

Pulsed Doppler 심에코도에 의한 폐쇄혈류량의 측정 및 폐동맥 압력의 추정에 관한 연구*

서울대학교 의과대학 소아과학교실

손 세 정 · 홍 창 의

=ABSTRACT=

Determination of Pulmonary to Systemic Flow Ratio and
Prediction of Pulmonary Arterial Pressure
in Children by Pulsed Doppler Echocardiography

Sejung Sohn, M.D. and Chang Yee Hong, M.D.

Department of Pediatrics, College of Medicine, Seoul National University

The purpose of this study is to evaluate pulsed Doppler echocardiographic method (PD) for the measurement of pulmonary to systemic flow ratio (Qp/Qs) and pulmonary arterial pressure in children. We studied 32 children with left to right shunt who had undergone cardiac catheterization, 11 children who had heart diseases without shunt and 14 normal children. Velocity time integral (VTI) was calculated by triangulated measurement [$1/2(\text{maximum blood velocity} \times \text{ejection time})$]. Doppler blood flow was calculated from the equation: Doppler blood flow = $\text{VTI} \times \text{cross sectional area} \times \text{heart rate}$. The following Doppler time intervals and ratio of intervals were also measured: preejection period (PEP), acceleration time (AT), ejection time (ET), PEP/AT, PEP/ET and AT/ET.

Qp/Qs measured by PD was 1.09 ± 0.15 (mean \pm SD) in children with no shunt and normal children. A high correlation was found between Fick and Doppler-derived Qp/Qs in children with left to right shunt ($r=0.87$). All the children with Qp/Qs less than 1.5 showed no significant discrepancy between two methods. The best correlation with pulmonary arterial pressure was achieved by the PEP/AT ($r=0.84$ vs systolic pressure). Sensitivity and specificity of PEP/AT for predicting pulmonary arterial hypertension were 79% and 95%, respectively.

In conclusion, it is thought that determination of Qp/Qs and prediction of pulmonary arterial pressure in children by PD is a useful, noninvasive method and triangulated measurement may be used as a simple and easy method for the measurement of Qp/Qs.

*본 연구는 1987년도 서울대학교 병원 임상 연구비의 보조로 이루어 졌음.

KEY WORDS : Pulsed Doppler echocardiography · Pulmonary to systemic flow ratio · Velocity time integral · Triangulated measurement · Doppler time intervals.

서 론

연구 목적

선천성 심질환 환자에 있어서 체류혈량과 폐쇄 혈류량비(이하 QP/QS라 함)의 측정 및 폐동맥 압력의 측정은 혈력학의 파악, 심부전시 약물요법의 효과판정, 단락성 심질환의 수술적용의 결정 등 임상적으로 매우 중요하다.

Light¹⁾가 Doppler 심에코도에 의한 인체 대동맥에서의 혈류속도를 처음 측정한 이래로 Doppler 심에코도를 이용한 일회심박출량(이하 SV라 함), 심박출량(이하 CO라 함) 및 QP/QS의 측정은 사람 및 동물에서 꾸준히 연구되어 왔다^{2~17)}.

초기의 연구들은 continuous wave Doppler를 이용한 연구가 많았으나 최근에는 pulsed Doppler 심에코도(이하 PD라 함)를 이용한 비관혈적인 CO 및 QP/QS의 측정에 관한 연구가 많이 보고되고 있으며 그 결과들은 연구자마다 약간의 차이는 있으나 관혈적 방법에 의한 측정치와 양호한 상관이 있음을 보여주고 있다. 또한 폐동맥 압력의 추정치에 관한 연구도 초기에는 M-mode 심에코도를 이용한 보고가 많았으나 최근의 연구는 모두 PD법을 이용하여 압력을 추정하려는 추세에 있다^{18~20)}.

좌우단락을 가진 선천성 심질환에서의 좌우단락량을 알기위한 QP/QS 및 폐동맥 압력의 측정은 주로 심도자법을 이용하여 산출하는 것이 보통이다. 그러나 이와같은 관혈적인 방법은 소아에 있어서 체구가 작고, 신체의 혈액량이 제한되어 있으며 간혹 호흡상태가 불안정한 경우가 있으므로 문제가 될 수 있다⁷⁾.

이에 저자들은 소아에서 PD법을 이용한 비관혈적인 방법과 심도자법을 이용한 관혈적 방법으로 QP/QS 및 폐동맥 압력을 측정 비교함으로써 소아 심질환 환아에서의 PD법의 유용성을 검토하여 보았다.

PD법에 의한 혈류량의 측정에 있어 이론적인 배경을 살펴보면 혈류속도는 혈관의 단면적을 측정한 지점에서 초음파적으로 결정할 수 있으며 각각의 심박동에 따라 나타나는 혈류속도-시간 곡선 아래의 면적을 총합(이하 VTI라 함)하면 혈류가 지나간 거리를 나타내며 여기에 단면적을 곱하면 SV가 되고 SV에 심박동수를 곱하면 혈류량이 구해진다^{16, 27~29)}.

VTI를 측정하는 데 있어 planimeter 등을 이용하는 방법과 혈류파형의 모양을 최고 혈류속도를 높이로 하고 박출시간을 밑변으로 하는 삼각형으로 생각하여 측정하는 삼각형측정법^{16, 30)}이 있다. 대부분의 연구들은 전자의 방법을 이용하여 측정하였으나 이때에는 면적계산의 장치 등이 필요하게 된다. Haites 등¹⁶⁾은 140명의 정상인을 대상으로 VTI를 구할 때 digitizer와 computer를 이용한 면적과 삼각형측정법에 의한 면적사이에 거의 일치하는 상관관계가 있음을 밝혔다($r = 0.98$). 따라서 저자들은 실용적인 면을 고려하여 간편하게 VTI를 계산할 수 있는 삼각형측정법을 이용해서 QP/QS를 측정하여 그 결과를 심도자법에 의한 값과 비교함으로써 QP/QS의 측정에 있어 삼각형측정법을 이용한 PD법의 유용성을 검토하고자 하였으며 아울러 PD법을 이용해서 폐동맥 압력을 추정하여 심도자법에 의한 결과와 비교함으로써 비관혈적인 방법으로서의 PD법의 폐동맥 압력의 추정치에 관한 유용성에 대해서도 검토하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1) 연구대상

(1) QP/QS의 측정

대상은 심실중격결손 24례, 심방중격결손 8례

Table 1. Study population

Diagnosis	Number
Left to right shunt	
VSD	24
ASD	8
No shunt	
VSD postop.	5
RHD	3
Takayasu arteritis	2
Cardiomyopathy	1
Normal Children	14
Total	57

Abbreviations: ASD, atrial septal defect; postop., postoperation; RHD, rheumatic heart disease; VSD, ventricular septal defect.

등 단락성 심질환 32례와 정상아 14례를 포함하여 단락이 없는 소아 25례 총 57례이며 연령은 5개월부터 16년 3개월(평균 5.5 ± 4.0 세)까지 분포하였으며 남아가 36례, 여아가 21례였다(표 1). PD법에 의한 측정시 혈류가 와류형태를 보이는 대동맥 및 폐동맥 협착 또는 폐쇄부전, 심실중격결손 제I형, 동맥관개존 등을 합병한 예, 그리고 혈류속도가 커서 PD법으로 측정할 수 없는 예는 모두 대상에서 제외시켰다.

(2) 대동맥 직경의 비교

전체 대상 57례중에서 심실중격결손 15례, 심방중격결손 6례와 정상아 12례를 포함하여 단락이 없는 소아 19례 총 40례를 대상으로 하였다.

