

정상 소아에서 Doppler 심에코도로 측정된 심장 판막 혈류속도에 대한 연구

이화여자대학교 의과대학 소아과학교실

홍 영 미

= Abstract =

Normal Intracardiac and Great Vessel Doppler Flow Velocities in Infant and Children

Young Mi Hong

Department of Pediatrics, College of Medicine, Ewha Womans University

One hundred and 66 normal subjects were studied by two dimensional pulsed Doppler echocardiography to estimate velocity within heart and great vessels. Velocities were obtained at a beam flow intercept angle close to 0° in ascending aorta, main pulmonary artery, tricuspid and mitral valve orifice.

Quantative angle corrected peak flow velocities were generally lower on the right side than on the left side of the heart. Differences in tricuspid (mean 58.3cm/sec) versus mitral (mean 70.8cm/sec) valve orifice and pulmonary (mean 75.7cm/sec) versus ascending aorta (mean 111.7cm/sec) were significant ($p < 0.05$). Only significant relationship between mitral valve velocity and body surface area was noted, but there was no significant difference between other valve velocity and age or body surface area.

These normal Doppler data should be useful for comprisons with data obtained in children with various forms of congenital heart disease that affect flow dynamics.

서 론

Doppler 심에코도는 심장과 혈관내에서의 혈류 속도와 압력차이를 계산하는데 사용되어 왔으며¹⁾ 판막 협착이나 폐쇄부전⁴⁾⁹⁾으로 인한 혈류 장애를 발견할 수 있고 심실 중격 결손증, 심방중격 결손증이나 동맥관 개존증과 관련된 혈류장애의 위치를 아는데도 도움이 된다.¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾

그외에도 심박출량의 측정¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾, 좌우 단락이 있는 경우 폐순환에 대한 체순환비의 측정도 가능

하다. 최근 우리나라도 Doppler 심에코도를 이용하여 심장질환을 진단하고 있으나 아직 소아에서 판막의 혈류속도에 대한 정상치는 보고되지 않았다. Doppler 심에코도를 이용한 혈류 속도의 측정은 선천성 심장병을 가진 소아에서 매우 중요하기 때문에 이와 비교하기 위해서는 정상 유아 및 소아에서의 정상치가 필요하다. 이에 저자는 Doppler 심에코도를 이용하여 심장병이 없는 정상소아에서 각 판막의 최대 혈류속도를 측정하였고 각각의 최대 혈류속도와 연령, 체표면적과의 상관성을 알아

보기 위해 본 연구를 실시하였다.

대상 및 방법

1. 대 상

1989년 8월부터 1990년 5월까지 심장병이 없는 166명의 소아에서 심에코도를 시행하였다. 대상으로는 신생아가 34명, 1개월~1세가 30명, 1~4세가 30명, 5~8세가 38명, 9~15세가 34명이었다. 연령은 신생아에서 15세사이였고 남아가 97명, 여아가 69명이었다.

2. 방 법

기계는 Hewlett Packard 사의 77020A를 사용하였으며 Transducer는 5 MHz와 3.5 MHz를 사용하였다. 이면성 심에코도와 Doppler 심에코도를 이용하여 검사를 시행하였고, 승모판과 삼첨판의 혈류속도는 apical four chamber view 로 판막의 원위부에서 측정하였다(Fig. 1, Fig. 2). 폐동맥판

혈류속도는 precordial view 로 측정하였고(Fig. 3), 대동맥판 혈류속도는 심첨부와 흉골 상연에서 측정하였다(Fig. 4, Fig. 5). 가능한한 혈류속도 방향과 초음파 beam 이 일치하도록 측정하였으나 일치가 안 되는 경우 교정각(angle correction) 을 가능한한 적게하였다. 각 판막의 최대 혈류속도는 3회를 측정하여 평균값과 표준편차를 구하였고 각 판막의 최대 혈류속도와 연령이나 체표면적과의 상관성을 보기위해 회귀 방정식을 이용하여 상관 계수를 구하였다. T-test를 이용하여 통계적으로 검증하였다.

