases†
To MPA	
Restenosis	1 case
Poor lung perfusion	1 case
Thrombosis prevention	
Aspirin	21 cases
Coumadin	2 cases

*intraoperative 1 cases & transcatheter 2 case respectively

†protrusion during ballooning

3. 스텐트 삽입 후 폐동맥의 형태변화

좌폐동맥지수는 스텐트 삽입 전 평균 102±12 mm²/BSA에서 삽입 후 추적 검사시 125±11 mm²/BSA로 유의하게 증가하였으며(P=0.001), 협착이 없었던 우폐동맥지수는 스텐트 삽입 전 평균 238±17 mm²/BSA에서 추적 검사시 249±20 mm²/BSA로 유의한 차이가 없었다. 또한 양측 폐동맥지수의 합도 스텐트 삽입 전 340±21 mm²/BSA에서 추적 검사시 374±26 mm²/BSA로 증가하는 경향이 있었지만 통계적으로 유의한 차이는 없

Table 5. Comparison of Pulmonary Artery Cross Sectional Area According to the Grade of Pulmonary Regurgitation Fractional Changes

Parameter	Severity of PR fractional changes			Total	P [†]
	Group 1 Z-score<-1	Group 2 -1≤Z-score≤+1	Group 3 +1<Z-score		
No. of patients	10	6	7	23	
Ipsilateral to both ratio of LPS [‡]					
pre-stent	0.23±0.02	0.29±0.03	0.28±0.04	0.26±0.02	NS
F/U after stent	0.39±0.03	0.43±0.03	0.47±0.03	0.41±0.02	NS
P [*]	0.002	0.022	0.001	0.000	
RPA [§] (mm ² /BSA ^{††})					
pre-stent	233±26	220±41	260±23	238±17	NS
F/U after stent	221±21	207±39	325±33	249±20	0.047 [‡]
P [*]	0.612	0.276	0.041	0.474	
LPA ^{**} (mm ² /BSA)					
pre-stent	89±10	96±24	125±30	102±12	NS
F/U after stent	102±11	127±22	155±24	125±11	NS
P [*]	0.017	0.076	0.137	0.001	
RPA+LPA(mm ² /BSA)					
pre-stent	322±27	315±54	385±33	340±21	NS
F/U after stent	323±29	334±48	480±41	374±26	0.016 [§]
P [*]	0.981	0.385	0.054	0.090	

Group 1 includes cases with pulmonary regurgitation fractional changes decreased more than 1 SEM and group 2 includes cases decreased less than 1 SEM and increased less than 1 SEM

Group 3 includes cases with pulmonary regurgitation fractional changes increased more than 1 SEM

*Pre-stent vs follow up after stent value, †among groups, ‡0.047 between group 1 and 3, 0.047 between group 2 and 3, §0.016 between group 1 and 3, ‡lung perfusion scan, §right pulmonary artery, **left pulmonary artery, ††body surface area

었다(Table 5). 대상환아들의 스텐트 삽입 전과 추적 조사시 폐동맥지수의 변화를 보면 Fig. 2와 같다. 우심실의 수축기 압력은 스텐트 삽입 전 62 ± 5 mmHg에서 추적 조사시 64 ± 5 mmHg로 좌폐동맥의 협착여부에 관계없이 감소하지 않았으며, 좌심실 수축기 압력에 대한 우심실 수축기 압력비도 유의한 차이가 없었다.

폐동맥협착에 대한 스텐트 삽입효과를 정량적으로 분석하기 위한 폐관류 검사 결과 협착이 있던 좌폐관류량의 전체에 대한 비는 스텐트 삽입 전에 0.26 ± 0.02 에서 삽입 직후 0.41 ± 0.02 및 추적 검사시 0.38 ± 0.01 로 유의한 증가가 지속되었다($P=0.000$) (Table 5).

4. 스텐트 삽입 후 폐동맥 폐쇄부전의 역류 분을 변화가 폐동맥 지수에 미치는 영향

도플러 심초음파 검사로 측정한 폐동맥 폐쇄부전의 역류 분율은 스텐트 삽입 전 $50 \pm 5\%$ 에서 추적 검사시 $46 \pm 5\%$ 로 삽입 전에 비해 $4 \pm 4\%$ 감소하였으나 유의한 감소량은 아니었다.