(3) 폐동맥 압력의 추정

폐동맥 수축기압력(이하 PASP라 함)이 30mmHg보다 큰 경우를 폐동맥 고혈압(이하 PAHT라 함)으로 정의하고 대상을 3군으로 나누었다. I군은 대조군으로서 13명의 정상아이며 II군과 III군은 28명의 단락성 심질환(심방중격결손 8례, 심실중격결손 20례)이 있는 실험군으로서 II군은 $PASP \leq 30$ mmHg인 9명의 환자, III군은 $PASP >$

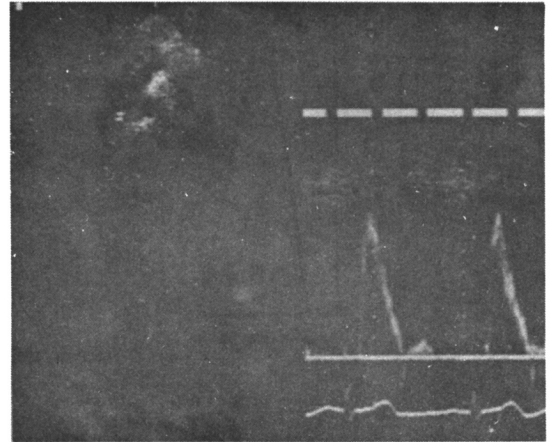


Fig. 1. Aortic blood flow velocity.

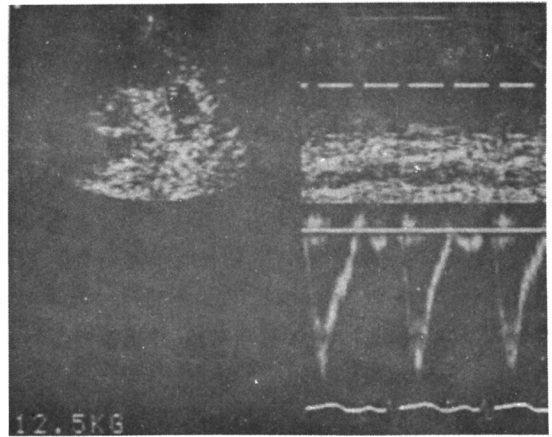


Fig. 2. Pulmonary blood flow velocity.

30mmHg인 19명의 환자이다.

2) 방 법

Aloka Color Doppler Model SSD-880 CW의 PD를 이용하여 3.5MHz 및 5.0MHz의 주파수를 가진 변화기로써 흉상절흔에서 상행대동맥을, parasternal short axis view에서 폐동맥을 단층심에코도(이하 2-DE라 함)로 도출하고 Doppler선을 대동맥 및 폐동맥 장축에 대하여 가급적 예각적으로 투입한 후 혈관강 중앙에 표본용적을 설정하여 최대 혈류파형이 얻어지도록 변환기 및 Doppler선을 조절하였으며(그림 1, 2), 적절한 혈류파형의 기준으로서 고주파수의 휘파람같은 소리가 audio

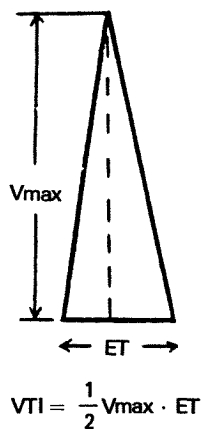


Fig. 3. Triangulated measurement of velocity time integral (VTI).

signal로 들리며 대동맥 혈류파형의 경우 수축기 초기에 최고 혈류속도로 빨리 가속화되는 혈류파형이 보일 경우로 하였다²⁹⁾. 또한 표본용적 부위에서 수축기때의 혈관직경(D)을 측정후 삼각형측정법^{16,30)}에 의해 5개의 혈류파형의 평균을 구해 혈류량을 계산하였다. 대동맥 혈관직경은 발살바동(sinuses of Valsalva) 바로 위에서, 폐동맥 혈관직경은 폐동맥 판막 원위부의 주폐동맥에서 혈관내경을 2-DE로 각각 측정하였다^{9,13,31)}.

즉, 수축기때의 혈류의 최고속도(Vmax)와 박출 시간(ET)을 구해 VTI 및 SV를 다음 식에 의해 구하였다.

$$VTI = \frac{1}{2} V_{max} \cdot ET \text{ (그림 3)}$$

$$SV = \frac{1}{2} V_{max} \cdot ET \cdot A$$

$$A = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

CO은 SV에 심박동수(HR)를 곱하여 구하였다.

$$CO = SV \cdot HR$$

Doppler 심에코도를 이용한 혈류량 측정에 있어서 혈류속도는 변환기에서 발사된 주파수와 움직이는 적혈구로부터 되돌아 오는 주파수 사이의 파장의 변화에 의해 초음파적으로 측정이 된다.

$$V = \frac{\Delta f \cdot c}{2f_0 \cdot \cos \theta}$$

여기서 V는 혈류속도

Δf 는 파장의 변화, 즉 증감된 음파의 주파수

f_0 는 원래 변환기에서 발사된 주파수

c는 인체조직에서의 음파의 속도(약 1,540 m/sec)

θ 는 혈류방향과 Doppler선과의 입사각이다.

이때 폐동맥에서의 입사각은 거의 무시할 정도로 작으므로 전례에서 $\cos \theta = 1$ 로 계산하였으며 대동맥에서도 대부분 입사각이 20° 이하이므로 $\cos \theta = 1$ 로 하였고 입사각이 20° 이상인 경우에는 각도교정을 하였다.

이렇게 PD법에 의해 측정된 혈류량과 Fick 법에 의한 혈류량과를 비교하였다. PD검사와 심도자법검사 사이의 시간간격은 거의 대부분 12시간 이내였으며 7례에서는 심도자법검사 실시 직후에 PD검사를 실시하여 양검사가 같은 상태하에서 시행되었다.

대동맥의 혈관직경은 2-DE로 측정하는데 있어서 상행대동맥의 외측면은 경계가 불분명한 경우가 가끔 있으므로 다른 측정방법으로 대신할 수 있는가의 여부를 알기 위해 M-mode 심에코도를 이용하여 대동맥의 수축기때의 최대내경(이하 D_1

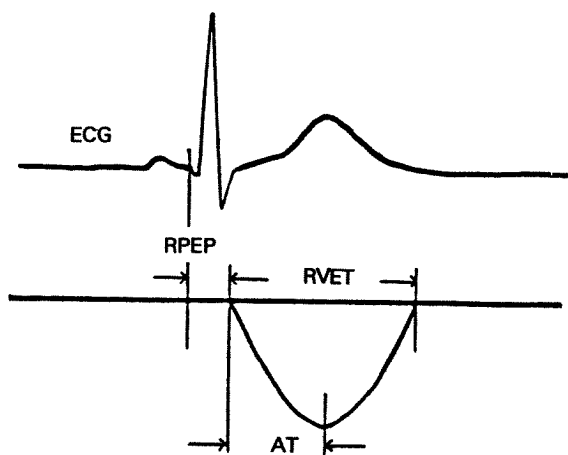


Fig. 4. Methods for the measurement of Doppler velocity time intervals.

이라 함)과 수축기때의 최대내경과 확장기말 내경의 평균길이(이하 D_2 라 함)를 각각 구하여 2-DE로 측정한 대동맥 내경(이하 D라 함)과 비교하였다^{9, 14, 26, 32-34}).

폐동맥 압력의 추정을 위해서는 전구혈기(이하 PEP라 함), 가속시간(이하 AT라 함) 및 박출시간(이하 ET라 함)을 구하여 그들의 상호관계와 심도자법에 의한 폐동맥의 PASP 및 평균압력(이하 PAMP라 함)과의 상호연관성에 대해서 조사하였

다²⁴⁻²⁶. PEP는 심전도의 Q파 시작부터 폐동맥 혈류파형의 시작까지의 시간으로, AT는 혈류파형의 시작부터 수축기 최고속도까지의 시간으로, ET는 혈류파형의 시작부터 끝날 때까지의 시간으로 각각 정의하였다(그림 4)²⁵⁻²⁶.