결 과

1. 위치별 최대 혈류속도

1) 승모판 최대 혈류속도

신생아에선 55.3cm/sec, 1개월~1세는 75.3cm/sec, 1~4세는 77.8cm/sec, 5~8세는 76.0cm/sec,

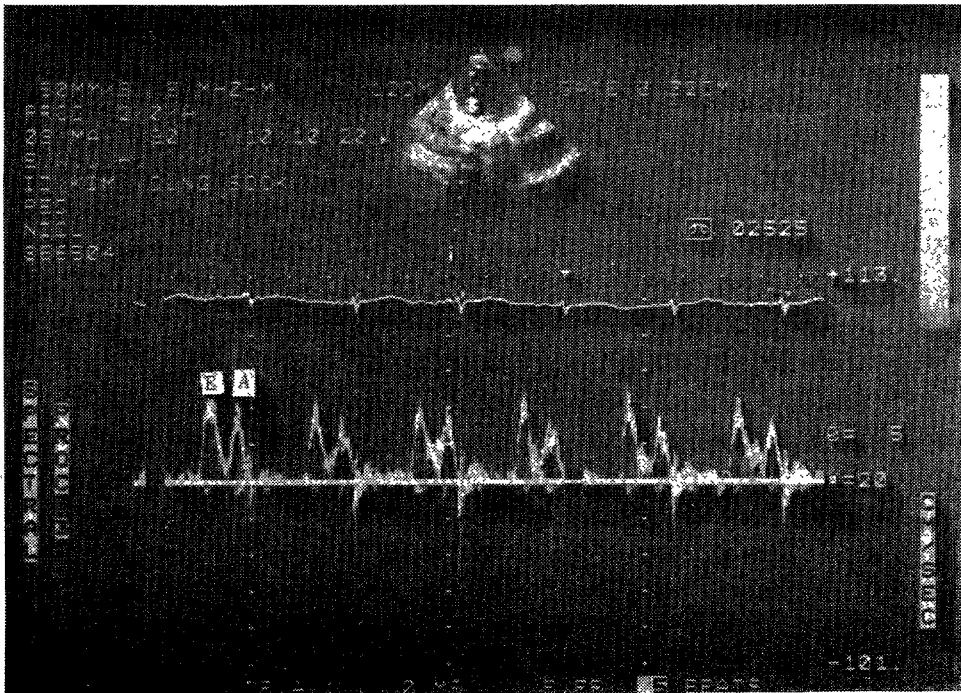


Fig. 1. Two dimensional and pulsed wave Doppler echocardiogram of mitral valve.

