

Deconvolution 分析을 利用한 左右短絡量 測定의 意義

서울대학교 醫科大學 內科學敎室

吳演相 · 李明哲 · 趙普衍 · 高昌舜

= Abstract =

Radionuclide Quantitation of Left-to-Right Cardiac Shunts Using Deconvolution Analysis

Yeon Sang Oh, M.D., Myung Chul Lee, M.D., Bo Youn Cho, M.D.
and Chang-Soon Koh, M.D.

Dept. of Internal Medicine, College of Medicine, Seoul National University

The purpose of this study is to investigate significance of new method for quantification of left to right cardiac shunts using deconvolution analysis as an adjunct to gamma variate analysis in patients with bad bolus injection.

In the present study, quantitative radionuclide angiocardiology (QRAC) was performed with and without deconvolution analysis (DA) in 37 patients with left to right shunt and 103 control patients without shunt.

The results obtained were as follows;

1) The mean value of Q_P/Q_S in 103 control patients was 1.10 ± 0.12 without DA, and was 1.01 ± 0.03 with DA.

2) Correlation(r) between oximetry and QRAC with DA was 0.87 and correlation(r) between oximetry and QRAC without DA was 0.61.

3) The 13 patients with left to right shunt, whose Q_P/Q_S was greater than 3.0 by QRAC without DA, was studied by DA.

Then the Q_P/Q_S values were measurable in these 13 patients by DA and they showed significant correlation with oximetry. ($r=0.68$)

The results indicate that deconvolution analysis technique for quantification of a left to right shunt provides more reliable and accurate shunt quantification, and reduces the influences of poor bolus injection.

서 론

좌우단락환자에서 단락량의 정량적 측정은, 선천성 심장기형환자의 진단과 개입술 시행후의 예후판정 및 잔여단락유무등을 평가하는데 매우 유용하다.

좌우단락량을 측정하는 방법으로는 심도자술에 의한

* 본 연구는 1984년도 서울대학교병원 임상연구비의 보조로 이루어진 것임.

산소포화도법과 방사성동위원소심혈관조영술에 의한 정량법이 흔히 이용되고 있다. 산소포화도법은 가장 정확하지만, 심도자술에 따르는 위험으로 인해 단기간에 반복시행할 수 없는 단점이 있다. 이에 비하여 정량적 방사성동위원소심혈관조영술은 신속하고, 비관혈적이며, 방사능피폭량이 적고, 반복시행이 가능하면서 비교적 정확하게 단락량을 산출할 수 있는 방법이다.

정량적 방사성동위원소심혈관조영술을 이용하여 좌우단락량을 측정하는 방법으로, 1973년 Maltz와 Tre-

ves 등^{1,2)}이 폐 시간-방사능 곡선의 gamma-variate model^{3,4)}을 이용한 폐혈류/순환혈류량비(Q_F/Q_S ratio)가 널리 사용되어 여러 보고자들에 의해 연구되었다. 그러나 이 방법은 순간정맥주사(short discrete bolus injection)²⁾를 전제로 하고 있으므로, 불완전한 정맥주사 또는 방사성동위원소 분산에 의하여 단락량측정에 있어 정확하지 않은 경우가 있다.

1979년 Alderson 등⁵⁾은 이러한 순간정맥주사의 차이로 인한 오차를 배제하기 위하여 폐의 시간-방사능곡선(pulmonary time activity curve)을 상대정맥의 시간-방사능곡선으로 deconvoluton 시켜서 얻어지는 교정된 폐통과곡선(deconvoluted pulmonary transit curve)을 이용하여 좌우단락의 양을 보다 정확하게 구하는 방법이 연구되어 왔다.

이에 저자는 deconvolution 분석에 의한 좌우단락량 측정법의 의의를 보고자 좌우단락환자를 대상으로 방사성동위원소를 이용하여 정량적 심혈관조영술을 시행한 후, 종래의 gamma function 법과 deconvolution 분석법으로 Q_F/Q_S를 측정하고 이들을 산소포화도법에 의한 Q_F/Q_S와 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었기에 보고하는 바이다.

대상 및 방법

1. 대 상

대상은 1983년 1월부터 1983년 7월까지 서울대학교 병원에서 심도자술, 좌심실영조영술 및 방사성동위원소 심혈관조영술을 시행하였던 환자중 좌우단락이 수술로서 확진된 37명의 환자(Table 1)와 좌우단락 또는 우좌단락이 없는 것으로 확진된 대조군환자 103명을 대상으로 하였다. 좌우단락환자중 심실중격결손증이 22예, 심방중격결손증은 9예 및 동맥관개방증이 6예였다.