스텐트 삽입전의 역류 분율을 기준으로 한 추적 검사시 역류 분율 증감 정도에 따른 분류 시 우폐동맥지수가 1군 및 2군은 스텐트 삽입 전, 후에 유의한 차이가 없었지만 3군은 삽입 전 260 ± 23 mm²/BSA에서 추적검사시 325 ± 33 mm²/BSA으로 유의하게 증가하였다($P=0.041$). 또한 스텐트 삽입 전에는 각 군간에 유의한 차이가 없었지만, 추적 검사시 3군은 다른군에 비해 유의하게 증가하여($P=0.047$), 스텐트 삽입 후 폐동맥 폐쇄부전

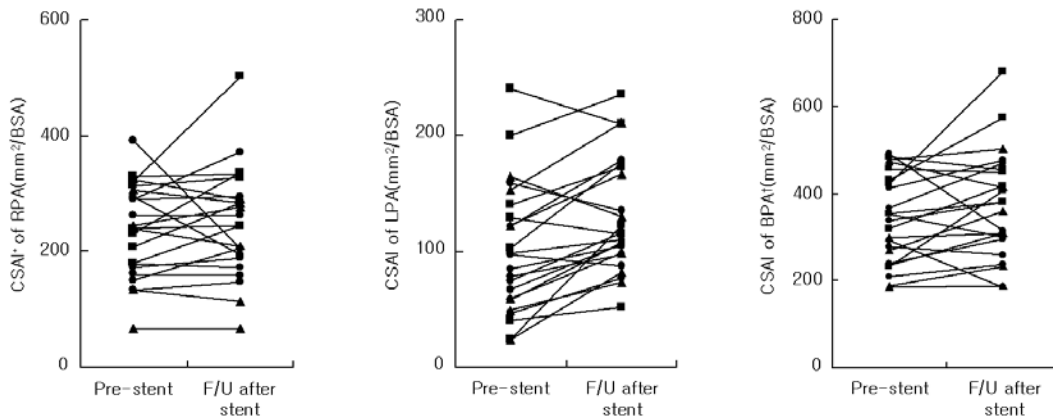


Fig. 2. Changes of the cross sectional area index of branch pulmonary artery between pre-stent and follow up after stent implantation according to grade of pulmonary regurgitatonal fraction changes(n=23). *cross sectional index, †BPA : both pulmonary arteries(RPA+LPA).

