

활로씨 4징증의 좌심실용적이 수술후 심장기능에 미치는 영향

김 응 중 · 노 준 량

-Abstract-

The Effect of Left Ventricular Volume on Postoperative Cardiac Function in Tetralogy of Fallot

Kim, Eung Joong, M.D.*, and Rho, Joon Ryang, M.D.*

Tetralogy of Fallot is a cyanotic congenital heart disease characterized by large ventricular septal defect(VSD) and stenosis of right ventricular outflow tract(RVOT) and the degree of RVOT stenosis and the state of pulmonary arteries are the major determinant of prognosis of this anomaly after operation.

The sum of blood flow through RVOT and collateral flow from systemic arteries determine the total pulmonary blood flow and it is drained to left atrium and left ventricle. Therefore the degree of development of left ventricle not only reflects pulmonary blood flow and the status of peripheral pulmonary arteries but also affects postoperative prognosis as a systemic ventricle.

In this article, left ventricular volume and its influence on postoperative cardiac function in tetralogy of Fallot were studied in 34 patients operated on at Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Seoul National University Hospital in 1985.

Mean age of the patients was $5\frac{1}{12} \pm 3\frac{9}{12}$ years (range $\frac{9}{12}$ - $14\frac{8}{12}$ years), mean body surface area(BSA) $0.65 \pm 0.20\text{m}^2$ (range 0.38 - 1.22m^2), mean body weight $15.6 \pm 6.48\text{kg}$ (range 7.0 - 36kg) and mean hematocrit $50.6 \pm 9.77\%$ (range 32.0 - 73.5%).

Left ventricular end-diastolic volume(LVEDV) of them were from 11.2 to 113cc and there was a good linear correlation between BSA(m^2 , X) and LVEDV(cc, Y) ($Y = -20.0 + 92.3X$, $r = 0.84$, $p < 0.005$). Mean LVEDV/ m^2 was $(57.6 \pm 18.3 \text{ cc} / \text{m}^2)$ (range 28.7 - $95.8 \text{ cc} / \text{m}^2$) and there was a significant reduction of volume compared with normal value. As body surface increases, there was a increasing tendency in LVEDV/ m^2 but there was no statistical significance.

Mean total amount of postoperatively infused dopamine in these 33 patients(except one who expired postoperatively) was $65.6 \pm 74.5\text{mg} / \text{kg}$ and it was $40.6 \pm 44.0\text{mg} / \text{kg}$ in routine RVOT widening group (Group I) and $205 \pm 49.3\text{mg} / \text{kg}$ in transannular RVOT widening group(Group II). There was a statistically significant difference between two groups.

In group I patients there was a good linear inverse correlation between dopamine total

* 서울대학교 의과대학 흉부외과학교실

* Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, College of Medicine, Seoul National University.

** 본 논문은 1987년도 서울대학교병원 임상연구비 보조로 이루어진 것임.
1988년 2월 4일 접수

amount(mg / kg, Y) and LV volume(cc / m², X) ($Y=150-1.89 X$, $r=-0.77$, $p<0.005$). But there were no correlations between dopamine total amount and Hct, cardiopulmonary bypass time and aorta cross clamp time.

In conclusion, the patient with small preoperative left ventricular volume required more amount of dopamine as an inotropic agent for the maintenance of a cardiac function in postoperative period. But this is a result of immediate postoperative period and does not reflect the long term effect of left ventricular volume in tetralogy of Fallot. There must be more study for the evaluation of its long term effect.

I. 緒 論

선천성심기형중 단순기형과 복잡심기형의 분수령을 이루는 팔로씨 4징증은 청색증을 동반하는 선천성 심기형중 가장 흔히 볼 수 있는 것으로 1672년 Stensen에 의해 처음 기술되고 1888년 Fallot에 의해 병리학적인 4가지 항목으로 정의된 이후 1955년 Lillehei 등에 의해 처음으로 완전교정술이 시행되었다²¹⁾.

그 이후 지금까지 팔로씨 4징증에 대한 수술성적은 지속적인 향상을 보여왔으며 수술의 위험성을 증가시키는 인자에 대한 분석도 다양하게 행하여졌다^{1, 17, 18, 28)}. 그중에서도 우심실유출로의 협착정도와 폐동맥의 발육상태는 팔로씨 4징증의 수술후 예후를 결정짓는 가장 중요한 인자로 받아들여지고 있으며, 그 외에도 동반된 심기형의 종류, 수술시 환자의 연령, 우심실유출로 확장술의 방법 등이 중요인자로 취급되고 있다¹⁷⁾.

한편 Kirklin등¹⁹⁾이 팔로씨 4징증에서 좌심실의 발육 부전이 수술후 사망률에 미치는 영향에 대해 언급하고 Graham 등⁸⁾이 좌심실의 발육부전으로 인하여 수술후 사망한 환자에 대한 증례보고를 한것을 대표로 하여 과연 팔로씨 4징증에서는 좌심실의 발육이 불충분한가? 또 만일 그렇다면 그러한 좌심실의 발육부전 혹은 발육정도가 수술후 어떤 영향을 미치는가에 대한 서로 상반되는 보고들이 지상에 발표되고 있는 실정이다. 즉 Kirklin등¹⁹⁾은 5세이상의 팔로씨 4징증은 좌심실이 충분한 용적을 갖고 있다고 주장하고 Malm등²⁴⁾은 팔로씨 4징증에서 소용적의 좌심실은 수술후 사망률과 관계가 없다고 이야기하는 반면 Lev²⁰⁾, Miller²⁵⁾, Nagao²⁷⁾ 등은 팔로씨 4징증의 좌심실용적이 정상치보다 작다고 주장하고 있으며, Ebert⁴⁾, Jarmakani¹⁴⁾, Graham⁸⁾, Nomoto³⁰⁾ 등은 충분히 발육하지 못한 좌심실은 수술후 저심박출증 및 사망률과 밀접한 관계를 맺고 있다고 주장하고 있다.

이에 본 연구에서는 서울대학교병원 흉부외과에서 완전교정술을 시행받은 팔로씨 4징증 환자를 대상으로 수술전 좌심실용적을 측정하여 좌심실의 발육정도를 정상심장과 비교하여 보고 또 이들의 수술후 경과를 관찰하여 팔로씨 4징증의 수술전 좌심실용적이 수술후 심장기능에 미치는 영향에 관한 분석을 실시하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상(표 1, 2, 3)

서울대학교병원 흉부외과에서 1985년 1월부터 12월까지 완전교정술을 시행받은 팔로씨 4징증 환자중 나이가 15세 이상되는 환자, 불충분한 심혈관조영술로 인해 좌심실용적을 측정할 수 없었던 환자, 좌심실용적에 영향을 미치는 심방중격결손증이나 동맥관개존증 등의 다른 심혈관기형을 동반한 환자, 단일폐동맥 등의 수술후 심장기능에 영향을 미치는 다른 심혈관기형을 동반한 환자, 수술시 대동맥 차단 없이 심실세동에 의하여 수술한 환자 그리고 수술후 경과에 대한 자료수집이 불충분했던 환자 등을 제외한 34례를 대상으로 하였다.