좌우단락환자중 deconvolution 분석법에 의한 Q_F/Q_S가 3이상인 환자들은 산소포화도법과 정량적인 비교를 할 수 없으므로 연구대상에서 제외하였다.

2. 방 법

병력, 이학적검사, 단순 흉부방사선촬영, 심전도, 심 Echo 도 및 심도자술에 의해 좌우단락이 확진된 환자에서 방사성동위원소 심혈관조영술을 시행하였다. 성인환자의 경우 15~20 mCi 의 ^{99m}Tc-human serum albumin 을 one way valve 가 부착된 hand injector 를 사용하여 순간 정맥주사(bolus injection)하였고, 소아의 경우는 200 μ Ci/kg 를 사용하였다.

Table 1. Age and Sex Distribution of Left-to-Right Shunt Subjects

Age(Yr.)	Sex		Total
	M	F	
0~4	3	7	10
5~9	4	4	8
10~14	4	3	7
15~19	2	1	3
20~24	1	3	4
25~29	0	1	1
30~34	1	2	3
35~	0	1	1
Total	15	22	37

환자의 위치는 앙와위로 하여 안정시킨 후 gamma camera 를 좌전사위 40~50° 및 체장축의 미단부방향으로 5~10° 기울여 시행하였다. 스캔시에는 저에너지, parallel-hole, general purpose collimator 를 부착시킨 후 37개의 광전자 증배관을 가진 single-crystal gamma scintillation camera(Ohio Nuclear Model Sigma 410)를 사용하였고, 방사성동위원소를 순간정맥주사하고 동시에 매초당 2 frames 의 화면을 얻어, 64×64 matrix on-line computer (GAMMA-11, Digital, DEC 회사)에 수록하였다. 상대정맥과 좌측폐 부위에 관심영역(region of interest, ROI)을 잡아서 각각의 시간-방사능곡선을 구하였다. 종래의 gamma-variate model 을 이용하여 Q_F/Q_S를 구한 뒤, computer 를 이용하여 폐의 시간-방사능곡선을 상대정맥의 시간-방사능곡선으로 deconvolution 시키고, 이 교정된 폐 시간-방사능곡선(deconvoluted pulmonary time-activity curve)에 종래의 gamma function 법을 적용하여 deconvolution 분석에 의한 Q_F/Q_S를 구하였다 (Fig. 1).

성 적

좌우단락이 있었던 37명의 환자와 단락이 없었던 대조군 103명을 대상으로 방사성동위원소 심혈관조영술을 시행하여 gamma function 법 및 deconvolution 분석법을 이용하여 각각의 Q_F/Q_S를 구하였고 특히 좌우단락이 있는 환자에서는 심도자술을 시행하여 산소포화도법에 의한 Q_F/Q_S를 구하여 서로 비교 분석한 결과, 다음과 같은 성적을 얻었다.

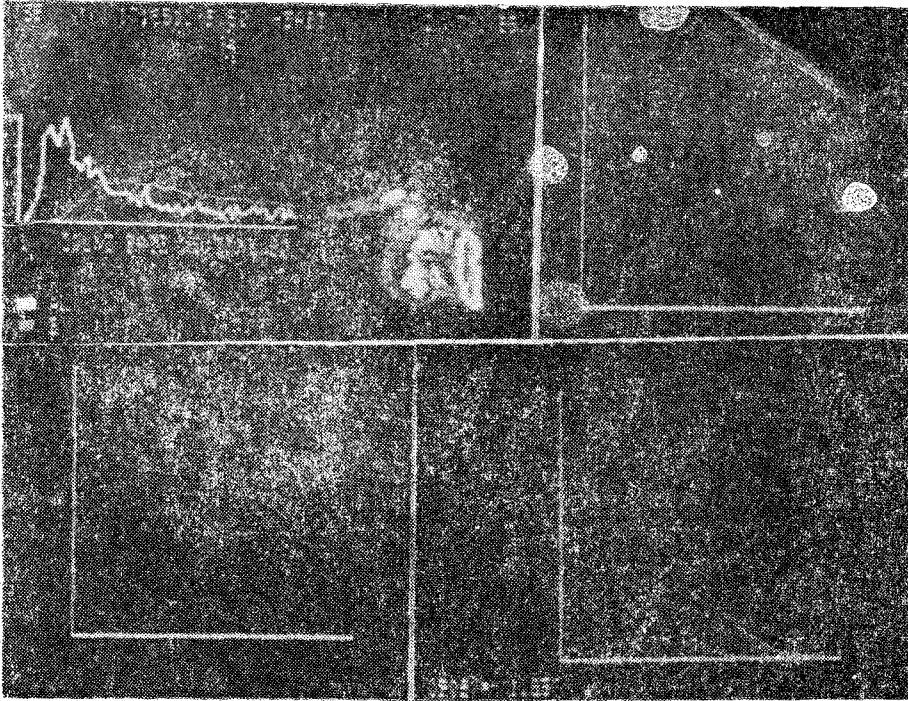


Fig. 1. Four steps in deconvolution analysis.

