

# 先天性心疾患에서 放射性 同位元素心血管造影術

—左右短絡의 發見과 定量에 대하여—

全北大學校 醫科大學 放射線科學教室

金炳瓚 · 盧柄錫 · 孫銘晞 · 宋昊永  
金鍾壽 · 金鍾建 · 崔基鐵

= Abstract =

## Radionuclide Angiocardiography in Congenital Heart Disease

Byung Chan Kim, M.D., Byung Suk Noh, M.D., Myung Hee Sohn, M.D.  
Ho Yung Song, M.D., Chong Soo Kim, M.D., Jong Keon Kim, M.D.  
and Ki Chul Choi, M.D.

*Department of Radiology, Chonbuk National University, College of Medicine*

In detecting, localizing and quantitating cardiac shunts, radionuclide angiocardiography has been known to be a simple and safe method compared with oxymetry method.

To ascertain the availability of the results obtained by radionuclide angiocardiography for the evaluation of patients with cardiac shunt, author compared the Qp/Qs ratios (pulmonary to systemic flow ratios) obtained by radionuclide angiocardiography with the results of oxymetry method in 40 patients with left to right shunt, and also compared the results of radionuclide angiocardiography examined before and after shunt operation in 8 patients.

The results were as follows:

1) Of the 161 patients examined radionuclide angiocardiography, 98 were thought to have cardiac shunts: right to left shunt in 27, left to right shunt in 71. Of the 71 patients who had left to right shunt, 40 who were examined with both radionuclide angiocardiography and oxymetry had following congenital heart disease: VSD in 21, ASD in 9 and PDA in 10.

2) Comparison of Qp/Qs ratios obtained during radionuclide angiocardiography and oxymetry revealed good correlation (linear regression analysis yielded correlation coefficient of 0.80) in 32 patients whose Qp/Qs ratio obtained during oxymetry were below 3.0, but very poor correlation in 8 patients whose Qp/Qs ratios were above 3.0

3) Radionuclide angiocardiography is a relatively safe and simple method in postoperative evaluation of patients with cardiac shunt.

## 서 론

방사성동위원소를 이용한 심혈관조영술은 선천성이나 후천성 심질환의 진단과 평가에 중요한 검사 방법으로 알려져 왔다<sup>1-4)</sup>.

선천성 심질환의 경우, 단락(shunt)의 존재 유무와 그 양의 측정은 심질환의 진단과 수술 여부의 결정, 수술 후 예후평가에 중요한 지척이 되는데, 이를 위한 좌우단락양을 측정하는 방법에는 심도자술에 의한 혈중 산소포화도법과 방사성 동위원소심혈관조영술에 의한 정량법이 사용되고 있다.

이 중 심도자술에 의한 방법이 널리 사용되어 왔는데 정확하긴 하나 침해적이고 부작용이 많은 단점이 있다. 이에 비해 근래에 발달한 방사성동위원소 심혈관조영술에 의한 방법은 비교적 간단하게 단락량을 측정하며 위험도가 낮고, 혈류학적 장애가 없으며 반복시행이 가능하다는 장점을 가지고 있고 그 결과도 심도자술에 의한 것과 비슷한 것으로 보고되었다<sup>1-3, 5, 10, 13, 14</sup>.

이에 저자들은 전북의대 방사선과학교실에서 방사성동위원소 심혈관조영술을 시행한 환자 중 좌우단락이 의심되는 환자를 대상으로 gamma function method를 이용하여 폐혈류/순환혈류량비(이하 Qp/Qs라 칭함)를 구하고 이를 혈중 산소포화도법에 의해 얻어진 값과 비교하여 방사성동위원소 심혈관조영술의 유용성을 검토해 보고 또 같은 환자에서 수술전과 수술 후에 실시한 방사성동위원소 심혈관조영술의 결과를 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었기에 보고하는 바이다.

### 대상 및 방법

대상은 1984년 9월부터 1985년 8월 사이에 전북의대 방사선과학교실에서 방사성동위원소 심혈관조영술을 시행한 환자 161명 중 심도자술을 병행했던 40명을 대상으로 하였다.