환자의 분포를 보면 남자가 19례, 그리고 여자가 15례를 이루고 있었고 연령은 9개월에서 14년 8개월까지로 평균 $5\frac{1}{12} \pm 3\frac{9}{12}$ 세를 이루고 있었으며 연령 및 성별 환자의 분포는 표 1과 같다. 이들의 체표면적은 0.38~1.22m²의 분포로 평균 0.65 ± 0.20 m², 체중은 7.0~36kg의 분포로 평균 15.6 ± 6.48 kg 그리고 적혈구 용적비는 32.0~73.5%로 평균 $50.6 \pm 9.77\%$ 를 이루고 있었다(표 2).

이들 34례를 두가지 기준에 따라 각각 두군으로 분류하였는데 먼저 환자의 연령에 따라 2세미만을 A군(9례) 그리고 2세 이상을 B군(25례)이라 칭하였으며 수술시 우심실유출로 확장법에 따라 폐동맥판문의 절

Table 1. Sex and age distribution of patients.

Age(years)	Male	Female	Total
0-1	5	4	9
2-4	4	5	9
5-9	7	5	12
10-14	3	1	4
Total	19	15	34

Table 2. Age, body surface area, body weight and hematocrit of patients.

	Mean ± SD	Range
Age(years)	$5\frac{1}{12} \pm 3\frac{9}{12}$	$\frac{9}{12}$ - $14\frac{8}{12}$
BSA ^{**} (m ²)	0.65 ± 0.20	0.38 - 1.22
BWt ^{***} (kg)	15.6 ± 6.48	7.0 - 36
Hct ^{****} (%)	50.6 ± 9.77	32.0 - 73.5

* Standard deviation ***: Body weight
 ** Body surface area ****: Hematocrit

Table 3. Grouping of patients according to age and operation method

Age \ Op.	I	II	Total
A	8	1	9
B	21	4	25
Total	29	5	34

{ A: Age less than 2years
 { B: Age equal or more than 2years
 { I: RVOT widening without transannular patch
 { II: RVOT widening with transannular patch
 *: Right ventricular outflow tract

개없이 우심실유출로 확장술을 시행한 환자를 I군(29례) 그리고 폐동맥관을 절개하고 경관유 우심실유출로 확장술을 시행한 환자를 II군(5례)으로 분류하여 A I, A II, B I, 그리고 B II의 4군으로 분류하였다(표 3).

2. 연구방법

1) 수술전 좌심실용적 측정(그림 1)

환자들은 수술전의 진단과정에서 모두 심도자술을 시행하며 동시에 심혈관영화촬영술을 시행하였다.

본 연구에서 사용한 심혈관영화촬영기는 General Electric사의 MSI-1250 양면 X-선 발생기이며 35mm필름으로 초당 60면으로 촬영하였고 조영제는

Telebrix 38[®] 을 자동주입기(Medrad)로 환자체중 매 kg당 1.5~2.0 cc를 1~2초에 걸쳐 주입하였다.

좌심실용적을 측정하기 위한 환자의 체위는 심장의 장축이 최대길이로 나오게 하기 위하여 환자의 몸을 좌측으로 10~15° 기울이고 환자의 우측어깨를 30° 들어 올린 우전사위(RAO view)를 취하였으며 여기서 촬영된 일면촬영도를 이용하여 좌심실용적을 측정하였다.

좌심실용적은 좌심실이 타원구를 이루고 있다는 가정하에 정상동에서 좌심실이 최대로 확장된 이완기 말기때의 영상을 포착하여 측정하였다. 장축은 심첨부에서부터 대동맥관막 기저중상부위까지를 측정하였고 단축은 장축의 중상부위에서 장축에 수직이 되는 직선을 만들어서 그 길이를 측정하였다(그림 1). 그리고 X-선에 의한 확대효과를 교정하기 위하여 1cm 간격으로 구멍이 뚫린 철판을 환자와 같은 위치에 놓고 촬영하여 이를 기준으로 사용하였다. 또 이렇게 하여 계산한 용적에 Greene 등^{10,11)}이 산출한 실제용적과 계산된 용적과의 차이교정을 위한 상수 K를 곱하여 다음과 같은 공식에 의하여 이완기말 좌심실용적을 측정하였다.

$$V = K \cdot \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{L}{2} \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$= K \cdot \frac{\pi}{6} \cdot LD^2$$

K(constant)=0.848(ratio of actual volume and calculated volume)

L=Long axis of LV

D=Short axis of LV

이러한 방법으로 측정된 이완기말 좌심실용적과 체

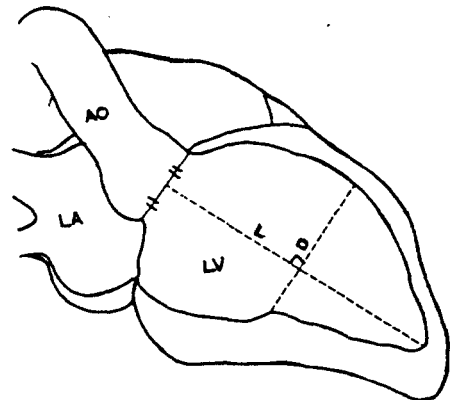


Fig. 1. Left ventriculography in 30° RAO projection at enddiastolic phase(L-long axis of LV, D-short axis of LV).

표면적과의 상관관계를 분석하였으며, 이 용적을 체 표면적 m^2 당으로 환산하여 이를 정상치와 비교하고 또 각 군별로 비교를 시행하였다.

2) 수술

수술은 Morphine Sulfate(1~2mg/kg), Pancuronium bromide(0.1~0.2mg/kg) 그리고 N_2O-O_2 를 이용한 전신마취하에 시행하였으며, 전례 정중선흉골 절개하에 심장을 노출시킨 후 American Optical의 5-headed roller pump와 Shiley S-100A 기포형 산화기를 사용한 인공심폐기를 이용하여 체외순환을 시행하였다.

수술중 심근보호는 저체온법과 상행대동맥을 차단하고 $4^{\circ}C$ 로 냉각된 심마비액을 10~15cc/kg로 주입하는 방법을 사용하였으며 대동맥 차단시간이 40분 초과시에는 30~40분 간격으로 심마비액을 초기용량의 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 을 주입하였다. 그리하여 전례에서 인공심폐기 관류시간과 상행대동맥 차단시간을 측정하였다.

수술방식은 전례에서 우심실중절개를 시행하여 심실중격결손을 침포를 이용하여 봉합하였으며 우심실 유출로협착의 해소는 Pacifico 등³¹⁾의 기준에 의거하여 각 체중당 최소로 요구되는 폐동맥판막지름이 폐동맥판막절개술에 의해 달성이 되면 폐동맥판막절개를 하지 않고 폐동맥판막절개술, 비후된 누두부위절제술 그리고 침포를 이용한 우심실유출로 확장술만을 시행하였으며(1군) 그것이 달성되지 않을 경우에는 폐동맥판막절개를 하고 경관유 우심실유출로 확장술을 시행하였다(II군).

3) 수술후 환자관리

수술후 환자는 모두 중환자실에서 인공호흡을 실시하였으며 혈압과 맥박수는 지속적인 측정을 하고 중심정맥압과 소변량은 매 시간당 측정하며 혈청 전해질, 동맥혈 가스분압 그리고 단순흉부촬영 등은 필요시 수시로 검사하였다.