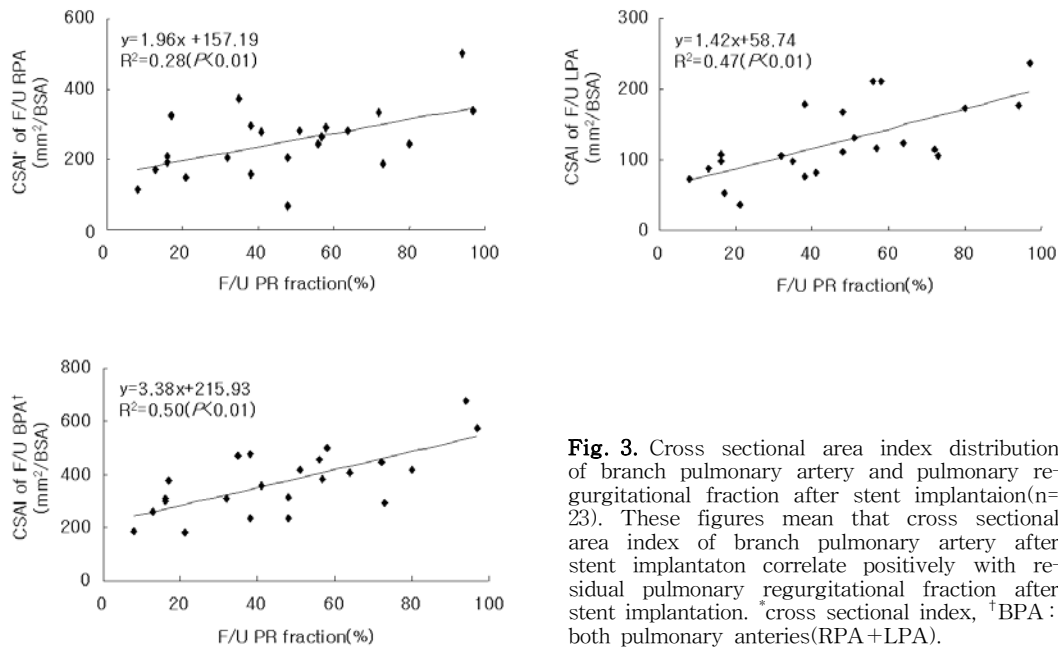


Fig. 3. Cross sectional area index distribution of branch pulmonary artery and pulmonary regurgitatonal fraction after stent implantaion(n=23). These figures mean that cross sectional area index of branch pulmonary artery after stent implantaton correlate positively with residual pulmonary regurgitatonal fraction after stent implantation. *cross sectional index, †BPA : both pulmonary arteries(RPA+LPA).

이 증가할수록 우폐동맥이 확장되는 양상을 보였다(Fig. 2). 좌 폐동맥은 각 군 모두에서 스텐트 삽입 후 폐동맥지수가 증가하였으나, 1군에서만 유의하였다. 각 구간 비교시에는 폐동맥 폐쇄 부전이 증가할수록 폐동맥지수가 증가하는 양상이 있었으나 유의한 차이가 없는 것으로 보아 좌폐동맥이 확장된 것은 스텐트 삽입이 협착부위를 직접 확장하여 폐혈류가 증가된 것에 기인한 것이지 폐동맥폐쇄부전의 역류 분을 증감이 일차적 요인은 아니었다. 또한 양측 폐동맥지수의 합도 각 군에서 폐동맥 폐쇄부전의 역류 분율이 증가할수록 증가하는 양상을 보였지만 3군에서만 삽입 전 $385 \pm 33 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ 에서 추적 검사시 $480 \pm 41 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ 로 거의 유의하게 증가하였으나($P=0.054$), 각 구간 비교시도 스텐트 삽입 전에는 유의한 차이가 없었고, 추적 검사시 3군만 1군에 비해 유의하게 증가하였다($P=0.016$)(Table 5).

폐동맥 분지협착으로 스텐트 삽입 후 추적 검사시 폐동맥 폐쇄부전의 정도가 폐동맥지수에 미치는 상관 관계를 분석해 보면, 좌·우폐동맥 모두 폐동맥 폐쇄부전이 심할수록 폐동맥지수가 증가하여 유의한 양의 상관 관계를 가지고(좌폐동맥; $r=0.69$, $P<0.01$ 및 우폐동맥; $r=0.53$, $P<0.01$), 회귀 분석상으로도 유의한 관계를 보였다. 또한 양측폐동맥 지수의 합도 유의한 양의 상관 관계($r=0.71$, $P<0.01$)를 보여 폐동맥 폐쇄부전의 정도가 스텐트 삽입 후 추적 조사시 폐동맥지수의 증가에 영향을 미치는 중요한 요인이었다(Fig. 3).

고 찰

선천성 심질환에서 혈관의 폐쇄성 병변은 크게 협착성(stenotic 혹은 discrete)과 저형성(hypoplastic 혹은 diffuse)으로 나누고, 이러한 병변들은 활로 4정의 폐동맥 협착이나 저형성, 대동맥 축착처럼 대동맥의 협착 등과 같이 선천적으로 폐순환 및 전신 순환에서 발생할 수 있고, 교정 수술 이후에 후천적으로도 발생할 수 있다^{6, 7}. 특히 활로 4정에서는 수술 전 혹은 수술 후에 폐동맥의 분지 협착을 흔히 관찰할 수 있는데⁸, 이는 활로 4정의 교정수술 후에 재수술을 하게 되는 가장 흔한 요인이다⁹. 활로 4정에서 폐동맥 분지협착의 발생은 본래의 저형성된 분지 폐동맥⁹, 동맥관 조직이 좌폐동맥으로 이동하여 출생 후 동맥관 수축시 좌폐동맥의 협착 유발¹⁰, 체-폐동맥 단락 수술 후 단락의 문합부 왜곡(distortion)으로 인한 협착 혹은 우심실-폐동맥 도관 문합 부위의 협착 등에 의하여 발생한다¹¹. 이러한 폐동맥 분지 협착을 교정하기 위하여 수술시 우심실 유출로에 경관륜 침포(transannular patch)를 분지 협착이 있는 부위까지 확장하게 되나, 수술 후에도 계속 폐동맥 분지 협착이 잔존하는 경우가 많으며, 경관륜 침포 확장에 의하여 불가피하게 폐동맥 폐쇄 부전까지 잔존하게 된다¹². 수술 후 잔존하는 폐동맥 폐쇄부전은 다른 혈액학적 이상이 없는 경우에 초기 수년간은 우심실 수축 기압이 지나치게 높지 않다면 큰 문제를 일으키지 않는 것으로 알려져 있으나, 장기적으로 볼 때 우심실 확장기 이완에 악영향