방사성동위원소 심혈관조영술은 환자를 앙와위로 하고 Pho/Gamma scintillation camera 에 저에너지용 parallel hole collimator 를 이용하여 좌전사위가 되도록 기울인 후 주전정맥이나 외경정맥에 19G needle 로 천자한 후 삼방판(three-way tube)을 이용하여 <sup>99m</sup>Tc-pertechnate 200 $\mu$ Ci/kg 를 생리식염수 약 10cc 로 순간 주사한 후 초당 4 frame 씩 30초동안 data 를 얻은 다음 화면에 64 $\times$ 64 matrix 로 전개하고 상대정맥, 좌심실, 좌측폐가 잘 보이는 부분에 각각의 관심영역(ROI)을 그려 시간-방사능곡선(time-activity curve)을 얻었다(Fig. 1, 2).

이때 상대정맥 곡선에서 그 정점의 기간이 3초이상이거나 곡선이 분산되어 있으면 순간주사가 잘못된 것으로 판단하여 측정을 시도하지 않았다.

좌우단락이 있는 환자에서 Qp/Qs 는 Maltz 와 Treves 등에 의한 gamma function method<sup>5)</sup>를 이용해서 구했다. 그 방법은 좌측폐의 곡선에 4점을 정한 후 gamma fitting 을 하면 단락의 영향을 배제한 순수한 폐혈류곡선을 얻을 수 있는데 그에 해당하는 면적 A<sub>1</sub> 이 폐혈류량(Qp)이 된다(Fig. 3). 다음은 원래의 폐곡선에서 순수한 폐혈류량 곡선을 뺀 나머지 곡선, 즉

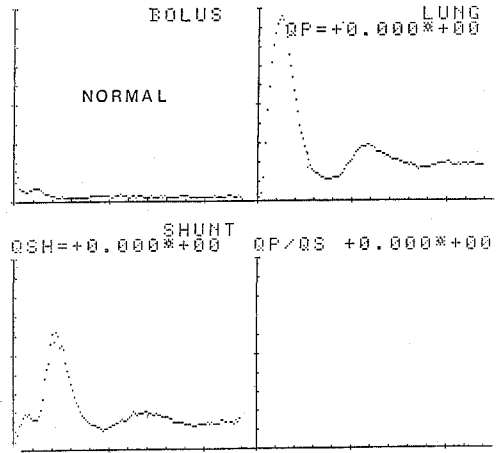


Fig. 1. Normal time-activity curves of SVC, left lung and left ventricle.

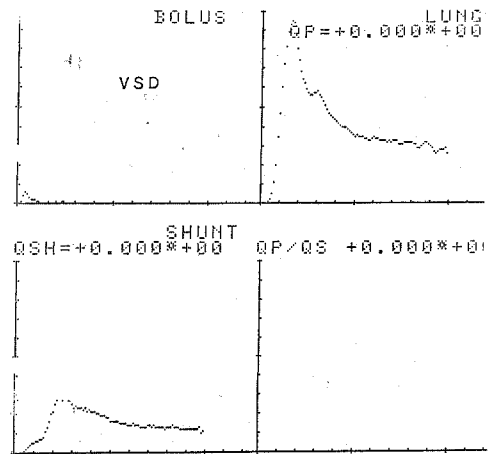


Fig. 2. Time-activity curves in left to right shunt showed interruption of exponential downslope due to early pulmonary recirculation through the shunt.

재순환 곡선에 다시 4개의 점을 정하여 두번째 gamma fitting 을 하는데 여기서 얻어진 면적 A<sub>1</sub>가 단락에 의해 재순환된 혈류량(Qshunt)을 나타낸다(Fig. 4). 결국 순환 혈류량(Qs)은 순수한 폐 혈류량(A<sub>1</sub>)에서 재순환된 혈류량(A<sub>1</sub>)을 뺀 나머지 값이 되고 결국 폐혈류/순환혈류비(Qp/Qs)는 Qp/Qp-Qshunt, 즉 A<sub>1</sub>/A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub>에 의해 구할 수 있다.