수술후 환자에서 심장기능의 저하로 인해 변력작용이 필요할 경우에는 변력제로 Dopamine을 사용하였는데 그 심장기능저하의 기준으로는 중심 정맥압을 12~15cmH₂O 이상으로 유지해도 수축기 혈압이 80~90mmHg 이하로 떨어질때, 시간당 소변량이 0.5cc/kg 이하로 떨어질때 그리고 사지의 체온도가 떨어지는 등의 조직순환이 좋지않은 증거가 나타날 때 등을 사용하였다. 그리하여 환자의 반응을 보아가며 용량과 투여기간을 조절하였다. 사실 환자의 심장기능을 양적으로 측정하는 것은 무리가 있을 수 있으나

본 연구에서는 환자가 수술후 회복을 위해 필요로 했던 Dopamine의 투여용량($\mu g/kg/min$)에 그 투여기간(hr)을 곱한 총투여량($\mu g/kg/min \times hr$)을 단위를 고정하여($\mu g/kg/min \times hr \rightarrow mg/kg$) 심장기능의 지표로 삼았다. 그리하여 이 측정치를 각 군별로 비교하고 이 측정치와 수술전 좌심실용적, 적혈구용적비, 인공심폐기 관류시간 그리고 상행대동맥 차단시간 등과의 상관관계를 분석하였다. 아울러 Dopamine 총투여량에 작용하는 두 변수 즉, 투여기간과 투여용량도 각각 총투여량과 같은 방법으로 분석을 시도하였으며 Dopamine의 투여용량과 투여기간과의 상관관계를 분석하여 Dopamine 총투여량의 심장기능의 지표로서의 가치를 증명하고자 하였다.

이 과정에서 수술후 사망한 1례는 Dopamine의 총투여량, 투여기간 그리고 투여용량이 의미가 없으므로 분석에서 제외하였다.

4) 통계적 분석기법

모든 통계수치는 평균±표준편차로 표시하였고 통계학적 유의도는 Student의 t-검정법을 시행하였으며 $p < 0.05$ 를 유의성의 한계로 하였다. 또 좌심실용적, 적혈구용적비, 인공심폐기 관류시간 및 상행대동맥 차단시간과 Dopamine 총투여량, 투여기간 및 투여용량과의 상관관계는 일단 산포도를 그려 상관관계가 없어 보이면 상관관계가 없다고 하였고 상관관계가 있어 보이면 회귀적선법을 이용한 분석을 시행하였다.

III. 연구 성적

1. 좌심실용적(표 4,5 그림 2,3)

전술한 바와 같은 방법으로 이완기말 좌심실용적을 측정한 바 그 결과는 11.2~113cc로 평균 $39.1 \pm 22.7cc$ 였다. 이들 이완기말 좌심실용적을 Y축으로 하고 체표면적을 X축으로 하여 산포도를 그리고 회귀분석을 시도한 결과 $Y = -20.0 \pm 92.3X (r = 0.84, p < 0.005)$ 의 단순회귀식을 구할 수 있었다(그림 2).

그리고 이 이완기말 좌심실용적을 단위체표면적 m^2 당으로 환산하여 28.7~95.8cc/ m^2 의 범위로 평균 $57.6 \pm 18.3cc/m^2$ 의 결과를 얻을 수 있었다(표 4). 한편 좌심실용적의 정상치는 각 저자마다 조금씩의 차이를 보이는데(표 5) 본원에서 정상치는 측정된 기록이 없었다. 그리하여 본 연구에서는 최근에 많이 인정받는 Wynne 등³⁶⁾이 17례의 정상 좌심실을 가진 환자 에 대해 측정된 결과 $72 \pm 15cc/m^2$ 를 정상치로 삼아

Table 4. Left ventricular volume(LVEDV'/m²)

Group	No. of patients	LVEDV / m ² (cc / m ²)	
		Mean ± SD**	Range
A	9	48.8*** ± 18.2	28.7-76.8
B	25	60.9*** ± 17.8	36.2-95.8
Total	34	57.6 ± 18.3	28.7-95.8

* Left ventricular end-diastolic volume
 * Standard deviation
 *** Statistically insignificant(0.05 < p < 0.1)

Table 5. Reference values for normal left ventricular volume

Author	Normal value
Wynne et al. ³⁶⁾	72 ± 15cc / m ²
Graham et al. ⁹⁾	42 ± 10cc / m ²
Age < 2years	73 ± 11cc / m ²
Age ≥ 2years	70 ± 20cc / m ²
Kennedy et al. ¹⁵⁾	LVEDV'(cc) = 72.8BSA''(m ²) ^{1.30}
Nomoto et al. ³⁰⁾	LVEDV'(cc) = -2.98 +
Miller et al. ²⁶⁾	88.6BSA(m ²)

* Left ventricular end-diastolic volume
 ** Body surface area

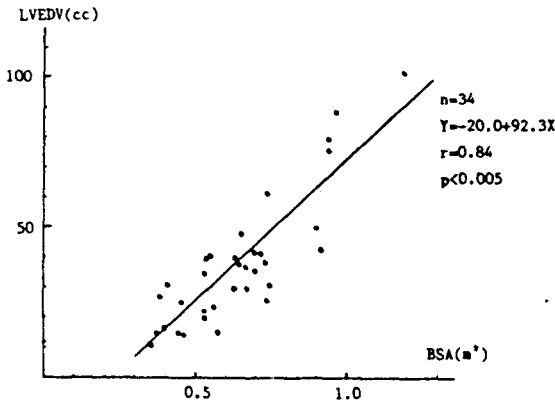


Fig. 2. Left ventricular end-diastolic volume(LVEDV) as a function of body surface area(BSA). The solid line represents the regression line. There was a good correlation between them.

비교하였는데 그 결과 통계학적으로 유의한 차이의 좌심실용적감소를 밝힐 수가 있었다(p < 0.01).

한편 각 군별로 보면 A군은 평균 48.8 ± 18.2cc / m²(범위 28.7~76.8cc / m²) 그리고 B군은 60.9 ± 17.8cc / m²(범위 36.2~95.8cc / m²)로 A군이 B군에 비해 감소되어 있는 경향은 보였으나 통계

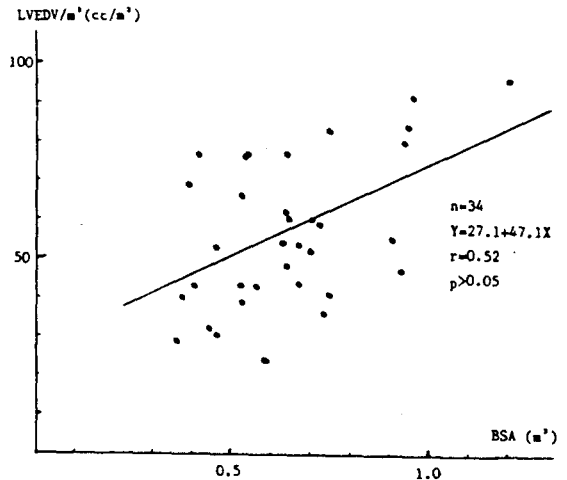


Fig. 3. Correlation between LVEDV / m² and BSA. The solid line represents regression line. But there was no statistical significance.

학적으로 유의한 차이는 없었다(0.05 < p < 0.1)(표 4). 그리고 I 군은 평균 55.3 ± 23.1cc / m²(범위 30.6~90.7cc / m²), II 군은 평균 58.0 ± 18.0cc / m²(범위 28.7~95.8cc / m²)로 이 두군에서도 유의한 차이는 없었다(p < 0.1).