E : early diastole

A : atrial systole

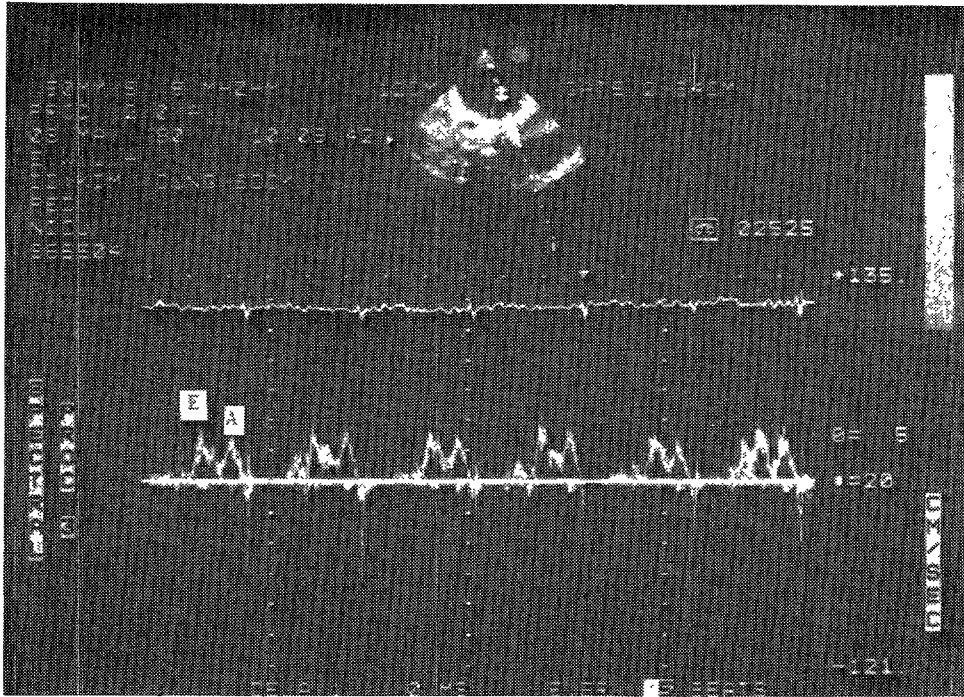


Fig. 2. Two dimensional and pulsed wave Doppler echocardiogram of tricuspid valve.
 E : early diastole
 a : atrial systole

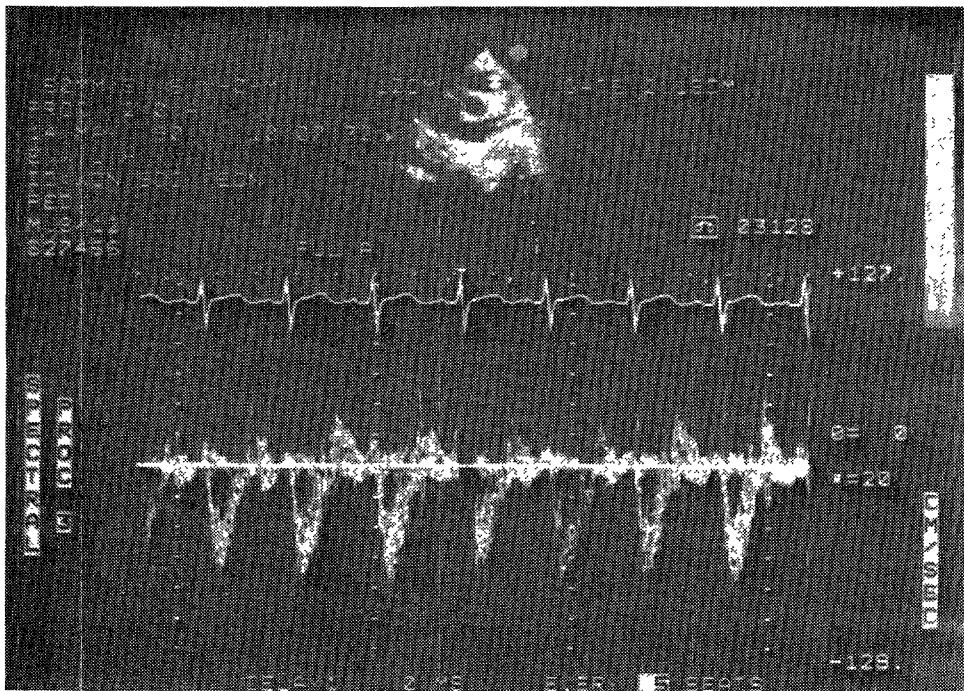


Fig. 3. Two dimensional and pulsed wave Doppler echocardiogram of pulmonic valve.