연구결과는 평균±표준편차(mean±SD)로 표시하였고 회귀방정식을 이용하여 PD법과 심도자법 사이의 상관계수를 구하였으며 각군간의 비교는 T-분포를 이용하여 통계적으로 검증하였다.

Table 2. Pulmonary to systemic flow ratio by Doppler and Fick method

Case	Diagnosis	QP/QS		Case	Diagnosis	QP/QS	
		By Doppler	By Fick			By Doppler	By Fick
1	ASD	3.37	2.75	30	VSD	1.82	2.07
2	"	2.37	3.00	31	"	1.65	1.07
3	"	1.98	3.00	32	"	1.31	1.13
4	"	2.63	2.40	33	No shunt	0.95	
5	"	1.73	1.23	34	"	1.23	
6	"	2.92	2.71	35	"	1.18	
7	"	2.30	2.22	36	"	1.10	
8	"	3.18	3.21	37	"	1.27	
9	VSD	2.29	2.40	38	"	1.07	
10	"	1.90	1.22	39	"	1.02	
11	"	1.08	1.30	40	"	0.74	
12	"	2.72	2.00	41	"	1.05	
13	"	3.44	2.46	42	"	1.33	
14	"	1.14	1.14	43	"	0.98	
15	"	2.29	2.40	44	Normal children	1.02	
16	"	2.38	2.00	45	"	1.08	
17	"	2.56	2.83	46	"	1.44	
18	"	1.02	1.00	47	"	1.09	
19	"	2.48	2.00	48	"	1.23	
20	"	4.11	4.99	49	"	1.01	
21	"	3.66	3.59	50	"	1.22	
22	"	1.71	1.87	51	"	0.93	
23	"	1.02	1.06	52	"	0.84	
24	"	2.10	1.67	53	"	1.16	
25	"	2.38	1.70	54	"	1.07	
26	"	1.76	1.65	55	"	1.12	
27	"	1.02	1.05	56	"	1.10	
28	"	2.00	2.01	57	"	0.99	
29	"	1.32	1.12				

연구 성적

1) QP/QS의 비교

PD법과 Fick법에 의한 QP/QS의 측정치는 표 2와 같다. 정상아 14례를 포함하여 단락이 없는 소아 25례에서의 PD법에 의한 QP/QS는 $1.09 \pm 0.15(0.74 \sim 1.44)$ 였다. 32례의 단락성 심질환환에서 PD법에 의한 QP/QS는 2.18 ± 0.80 이었고 Fick법에 의한 QP/QS는 2.07 ± 0.89 였으며 양측정법에 의한 QP/QS의 상관계수는 $r = 0.87(p < 0.005)$ 로서 양호한 상관을 보여주었다(그림 5). 25례의 단락이 없는 소아에서 Fick법에 의한 QP/QS를 1.0으로 할 경우 총 대상 57례에서의 PD법에 의한 QP/QS는 1.07 ± 0.81 이었고 Fick법에 의한 QP/QS

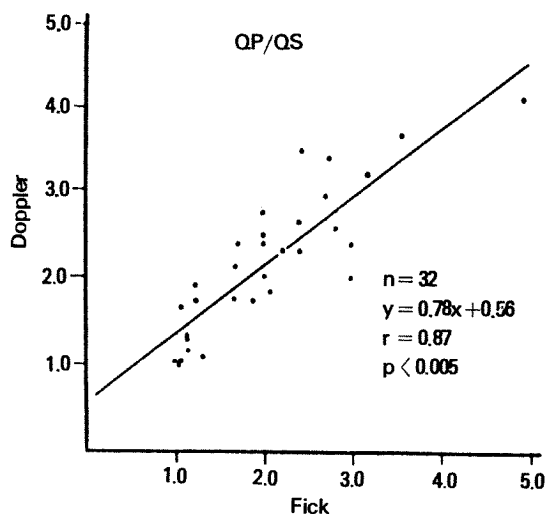


Fig. 5. Comparison of Fick and Doppler-derived pulmonary to systemic flow ratio.

QS는 1.60 ± 0.85 였다(표 3). Fick법으로 측정한 QP/QS가 1.5이하인 35례에서 PD법에 의한 QP/QS가 1.5이하인 경우가 32례(91%)였고 전례에서 2.0이하였다. 또한 PD법으로 측정한 QP/QS가 1.5이하인 32례에서는 전례에서 Fick법에 의한 QP/QS도 1.5이하였다. 즉 양측정법에 있어서 한 방법으로 QP/QS가 1.5이하인 경우는 다른 방법으로도 거의 다 전례에서 1.5이하였다.

2) 대동맥 직경의 비교

40례를 대상으로 할 때에 D, D₁ 및 D₂의 평균은 각각 $1.47 \pm 0.29\text{cm}(0.9 \sim 2.0)$, $1.53 \pm 0.30\text{cm}(1.0 \sim 2.0)$, $1.54 \pm 0.30\text{cm}(1.0 \sim 2.1)$ 로서 유의한 차가 없었고, 이 직경을 이용하여 PD법으로 측정한 QP/QS는 D, D₁ 및 D₂에서 각각 1.75 ± 0.84 , 1.65 ± 0.90 , 1.64 ± 0.91 이었으며 Fick법에 의한 QP/QS는 1.68 ± 0.90 이었다. 21례의 단락성 심질환환만을 대상으로 하였을 경우 PD법으로 측정한 QP/QS는 D, D₁ 및 D₂에서 각각 2.34 ± 0.77 , 2.21 ± 0.93 , 2.24 ± 0.90 이었으며 Fick법에 의한 QP/QS(평균 2.29 ± 0.86)와의 상관계수는 각각 $r = 0.82$, $r = 0.64$, $r = 0.60(p < 0.005)$ 로서 각 상관계수 사이에 차이는 있으나 통계적으로 유의하지는 않았다($p > 0.05$). 또한 19례의 단락이 없는 소아에서 D, D₁ 및 D₂를 이용하여 PD법으로 측정한 QP/QS는 각각 $1.09 \pm 0.12(0.84 \sim 1.33)$, $1.04 \pm 0.15(0.68 \sim 1.23)$, $0.99 \pm 0.19(0.6 \sim 1.23)$ 로서 유의한 차는 없었다(표 4).

3) 폐동맥 압력의 추정

폐동맥 압력과 두 지표의 측정결과 및 각군간의 비교 결과는 표 5 및 표 6과 같다.

Table 3. Comparison of pulmonary to systemic flow ratio by Doppler and Fick method

Study population	No. of subject	Doppler	Fick
No shunt or Normal children	25	1.09 ± 0.15	
Left to right shunt	32	2.18 ± 0.80	2.07 ± 0.89
Total	57	1.70 ± 0.81	1.60 ± 0.85

Note: Values are mean \pm SD.

Table 4. Pulmonary to systemic flow ratio by different methods for the measurement of aortic diameter

Study population	No. of subject	Doppler			Fick
		D	D ₁	D ₂	
Total	40	1.75 ± 0.84	1.65 ± 0.90	1.64 ± 0.91	1.68 ± 0.90
Left to right shunt	21	2.34 ± 0.77	2.21 ± 0.93	2.24 ± 0.90	2.29 ± 0.86
No shunt or Normal children	19	1.09 ± 0.12	1.04 ± 0.15	0.99 ± 1.19	

Note: Values are mean ± SD.

Note: D; aortic diameter by 2-DE, D₁; maximum aortic diameter by M-mode, D₂; arithmetic mean of maximum systolic and end-diastolic aortic diameter by M-mode.