또 Y축을 체표면적당 이완기말 좌심실용적(LVEDV / m²)으로 X축을 체표면적(BSA)으로 하여 산포도를 그리고 회귀분석을 시도한 결과 Y = 27.1 ± 47.1X(r = 0.52, p < 0.05)의 단순회귀식을 구할 수 있어 체표면적이 증가할수록 단위체표면적당 이완기말 좌심실용적도 증가하는 경향이 있는 것을 알 수는 있었으나 통계학적인 유의성은 없었다(그림 3).

2. 수술조작

총 34례의 환자중 29례는 폐동맥관운절개없이 우심실유출로 확장술을 시행하였으며(I군), 5례는 폐동맥관운을 절개하고 경관운 우심실유출로 확장술을 시행하였다(II군).

3. 인공심폐기 관류시간

인공심폐기 관류시간은 61~130분의 범위로 평균 85.6 ± 17.1분이었으며 I군에서는 평균 79.9 ± 12.2분 그리고 II군에서는 평균 114 ± 11.2분으로 두 군간에는 유의한 차이가 있었다(p < 0.005). 그러나 A군과 B군은 평균이 각각 82.0 ± 15.2분, 86.0 ± 18.0분으로 유의한 차이가 없었다(p < 0.1).

4. 상행대동맥 차단시간

상행대동맥의 차단시간은 38~87분의 범위로 평균 55.9±12.3분이었으며 I군은 평균 51.6±7.25분, II군은 79.4±5.13분으로 두 군간에는 유의한 차이가 있었다(p<0.005). 그러나 A군과 B군은 평균이 각각 54.4±10.9분과 56.6±12.8분으로 유의한 차이가 없었다(p>0.1).

3. 수술후 투여된 Dopamine의 총량(표 6)

수술후 전술한 바와 같은 기준에 의해 Dopamine이 투여되었는데 사망한 1례를 제외한 33례중 26례에서 심장기능의 보조를 위하여 Dopamine의 투여를 필요로 하였다. 그리하여 투여된 Dopamine의 총량은 0~265mg/kg의 범위로 평균 65.6±74.5mg/kg이었다. 이중 I군에는 평균 40.6±44.0mg/kg(범위 0~145mg/kg)가 투여되었고 II군에는 평균 205±49.3mg/kg(범위 150~265mg/kg)가 투여되어 II군에서 I군에 비해 유의하게 많은 양의 Dopamine이 투여되었다(p<0.005)(표 6). 그러나 A군과 B군은 각각 Dopamine 총 투여량이 평균 79.5±89.0mg/kg와 60.3±69.7mg/kg로 유의한 차이가 없었다(p<0.05)

6. 수술후 Dopamine 투여기간

수술후 dopamine의 투여기간은 0~23.7일로 평균 6.12±6.27일이었다. I군은 평균 4.34±4.45일(범위 0~13.8일) 그리고 II군은 평균 16.1±5.80일(범위 10.1~23.7일)로 II군에서 I군에 비해 유의하게 오랜 기간의 Dopamine 투여를 필요로 하였다(p<0.005)(표 7). 그러나 A군과 B군은 각각 평균 7.24±6.88일과 5.66±6.10일로 유의한 차이가 없었다(p<0.1).

7. Dopamine 투여용량(표 8)

Dopamine의 투여용량은 환자의 상태와 약제투여에 대한 반응에 따라 수시로 변동이 있었으므로 총투여량을 투여기간으로 나눈 평균 투여용량을 분석하였다. 그리하여 전 환자의 평균투여용량은 평균 5.63±4.13(범위 0~15.7μg/kg/min)이었다. 각 군별로 보면 I군은 평균 4.77±3.51(범위 0~10.4)μg/kg/min 이었고 II군은 평균 10.6±4.26(범위 4.38~15.7)μg/kg/min로 II군에서 I군에 비해 유의하게 많은 용량의 Dopamine 투여를 필요로 하였다(p<0.005)

Table 6. Total amount of postoperatively infused dopamine

Group	No. of patients	Dopamine amount (mg / kg)	
		Mean ± SD*	Range
I	28	40.6** ± 44.0	0-145
II	5	205** ± 49.3	150-265
Total	33	65.6 ± 74.5	0-265

*: Standard deviation

** : Statistically significant(p<0.005)

Table 7. Duration of dopamine infusion

Group	No. of patients	Dopamine duration(days)	
		Mean ± SD*	Range
I	28	4.34** ± 4.45	0-13.8
II	5	16.1** ± 5.80	10.1-23.7
Total	33	6.12 ± 6.27	0-23.7

*: Standard deviation

** : Statistically significant(p<0.005)

Table 8. Mean dosage of dopamine infusion.

Group	No. of patients	Mean dosage (μg / kg / min)	
		Mean ± SD*	Range
I	28	4.77** ± 3.51	0-10.4
II	5	10.6** ± 4.26	4.38-15.7
Total	33	5.63 ± 4.13	0-15.7

*: Standard deviation

** : Statistically significant(p<0.005)

(표 8). 그러나 A군과 B군은 각각 평균이 6.85±4.26 μg/kg/min와 5.19±4.08 μg/kg/min로 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(p>0.05).

8. Dopamine 총투여량, 투여기간, 평균투여용량과 좌심실용적과의 상관관계(그림 4, 5, 6)

이상의 결과에서 I군과 II군은 좌심실용적에는 차이가 없었으나 수술방법, 인공심폐기 관류시간, 상행대동맥 차단시간 그리고 Dopamine의 총투여량, 투여기간, 평균투여용량 등에서 유의한 차이가 났으므로 I군만 대상으로 하여 위의 상관관계를 분석하였다.

1) Dopamine 총투여량과 좌심실용적과의 상관관계(그림 4).

Dopamine 총투여량(mg/kg)을 Y축으로 하고 좌심실용적(cc/m²)을 X축으로 하여 산포도를 그리고

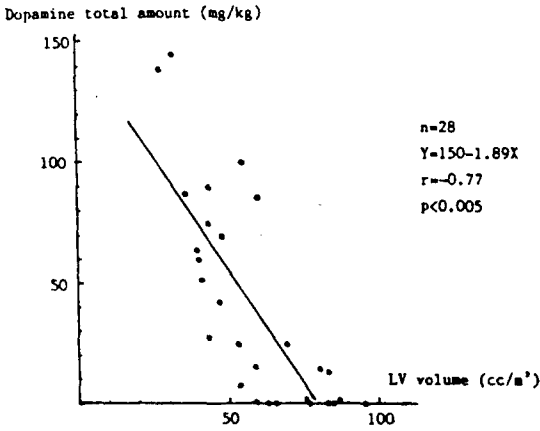


Fig. 4. Correlation between total amount of postoperatively infused dopamine and LV volume in group I patients. The solid line represents the regression line. There was a good inverse correlation between them.