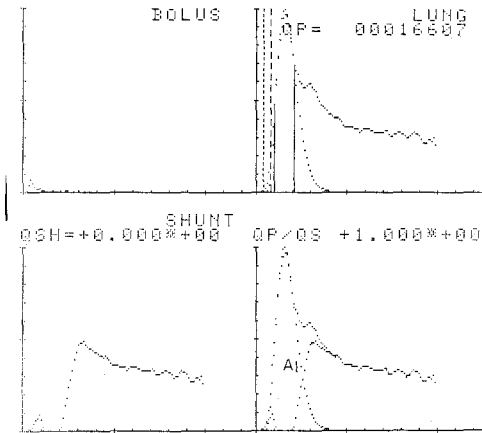


Fig. 3. First gamma fitting on original pulmonary time-activity curve. The area under this curve ( $A_1$ ) is proportional to  $Q_p$ .

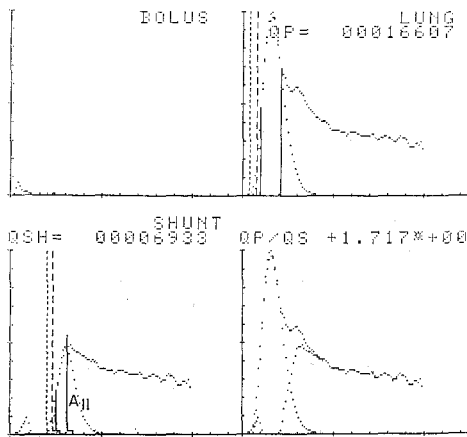


Fig. 4. Second gamma fitting on recirculation curve. The area under this curve ( $A_2$ ) is proportional to the first early pulmonary recirculation due to the shunt.

그리고 좌우단락이 있는 대상 환자 40명 중 8명에서 수술 후 추적검사로 방사성동위원소 심혈관조영술을 시행하였다.

### 결 과

1년간 방사성동위원소 심혈관조영술을 시행한 161명 중 98명에서 단락이 의심되었다. 그 중 27명은 우좌단

Table 1. Summary of Total Patient Undergone Radionuclide Angiocardiology

Total 161	Shunt 98	Left to Right	with Cath. 45
		Right to Left	
	No Shunt 63		

Table 2. Age and Sex Distribution

Sex \ Age	Male	Female	Total
0~2	1	2	3
3~4	1	3	4
5~6	2	6	8
7~9	4	4	8
10~14	2	6	8
15~19	2	2	4
20~29	3	2	5
Total	15	25	40
Mean	11.3	9.04	—

락, 71명은 좌우단락이었고 71명 중 심도자술을 같이 시행했던 환자는 45명이었는데 그 중 5명은 불완전한 순간주사로 대상에서 제외하였다(Table 1).

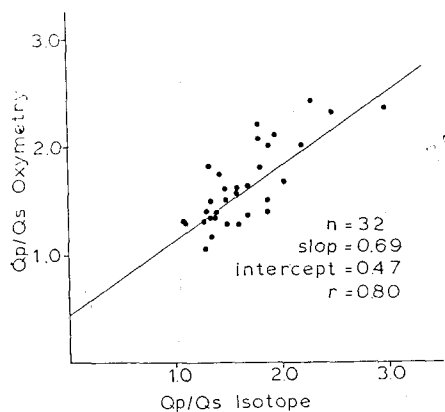
전 대상인 40명의 연령 및 성별분포는 Table 2와 같고 각각의 나이 및 결혼 형태, 심도자술과 방사성동위원소 심혈관조영술에 의한  $Q_p/Q_s$  값은 Table 3과 같다. 그 중 VSD는 21명, ASD는 9명, PDA는 10명이었고 심도자술에 의한  $Q_p/Q_s$  값이 3.0 이하인 환자는 32명, 3.0이상인 환자는 8명이었다.

좌측폐의 폭선에서 정상인, 즉 단락이 없는 환자에서는 그 모양이 빠른 경사(rapid upslope), 정점(peak), 지수학적 감소(exponential decay)로 이루어져 마치 gamma-variate model과 유사하며(Fig. 1), 이에 비해 좌우단락환자에서는 정점 후에 일정하게 감소되는 downslope가 조기에 나타난 재순환 혈류에 의해 붕괴됨으로 단락의 존재를 알 수 있다(Fig. 2).