Table 5. Pulmonary arterial pressure, acceleration time and prejection period to acceleration time ratio

Case	Diagnosis	PASP (mmHg)	PAMP (mmHg)	AT (msec)	PEP/AT	Case	Diagnosis	PASP (mmHg)	PAMP (mmHg)	AT (msec)	PEP/AT
1	VSD	78	62	92	1.53	22	VSD	30	18	113	0.75
2	"	75	47	70	1.21	23	ASD	30	15	155	0.64
3	"	70	43	71	1.44	24	VSD	25	14	111	0.77
4	"	60	41	74	1.57	25	ASD	25	14	155	0.64
5	"	60	36	95	1.42	26	VSD	24	12	117	0.68
6	"	56	36	85	0.91	27	"	23	15	110	0.68
7	"	54	24	92	1.23	28	ASD	20	11	143	0.61
8	"	50	33	85	1.00	29	Normal children			125	0.66
9	"	47	30	97	0.86	30				147	0.82
10	"	47	26	70	1.41	31				125	0.66
11	"	46	35	90	1.23	32				127	0.67
12	"	45	33	68	1.37	33				141	0.60
13	"	45	29	94	0.80	34	"			120	0.73
14	ASD	40	24	99	0.86	35	"			120	0.78
15	"	40	22	99	0.71	36	"			115	0.62
16	"	36	20	111	0.75	37	"			113	0.75
17	VSD	36	16	111	0.75	38	"			111	0.62
18	ASD	34	20	104	0.80	39	"			116	0.60
19	VSD	33	18	99	0.71	40	"			146	0.62
20	ASD	30	21	120	0.75	41	"			125	0.66
21	VSD	30	20	111	0.77						

(1) AT

I 군에서의 AT는 $125 \pm 12\text{ms}$ (111 ~ 147) 이고 II 군에서는 $126 \pm 19\text{ms}$ (110 ~ 155), III 군에서는 $90 \pm 14\text{ms}$ (68 ~ 111)로서 I 군과 II 군간의 유의한 차는 없었고 I 군과 III 군 및 II 군과 III 군간에는 통계적으로 유의한 차가 있었다 ($p < 0.005$). AT는 폐동

맥 압력과 비교적 양호한 상관을 보여 PASP 및 PAMP와의 상관계수는 각각 $r = -0.74$, $r = -0.70$ ($p < 0.005$)이었다. AT를 폐동맥 압력의 대수(logarithm)와 비교할 때 상관계수는 좀 더 나아져 PASP 및 PAMP와의 상관계수는 똑같이 $r = -0.78$ ($p < 0.005$)이었다. 또한 PASP > 30mmHg인 III 군 전

Table 6. Correlation of pulmonary arterial pressure with Doppler velocity time intervals and their ratios

	Group I (control)	Group II (PASP ≤ 30mmHg)	Group III (PASP > 30mmHg)
No. of subject	13	9	19
Age (yr)	6.6 ± 3.8	5.1 ± 4.5	4.6 ± 3.6
PASP (mmHg)		26 ± 4 ^A	50 ± 14 ^A
PEP (ms)	85 ± 13	87 ± 8	94 ± 21
AT (ms)	125 ± 12 ^A	126 ± 19	90 ± 14 ^A
ET (ms)	297 ± 25	278 ± 30	273 ± 38
PEP/AT	0.68 ± 0.07 ^A	0.70 ± 0.06	1.08 ± 0.31 ^A
PEP/ET	0.29 ± 0.04 ^B	0.31 ± 0.01	0.35 ± 0.09 ^B
AT/ET	0.42 ± 0.04 ^A	0.45 ± 0.05	0.33 ± 0.06 ^A

Note: Values are mean ± SD.

Note: Statistical comparisons; ^Ap < 0.005, ^Bp < 0.05.

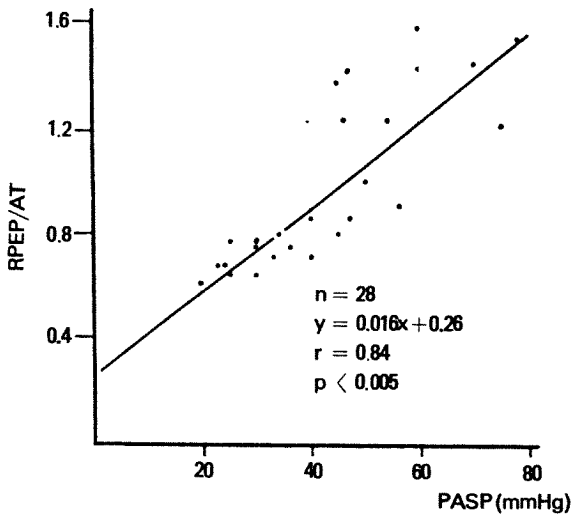


Fig. 6. Pulmonary arterial systolic pressure (PASP) vs right ventricular pre-ejection period to acceleration time ratio (RPEP/AT).

레에서 $AT \leq 111\text{ms}$ 이었으며 I군에서 1명(111ms) 및 II군에서 3명(110~111ms)이 이 범주에 속해 AT의 PAHT에 대한 민감도는 100%이고 특이도는 82%였다.

(2) PEP/ET

I군에서의 PEP/ET는 0.29 ± 0.04 (0.23~0.38)이고 II군에서는 0.31 ± 0.01 (0.29~0.33), III군에서는 0.35 ± 0.09 (0.23~0.53)로서 I군과 II군, II군과 III군 사이엔 유의한 차가 없었고 I군과 III군 사이

엔 유의한 차가 있었으며($p < 0.05$) 각군 사이에 값의 중복이 있었다. PEP/ET와 PASP 및 PAMP와의 상관계수는 각각 $r = 0.67$ ($p < 0.005$)로 같았다. PAHT에 대한 민감도 및 특이도는 각각 58% 및 86%였다.

(3) AT/ET

I군에서의 AT/ET는 0.42 ± 0.04 (0.36~0.50)이고 II군에서는 0.45 ± 0.05 (0.39~0.53), III군에서는 0.33 ± 0.06 (0.21~0.46)으로 I군과 II군 사이엔 차이가 없었으나 I군과 III군 및 II군과 III군 사이엔 유의한 차가 있었다($p < 0.005$). AT/ET와 PASP 및 PAMP와의 상관계수는 각각 $r = -0.63$, $r = -0.60$ ($p < 0.005$)이었고 폐동맥 압력의 대수와 비교해 볼 때 상관계수는 좀 더 나아졌다 [$r = -0.70$ vs $\log(\text{PASP})$, $r = -0.69$ vs $\log(\text{PAMP})$]. PAHT에 대한 민감도와 특이도는 각각 84% 및 86%였다.

(4) PEP/AT

I군에서의 PEP/AT는 0.68 ± 0.07 (0.60~0.82)이고 II군에서는 0.70 ± 0.06 (0.61~0.77), III군에서는 1.08 ± 0.31 (0.71~1.57)로서 I군과 II군간에는 차이가 없었으나 I군과 III군 및 II군과 III군간에는 유의한 차가 있었다($p < 0.005$). PEP/AT는 폐동맥 압력과 양호한 상관을 보여 PASP 및 PAMP와의 상관계수는 각각 $r = 0.84$, $r = 0.82$ ($p < 0.005$)

였다(그림 6). 회귀방정식은 다음과 같았다.

$$PASP = 62.5 \times PEP/AT - 16.25$$

$$PAMP = 47.6 \times PEP/AT - 19.05$$

PEP/AT를 폐동맥 압력의 대수와 비교해 볼 때 상관계수는 PASP 및 PAMP에서 똑같이 0.83 으로 더 나아지지 않았다. PAHT에 대한 민감도와 특이도는 각각 79%와 95%였다.