Upper left, Taking the regions of interest. A: Superior vena caval ROI. B: Pulmonary ROI., SVC time-activity curve indicates the poor bolus injection.

Upper right, Observed unprocessed pulmonary time-activity curve.

Lower left, Deconvoluted pulmonary transit curve, obtained after deconvolution of the observed pulmonary time-activity curve by the superior vena caval curve.

Lower right, Q_P/Q_S quantitation by deconvolution analysis. gamma function was fitted to deconvoluted pulmonary transit curve.

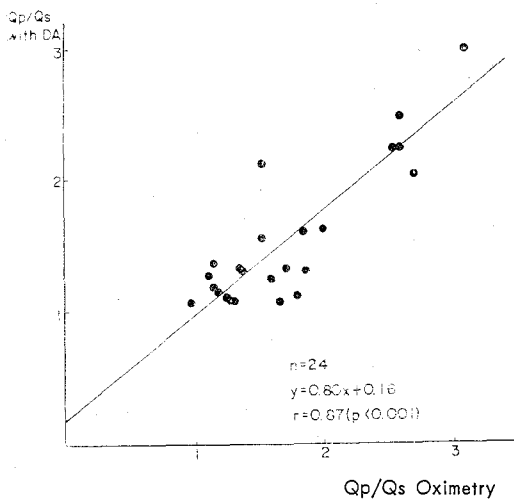


Fig. 2. Relation between Q_P/Q_S ratios obtained by radionuclide deconvolution analysis (DA) and Oximetry.

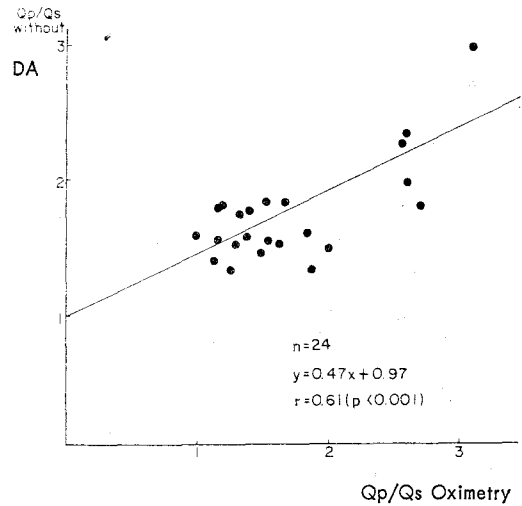


Fig. 3. Relation between Q_P/Q_S ratios obtained by gamma function technique and oximetry.

Table 2. Case Summary of Left to Right Shunt Patients ($Q_P/Q_S < 3$)

Case	Sex/Age	Dx.	Pulmonary to Systemic Flow Ratio (Q_P/Q_S)		
			QRAC with DA	QRAC without DA	Oximetry
1	F/10	ASD	1.31	1.31	1.86
2	F/4	PDA	1.19	1.79	1.16
3	M/31	VSD	1.64	1.48	2.00
4	M/3	VSD	2.12	1.54	1.53
5	F/1 ⁵ / ₁₂	VSD	1.63	1.59	1.83
6	M/12	VSD	1.36	1.53	1.16
7	M/3	VSD	1.09	1.73	1.33
8	M/1	PDA	2.07	1.80	2.70
9	F/4	VSD	1.12	2.93	1.80
10	F/3	VSD	2.26	2.33	2.60
11	F/4	PDA	1.28	1.39	1.14
12	M/6	VSD	1.12	1.32	1.26
13	F/8	VSD	1.10	1.52	1.30
14	M/7	VSD	1.15	1.80	1.20
15	F/6	VSD	2.25	2.25	2.56
16	M/14	VSD	3.00	3.00	3.01
17	F/13	PDA	1.34	1.57	1.36
18	F/4	VSD	1.07	1.82	1.67
19	M/5	PDA	1.21	1.45	1.48
20	F/19	ASD	2.49	1.96	2.60
21	F/7	VSD	1.56	1.81	1.54
22	M/17	VSD	1.32	1.75	1.40
23	F/14	VSD	1.25	1.52	1.62
24	F/26	VSD small	1.05	1.58	1.00

VSD: Ventricular Septal Defect
PDA: Patent Ductus Arteriosus
DA: Deconvolution Analysis

ASD: Atrial Septal Defect
QRAC: Quantitative Radionuclide Angiocardigraphy

좌우단락이 있는 37명의 환자들에서 먼저 gamma function 법으로 Q_P/Q_S 를 구하였던 바, 이 중 24예에서는 Q_P/Q_S 가 3이하였고(Table 2), 13예에서는 3이상으로 측정되었다(Table 3).