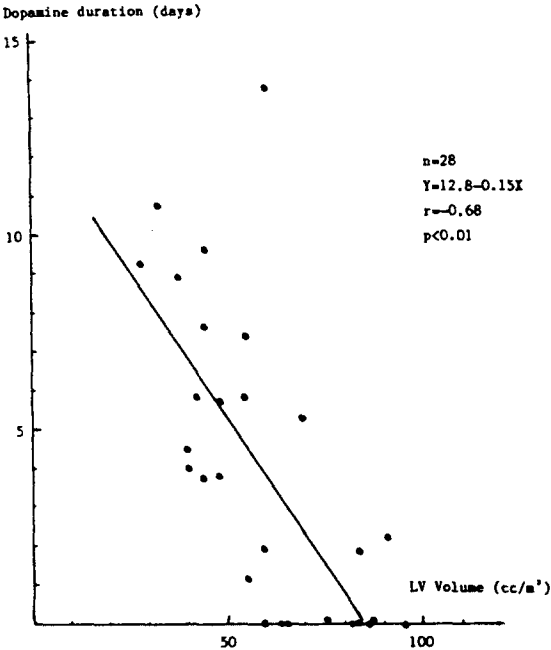


Fig. 5. Correlation between duration of dopamine infusion and LV volume in group I patients. The solid line represents regression line. There was a good inverse correlation between them.

회귀분석을 시도한 결과 $Y=150-1.89X$ ($r=-0.77$, $p<0.005$)의 유의한 단순회귀식을 구할 수 있어 좌심실 용적이 작을수록 많은 양의 Dopamine투여를 필요로 하였음을 알 수 있었다.

2) Dopamine 투여기간과 좌심실용적과의 상관관계 (그림 5)

Dopamine의 투여기간(days)을 Y축으로 하고 좌심실 용적(cc/m^2)을 X축으로 하여 산포도를 그리고 회귀분석을 시도한 결과 $Y=12.8-0.15X$ ($r=-0.68$, $p<0.01$)의 유의한 단순회귀식을 구할 수 있어 좌심실 용적이 작을수록 오랜 기간의 Dopamine투여를 필요로 하였음을 알 수 있었다.

3) Dopamine 평균투여용량과 좌심실용적과의 상관관계(그림 6)

Dopamine 평균투여용량($\mu g/kg/min$)을 Y축으로 하고 좌심실 용적(cc/m^2)을 X축으로 하여 산포도를 그리고 회귀분석을 시도한 결과 $Y=13.3-0.15X$ ($r=-0.76$, $p<0.005$)의 유의한 단순회귀식을 구할 수 있어 좌심실용적이 작을수록 더 많은 용량의 Dopamine투여를 필요로 하였음을 알 수 있었다.

4) Dopamine과 기타 요소와의 상관관계

Dopamine의 총투여량, 투여기간 그리고 평균투여 용량을 Y축으로 하고 적혈구용적비, 인공심폐기 관류 시간 그리고 상행대동맥 차단시간을 X축으로 하여 각각의 산포도를 그린 결과 이들 사이에는 아무런 상관관계도 발견되지 않았다.

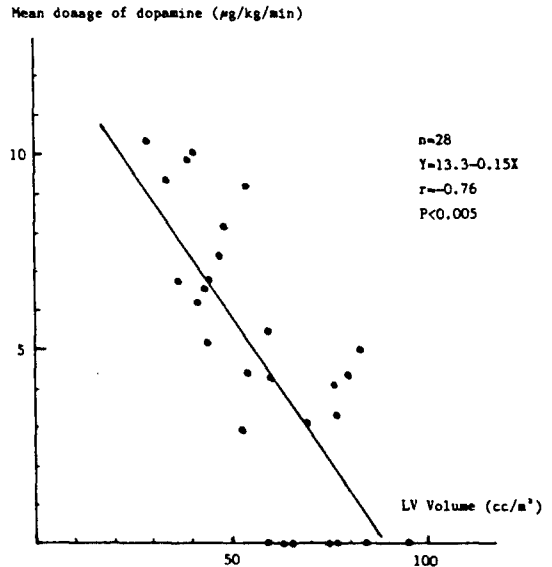


Fig. 6. Correlation between mean dosage of dopamine and LV volume in group I patients. The solid line represents regression line. There was a good inverse correlation between them.

9. Dopamine 투여용량과 투여기간과의 상관관계 (그림 7)

Dopamine의 총투여량이 같다 하더라도 투여용량과 투여기간이 다른 것은 의미가 다를 수 있으므로 그의 평균투여용량($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$, X)과 투여기간(days, Y)과의 상관관계를 분석하였는데 그 결과 $Y=0.54+0.74X$ ($r=0.65$, $p<0.01$)의 유의한 단순회귀식을 구할 수 있었다. 즉 Dopamine의 투여용량이 클수록 Dopamine 투여기간이 길어지고 따라서 총투여량도 많아지므로 Dopamine의 총투여량은 나머지 두 변수를 모두 대변하는 지표가 될 수 있었다.

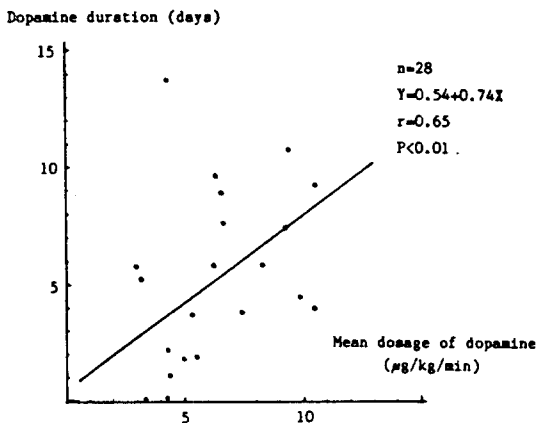


Fig. 7. Correlation between duration of dopamine infusion and mean dosage of dopamine. The solid line represents regression line. There was a good correlation between them.

IV. 고 찰

1888년 Fallot에 의해 폐동맥협착, 심실중격결손, 대동맥기승 그리고 이들로 인한 이차적인 우심실비대의 4가지 해부학적인 소견으로 정의된 활로씨 4징증의 가장 특징적인 혈액학적 소견은 좌심실과 우심실의 혈액이 자유로이 왕래할 수 있는 커다란 심실중격결손과 더불어 누두부위와 폐동맥 등의 우심실유출로의 협착으로 이야기될 수 있는데 특히 우심실유출로의 협착의 정도는 이 심기형의 중한 정도를 가름짓는 척도가 된다. 그중에서도 누두부위, 폐동맥판막 그리고 주폐동맥까지는 수술에 의해 그 협착을 해소시켜줄 수 있지만 그 원위부위는 수술에 의한 조작이 불가능하거나

지극히 힘들게 되므로 주폐동맥분기점 원위부위 폐동맥의 발달상태는 수술후의 예후를 결정짓는 중요한 요소가 된다.

우심실유출로의 협착정도는 우심실에서 폐동맥을 경유하여 폐로 흘러가는 폐혈류량을 결정하게 되는데 이렇게 우심실유출로의 협착으로 인해 폐혈류량이 줄게 되면 전신순환으로부터 여러 종류의 측부순환이 생겨 우심실에서 오는 혈류에 추가되어 어느 정도 폐혈류량을 증가시키게 된다. 그러므로 우심실유출로의 협착정도만으로는 전체적인 폐혈류량을 가늠할 수가 없게 된다. 덧붙여 Jarmakani 등¹⁴⁾은 좌우단락이나 양측단락이 있는 환자에서 좌심실의 용적은 폐혈류량과 훌륭한 상관관계를 갖고 있다고 보고하고 있다.