고 찰

비관혈적인 QP/QS의 측정방법으로는 종래의 심에코도법이나³⁵⁾ 방사선 동위원소를 이용한 심혈관조영술 등이^{36~37)} 임상적으로 이용되어 왔다. 그러나 심에코도법은 좌심실 벽의 운동이상이 있는 경우 신뢰성이 부족하게 되며³⁸⁾ 동위원소 심혈관조영술은 CO뿐만 아니라 QP/QS의 측정도 가능하고 관혈적인 측정방법과도 양호한 상관관계를 나타내지만 장치가 고가이고 방사선 물질의 관리가 필요하며 더욱이 환자가 방사능을 받는 문제가 있으므로 쉽게 사용하기 어려운 점이 있다.⁴⁷⁾ 이에 비해서 PD법은 최근 장치가 개량됨에 따라 CO 및 QP/QS의 측정이 동물실험 나아가서는 임상적으로 검토되어 양호한 성적이 보고되기에 이르렀다.^{6~12, 14, 17)}

저자들의 연구성적에서는 단락이 없는 소아 25례에서 PD법으로 측정한 QP/QS는 1.09 ± 0.15 로서 전례에서 1.5 이하였다. 또한 32례의 단락성 심질환에서 PD법 및 Fick법에 의한 QP/QS의 상관계수는 0.87로서 양호한 상관을 보여주었다. 좌우 단락성 심질환에서 폐동맥 고혈압이 없으면서 좌우단락량이 적을 때에는 수술의 적응증이 되지 않으며 심도자법 시행은 생략할 수 있다. 단락성 심질환에서 Fick법으로 측정한 QP/QS가 1.5이하인 10례에서 PD법에 의한 QP/QS가 1.5 이하인 경우가 7례(70%)였고 전례에서 2.0 이하였으며 반대로 PD법으로 측정한 QP/QS가 1.5 이하인 7례는 전례에서 Fick법에 의한 QP/QS도 1.5 이하였다.

PD법을 사용하여 CO 또는 QP/QS를 측정한

보고는 많이 있다. Hoekenga 등³⁹⁾은 성인을 대상으로 한 CO의 측정에서 PD법과 Fick법 사이에 0.87의 상관을 보고하였으며 Bommer 등⁴⁰⁾도 thermodilution과 비교하여 비슷한 결과를 얻었다. 또한 Magnin 등⁶⁾도 pulsed Doppler phased array echocardiography를 이용하여 Fick법과 0.83의 상관이 있음을 보고하였다. Sanders 등⁹⁾은 PD법과 Fick법 사이에 폐혈류량(이하 QP라 함)은 0.88, 체혈류량(이하 QS라 함)은 0.78, QP/QS는 0.85의 상관을 보였으며 Ihlen 등¹⁴⁾은 CO의 경우 PD법과 thermodilution 사이에는 0.96, Fick법과의 사이에는 0.90의 상관이 있음을 보고하였다. 소아를 대상으로 한 연구도 많이 있어 Berman 등⁴¹⁾은 Fick법에 의한 측정치와 0.96의 상관을 보였으며 Al-verseon 등⁷⁾은 Fick법과 0.98의 매우 양호한 상관관계를 보고하였다. Goldberg 등⁸⁾은 2-DE를 이용하여 혈관직경을 측정하였을 경우 PD법과 indicator-dilution법과 상관계수는 QP에서 0.72, QS에서 0.91이었고 심혈관조영술에 의해 측정된 혈관직경을 PD법에 적용하였을 경우에 양측정법 사이의 상관계수는 QP 및 QS에서 똑같이 0.94로 나아졌음을 관찰하였다. 비슷한 보고로서 일본의 里方 등¹⁷⁾은 2-DE로 측정한 혈관내경을 심혈관조영술에 의해 측정한 값과 회귀식을 구해 교정한 후 PD법에 적용하여 thermodilution과 비교하였다. 양측정법 사이의 상관계수는 QP가 0.95, QS가 0.90이었고 QP/QS의 Fick법과의 상관계수는 0.83이었다. 이러한 모든 연구들은 PD법으로 측정한 CO 또는 QP/QS가 관혈적 방법에 의해 측정된 값과 가깝게 일치하고 있음을 보여준다.

저자들의 연구성적에서 PD법에 의한 QP 및 QS의 절대치는 Fick법에 의한 값과 각각 0.74 및 0.73의 상관관계를 보여 외국문헌의 보고에 비해 약간 떨어지는 결과를 보였다. 그 이유는 방법론상의 차이점 및 PD법 자체에 의한 이론적인 제한점, 또한 그외의 문제점에 의해 기인된 것으로 생각된다. PD법에 의한 측정상의 이론적인 제한점으로는 ;

첫째, 혈관 단면적의 계산상에 문제가 있다. 혈

관 단면적의 측정은 Doppler심에코도에 의한 혈류량의 측정시 가장 주된 오차의 근원이 된다^{29, 34)}. 직경에 의한 면적의 계산에는 혈관이 원(circle)이라는 가정이 필요하지만 실제로는 완전한 원이 아닐 뿐더러 심주기에 따라 면적의 변화가 일어난다. Huntsman 등¹³⁾은 대동맥의 단면적은 나이와 평균동맥압력에 따라 심주기를 통해 3~12%의 변화가 있다고 하였으며 Greenfield와 Patel⁴²⁾은 대동맥의 수축기에는 확장기 면적의 54~16.8%, 평균 11%의 변화가 있다고 하였다. 따라서 수축기의 어느 시기에 직경을 측정하는가에 따라 오차가 생기며 또한 면적 계산시 반경을 자승함으로써 직경에 의한 오차는 더 커지게 된다. 심에코도에 의한 대동맥 직경의 측정치는 수술시 및 사후의 측정치와 거의 일치한다는 보고가 있고³²⁻³³⁾, 또한 심혈관조영술상에서의 측정치와 차이가 있다는 보고도 있으나^{8, 17)} 직경측정에 의한 단면적의 계산은 가장 어려운 부분이며 따라서 각 연구자마다 측정방법, 측정시 사용장치 및 측정위치가 서로 달랐다. 측정방법에 관해서는 이론적으로 leading edge에서 leading edge까지의 측정방법이 더 정확하지만⁴³⁾ tailing edge에서 leading edge까지의 측정치를 이용한 연구도 많으며^{13, 32-33, 44)} 사용장치로는 A-mode^{13, 45)}, M-mode^{32, 46)} 및 2-DE가 사용되어 왔으나 현재 대부분의 학자들은 혈관직경의 측정에는 2-DE를 사용해야 한다는 점에서 거의 모두가 동의하고 있으며^{14, 29)} Gardin 등⁴⁴⁾은 대동맥 직경의 측정시 2-DE가 가장 좋은 방법이라고 결론지었다. 저자들의 연구 성적에서는 2-DE에 의한 대동맥 직경을 이용할 때 PD법과 Fick법과의 상관계수가, M-mode에 의한 직경을 이용할 때의 양측정법 사이의 상관계수와 차이가 있었으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 측정위치에 관해서는 제일 논란이 많다. Magnin 등⁶⁾과 Chandraratna 등⁴⁵⁾은 대동맥의 직경을 대동맥 판막끝의 바로 위에서 측정하였으며 Ihlen 등¹⁴⁾은 대동맥 입구(aortic orifice)가 제일 정확한 측정장소이며 Gussenhoven 등³³⁾의 보고와 같이 수축기 때의 면적의 변화가 거의 없다고 하여 theory of

“plug” formed flow를 주장하였으며 Hatle과 Angelsen²⁹⁾도 이와 의견을 같이 하였다. 또 다른 학자들은 발살바동(sinuses of Valsalva) 바로 위에서의 측정을 강조하였으며^{9, 13, 31)} 저자들도 이 지점에서 표본용적을 놓고 대동맥류의 혈류속도 및 혈관내경을 측정하였다. Fisher 등¹⁰⁾과 Ihlen 등¹⁴⁾은 PD법에 의한 CO의 측정에 있어 중요한 것은 혈관직경을 측정한 장소이며 혈류속도를 측정한 장소는 덜 중요하다고 하였다.