Q_P/Q_S 가 3이하인 24예에서의 산소포화도법, deconvolution 분석법 및 gamma function 법에 의한 Q_P/Q_S 의 값은 Table 2와 같았으며 이들간의 상관관계를 비교 관찰한 결과 산소포화도법에 의한 Q_P/Q_S 와 gamma function 법에 의한 Q_P/Q_S 의 상관계수는 0.61($p < 0.001$)인 반면(Fig. 3), 산소포화도법에 의한 Q_P/Q_S 와 deconvolution 분석법에 의한 Q_P/Q_S 의 상관계수는 0.87($p < 0.001$)이었다. (Fig. 2). 그리고 gamma func-

tion 법에 의한 Q_P/Q_S 와 deconvolution 분석법에 의한 Q_P/Q_S 의 상관계수는 0.53($p < 0.005$)이었다(Fig. 4).

Gamma function 법에 의한 Q_P/Q_S 가 3이상이었던 13예(Table 3)에서 deconvolution 분석을 시행하여 3이하의 값을 얻을 수 있었으며, 산소포화도법에 대한 이들의 상관계수는 0.68($p < 0.01$)이었다(Fig. 5).

이러한 차이가 발생하게 된 원인을 조사하여 본 결과, 11예의 환자에서는 순간정맥주사의 지연(delayed bolus injection, 상대정맥의 방사능시간이 2.5초이상) 때문이었고, 2예(중례 4, 11)에서는 방사성동위원소의 혈관의 주사(extravasation of radionuclide)에 기인하였다.

Table 3. Case Summary of Left to Right Shunt Patients ($Q_P/Q_S > 3$)

Case	Sex/Age	DX	Pulmonary to Systemic Flow Ratio (Q_P/Q_S)		
			QRAC with DA	QRAC without DA	Oximetry
1	F/31	VSD	2.03	>3	1.90
2	M/10	ASD	1.68	>3	2.20
3	F/34	VSD	2.18	>3	3.00
4	M/10	ASD	1.90	>3	2.56
5	F/3	VSD	1.89	>3	1.73
6	F/22	ASD	2.63	>3	3.00
7	F/50	ASD	2.76	>3	2.50
8	M/22	ASD	1.98	>3	2.00
9	F/9	ASD	1.83	>3	1.83
10	F/23	VSD	2.30	>3	2.16
11	M/6	VSD	2.26	>3	2.41
12	F/20	ASD	2.76	>3	2.80
13	M/17	PDA	2.70	>3	2.86

QRAC: Quantitative Radionuclide Angiocardigraphy
 DA: Deconvolution Analysis.

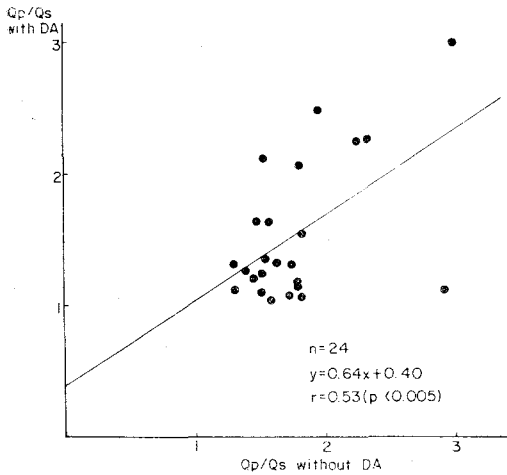


Fig. 4. Relation between Q_P/Q_S ratios obtained by radionuclide deconvolution analysis (DA) and gamma function technique.