이러한 사실들과 더불어 폐동맥의 상태와 폐혈류량은 밀접한 상관관계를 갖고 있다는 점을 생각할 때 팔로씨 4징증에서 좌심실의 용적은 폐혈류량과 폐동맥의 발달상태를 간접적으로 반영하는 지표가 될 수 있고 따라서 수술후의 예후를 결정짓는 중요요소가 될 수 있다는 가정이 가능하게 된다.

사실 활로씨 4징증에서 좌심실의 발육이 불충분한가에 대한 논란은 예로부터 계속되어 왔다. Kirklin 등¹⁹⁾은 5세이상의 활로씨 4징증 환자에서 좌심실의 용적은 충분한 크기에 다다르고 있다고 이야기하고 있으나 여기서는 이보다 어린 나이의 환자에 대한 언급은 없었다. 한편 Lev²⁰⁾나 Nagao²⁷⁾ 등은 많은 경우의 활로씨 4징증 환자에서 좌심실용적이 감소되어 있다고 보고하였으며 Miller 등²⁵⁾은 심혈관조영술을 통한 좌심실용적의 측정에서 전체적으로 좌심실용적이 평균보다 감소되어 있으나 대부분이(12/14) 정상범위 안에 있다고 하였으며 그 이유로 측부순환으로 인한 폐혈류량의 증가가 중요한 역할을 하고 있으며 그에 덧붙여 심실중격결손을 통한 우심실에서 좌심실로의 혈류도 일부 역할을 담당할 수 있다²⁾고 이야기하였다. 그러나 그들은 중증의 활로씨 4징증에서는 좌심실용적이 유의하게 감소되어 있음을 보여주었고 또한 전신-폐순환 단락술 후에는 폐혈류량의 증가로 인해 좌심실의 용적이 증가되어 있음을 보여주었다.

본 연구의 결과에서도 활로씨 4징증환자의 좌심실용적은 평균 $57.6 \pm 18.3 \text{cc}/\text{m}^2$ 로 측정되어 Wynne³⁶⁾, Kennedy¹⁵⁾, Miller²⁶⁾ 등의 정상치와 비교하여 불태 유의하게 감소되어 있었다. 그러나 여기에는 두가지 문제점이 지적될 수 있는데 첫째는 좌심실용적의 측정에 관한 문제이며 둘째는 좌심실용적의

정상치에 관한 문제이다.

좌심실용적을 생체에서 직접 측정하는 것은 불가능하므로 심에코도나^{5,6,7)} 방사선동위원소^{13,22)}, 혹은 심혈관조영술^{3,16,34)} 등의 보조수단이 사용되고 있으나 모두 오차가 생기게 되어 있으며 저마다 각각의 장단점을 내포하고 있다. 그러나 그중에서도 심혈관조영술에 의한 방법이 제일 많이 사용되고 있으며 실측치와의 비교도 많이 되어 실측치와의 차이를 교정하기 위한 공식도 많이 발표되어 타당성과 신뢰성이 다수에 의해 인정받고 있으므로 본 연구에서도 이 방법을 채택하였다.

그 다음의 문제는 좌심실용적의 정상치에 관한 문제인데 많은 저자들이 단위체표면적당 용적으로 정상치를 제시하고 있으나 단위체표면적당 용적이 나이나 체표면적에 상관없이 일정하다고 이야기할 증거가 없으므로 이 수치에 의문이 제기될 수 있다. 따라서 특히 소아연령에서는 이러한 기준으로 정상치를 정하면 안 된다고 주장하는 저자도 상당수 있다^{29,30)}. 그리하여 Nomoto 등³⁰⁾은 $LVEDV(cc) = 72.8 \times BSA(m^2)^{1.30}$ 이라는 정상치의 공식을 제시하였는데 이를 100%로 놓고 본 연구에서 측정된 좌심실용적을 비교해보면 평균 $90.7 \pm 26.1\%$ 로 정상치보다 감소되어 있는 경향은 있었지만 통계학적으로 유의한 차이는 없었다($0.05 < p < 0.1$).

그러나 본 연구에서의 좌심실용적은 체표면적과 0.84의 높은 상관계수를 갖는 일차회귀직선으로 표시될 수 있었고 34례중 25례(73.5%)가 체표면적 0.4~0.8m²안에 분포되어 있어 이후의 분석에서 Nomoto 등의 정상치와 비교하지 않고 단위체표면적당 좌심실용적을 사용하여 분석하였다.

팔로씨 4징증에서 좌심실의 용적이 수술후 예후에 미치는 영향에 대해서 Malm 등²⁴⁾은 좌심실의 용적이 작다고 해도 그것이 수술후 사망률과는 관련되어 있지 않다고 이야기하고 있으나 대부분의 다른 저자들은 좌심실용적과 수술후 예후에 대해 어느 정도의 관련성을 이야기하고 있다. 즉 Graham⁸⁾이나 Jarmakani¹⁴⁾ 등은 좌심실용적이 정상의 60% 미만인 팔로씨 4징증 환자에서 수술후 사망한 원인을 분석한 결과 좌심실기능부전으로 인한 폐부종이 사망의 원인이라고 결론을 내리고 좌심실발육이 불충분한 환자의 수술후 위험성에 대해 논하였다. 그뿐 아니라 Ebert⁴⁾나 Nomoto³⁰⁾ 등은 좌심실용적이 작을수록 수술후 저심박출증이나 폐부종 등의 합병증이 많이 생긴다고 이야기하고 있다.

본 연구의 경우에도 34례중 1례가 수술후 6일만에 저심박출증과 더불어 생긴 폐부종으로 인해 사망하였는데 그 환자의 좌심실용적은 23.8cc/m²로 정상치의 50% 미만이었다. 그러나 그 밖의 혈색소용적, 폐동맥크기, 수술시간 등의 다른 조건들은 다른 환자와 특별한 차이가 없었던 것으로 보아 저심박출증 및 폐부종은 좌심실발육부전이 주원인이었던 것으로 생각된다.

그러나 현대의 팔로씨 4징증에 대한 수술성적은 날로 향상되고 수술사망율도 급격히 줄어들고 있으며 수술사망 원인도 여러가지가 생길 수 있는 바 수술사망율만으로는 좌심실용적이 수술후의 결과에 미치는 영향에 관한 분석이 힘들게 되어 있다. 따라서 이에 대한 분석을 위해서는 다른 방법이 필요하게 되는데 본 연구에서는 수술후 심장기능이 저하되어 심박출량이 적을수록 심장기능을 향상시키는 변력제가 더 많이 필요할 것이라는 가정하에 수술후 환자에게 투여된 변력제인 Dopamine의 총량을 가지고 분석하였다. 그 이유는 먼저, 심장기능의 지표로 심박출계수의 측정이 있을 수 있겠지만 수술후 환자관리하는 과정에서 혈압이나 맥박 등의 활력증상을 보고 저심박출증의 의심되면 심박출계수 측정의 여유없이 Dopamine 등의 변력제를 써야하는 상황이 많이 생기며 이런 상황에서 심박출계수의 측정은 의미가 없게 될뿐 아니라 팔로씨 4징증의 수술후 환자관리과정에서 전체환자의 욕이상이 Dopamine의 변력작용을 필요로 하게 되므로 이러한 Dopamine의 용량과 투여기간은 심장기능의 중요한 지표가 될 수 있기 때문이다.