을 주고 우심실의 제한 생리를 유발하여 우심실의 기능 부전을 유발할 것으로 보인다¹³.

최근 폐동맥 분지 협착의 발생과 폐동맥 폐쇄부전과의 연관성을 연구한 McElhinney 등⁸은 활로 4정의 수술시 경관륜 침포에 의해 폐동맥 역류가 발생하고, 이로 인해 우심실 유출로가 길고 넓게 확장되는 현상을 보고하였다. 이 결과 우심실 유출로의 축이 좌측으로 회전 이동함으로써 주폐동맥과 좌폐동맥이 이루는 각도가 정상적인 둔각에서 예각으로 변하게 되고, 이때 발생하는 예각은 좌폐동맥 분지부를 더욱 좁게 만들어 꼬임(kinking)을 유발하게 된다. 이러한 요소들은 서로 양성 되먹이기(positive feedback) 기전에 의해 더욱 악화되게 되어, 결국 폐동맥 폐쇄부전이 심할수록 좌폐동맥의 꼬임에 의한 협착은 심해지고, 그 꼬임은 폐동맥 부전을 더 악화시키게 된다. 최근에는 이러한 폐동맥 폐쇄부전의 문제점을 해결하기 위하여 우심실 확장시 monocusp valve를 만들어 삽입하거나 가능한 경우 동종 이식판막(valved homograft)을 사용하여 확장기 역류성 흐름을 줄임으로써 우심실 용적감소 및 기능부전을 막으려는 시도를 하고 있다. 하지만 이 경우에도 수술 후 잔존하는 폐동맥 폐쇄부전의 정도를 후향적으로 비교해 보았을 때, 폐동맥 분지협착이 심하게 있을수록 폐동맥 폐쇄부전이 심한 것을 관찰하였는데, 이는 원위부 폐색으로 인한 과도한 혈액학적 과부하량에 의해 관막 부전이 이차적으로 심해지게 된다^{5, 14}.

결론적으로 폐동맥 분지협착과 폐동맥 폐쇄부전 및 이에 따른 우심실 기능부전은 서로 밀접한 관계를 가지게 되는데, 결국 폐동맥 분지 협착은 폐동맥 폐쇄부전을 악화시키고 우심실 후부하를 증가시켜 우심실 확장 및 기능부전을 야기하고, 부정맥, 급사까지도 유발할 수 있으며^{15, 16}, 이차적 폐순환 장애에 의하여 스트레스 상황시에 적절히 폐혈류를 증가시킬 수 있는 능력을 저하시켜 결국 가스 교환 장애를 일으켜 저산소증을 일으킨다¹⁷. 이러한 관점에서 볼 때 악순환으로 이어지는 폐동맥 분지협착과 폐동맥 폐쇄부전의 교정이야말로 우심실 기능부전을 예방할 수 있어 활로 4정의 수술 후 장기 예후를 향상시킬 수 있게 되므로 해부학적 교정이 아닌 잔존하는 혈액학적 이상까지 최소화 할 수 있는 기능적 교정을 수술의 목표로 해야 한다. 그러나 폐동맥 분지협착의 경우 수술시 침포(patch)를 이용한 확장술을 시행하는데 추적조사시 협착이 재발하는 경우가 매우 높고, 전신 마취, 심폐기 사용에 따른 순환정지 등 개심술에 따른 위험부담이 높다¹⁸⁻²¹. 이러한 위험성을 고려하여 볼 때, 최근에는 풍선 혈관확장술과 혈관내 스텐트 삽입술 등의 비수술적 치료로 그 방향이 바뀌고 있으며, 확장 즉시 혈액학적 개선이 이루어지는 등 시술 결과도 매우 우수하다¹. Chaturvedi 등²²은 실험적으로 분지 폐동맥으로 풍선을 삽입하여 인위적으로 폐동맥 분지협착을 유발하여 일시적으로 폐혈류를 차단하였을 때 폐동맥 폐쇄부전과 우심실 수축기말 압력의 유의한 증가를 보고하면서 폐동맥 분지협착이 폐동맥 폐쇄부전을 악화시킨다는 것을 증명하였다. 그러므로 비수술적 폐동맥 분지협착 확장이 폐동맥 폐쇄부전을