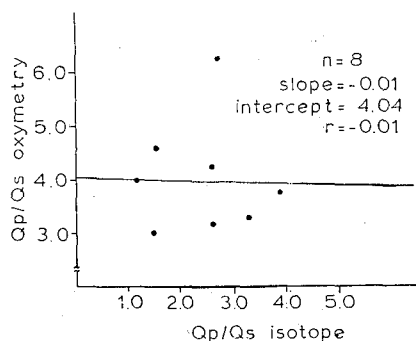
심도자술에 의해 산출된  $Q_p/Q_s$ 와 방사성동위원소 심혈관조영술에 의해 산출된  $Q_p/Q_s$ 를 비교할 때 상관관계는 심도자술에 의한  $Q_p/Q_s$ 가 3.0이하였던 32명에서는 상관계수  $r=0.80$ 으로 매우 유의했으나( $p<0.001$ )(Fig. 5), 3.0이상이었던 8명에서는  $r=-0.01$ 로 상관관계가 전혀 없었다(Fig. 6).

**Table 3. Summary of Measured Values of 40 Patients**

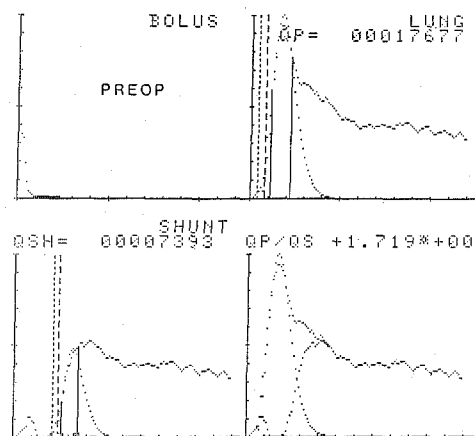
Case No.	Age	Defects	Qp/Qs	
			RNA	Oximetry
1	9	VSD. PS	1.50	1.27
2	6	VSD	2.21	2.00
3	5	VSD	1.27	1.30
4	4	VSD	3.00	2.34
5	7	VSD	1.47	1.59
6	6	VSD	1.10	1.30
7	12	VSD	1.38	1.33
8	7	VSD	3.84	3.74
9	7	VSD	1.48	1.51
10	10	VSD	1.88	1.50
11	5	VSD	1.89	2.00
12	11	VSD	1.62	1.62
13	15	VSD	1.36	1.34
14	7	VSD	1.35	1.16
15	7	VSD	2.20	1.88
16	7	VSD	1.31	1.40
17	15	VSD	2.72	6.14
18	7	VSD	1.13	1.28
19	26	VSD	1.34	1.82
20	12	VSD. PS	1.30	1.05
21	3	VSD	2.03	1.66
22	9	ASD	2.60	3.09
23	6	ASD	2.20	4.00
24	13	ASD	1.44	1.73
25	11	ASD	2.60	4.15
26	13	ASD	1.82	1.80
27	28	ASD	2.60	2.40
28	21	ASD	1.87	1.37
29	1.5	ASD	3.30	3.30
30	21	ASD	1.39	1.38
31	6	PDA	1.59	1.56
32	2	PDA	1.47	3.03
33	15	PDA	1.70	1.35
34	4	PDA	1.60	1.61
35	3	PDA	1.80	2.06
36	10	PDA	2.50	2.30
37	12	PDA	1.70	1.63
38	2	PDA	1.95	2.09
39	5	PDA	1.35	1.48
40	27	PDA	1.80	2.20



**Fig. 5.** Correlation between the Qp/Qs ratio obtained by oximetry and by radionuclide angiography in 32 patients, whose oximetry values were below 3.0.



**Fig. 6.** Correlation between the Qp/Qs ratio obtained by oximetry and by radionuclide angiography in 8 patients, whose oximetry values were above 3.0.