그러나 Dopamine을 좌심실기능의 좌표로 사용하는데도 문제점이 없는 바는 아니다. 즉 변력제로서의 Dopamine의 선택과 용량, 그리고 투여기간 등에는 수술후 환자관리를 하는 의사의 주관과 선호도에 의해 어느 정도 좌우되기 때문이다. 이와 같은 영향을 배제하기 위하여 본 연구에서는 Dopamine의 사용적응증을 제시하여 그 적응증에 맞는 환자에 한해 Dopamine을 사용하였으며 연도적 흐름에 따른 경향을 막기 위해 1년동안 수술받은 환자만을 연구대상으로 하였다. 그에 덧붙여 수술후 관리에서 뜻하지 않은 사고나 수술후 환자관리의 잘못 등이 명백히 있을 때는 이러한 것들이 Dopamine의 총투여량에 영향을 줄 것이라는 생각하에 연구대상에서 제외하였다.

그리고 Dopamine의 총투여량이 길다고 해도 소용량을 장기간 쓴 경우와 다용량을 단기간 쓴 경우는 상

황이 다를 것이라는 생각하에 Dopamine의 총투여량 외에도 Dopamine의 투여기간, 평균투여용량도 같은 방법으로 분석하였다. 그 결과 Dopamine의 투여기간이나 평균 투여용량도 총투여량과 마찬가지로 좌심실 용적과 유의한 음의 상관관계를 갖는 것으로 밝혀졌을 뿐 아니라 Dopamine의 투여기간과 평균투여용량도 유의한 양의 상관관계를 갖는 것으로 밝혀져서 소량을 장기간 쓰거나 다량을 단기간 쓴 경우가 분석결과에 영향을 미치는 경우는 거의 없는 것으로 생각해도 아무 무리가 없었다.

이와 더불어 고려해야 할 사항은 좌심실용적외에도 수술후 전체심장기능에 영향을 주고 따라서 Dopamine의 총투여량에 영향을 주는 요소가 있을 수 있다는 문제이다. 그러한 인자들로는 수술전 청색증의 정도를 반영하는 혈색소용적비, 수술시 인공심폐기 관류시간, 상행대동맥 차단시간, 수술후 잔존하는 우심실유출로의 압력경사, 수술후 생기는 폐동맥판막 폐쇄부전증 그리고 우심실유출로첨포로 인해 생긴 비운동성 우심실벽 등을 들수 있는데 본 연구에서는 이러한 요소들로 인한 영향을 배제하기 위하여 노력하였다. 먼저 잔존하는 우심실유출로협착에 관한 문제는 수술시 우심실유출로의 확장정도를 Pacifico 등³¹⁾의 기준에 맞추어 그 이상으로 하였으므로 비록 수술후 우심실과 폐동맥간의 압력경사를 측정하지는 못하였지만 이는 크게 문제가 되지 않을 것으로 생각된다. 또 우심실유출로첨포는 똑같은 모양과 재질을 사용하였으므로 개인차는 없을 것으로 생각된다.

그리고 수술후 생기는 폐동맥판막 폐쇄부전증이 미치는 영향을 분석하기 위하여 I군과 II군을 비교하였는데 I군과 II군에서 좌심실의 용적은 별 차이가 없었으나 Dopamine의 총투여량은 II군에서 I군보다 유의하게 많은 것으로 밝혀져 수술후 생기는 폐동맥판막 폐쇄부전이 수술후의 심장기능에 악영향을 미치는 것으로 분석되었다. 그리하여 좌심실용적과 Dopamine 총투여량과의 상관관계 분석에서는 II군을 제외하고 I군만을 대상으로 하였다. 그러나 적혈구용적비, 인공심폐기 관류시간, 상행대동맥 차단시간 등은 Dopamine 총투여량과 아무런 상관관계가 없어서 이들로 인한 심장기능의 영향은 문제가 되지 않는 것으로 해석하였다.

이러한 사실들로 미루어 볼 때 수술전의 좌심실용적은 좌심실의 발육정도를 충분히 반영할 수 있으며 이는 수술후 전체적인 심장기능에 영향을 주어 좌심실의

용적이 작을수록 수술후 변력작용의 도움을 더 많이 필요로 한다고 결론을 내릴 수 있었다. 그러나 여기서 우리가 유의해야 할 점은 좌심실용적이 작을수록 수술후 변력작용을 많이 필요로 하기는 하지만 이것만 가지고는 완전교정술의 가능과 불가능을 단정지어 이야기할 수 없다는 사실이다. 본 연구에서 정상 50% 미만의 좌심실용적을 가진 환자가 수술후 사망하기는 했지만 어느 한도 이하가 되면 수술후 생존이 가능하다고 이야기할 근거는 찾을 수 없었다. 사실 수술후 생존과 사망의 결과는 수술전의 상태 외에도 수술시 그리고 수술후의 환자관리에 의해서도 많이 좌우될 수 있기 때문이기도 하다.

여기에 덧붙여서 좌심실용적이 수술후 심장기능에 영향을 주기는 하지만 이것은 수술직후의 혈액학적 문제이고 이 기간을 생존한 환자들의 장기 추적관찰 결과에 수술전 좌심실용적이 미치는 영향은 전혀 추정할 수가 없었다. 그러므로 이러한 문제에 대한 해답은 향후 지속적인 연구가 있어야 가능하리라 생각한다.

V. 결 론

저자는 1985년 1년간 서울대학교 병원 흉부외과에서 완전교정술을 시행받은 팔로씨 4정증 환자 34례를 대상으로 심혈관영화촬영술을 이용하여 좌심실의 용적을 측정하고 또 좌심실용적이 수술후 심장기능에 미치는 영향을 분석하였다.

1. 환자는 남자 19례 여자 15례로 총 34례였으며 평균나이는 $5\frac{1}{12} \pm 3\frac{9}{12}$ 세, 평균 체표면적은 $0.65 \pm 0.20\text{m}^2$, 평균체중은 $15.6 \pm 6.48\text{kg}$ 그리고 평균 적혈구 용적비는 $50.6 \pm 9.77\%$ 이었다.

2. 심혈관영화촬영술을 이용하여 측정한 이완기말 좌심실용적은 체표면적과 좋은 양의 일차상관관계를 이루고 있었으며 ($Y = -20.0 + 92.3X$, $r = 0.84$, $p < 0.005$) 단위체표면적당 좌심실용적은 평균 $57.6 \pm 18.3\text{cc}/\text{m}^2$ 로 정상치에 비해 유의한 감소를 보였다. 또한 단위체표면적당 좌심실용적은 체표면적이 증가할수록 커지는 경향을 보였지만 통계학적인 유의성은 없었다.

3. 수술후 심장기능의 지표로 사용한 Dopamine의 총투여량은 우심실유출로확장시 경관윤절계를 한 군에서 하지 않는 군에 비해 유의하게 많았다.

4. 수술후 투여된 Dopamine의 총량은 심혈관영화촬영술을 이용해 측정된 좌심실용적과 좋은 음의 일차

상관관계를 보여 주었다($Y=150-1.89X$, $r=-0.77$, $p<0.005$).