둘째, 혈관내에서 혈류속도의 분포에 관한 문제가 있다. 혈류속도는 혈관 단면적내의 모든 점에서 일정하지 않다⁴⁷⁻⁴⁸⁾. PD법에 의한 CO의 측정에는 대동맥의 velocity profile이 거의 평면파라는 가정이 필요하며 이때 혈관강 중앙에 표본용적을 두고 얻은 혈류속도는 혈관강 전체를 일정하게 지나가는 대표속도가 된다²⁹⁾. 그러나 velocity profile이 평면파가 아니고 유속이 혈관 중앙축에서부터 멀어짐에 따라 저하하는 경우 혈관강 중앙에서부터 구한 혈류속도는 실제의 속도보다 더 클 수 있다¹⁷⁾.

셋째, 입사각에 대한 문제가 있다. 2-DE를 사용하여 혈류방향과 Doppler선과의 각도를 구해 입사각에 대한 교정을 할 수도 있으나 혈류방향과 Doppler선은 실제에는 입체적인 위치관계에 있게 되므로 혈류의 방향은 2-DE에서 보이는 방향과 다를 수가 있다. 따라서 파장의 변화 및 audio signal을 이용해 혈류방향과의 가장 작은 각도를 얻도록 alignment를 맞추는 것이 최대 혈류속도를 얻는 더 좋은 방법이 되며 각도교정 보다는 alignment를 맞추는 것이 더 좋은 두번째 이유로는 어떤 특정각도의 교정시 유발되는 각도오차는 0°근처에서의 같은 각도오차보다 혈류속도에 더 큰 영향을 주어 속도의 과소측정 또는 과대측정을 유발하며²⁹⁾ 각도교정을 하더라도 Doppler법과 thermodilution사이에 CO의 상관계수를 크게 증가시키지 못한다는 보고도 있다⁴⁹⁾. 입사각이 20°일 경우 계산상 각도를 무시함으로써 생기는 혈류속도의 과소평가는 6% 정도로 작으며 30°라 하더라도 13% 차이 밖에는 나지 않는다. 따라서 입사각을 작게하기 위해 대부분의

보고들은 QS의 측정에는 흉상절흔에서 상행대동맥에 Doppler선을 투입하고, QP의 측정에는 폐동맥 장축에 Doppler선을 투입하는 방법을 사용하고 있다. 저자들은 QP의 계산에 있어서는 각도 교정을 하지 않았으며 QS산출에 있어서는 가능한 한 혈류방향과 Doppler선이 일치되도록 하였으며 입사각이 20° 이상인 경우에는 각도교정을 하였다.

넷째, 2-DE에 의한 혈관직경과 실제 혈관내경과의 차이점을 들 수가 있다. 앞에서도 언급했듯이 심에코도에 의한 대동맥 직경의 측정치와 실제의 측정치와는 거의 일치한다는 보고도 있으나^{32~33)} 里方 등¹⁷⁾에 의하면 2-DE로 측정한 대동맥 및 폐동맥의 내경은 심혈관조영술에 의한 측정치와 각각 $r=0.81$, $r=0.82$ 의 양호한 상관관계를 나타냈으나 둘다 다 심혈관조영술로 구한 내경에 비해 작았으며 따라서 2-DE로 측정한 값을 그대로 PD법에 적용할 경우 혈류량의 절대치는 상당히 적게 나오게 된다고 하였다. Goldberg 등⁸⁾도 유사한 결과를 보고하였다.

다섯째, 상행대동맥에서의 CO의 측정시 수축기때 관상동맥으로 흐르는 혈류량은 비록 작다하지만²⁹⁾ 절대치의 계산에서는 제외가 된다.

이상과 같은 PD법에 의한 측정상의 이론적인 제한점 이외에도 그 외의 문제점으로서;

첫째, PD검사와 심도자법검사 사이의 시간차에 의해 환자의 상태가 다른 점을 들 수 있다. 대부분의 보고들은 PD법과 관혈적 방법을 동시에 시행하였으나 저자들의 연구에서는 7례를 제외하고는 환자의 상태가 같지 않았으며 또한 심도자법 시행시 ketamine을 사용한 예가 있어서 혈압이나 심박동수의 증가 등이 유발됨으로써 양측정법에 의한 혈류량의 절대치에는 차이가 날 수 있다.

둘째, Fick법 자체의 계산상에 문제점을 들 수 있다. 저자들은 산소 소비량을 측정할 수 없으므로 해서 La Parge와 Miettinen의 표를 이용하였으며 또한 Fick법에 의한 CO의 측정에는 10% 정도의 오차가 날 수 있다.

앞에서 언급한 이론적인 제한점으로 인하여 PD법은 혈류량의 절대치 보다는 상대적인 변화를 평가하는데 더 유용하게 사용될 수 있다^{48,50)}.

Doppler심에코도법은 사용하기 간편하고 비관혈적이며 반복사용이 가능하며 혈류량을 직접 측정할 수 있는 장점들이 있고 특히 삼각형측정법에 의한 방법은 간편하므로 실용적으로 이용될 수 있다. 앞으로 측정방법 등이 표준화되면 Doppler심에코도에 의한 QP, QS 및 QP/QS의 정확도는 더욱 더 높아질 것으로 생각된다.

비관혈적인 방법에 의한 폐동맥 압력의 측정은 오랫동안 임상적으로 중요한 문제로 되어 있었다.

PAHT의 존재는 P_2 의 항진⁵¹⁾이나 심전도 또는 흉부 X-선 소견 등으로 어느정도 알수가 있으나 폐동맥 압력의 정확한 측정은 심도자법에 의해서만 가능하였다. 심에코도가 개발됨에 따라 비관혈적인 측정이 이루어져 비정상적인 폐동맥 판막 운동이나^{18~19,22)} 우심실의 PEP 또는 PEP/ET의 연장 등^{18,20~22)} 여러가지 심에코도 측정방법이 폐동맥 압력을 평가하는데 이용되어 왔으며 최근 Doppler심에코도를 이용하여 폐동맥 압력을 추정하려는 많은 연구가 보고되기에 이르렀다^{23~25,52~53)}. 따라서 폐동맥 압력의 추정을 위한 가장 좋은 지표들은 각 연구자마다 각기 달랐다.

Senecal 등⁵²⁾과 Foulst 등⁵³⁾은 PAMP와 PEP/ET와의 양호한 상관관계를 밝혔으며 Hatle 등²³⁾은 isovolumic relaxation time과 PASP와의 상관관계를 밝혔다. 최근에 Kitabatake 등²⁴⁾과 Kosturakis 등²⁵⁾은 AT나 AT/ET가 폐동맥 압력과 양호한 상관관계가 있음을 보고하였으며 Isobe 등²⁵⁾은 우심실의 PEP/AT가 폐동맥 압력을 평가하는데 가장 좋은 지표라고 보고하였다.

우심실의 박출류를 측정하는데 있어서 Kitabatake 등²⁴⁾과 Isobe 등²⁵⁾은 폐동맥 판막 주위에서 발생하는 수축기말 역류나 폐동맥 판막 자체에서 나올 수 있는 혈류를 피하기 위해 폐동맥 대신에 폐동맥 판막 바로 아래의 우심실 유출로에서 혈류측정을 하는 것이 좋다고 하였으나 저자들은 Kosturakis 등²⁵⁾과 마찬가지로 주 폐동맥의 혈관

강 증상에 표본용적을 설정하여 혈류 측정을 하였다. 저자들의 연구성적에서 가장 좋은 지표는 Iso-be 등²⁶⁾의 경우와 마찬가지로 PEP/AT로서 PASP 및 PAMP와의 상관계수는 0.84 및 0.82로 양호한 상관을 보였으며 PAHT환아의 79%가 0.8 이상이고 PAHT이 없는 환아 및 정상아의 95%가 0.8 미만이었다. AT에 대한 연구성적은 다른 보고와 비슷하였다²⁵⁻²⁶⁾.