**Fig. 7-A.** Preoperative radionuclide angiography of VSD patient showing left to right shunt with Qp/Qs 1.72.

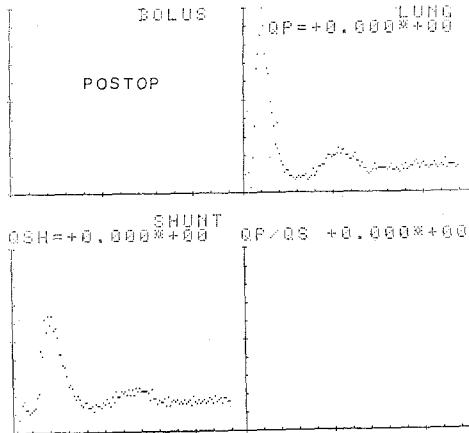


Fig. 7-B. Postoperative followup study showed normal curve without evidence of shunt.

수술 후 추적검사로 방사성동위원소 심혈관조영술을 시행했던 8명의 환자 중 전례에서 수술 전에 보였던 좌우단락이 수술 후에는 교정되어 정상 시간 방사능곡선을 보였다(Fig. 7).

### 고 안

방사성동위원소를 이용하여 좌우단락량을 측정하고자 하는 노력은 1949년 Prinzmetal 등<sup>6)</sup>에 의해 처음 시도되었으며 1962년 Folse 와 Braunwald 등<sup>7)</sup>은 <sup>131</sup>I-diodrast 를 사용하여 폐혈관희석곡선을 그려서 C<sub>2</sub>/C<sub>1</sub> ratio 를 구했는데 이는 그 후 여러 학자들에 의해 연구되었으나<sup>8,9)</sup> 그 결과가 부정확하여 현재는 이용되지 않고 있다. 그 후 방사성동위원소를 순간주사한 후 폐의 시간-방사능곡선을 그려서 그에 해당하는 면적을 계산함으로써 단락을 정량하는 area ratio technique 이 개발되었는데 여기에는 Maltz 와 Treves 등이 이용한 gamma function method 와 Anderson 등이 사용한 exponential fitting method 가 있다.

Anderson 등<sup>10)</sup>이 이용한 exponential fitting method 는 심장내에서 추적자의 청소율(clearance)은 단순지수적 감소(single exponential decline)를 한다는 가정 하에 좌우단락 환자의 폐혈류곡선의 정점부터 재순환된 혈류에 의해 지수적 감소가 붕괴되기 직전까지를 정한 후 정점에서 정점값의 1%에 해당하는 값까지의 extrapolation 된 선을 얻고 이 선 좌우에 존재하는 면적의 비인 X/Y 를 계산하여 Qs/Qs 를 산출하였으며

심도자술의 값과 비교해 0.95의 높은 상관계수를 얻었다.

이에 비해 gamma function method 는 Maltz 와 Treves 등<sup>5)</sup>이 시도한 방법으로

$$C(t_i) = kt_i^\alpha e^{-t_i/\beta}$$

k,  $\alpha$ ,  $\beta$  : distribution variables

t<sub>i</sub> : i<sup>th</sup> time

C(t<sub>i</sub>) : concentration of activity at time t<sub>i</sub>

라는 Thompson 등<sup>11)</sup>이 발표한 gamma-variate 라는 수학적 함수가 단락이 없는 폐의 시간-방사능곡선과 유사한 모양을 갖는다는 점을 이용하여 gamma fitting 을 하였다. 즉 좌단락 환자에서 초기 폐혈류곡선의 정점을 기준으로 upslope 의 10%, downslope 의 70% 점을 정하여 gamma fitting 한 후 이때 얻은 곡선 부분의 면적(A<sub>1</sub>)을 계산하여 폐혈류량(Qp)을 구한 다음 원곡선에서 초기 폐혈류곡선을 뺀 재순환곡선에 다시 gamma fitting 을 한 후 얻은 곡선 부분의 면적(A<sub>2</sub>)을 계산하여 단락을 통과하는 혈류량(Qshunt)을 구한다. 따라서 Qp/Qs = Qp/(Qp - Qshunt) = A<sub>1</sub>/(A<sub>1</sub> - A<sub>2</sub>)의 공식으로 구할 수 있다. 이렇게 하여 측정된 Qp/Qs 를 심도자술에 의한 방법과 비교하여 Qp/Qs 가 1.2에서 3.0사이에서는 상관계수 r = 0.94로 매우 높았으나 3.0 이상인 경우에는 정점 후에 단락을 통한 재순환이 너무 빨라서 downslope 를 정확히 fitting 시키기가 어렵기 때문에 부정확하다고 보고하였다.