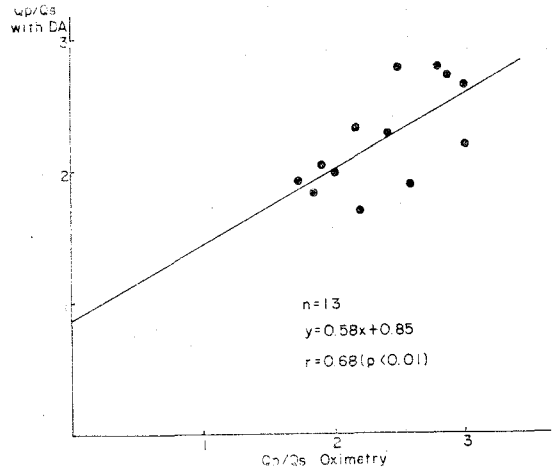


Fig. 5. Thirteen patients whose Q_P/Q_S were greater than 3.0 by Gamma Function Technique. Relation between Q_P/Q_S ratios obtained by radionuclide deconvolution analysis (DA) and oximetry.

단락이 없었던 103예의 대조군에서 Q_P/Q_S 를 각 방법으로 측정 한 결과, deconvolution 분석법에 의한 Q_P/Q_S 는 1.01 ± 0.03 (평균치 \pm 표준편차)이었고, gamma function 법에 의한 Q_P/Q_S 는 1.10 ± 0.12 (평균치 \pm 표준편차)이었다.

대조군환자를 통계처리하는 과정에서 평균 ± 3 표준편

차범위를 벗어나는 Q_P/Q_S 값들은 이상점이 발생한 것으로 보고 통계처리에서 제외하였다.

고 안

1964년에 Thompson 등³⁾은 gamma-variate 라고 명명된 수학적 함수를 보고하였다. 이 곡선은 rapid upslope, peak, exponential decay 를 보이며 이러한 모양은 정상적인 초기 폐통과 시간-방사능곡선과 유사한 모양을 갖게 된다(Fig. 6).

좌우단락이 있는 환자에서는 단락을 통하여 폐에 방사성동위원소의 초기 재순환이 나타난다. 심박출량중 단락을 통과하는 부분(Qshunt)을 측정하기 위하여, 동위원소를 순간정맥주사한 뒤, scintillation camera 를 이용하여 폐를 통과하는 동위원소의 시간에 따른 변화를 측정한다.

이렇게 하여 얻어진 폐통과곡선(pulmonary transit curve)을 분석하여 폐를 초기에 통과하는 부분과 단락을 통하여 재통과하는 부분을 분리하면 Q_P/Q_S 를 측정할 수 있다. 과거에는 단락량을 측정하는 반정량적 방법으로 C_2/C_1 비(C_2/C_1 ratio)⁶⁾를 구하기도 했으나(Fig. 7), 여러가지 문제점들로 인하여 현재는 측정되지 않고 있다.

1973년에 Maltz 와 Treves 등^{1,2)}은 gamma-variate

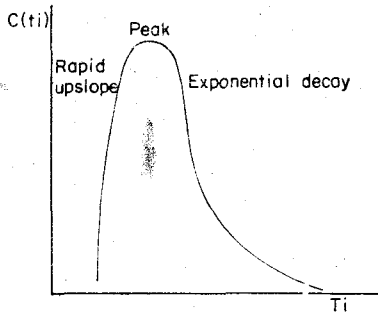


Fig. 6. Gamma-variate function
 $C(ti) = Kti^\alpha e^{-ti/\beta}$
 K, α , β : arbitrary parameters
 Ti.: ith time
 C(ti): concentration at this time

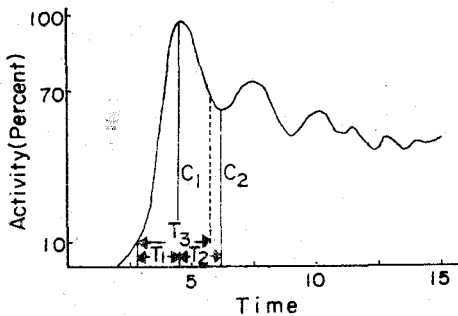


Fig. 7. C_2/C_1 ratio analysis.

model 을 이용하여 폐통과곡선의 초기 폐통과 부분과 단락을 통해 재순환되는 부분을 분리하는데 성공하였다(Fig. 6).

즉 초기 폐통과부분의 면적을 A_1 이라 하고, 재순환 곡선부분의 면적을 A_2 라 하면 A_1 은 폐동맥혈류량(Q_P)을 나타내고, A_2 는 단락을 통과하는 혈류량(Q_{shunt})을 나타내므로 다음 공식에 의해 Q_P/Q_S 를 구할 수 있다.

$$Q_P/Q_S = \frac{Q_P}{Q_P - Q_{shunt}} = \frac{A_1}{A_1 - A_2}$$

이렇게 하여 측정된 Q_P/Q_S 는 간편하고 산소포화도 법과 좋은 상관관계가 있어서 임상에 널리 이용되고 있으나, 순간정맥주사가 바람직하지 못한 경우가 있고, 특히 소아환자의 경우 최고 20%까지도 순간정맥주사의 실패가 보고되고 있다⁹⁾.