AT와 폐동맥 압력과는 비교적 양호한 상관관계가 있었고 민감도 및 특이도는 높았으나 PEP/AT와 비교해 볼 때 폐동맥 압력과의 상관계수는 상대적으로 낮았다. 정상적인 폐동맥 압력이 있을 경우 최고 혈류속도는 수축기 중간에 위치하지만 PAHT이 있을 경우에는 수축기 초기에 박출류에 대한 저항이 높아지게 되어 AT는 짧아지게 된다²⁵⁻²⁶⁾. 그러나 afterload뿐만 아니라 심근의 수축력도 AT에 영향을 주게 되므로 Isobe 등²⁶⁾은 AT보다는 PEP/AT가 더 좋은 지표가 된다고 하였다. 즉 PEP는 4가지의 기본적인 요인에 의해 영향을 받는 바 ① preload ② afterload ③ 심근의 수축력 ④ 심실의 전기적인 활동력이 그것이다²⁰⁾. 어느 인자가 PEP를 결정하는 주요 인자인지는 알 수 없으나 우심실의 기능장애가 있을 경우 PEP는 PAHT뿐만 아니라 우심실 기능장애에 의해서도 영향을 받게 된다. 따라서 AT에 대한 우심실 수축력의 영향은 PEP에 의해 상쇄되므로 단순한 AT보다는 PEP/AT가 폐동맥 압력의 추정을 위한 더 좋은 지표가 될 수 있다고 하였다. PEP/ET의 증가가 PAHT를 반영하며^{20-21, 52-53)} AT/ET와 폐동맥 압력과의 관계를 연구한 보고도 있으나²⁴⁻²⁵⁾ 저자들의 연구성적에서는 이 두 지표의 폐동맥 압력과의 상관계수는 Isobe 등²⁶⁾과 마찬가지로 높지 않았다. 이것은 PAHT이 있을 경우 수축기말에 와류가 생겨 박출시간의 끝을 정확히 측정할 수 없었기 때문일 것이며 PEP/ET의 경우 각군간에 값의 중복이 일어났기 때문이라 생각된다.

저자들의 연구 결과 PD법에 의해 측정된 각각의 지표와 폐동맥 고혈압과의 관계에서는 AT가

민감도가 가장 높았고 PEP/AT에서 특이도가 가장 높았다.

폐동맥 압력의 측정을 위한 PD법 사용상의 문제점으로서는 ;

첫째, 앞에서 언급한 바와 같이 우심실 박출류의 측정장소를 어디로 하는 것이 가장 좋은가 하는 문제이며

둘째, PD검사와 심도자법검사 사이의 시간간격에 관한 문제이다. 심장내의 압력은 환자의 임상적 상태에 따라 변동될 수 있기 때문이다. 이러한 점들은 앞으로 계속 연구해야 될 문제로 남게 된다.

이러한 문제점에도 불구하고 PD법에 의한 폐동맥 압력의 추정은 아무런 부작용이 없이 비관혈적으로 반복 사용할 수 있다는 점과 선천성 심질환에서 합병되는 PAHT의 발달 및 진행과정을 추적관찰할 수 있어 교정수술의 시기를 결정할 수 있다는 커다란 장점이 있기 때문에 임상적으로 매우 유용하다고 생각된다.

결 론

소아 심질환 57례(정상아 14례 포함)를 대상으로 pulsed Doppler심에코도(PD)를 이용한 비관혈적인 방법과 심도자법을 이용한 관혈적 방법으로 QP/QS 및 폐동맥 압력을 측정비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 단락이 없는 소아에서의 PD법에 의한 QP/QS는 $1.09 \pm 0.15(0.74 \sim 1.44)$ 였으며 PD법에 의한 QP/QS가 1.5이하인 경우 전례에서 Fick법에 의한 QP/QS도 1.5이하였다.

2) 양측정법에 의한 QP/QS의 상관계수는 0.87로서 양호한 상관을 나타내어 삼각형측정법에 의한 QP/QS의 측정은 실용적으로 임상에 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

3) 대동맥 직경의 측정은 2-DE에 의한 방법이 적절한 것으로 생각된다.

4) 폐동맥 압력의 추정을 위한 PD법의 가장 좋은 지표는 PEP/AT였다. PAHT에 대한 민감도는

AT가 가장 높았고 특이도는 PEP/AT가 가장 높았다.

5) 이상의 결과를 종합할 때 PD법은 단락성 심 질환에서 QP/QS의 측정 및 폐동맥 압력의 추정을 위한 비관혈적인 방법으로 임상적으로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) Light LH : *Transcutaneous observation of blood velocity in the ascending aorta in man. J Physiol* 204 : 1P~2P, 1969
- 2) Sequeira RF, Light LH, Cross G, et al : *Transcutaneous aortovelocity. A quantitative evaluation. Br Heart J* 38 : 443, 1976
- 3) Colocousis JS, Huntsman LL, Curreri PW : *Estimation of stroke volume changes by ultrasonic Doppler. Circulation* 56 : 914, 1977
- 4) Darsee JR, Mikolich JR, Walter PF, et al : *Transcutaneous method of measuring Doppler cardiac output-I. Comparison of transcutaneous and juxta-aortic Doppler velocity signals with catheter and cuff electromagnetic flowmeter measurements in closed and open chest dogs. Am J Cardiol* 46 : 607, 1980
- 5) Darsee JR, Walter PF, Nutter DO : *Transcutaneous Doppler method of measuring cardiac output-II. Noninvasive measurement by transcutaneous Doppler aortic blood velocity integration and M mode echocardiography. Am J Cardiol* 46 : 613, 1980
- 6) Magnin PA, Stewart JA, Myers S, et al : *Combined Doppler and phased-array echocardiographic estimation of cardiac output. Circulation* 63 : 388, 1981
- 7) Alverson DC, Eldridge M, Dillon T, et al : *Non-invasive pulsed Doppler determination of cardiac output in neonates and children. J Pediatr* 101 : 46, 1982
- 8) Goldberg SJ, Sahn DJ, Allen HD, et al : *Evaluation of pulmonary and systemic blood flow by 2-dimensional Doppler echocardiography using fast fourier transform spectral analysis. Am J Cardiol* 50 : 1394, 1982
- 9) Sanders SP, Yeager S, Williams RG : *Measurement of systemic and pulmonary blood flow and QP/QS ratio using Doppler and two-dimensional echocardiography. Am J Cardiol* 51 : 952, 1983
- 10) Fisher DC, Sahn DJ, Friedman MJ, et al : *The effect of variations on pulsed Doppler sampling site on calculation of cardiac output : An experimental study in open-chest dogs. Circulation* 67 : 370, 1983
- 11) Meijboom EJ, Valdes-Cruz LM, Horowitz S, et al : *A two-dimensional Doppler echocardiographic method for calculation of pulmonary and systemic blood flow in a canine model with a variable-sized left-to-right extracardiac shunt. Circulation* 68 : 437, 1983
- 12) Valdes-Cruz LM, Horowitz S, Mesel E, et al : *A pulsed Doppler echocardiographic method for calculation of pulmonary and systemic flow : Accuracy in a canine-model with ventricular septal defect. Circulation* 68 : 597, 1983
- 13) Huntsman LL, Stewart DK, Barnes SR, et al : *Noninvasive Doppler determination of cardiac output in man. Clinical validation. Circulation* 67 : 593, 1983
- 14) Ihlen H, Amlie JP, Dale J, et al : *Determination of cardiac output by Doppler echocardiography. Br Heart J* 51 : 54, 1984
- 15) Ihlen H, Myhre E, Amlie JP, et al : *Changes in left ventricular stroke volume measured by Doppler echocardiography. Br Heart J* 54 : 378, 1985
- 16) Haites NE, McLennan FM, Mowat DHR, et al : *Assessment of cardiac output by the Doppler ultrasound technique alone. Br Heart J* 53 : 123, 1985