근본적으로 치료할 수는 없지만 잔존 폐동맥 폐쇄부전의 악화를 막을 수 있다면 결국 동종 폐동맥판막 이식수술의 시기를 늦출 수 있다. 이는 판막의 동종이식 후에 판막의 석회화와 퇴화로 5년 이내에 재수술이 필요할 수 있기 때문에 스텐트 삽입으로 판막 삽입술의 수술 시기를 연기할 수 있다면 재수술의 횟수를 줄일 수 있게 되는 장점이 있다⁵⁾. 비수술적으로 폐동맥 분지협착을 치료하는데 있어서 시술의 성공률 및 효과와 장기 추적결과 뿐만 아니라 비용을 고려한 경제적 측면까지 고려하여도 혈관내 스텐트 삽입술의 결과가 가장 우수하다^{1, 23-26)}.

폐혈류가 제한된 청색증형 심질환에서 폐혈류량이 폐동맥 발달에 직접 영향을 미치는 것이 밝혀졌으며^{27, 28)} 특히 폐동맥 분지협착이 있는 경우 협착측의 폐혈류가 전체 관류량의 35% 이상은 유지되어야 한다. 그러므로 폐동맥 분지협착에 스텐트 삽입이 성공한 후에는 협착측의 폐관류는 증가하고, 반대측의 과혈류(overflow)가 소실되어 결국 생리학적으로 폐혈류의 재분포가 일어난다²⁴⁾, 혈류 제한으로 발육부전이 유발되었던 협착측 폐동맥의 크기는 증가하고, 과혈류에 의해 증가되었던 반대측 폐동맥의 크기가 감소되어야 한다.

본 연구에서도 좌폐동맥 분지협착의 스텐트 삽입 후 좌측 폐관류량이 평균 1.6배 증가된 결과 추적 조사시 좌폐동맥 크기가 통계적으로 유의하게 증가하였다. 그러나 증가되었던 우폐동맥 크기도 감소하지 않고 오히려 증가하는 양상을 보였다. 이러한 결과는 폐동맥 분지협착을 교정하면 폐동맥 폐쇄부전도 호전될 수 있고, 이로 인해 우심 박출량이 감소하여 결국은 협착 반대측의 폐동맥 크기가 감소할 것이라는 지금까지의 보고^{5, 8, 14, 22)}에 따른 예상에 어긋나는 것이다. 저자들의 대상환아는 모두가 폐동맥 폐쇄부전이 수술 후 잔존하고 있으므로 폐동맥 분지협착을 완화시키더라도 우심박출은 계속 증가된 상태로 남아있게 되고, 폐동맥 분지협착에 스텐트 삽입후 추적 조사시 도플러 심초음파 검사 결과 폐동맥 폐쇄부전의 역류 분율이 감소하는 추세에 있으나 유의하게 감소하지 않았고, 오히려 폐동맥 역류 분율이 감소하지 않고 오히려 증가하는 증례들을 경험하였기에 스텐트 삽입 후 폐동맥 폐쇄부전의 변화를 분석하고 이러한 변화가 폐동맥 지수에 미치는 영향을 평가하였다. 그 결과 좌폐동맥 크기는 폐동맥 역류분율의 증가 정도에 따라 구분한 각 군간에 유의한 차이를 보이지 않았으나, 우폐동맥 크기는 Z-score가 +1 이상 심하게 역류 분율이 증가한 경우에는 오히려 유의하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 스텐트 삽입 후 추적 조사시 폐동맥 역류분율과 폐동맥 지수와와의 상관관계를 분석한 결과, 모든 폐동맥 지수가 폐동맥 역류분율과 통계학적으로 유의하게 양의 상관관계를 가지는 것이 확인되었다.