1979년에 Alderson 등⁵⁾은 gamma function 법을 더욱 개량하여 순간정맥주사가 바람직하게 되지 않았을 때 발생하는 오차를 교정하기 위하여 deconvolution 분석의 개념을 도입하였다. 즉 어떤 시점에서 계속된 폐의 방사능치는 도입순간곡선(input bolus curve), $B(t)$ 와 완전무결한 순간정맥주사가 이루어졌을 때의 폐통과곡선(pulmonary transit curve), $L(t)$ 에 의해 결정된다. 다시 말해서 실측된 폐시간-방사능곡선(observed pulmonary time-activity curve), $O(t)$ 는 $B(t)$ 와 $L(t)$ 의 convolution product(*로 표시)이다.

$$O(t) = B(t) * L(t)$$

Convolution 정리에 의하면 convolution product 에 대한 Fourier 변환^{12~14)}은 각각의 Fourier 변환끼리 산술적으로 곱하여 준 것과 동일하므로

$$F[O(t)] = F[B(t) * L(t)] \\ = F[B(t)] \times F[L(t)]$$

이러한 사실로부터 pulmonary transit curve, $L(t)$ 를 구하기 위하여 실측 폐 시간-방사능곡선, $O(t)$ 와 도입순간곡선, $B(t)$ 를 각각 Fourier 변환, F, 한 뒤

$F[O(t)]/F[B(t)]$ 를 구하여 여기에 Fourier 역변환, F^{-1} 을 시행하면 된다.

$$F[L(t)] = F[O(t)]/F[B(t)]$$

$$L(t) = F^{-1} \cdot F[L(t)] \\ = F^{-1} \cdot [F[O(t)]/F[B(t)]]$$

이렇게 하여 pulmonary transit curve 를 구하는 과정을 deconvolution 이라고 하며, Alderson 등은 이 방법을 이용하여, 상대정맥의 시간-방사능곡선을 $B(t)$ 로 하고 실측 폐 시간-방사능곡선을 $O(t)$ 로 하여 deconvolution 분석에 의하여 폐통과곡선, $L(t)$ 를 구하였다.

본 연구에서는 deconvolution 분석을 이용하여 구한 Q_P/Q_S 와 gamma function 법만으로 구한 Q_P/Q_S 를 산

Table 4. Case Summary of 5 Patients without Shunts

Case	Sex/Age	Pulmonary to Systemic Flow Ratio (Q_P/Q_S)		
		DX	with DA	without DA.
1	M/5	VSD, COA Po.	1.05	1.50
2	F/2	VSD Po.	1.00	1.62
3	F/34	VSD Po.	1.03	2.55
4	F/12	VSD Po.	1.00	1.33
5	M/3	VSD Po.	1.03	1.51

Po.: postoperative state
COA: Coarctation of Aorta
VSD: Ventricular Septal Defect

소포화도법과 비교한 결과, deconvolution 분석에 의해 상관계수가 0.61에서 0.87로 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 Alderson 등이 보고한 바와 같이 순간정맥 주사의 변화에 따른 Q_P/Q_S 값의 오차를 줄일 수 있었기 때문인 것으로 생각되었다.

Bourguignon 과 Links 등⁷⁾에 의하면, 우심실 부위에 또 하나의 관상영역을 설정하여 여기서 얻어진 우심실의 시간-방사능곡선으로 폐의 시간-방사능곡선을 deconvolution 시키면, 이 때 얻어지는 곡선은, 환자가 심장내 단락이 없다고 가정하고, 폐동맥에 완전무결한 순간정맥주사가 이루어졌을 때의 폐 시간-방사능곡선, 즉 환자에 고유한 폐전이 함수(pulmonary transfer function)가 된다.

중래의 gamma-variate model 대신에 이 폐전이함수를 이용하여 Q_P/Q_S 를 구하는 방법을 다중 deconvolution 분석이라하며 본 연구에서는 시도되지 않았으나 향후 이 방법을 사용하여야 할 것으로 생각되었다. 다중 deconvolution 법을 시행할 때의 장점은 환자 개개인의 고유한 폐전이함수를 구할 수 있어, 일률적으로 gamma function으로 근사치를 구하는 것보다 합리적이고 정확하며, 심장내 단락과 심장외 단락(예, 동맥관 개방증)의 감별진단이 가능하다는 것이다. 즉 우심실의 시간-방사능곡선으로 폐시간-방사능곡선을 deconvolution 시키면 심장내 단락환자(예, 심실중격결손, 심방중격결손)들에서는 좌우단락의 영향을 제거한 폐전이함수를 구할 수 있으나 심장의 단락이 있는 환자에서는 단락의 영향이 그대로 남아있게 된다.