5. 그러나 수술후 투여된 Dopamine의 총량은 적혈구용적비, 인공심폐기 관류시간 그리고 상행대동맥 차단시간과는 아무런 상관관계가 존재하지 않았다.

6. 활로씨 4징증에서 좌심실의 용적은 수술직후의 심장기능의 유용한 지표로 사용될 수 있다. 그러나 이것은 수술직후의 문제이며, 좌심실용적이 장기 추적 관찰 결과에 미치는 영향은 지속적인 연구가 있어야 할 것으로 생각한다.

REFERENCES

- Alferi o, Blackstone EH, Kirklin JW, et al. *Surgical treatment of tetralogy of Fallot with pulmonary atresia. J Thorac Cardiovasc Surg.* 1978, 76:321-335.
- Coelho E, De Paiva E, De Pádua F, et al. *Tetralogy of Fallot. Angiocardiographic, electrocardiographic, vectorcardiographic and hemodynamic studies of the Fallot type complex Am J Cardiol.* 1961, 7:538-564.
- Dodge HT, Sandler H, Ballew DW, et al. *The use of biplane angiocardiology for the measurement of left ventricular volume in man. Am Heart J.* 1960, 60:762-776.
- Ebert PA, Sabiston DR Jr. *Surgical management of the tetralogy of Fallot. Influence of a previous systemic-pulmonary anastomosis on the results of open correction. Ann Surg.* 1967, 165:806-813.
- Feigenbaum H, Popp RL, Wolfe SB, et al. *Ultrasound measurements of the left ventricle. A correlative study with angiocardiology. Arch Intern Med.* 1972, 129:461-467.
- Fortuin NJ, Hood WP Jr, Sherman ME, et al. *Determination of left ventricular volumes by ultrasound. Circulation.* 1971, 44:575-584.
- Gibson DG. *Estimation of left ventricular size by echocardiography. Br Heart J.* 1973, 35:128-134.
- Graham TP Jr, Faulkner S, Bender H Jr, et al. *Hypoplasia of the left ventricle: Rare cause of postoperative mortality in tetralogy of Fallot. Am J Cardiol.* 1977, 40:454-457.
- Graham TP Jr, Jarmakani JM, Canent RV Jr, et al. *Left heart volume estimation in infancy and childhood. Reevaluation of methodology and normal values. Circulation.* 1971, 43:895-904.
- Greene DG, Bunnell IL. *Left ventricular volumes from one-plane cine frames in the right anterior oblique projection in adult human subjects. Presentation to the North American Society for Cardiac Radiology, New Orleans, March, 1974.*
- Greene DG, Carlisle R, Grant C, et al. *Estimation of left ventricular volume by one-plane cineangiography. Circulation.* 1967, 35:61-69.
- Haworth SG, Macartney FJ. *Growth and development of pulmonary circulation in pulmonary atresia with ventricular septal defect and major aortopulmonary collateral arteries. Br Heart J.* 1980, 44:14-24.
- Holt JP. *Symposium on measurement of left ventricular volume. Part II. Indicator-dilution methods: Indicators, injection, sampling and mixing problems in measurement of ventricular volume. Am J Cardiol.* 1966, 18:208-225.
- Jarmakani JMM, Graham TP Jr, Canent RV Jr, et al. *Left heart function in children with tetralogy of Fallot before and after palliative or corrective surgery. circulation.* 1972, 46:478-490.
- Kennedy JW, Baxley WA, Figley MM, et al. *Quantitative angiocardiology I. The normal left ventricle in man. Circulation.* 1966, 34:272-278.
- Kennedy JW, Trenholme SE, Kasser IS. *Left ventricular volume and mass from single-plane cineangiogram. A comparison of anteroposterior and right anterior oblique methods. Am Heart J.* 1970, 80:343-352.
- Kirklin JW, Blackstone EH, Kirklin JK, et al. *Surgical results and protocols in the spectrum of tetralogy of Fallot. Ann Surg.* 1983, 198:251-266.
- Kirklin JW, Blackstone EH, Pacifico AD, et al. *Routine primary repair vs. Two-stage repair of tetralogy of Fallot. circulation.* 1979, 60:373-386.
- Kirklin JW, Karp RB. *The tetralogy of Fallot from a surgical viewpoint. 1st ed, W.B. Saunders, Philadelphia, 1970:117-139.*
- Lev M, Rimoldi HJA, Rowlatt UF. *The quantitative anatomy of cyanotic tetralogy of Fallot. Circulation.* 1964, 30:531-538.
- Lillehei CW, Cohen M, Warden HE, et al. *Direct*

- vision intracardiac surgical correction of the tetralogy of Fallot, pentalogy of Fallot and pulmonary atresia defects. Report of first ten cases. *Ann Surg.* 1955, 142:418-445.
22. Love WD, O'Meallie LP, Burch GE. Clinical estimation of the volumes of blood in the right heart, left heart, and lungs by use of I^{131} albumin. *Am Heart J.* 1961, 61:397-407.
 23. Macartney F, Deverall P, Scott O. Hemodynamic characteristics of systemic arterial blood supply to the lungs. *Br Heart J.* 1973, 35:28-37.
 24. Malm JR, Bowman FO Jr, Ellis K, et al. Factors that modify hemodynamic results in total correction of tetralogy of Fallot. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1966, 52:502-513.
 25. Miller GAH, Kirklin JW, Rahimtoola SH, et al. Volume of the left ventricle in tetralogy of Fallot. *Am J Cardiol.* 1967, 165:806-813.
 26. Miller GAH, Swan HJC. Effect of chronic pressure and volume overload on left heart volume in subjects with congenital heart disease. *Circulation.* 1964, 30:205-216.
 27. Nagao GL, Daoud GI, McAdams AJ, et al. Cardiovascular anomalies associated with tetralogy of Fallot. *Am J Cardiol.* 1967, 20:206-215.
 28. Naito Y, Fujita T, Manabe H, et al. The criteria for reconstruction of right ventricular outflow tract in total correction of tetralogy of Fallot. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1980, 80:574-581.
 29. Nakazakwa M, Marks RA, Isabel-Jones J, et al. Right and left ventricular volume characteristics in children with pulmonary stenosis and intact ventricular septum. *Circulation.* 1976, 53:884-890.
 30. Nomoto S, Muraoka R, Yokota M, et al. Left ventricular volume as a predictor of postoperative hemodynamics and a criterion for total correction of tetralogy of Fallot. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1984, 88:389-394.
 31. Pacifico AD, Kirklin JW, Blackstone EH. Surgical management of pulmonary stenosis in tetralogy of Fallot. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1977, 74:382-395.
 32. Ramsey JM, Macartney FJ, Haworth SG. Tetralogy Fallot with major aortopulmonary collateral arteries. *Br Heart J.* 1985, 53:167-172.
 33. Rees S, Somerville A. Aortography in Fallot's tetralogy and variants. *Br Heart J.* 1969, 31:146-153.
 34. Sandler H, Dodge HT. The use of single plane angiocardiograms for the calculation of left ventricular volume in man. *Am Heart J.* 1968, 75:325-334.
 35. Sutherland HDA. The metamorphosis of cardiac surgery in Australia. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1980, 80:808-823.
 36. Wynne J, Green LH, Mann T, et al. Estimation of left ventricular volumes in man from biplane cineangiograms filmed in oblique projections. *Am J Cardiol.* 1978, 41:726-732.