1985

- 17) 里方一郎, 新垣義夫, 竹内則夫 외 2인 : 超音波 펄스도플러법による小児の心拍出量および肺體血流量比の測定. 小児科臨床 38 : 467, 1985
- 18) Nanda NC, Gramiak R, Robinson TI, et al : *Echocardiographic evaluation of pulmonary hypertension. Circulation* 50 : 575, 1974
- 19) Weyman AE, Dillon JC, Feigenbaum H, et al : *Echocardiographic patterns of pulmonic valve motion with pulmonary hypertension. Circulation* 50 : 905, 1974
- 20) Hirschfeld B, Meyer R, Schwartz DC, et al : *The echocardiographic assessment of pulmonary artery pressure and pulmonary vascular resistance. Circulation* 52 : 642, 1975
- 21) Riggs T, Hirschfeld S, Borkat G, et al : *Assessment of the pulmonary vascular bed by echocardiographic right ventricular systolic time intervals. Circulation* 57 : 939, 1978
- 22) Lew W, Karliner JS : *Assessment of pulmonary valve echogram in normal subjects and in patients with pulmonary arterial hypertension. Br Heart J* 42 : 147, 1979
- 23) Hatle L, Anglsen BAJ, Tromsdal A : *Non-invasive estimation of pulmonary artery systolic pressure with Doppler ultrasound. Br Heart J* 45 : 157, 1981
- 24) Kitabatake A, Inoue M, Asao M, et al : *Noninvasive evaluation of pulmonary hypertension by a pulsed Doppler technique. Circulation* 68 : 302, 1983
- 25) Kosturakis D, Goldberg SJ, Allen HD, et al : *Doppler echocardiographic prediction of pulmonary arterial hypertension in congenital heart disease. Am J Cardiol* 53 : 1110, 1984
- 26) Isobe M, Yazaki Y, Takaku F, et al : *Prediction of pulmonary arterial pressure in adults by pulsed Doppler echocardiography. Am J Cardiol* 57 : 316,

1986

- 27) Rawles J, Haites N : *Doppler ultrasound measurement of cardiac output. Br J Hosp Med* 31 : 292, 1984
- 28) Daley PJ, Sagar KB, Wann LS : *Doppler echocardiographic measurement of flow velocity in the ascending aorta during supine and upright exercise. Br Heart J* 54 : 562, 1985
- 29) Hatle L, Angelsen B : *Doppler ultrasound in cardiology. Physical principles and clinical applications. 2nd Ed. Philadelphia, Lea & Febiger* 1985
- 30) Main J, Nanda NC, Saini VD : *Clinically useful Doppler calculations and illustrative case examples, In Doppler echocardiography, Nanda NC. 1st Ed. p488, New York · Tokyo, Igaku-shoin* 1985
- 31) Touch T, Vervin P, Curien N, et al : *Cardiac output measurement in adult patients with combined pulsed Doppler and two-dimensional echocardiography (abst). Circulation* 66 : 121, 1982
- 32) Fracis GS, Hagan AD, Oury J, et al : *Accuracy of echocardiography for assessing aortic root diameter. Br Heart J* 37 : 376, 1975
- 33) Gussenhoven WJ, Van Leenen BF, Kuis W, et al : *Comparison of internal diameter of great arteries in congenital heart disease. A cross-sectional echocardiographic study. Br Heart J* 49 : 45, 1983
- 34) Goldberg SJ, Allen HD, Marx GR, Flinn CJ : *Doppler echocardiography. p68, Philadelphia, Lea & Febiger* 1985
- 35) Pombo JF, Troy BL, Russell RO Jr : *Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. Circulation* 43 : 480, 1971
- 36) 홍창의 · 최정연 · 박세원 외 2인 : 심실중격결손증에 있어서 심도자법과 동위원소에 의한 좌우단락량 측정의 비교. 소아과 28 : 340, 1984
- 37) Slutsky R, Karliner J, Ricci D, et al : *Left ventricular volumes by gated equilibrium radionuclide angiography : A new method. Circulation* 60 : 556, 1979

- 38) Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, et al : *Problems in echocardiographic volume determinations : Echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy*. *Am J Cardiol* 37 : 7, 1976
- 39) Hoekenga DE, Greene ER, Loepky JA, et al : *A comparison of noninvasive Doppler cardiographic and simultaneous Fick measurements of left ventricular stroke volume in man (abst)*. *Circulation* 62 : 119, 1980
- 40) Bommer W, Miller L, Keown M, et al : *Real time fast fourier analysis of Doppler spectral information and two-dimensional echocardiography yield a non-invasive estimate of cardiac output (abst)*. *Circulation* 62 : 199, 1980
- 41) Berman W Jr, Eldridge M, Yabek SM, et al : *Pulsed Doppler determination of cardiac output in neonates and children (abst)*. *Circulation* 64 : 167, 1981
- 42) Greenfield JC, Patel DJ : *Relation between pressure and diameter in the ascending aorta of man*. *Circ Res* 10 : 778, 1962
- 43) Feigenbaum H : *Echocardiography*. 4th Ed. p 115, Philadelphia, Lea & Febiger 1986
- 44) Gardin JM, Tobis JM, Dabestani A, et al : *Superiority of two-dimensional measurement of aortic vessel diameter in Doppler echocardiographic estimates of left ventricular stroke volume (abst)*. *Clin Res* 31 : 8A, 1983
- 45) Chandraratna PA, Nanda M, McKay C, et al : *Determination of cardiac output by transcutaneous continuous-wave ultrasonic Doppler computer*. *Am J Cardiol* 53 : 234, 1984
- 46) Walther FJ, Siassi B, Ramadan NA, et al : *Pulsed Doppler determinations of cardiac output in neonates : Normal standards for clinical use*. *Pediatrics* 76 : 829, 1985
- 47) Schuster AH, Nanda NC : *Doppler echocardiographic measurement of cardiac output : Comparison with a non-golden standard*. *Am J Cardiol* 53 : 257, 1984 .
- 48) Schuster AH, Nanda NC, Maulik D, Saini VD : *Doppler evaluation of cardiac output*, In *Doppler echocardiography*, Nanda NC. 1st Ed. p149, New York · Tokyo, Igaku-shoin 1985
- 49) Waters J, Kwan OL, Kerns G, et al : *Limitations of Doppler echocardiography in the calculation of cardiac output (abst)*. *Circulation* 66 : 122, 1982
- 50) Elkayam U, Gardin JM, Berkley R, et al : *The use of Doppler flow velocity measurement to assess the hemodynamic response to vasodilators in patients with heart failure*. *Circulation* 67 : 377, 1983
- 51) Sutton G, Harris A, Leatham A : *Second heart sound in pulmonary hypertension*. *Br Heart J* 30 : 743, 1968
- 52) Senecal F, Weyman AE, Pyhel HJ, et al : *Estimation of pulmonary artery pressure by pulsed Doppler echocardiography (abst)*. *Circulation* 56 : 25, 1977
- 53) Foulst GM, Blanchard D, Raoul B, et al : *Noninvasive measurement of pulmonary artery pressure by pulsed Doppler echocardiography (abst)*. *Circulation* 62 : 366, 1980