본 연구에서는 단락이 없는 환자들에서의 Q_P/Q_S 값의 범위를 알아보기 위하여 103명의 대조군환자를 대상으로 Q_P/Q_S 를 측정 한 결과, Q_P/Q_S 의 정상범위는 deconvolution 분석을 시행한 경우가 0.96~1.06이었고, gamma function 법만으로 측정하였을 때는 0.87

~1.34이었다. 이상에서 단락이 없는 경우, deconvolution 분석에 의한 Q_P/Q_S 의 상한치는 1.06으로 추정되며 이는 수술후 잔여단락의 유무를 진단하는데 더 큰 진단적 가치가 있을 것으로 사료된다. 단락이 없는 환자들에서 Q_P/Q_S 값의 정상범위를 구하는 과정에서, deconvolution 분석을 시행하기 전과 후에 유의한 차이를 보였던 5례의 환자를 조사하여 본 결과는 이들 5례는 모두 개입술후의 환자로서 잔여단락이 없었으며, 순간정맥주사상의 문제점이 있었으며, deconvolution 분석에 의하여 단락이 없는 것으로 판단되었다. 이상에서 deconvolution 분석은 단락환자의 진단에서 특이도(specificity)도 gamma function 법보다 좋은 것으로 사료되었다(Table 4).

Table 2의 24번 case를 보면 심도자술에 의한 좌심실영화조영술상에서는 좌심실에서 우심실로 조영제의 유출이 있었으나 산소포화도법에 의한 Q_P/Q_S 는 1.00으로 단락이 없는 것으로 산출되었다. 이 환자의 gamma function 법에 의한 Q_P/Q_S 는 1.58이었고, deconvolution 법에 의한 Q_P/Q_S 는 1.05로 측정되었다. 이 증례에서 보여주는 바와같이 단락의 크기가 작아서 산소포화도법으로 진단이 되지않는 경우의 deconvolution 분석법에 의한 Q_P/Q_S 는 1.05로서 역시 정상의 상한치(1.06)보다 작게 측정되었으나, gamma function 법에 의한 Q_P/Q_S 는 1.58로 좌우단락이 있는 것으로 측정되었다. 이 증례에서는 순간정맥주사상의 문제가 발견되지 않았으므로 이러한 차이가 발생하게 된 원인에 대해 좀 더 추사를 해보아야 할 것으로 사료되었다.

결 론

좌우단락이 있는 환자에서 방사성동위원소심혈관조영술에 의한 Q_P/Q_S 측정시 순간정맥주사의 차이에 기

인한 오차를 배제하는 방법인 deconvolution 분석법에 의한 Q_P/Q_S 의 의의를 고찰하고자 좌우단락이 있는 37명의 환자 및 대조군 103명을 대상으로 방사성동위원소 심혈관조영술을 시행하여 deconvolution 분석법 및 gamma function 법으로 각각의 Q_P/Q_S 를 측정하고 산소포화도법에 의한 Q_P/Q_S 와 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 단락이 없는 103명의 대조군환자에서 gamma function 법에 의한 Q_P/Q_S 는 1.10 ± 0.12 였고 deconvolution 분석에 의한 Q_P/Q_S 는 1.01 ± 0.03 이었다.

2) Deconvolution 법에 의한 Q_P/Q_S 와 산소포화도법에 의한 Q_P/Q_S 의 상관계수는 $0.87 (p < 0.001)$ 이었고, gamma function 법에 의한 Q_P/Q_S 와 산소포화도법에 의한 Q_P/Q_S 의 상관계수는 $0.61 (p < 0.001)$ 로서 산소포화도법과의 상관관계에 있어서 deconvolution 법이 gamma function 법에 비해 더 좋은 상관관계를 보였다.

3) 산소포화도법에 의한 Q_P/Q_S 가 3이하이면서, gamma function 법에 의한 Q_P/Q_S 가 3이상이었다면 13명의 환자들은 대부분이 순간정맥주사상의 문제점이 발견되었으며 이들은 deconvolution 분석에 의하여 Q_P/Q_S 를 측정할 결과 산소포화도법과 유의한 상관관계를 보였다 ($r = 0.68, p < 0.01$).