저자들의 경우 Maltz 와 Treves 등이 시도한 gamma function method 를 용하여 Qp/Qs 를 측정된 결과 심도자술에 의해 얻어진 Qp/Qs 가 3.0이하인 경우에는 상관관계 r = 0.80 (p < 0.001)으로 홍 등<sup>12)</sup>이 보고한 0.69 에 비해서는 높았으나 Askenazi 등<sup>13)</sup>에 의한 0.94, Alderson 등<sup>14)</sup>에 의한 0.93에 비해 낮은 값을 보였다. 그러나 이는 폐혈류곡선에 fitting 시키는 기술의 차이에 의한 것으로 생각되며 많은 경험이 축적되면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 이에 비해 3.0이상인 경우는 상관관계가 전혀 없는 것으로 (r = -0.01) 나왔는데 이는 Treves 등<sup>5)</sup>이 지적한대로 downslope 를 정확히 fitting 시키기 어려운데 기인된 것으로 결국 이런 경우 재순환곡선을 fitting 시키는 데 과거 Treves 등이 사용한 범주 외에 다른 기준이 필요한 것으로 생각된다.

위에 기술한 두가지의 area ratio technique 은 그 방법이 간단하면서도 심도자술에 의해 얻어진 값과 비교할 때 높은 상관관계를 보임으로써 동위원소법에 의한 Qp/Qs 의 측정이 임상적으로 유용하게 이용되어 심

도자술의 시행을 줄일 수 있으리라 생각된다.

그러나 이 방법들은 순간주사가 완전하게 된 경우에만 가능함에도 Alderson 등<sup>14)</sup>은 소아환자의 20% 정도에서 순간주사의 실패를 보고했고 저자도 45례 중 5례(11%)에서 순간주사가 불완전하였다. 그래서 Alderson 등<sup>15)</sup>은 1979년 deconvolutional method를 개발하여 순간주사가 잘못된 경우에도 정확한 단락량을 측정할 수 있다고 보고하였다. 즉 관찰된 폐의 시간-방사능곡선은 순간주사 시 도입순간곡선(input bolus curve)과 완전한 순간주사시 예상되는 폐혈류곡선과의 수학적 convolution에 의한 것이기 때문에 결국 관찰된 폐의 시간-방사능곡선의 Fourier 변환에 도입순간곡선(여기서는 상대정맥의 곡선)의 Fourier 변환을 나누어 역변환을 시킴으로 이상적인 실제 폐의 시간-방사능곡선을 얻을 수 있는데 이 과정을 deconvolution이라하고 이 방법으로 순간주사가 불완전하게 된 환자에서  $r=0.39$ 를 deconvolution 시킨 후  $r=0.77$ 의 결과를 보고하였고 오 등<sup>16)</sup>도 0.61에서 0.87로 deconvolution의 유의성을 보고하였는 바 저자들의 경우도 앞으로 deconvolutional method를 도입함으로 순간주사가 잘못된 경우에 더욱 정확한 측정을 할 수 있으리라 생각된다.

심장수술 환자에서 추적적자로 방사성동위원소 심혈관조영술을 시행하는 목적은 첫째, 수술 직후 계속적인 또는 새로운 심잡음(murmur)이 들려 단락의 잔존이나 첩포탈리(patch detachment), 새로운 단락의 출현 등이 의심되거나 심도자술을 시행하기에는 환자의 상태가 좋지 않은 경우, 둘째, Blalock-Taussig, Potts 등의 고식적(palliative) 단락수술을 한 후 단락의 기능을 판정하고자 시행한다. 저자들의 경우 수술 후 추적적자를 시행한 8명 중 전례에서 단락이 없는 정상폐 시간-방사능곡선을 보임을 확인할 수 있었다. 이와 같이 방사성동위원소 심혈관조영술을 수술 후 환자의 평가에 시행할 수 있는 안전하고 간단한 방법으로 사료된다.