이러한 저자들의 연구결과를 종합하여 보면 폐동맥 분지협착에 스텐트 삽입 후 좌폐동맥의 크기를 확장시키는 요인은 잔존하는 폐동맥 폐쇄부전의 심한 정도가 어느 정도 영향을 미칠 수 있지만, 직접적으로는 스텐트에 의한 협착부 확장에 따른 폐혈류의 증가에 기인하는 것으로 사료된다. 반면, 우폐동맥의 크기 변

화에는 협착의 완화에 따른 폐혈류량의 변화에 기인하지 않고, 잔존하는 폐동맥 폐쇄부전의 심한 정도가 일차적으로 작용함을 확인할 수 있었다. 그러므로 활로 4징 등 수술시 우심실 유출로의 확장이 필수적인 질환의 경우 수술 시부터 폐동맥 단일엽(monocusp) 삽입 혹은 가능하다면 동종 폐동맥판막 이식 등을 동시에 시행하여, 폐동맥 폐쇄부전을 줄일 수 있는 노력을 기울여야 장기적으로 볼 때 우심실의 기능 부전을 방지할 수 있고 환자의 예후를 향상시킬 수 있으리라 사료된다.

본 연구의 제한점으로는 폐동맥 분지협착에 스텐트 삽입 후 중기 추적 결과이므로 폐동맥 폐쇄부전이 폐동맥의 형태에 미치는 장기적인 영향을 추후 확인해야 할 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서는 역류 분율의 측정을 도플러 심초음파 검사로 측정하였는데, 이는 혈관이 확장되는 심실 수축기와 혈관이 수축하는 이완기에 유발되는 혈관 단면적의 변화를 반영하지 못하여서, 실제 역류량보다 과도하게 측정되었을 가능성을 배제할 수 없다. 이러한 문제점은 자기공명영상장치를 이용하여 폐동맥 역류 분율을 산출해서 확인하는 것이 정확하데, 저자들도 최근에는 이 방법을 사용하여 좌, 우폐동맥의 역류 분율을 각각 산출하려는 노력을 기울이고 있다. 하지만 스텐트의 재질이 스테인레스 스틸 이어서 스텐트 삽입부의 영상을 얻는데 어려움이 있는 실정므로 향후 자기공명에 방해를 주지 않는 재질로 된 스텐트를 사용하게 되기를 기대한다.

요 약

목 적 : 분지 폐동맥 협착 부위에 스텐트를 삽입하여 효과적으로 교정한 후, 이후 추적 관찰시에 협착이 없었던 반대편 분지 폐동맥 단면적이 감소하지 않고 증가하는 양상을 관찰하였다. 이에 분지 폐동맥 단면적의 변화에 영향을 끼치는 형태학적 혈역학적 요인들을 분석해 보았다.

방 법 : 1995년 1월부터 2002년 7월까지 연세대학교 심장혈관 병원 소아심장과에서 좌폐동맥 분지 협착을 진단받고 스텐트 삽입을 시행받은 23명의 환아를 대상으로 하였다. 이들 환아에서 스텐트 삽입 전후로 심혈관 조영술을 통해 좌우 폐동맥 단면적의 변화, 도플러 심초음파 검사를 시행하여 폐동맥 부전을 측정하여 역류 분율의 변화를 관찰하였고, 폐관류 검사를 함께 시행하였다.

결 과 :

- 1) 좌폐동맥 협착으로 스텐트를 삽입한 후 좌폐동맥 지수는 $102 \pm 12 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ 에서 $125 \pm 11 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ 로 유의하게 증가하였다($P=0.001$).
- 2) 협착이 없었던 우폐동맥 지수의 변화를 보면, 좌폐동맥에 스텐트를 삽입하기 전에 평균 $238 \pm 17 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ 에서 추적 검사시 $249 \pm 20 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ 로 유의한 증가는 없었다($P=0.474$).
- 3) 스텐트 삽입 전후로 양측 폐동맥 지수의 합을 보면, 삽입 전 $340 \pm 21 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ 에서 추적 검사시 $374 \pm 26 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ 로

증가하는 경향이 있었지만 유의한 차이는 없었다($P=0.09$).