이상의 결과로부터, 좌우단락이 있는 선천성심장기형환자에서 deconvolution 분석법을 이용한 Q_P/Q_S 측정법은 종래의 gamma function 법에 의한 Q_P/Q_S 측정법보다 더 정확하고, 순간정맥주사의 영향에 의한 오차를 교정할 수 있는 정량적 검사방법임을 알 수 있었다.

REFERENCES

- 1) David, L., Maltz, M.D. and S. Treves, M.D.: *Quantitative Radionuclide Angiocardigraphy, Determination of Q_P/Q_S in Children. Circulation, 47:1049-1056, 1973.*
- 2) Treves, S., Maltz, D.L. and Adelstein, S.J.: *The detection, quantification and localization of intracardiac shunts by radionuclide angiocardigraphy. In Pediatric Nuclear Medicine. Philadelphia. W.B. Saunders Co., 1973.*
- 3) Thompson, H.K., Starmer, F., Whalen, R., and McIntosh, H.D., *Indicator transit time considered as a gamma variate. Circ. Res., 14:502,*

- 1964.
- 4) Cohn, J.D. and Del Guercio, L.R.M.: *Clinical applications of indicator dilution curves as gamma functions. J. Lab. Clin. Med., 69:675, 1967.*
- 5) Alderson, P.O., Douglass, K.H., Mendenhall, K.G, et al.: *Deconvolution analysis in radionuclide quantitation of left-to-right cardiac shunts. J. Nucl. Med., 20:502-506, 1979.*
- 6) Ramierez, de Arellano, A., Hertzfel, P.S., Wood, E.H.: *Measurement of pulmonary blood flow using the indicator dilution technic in patients with a central arteriovenous shunt. Circulation, 4:400, 1956.*
- 7) Bourguignon, M.H. and Links, J.M.: *Quantification of left to right shunts by multiple deconvolution analysis. Amer. J. Cardiol., 48:1086-1091, 1981.*
- 8) Braunwald, E., Pfaff, E.W., Long, R.T.L. and Morrow, A.G.: *A simplified indicator dilution technic for the localization of the left-to-right circulatory shunts. Circulation, 20:875, 1959.*
- 9) Alazraki, N.P., Ashburn, W.L., Hagan, A. and Friedman, W.F.: *Detection of left-to-right cardiac shunts with the scintillation camera pulmonary dilution curve. J. Nucl. Med., 13:142, 1972.*
- 10) Anderson, P.A.W., Jones, R.H. and Sabiston, D.C.: *Quantitation of left-to-right cardiac shunts with radionuclide angiography. Circulation, 49:512-516, 1974.*
- 11) Askenazi, J., Ahnberg, D.S., Korngold, E., et al.: *Quantitative radionuclide angiography: Detection and quantitation of left to right shunts. Am. J. Cardiol., 37:382-387, 1976.*
- 12) Champeney, D.C.: *Fourier Transforms and Their Physical Applications. New York, Academic Press, 1973.*
- 13) Cooley, J. and Tukey, J.: *An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. Math. Comput., 19:297-301, 1965.*
- 14) Cooley, J., Lewis, P. and Welch, P.: *The Fast Fourier Transform and its applications. IEEE Trans. on Educ., 12:27-34, 1969.*

- 15) Diffey, B.L., Hall, F.M. and Corfield, J.R.: *The ^{99m}Tc-DTPA dynamic renal scan with deconvolution analysis. J. Nucl. Med., 17:352-355, 1976.*
- 16) Reeve, J. and Crawley, J.C.W.: *Quantitative radioisotope renography: The derivation of physiological data by deconvolution analysis using a single-injection technique. Clin. Science and Mol. Med., 47:317-330, 1974.*
- 17) Kenny, R.W., Ackery, D.M., Fleming, J.S., et al.: *Deconvolution analysis of the scintillation camera renogram. Br. J. Radiol., 48:481-486, 1975.*
- 18) Folse, R. and Braunwald, E.: *Pulmonary vascular dilution curves recorded by external detection in the diagnosis of left to right shunts. Br. Heart J., 1962, 24:166-72.*
- 19) Bassingthwaighte, J.B.: *Circulatory transport and the convolution integral. Mayo. Clin. Proc., 1967, 42:137-54.*
- 20) Parker, J.A., Treves, S.: *Radionuclide detection, localization, and quantitation of intracardiac shunts and shunts between the great arteries. Prog. Cardiovasc. Dis., 20:121-150, 1978.*
- 21) Lane, S.D., Patton, D.D., Staab, E.V., et al.: *Simple technique for rapid bolus injection. J. Nucl. Med., 13:118-119, 1972.*