### 결 론

저자들은 최근 1984년 9월부터 1985년 8월까지 1년간 전북의대 방사선과학교실에서 방사성동위원소 심혈관조영술을 시행한 환자 중 좌우단락이 의심되었던 환자를 대상으로 여기서 산출한 Qp/Qs와 심도자술에 의한 혈중 산소포화도법으로 산출된 Qp/Qs를 비교하여 방사성동위원소 심혈관조영술의 유용성을 검토해 보고 또 수술 전, 후를 비교해 봄으로써 다음과 같은 결론을

얻었다.

1) 동기간에 시행했던 총 161명 중 98명에서 단락이 의심되었다. 즉 27명은 우좌단락, 71명은 좌우단락이었으며 좌우단락 71명 중 심도자법을 같이 시행한 40명의 환자에서 21명은 VSD, 9명은 ASD, 10명은 PDA였다.

2) 방사성동위원소 심혈관조영술과 심도자술에 의해 얻어진 Qp/Qs의 상관관계는 심도자술 상 Qp/Qs가 3.0이하였던 경우에는 상관관계가  $0.80(p<0.001)$ 로 유의한 상관관계를 보였으나 3.0 이상인 경우에는  $-0.01$ 이었다.

3) 방사성동위원소 심혈관조영술은 심장수술 후 환자의 추적적자에 시행할 수 있는 비교적 좋은 검사방법으로 사료된다.

### REFERENCES

- 1) Treves S, Parker JA: *Detection and Quantitation of intracardiac shunt. Cardiovascular Nuclear Medicine 2nd Ed Mosby 1982*
- 2) Rocha AFG, Habert JC: *Textbook of nuclear medicine: applications. Henry Kimpton London 1979*
- 3) Treves S, Collins-Nakai RL: *Radioactive tracers in congenital heart disease. Am J Cardio 38:711-721, 1976*
- 4) Wesselhoeft H, Hurley PJ, Wager HN, et al: *Nuclear angiocardigraphy in the diagnosis of congenital heart disease in infants. Circulation 45:77-91, 1972*
- 5) Maltz DL, S: *Quantitative nuclide angiocardigraphy; Determination of Qp/Qs in children. Circulation 47:1049-1056, 1973*
- 6) Prinzmetal M, Corday E, Spritzler RJ, et al: *Radiocardiography and its clinical applications. JAMA 139:617, 1949*
- 7) Folse R, Braumward E: *Pulmonary vascular dilution curves recorded by external detection in the diagnosis of left-to-right shunts. Br Heart J 24:166-172, 1962*
- 8) Alazraki NP, Ashburn WN, Hagan A, et al: *Detection of left-to-right cardiac shunts with the scintillation camera pulmonary dilution curve. J Nucl Med 13:142-147, 1972*

- 9) Rosenthal L: *Nucleographic screening of patients for left-to-right cardiac shunts. Radiology* 99:601, 1971
  - 10) Anderson PAW, Jones RH, Sabiston DC: *Quantitation of left-to-right cardiac shunts with radionuclide angiography. Circulation* 49: 512-516, 1964
  - 11) Thompson HK, Starmer F, Whalen R, et al: *Indicator transit time considered as a gamma variate. Circ Res* 14:502-515, 1964
  - 12) 洪彰義, 崔正衍, 朴世源: 心室中隔缺損症에 있어서 心導子法과 同位元素에 의한 左右短絡量 測定 의 比較. 大韓小兒科學會誌 28:36-40, 1984
  - 13) Askenazi J, Ahnberg DS, Korngold, et al: *Quantitative radionuclide angiocardiography: Detection and quantitation of left to right shunt. Am J Cardio* 37:382-387, 1976
  - 14) Alderson PO, Jost RG, Strauss AW, et al: *Radionuclide angiocardiography. Improved diagnosis and quantitation of left-to-right shunts using area ratio technique in children. Circulation* 51:1136-1143, 1975
  - 15) Alderson PO, Douglass KH, Mendenhall KG: *Deconvolutional analysis in radionuclide quantitation of left-to-right cardiac shunts. J Nucl Med* 20:502-506, 1979
  - 16) 吳演相, 李相哲趙普衍 等: *Deconvolution* 分析을 이용한 左右短絡量 測義 大意. 大韓核醫學會誌 18:9-17, 1984
-