4) 폐동맥 폐쇄부전 역류 분율의 변화는 스텐트 삽입 전 $50 \pm 5\%$ 에서 $46 \pm 5\%$ 로 감소하였으나, 유의한 감소량은 아니었다. 그러나, 폐동맥 폐쇄부전 역류 분율 증감 정도에 따라 세 군으로 나누어 비교해 보면, 3 군에서 우폐동맥지수는 삽입 전 $260 \pm 23 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ 에서 추적 검사시 $325 \pm 33 \text{ mm}^2/\text{BSA}$ 으로 유의하게 증가하였다($P=0.041$). 좌폐동맥 지수는 각 군에서 스텐트 삽입 전후로 증가하는 양상은 관찰되었으나, 1군에서만 유의하였고, 이는 폐동맥 폐쇄부전의 역류 분율 증감이 좌폐동맥의 단면적에 변화를 미치는 일차적 요인은 아닌 것으로 분석된다.

5) 스텐트 삽입 후 좌·우폐동맥 모두 폐동맥 폐쇄부전이 심할수록 폐동맥지수가 증가하여 유의한 양의 상관 관계를 가지고 (좌폐동맥; $r=0.69$, $P<0.01$ 및 우폐동맥; $r=0.53$, $P<0.01$), 회귀 분석상으로도 유의한 관계를 보였다. 또한 양측폐동맥 지수의 합도 유의한 양의 상관 관계($r=0.71$, $P<0.01$)를 보였다.

결론 : 협착이 있던 좌폐동맥은 스텐트의 삽입으로 교정되어 그 단면적 지수가 증가하였다. 그리고, 반대편 우폐동맥의 경우에는 잔존하는 폐동맥 폐쇄부전의 영향으로 단면적 지수가 감소하지 않고, 오히려 증가한 것을 관찰하였다. 그러나, 잔존하는 폐동맥 폐쇄부전의 장기적 예후를 고려해 볼 때, 이를 예방할 수 있는 것이 중요하다. 또한 역류 분율을 정확히 산출하기 위해 자기공명영상을 이용하는 것도 적극 검토해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Trant Jr CA, O'Laughlin MP, Ungerleider RM, Garson Jr A. Cost-effectiveness analysis of stents, balloon angioplasty, and surgery for the treatment of branch pulmonary artery stenosis. *Pediatr Cardiol* 1997;18:339-44.
- 2) Hennein HA, Mosca RS, Urcelay G, Crowley DC, Bove EL. Intermediate results after complete repair of tetralogy of Fallot in neonates. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1995;109:332-44.
- 3) Pass RH, Hsu DT, Garabedian CP, Schiller MS, Jayakumar KA, Hellenbrand WE. Endovascular stent implantation in the pulmonary arteries of infants and children without the use of a long vascular sheath. *Catheter Cardiovasc Interv* 2002;55:505-9.
- 4) Nakata S, Imai Y, Takanashi Y, Kurosawa H, Tezuka K, Nakazawa M, et al. A new method for the quantitative standardization of cross-sectional areas of the pulmonary arteries in congenital heart diseases with decreased pulmonary blood flow. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1984;88:610-9.
- 5) Oyen WJG, van Oort AM, Tanke RB, van Mill GJ, Aengevaeren RM, Corstens FHM. Pulmonary perfusion after endovascular stenting of pulmonary artery stenosis. *J Nucl Med* 1995;36:2006-8.
- 6) Nakanishi T. Balloon dilatation and stent implantation for vascular stenosis. *Pediatr Int* 2001;43:548-52.
- 7) Okubo M, Benson LN. Intravascular and intracardiac stents used in congenital heart disease. *Curr Opin Cardiol* 2001;16:84-91.
- 8) McElhinney DB, Parry AJ, Reddy VM, Hanley FL, Stanger P. Left pulmonary artery kinking caused by outflow tract dilatation after transannular patch repair of tetralogy of Fallot. *Ann Thorac Surg* 1998;65:1120-6.
- 9) Sharma SN, Sharma S, Shrivastava S, Rajani M, Tandon R. Pulmonary arterial anatomy in tetralogy of Fallot. *Int J Cardiol* 1989;25:33-7.
- 10) Elzenga NJ, Suylen RJ, Frohn-Mulder I, Essed CE, Bos E, Quaegebeur JM. Juxtaductal pulmonary artery coarctation: an underestimated cause of branch pulmonary artery stenosis in patients with pulmonary atresia or stenosis and a ventricular septal defect. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1990;100:416-24.
- 11) Trusler GA, Miyamura H, Culham JAG, Fowler RS, Freedom RM, Williams WG. Pulmonary artery stenosis following aortopulmonary anastomoses. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1981;82:398-404.
- 12) 고진성, 최재영, 이종균, 김경은, 설준희, 이승규 등. 활로 4정의 완전교정술 후 우심실유출로 및 폐동맥의 형태학적 이상 - 폐동맥지 협착의 유발인자 분석 -. *순환기* 2001;31:238-45.
- 13) Helbing WA, Niezen RA, Le Cessie S, van der Geest RJ, Ottenkamp J, de Ross A. Right ventricular diastolic function in children with pulmonary regurgitation after repair of tetralogy of Fallot: volumetric evaluation by magnetic resonance velocity mapping. *J Am Coll Cardiol* 1996;28:1827-35.
- 14) Warner KG, Anderson JE, Fulton DR, Payne DD, Geggel RL, Marx GR. Restoration of the pulmonary valve reduces right ventricular volume overload after previous repair of tetralogy of Fallot. *Circulation* 1993;88(2 Suppl):189S-197S.
- 15) Garson A Jr, Nihill MR, McNamara DG, Cooley DA. Status of the adult and adolescent after repair of tetralogy of Fallot. *Circulation* 1979;59:1232-40.
- 16) Kirklin JW, Blackstone EH, Pacifico AD, Kirklin JK, Barger LM Jr. Risk factors for early and late failure after repair of tetralogy of Fallot and their neutralization. *Thorac Cardiovasc Surg* 1984;32:208-14.
- 17) Rhodes J, Dave A, Pulling MC, Geggel RL, Marx GR, Fulton DR, et al. Effect of pulmonary artery stenoses on the cardiopulmonary response to exercise following repair of Tetralogy of Fallot. *Am J Cardiol* 1998;81:1217-9.
- 18) Barbero-Marcial M, Atik E, Baucia JA, Pradel HO, Macruz R, Jatene AD. Reconstruction of stenotic or nonconfluent pulmonary arteries with a Blalock-Taussig shunt. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1988;95:82-9.
- 19) Cohn LH, Sanders Jr JH, Collins Jr JJ. Surgical treatment of congenital unilateral pulmonary artery stenosis with contralateral pulmonary hypertension. *Am J Cardiol* 1976;38:257-60.
- 20) McGoan DC, Kincaid OW. Stenosis of branches of the pulmonary artery: surgical repair. *Med Clin North Am* 1964;48:1083-8.
- 21) Thrower WB, Abelman WH, Harken DE. Surgical correction of coarctation of the main pulmonary artery. *Circulation* 1960;21:672-8.
- 22) Chaturvedi RR, Kilner PJ, White PA, Bishop A, Szwarc R, Redington AN. Increased airway pressure and simulated

- branch pulmonary artery stenosis increase pulmonary regurgitation after repair of Tetralogy of Fallot. *Circulation* 1997;95:643-9.
- 23) Shaffer KM, Mullins CE, Grifka RG, O'Laughlin MP, McMahon W, Ing FF, et al. Intravascular stents in congenital heart disease: short- and long-term results from a large single-center experience. *J Am Coll Cardiol* 1998;31:661-7.
- 24) Spadoni I, Giusti S, Bertolaccini P, Maneschi A, Kraft G, Carminati M. Long-term follow-up of stents implanted to relieve peripheral pulmonary arterial stenosis: hemodynamic findings and results of lung perfusion scanning. *Cardiol Young* 1999;9:585-91.
- 25) Nakanishi T, Kondoh C, Nishikawa T, Satomi G, Nakazawa M, Imai Y, et al. Intravascular stents for management of pulmonary artery and right ventricular outflow obstruction. *Heart Vessels* 1994;9:40-8.
- 26) O'Laughlin MP, Slack MC, Grifka RG, Perry SB, Lock JE, Mullins CE. Implantation and intermediate-term follow-up of stents on congenital heart disease. *Circulation* 1993;88:605-14.
- 27) Hislop A, Reid L. Structural changes in the pulmonary arteries and veins in tetralogy of Fallot. *Br Heart J* 1973;35:1178-83.
- 28) Kirklin JW, Barger LM, Pacifico AD. The enlargement of small pulmonary arteries by preliminary palliative operation. *Circulation* 1977;56:612-7.
-