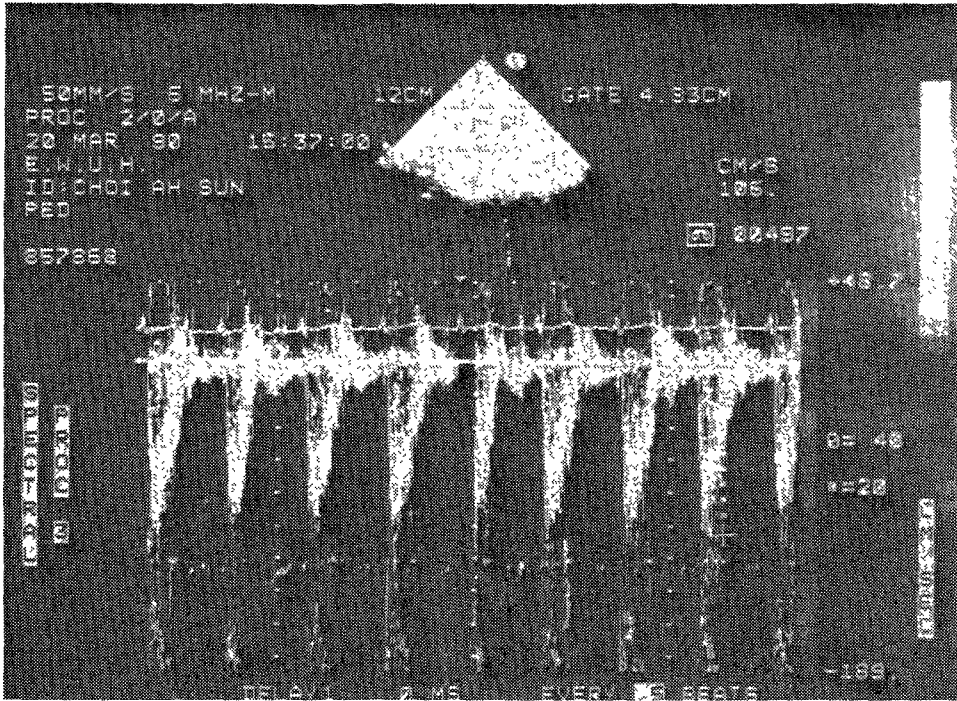


Fig. 4. Two dimensional and pulsed wave Doppler echocardiogram of aortic valve at apex.

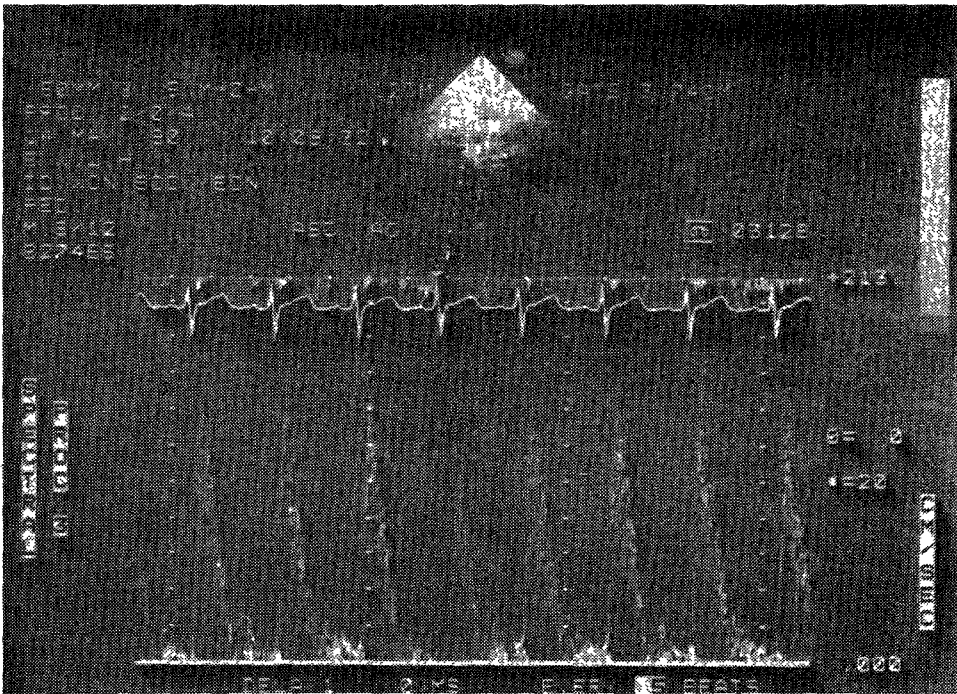


Fig. 5. Two dimensional and pulsed wave Doppler echocardiogram of ascending aorta at supra sternal notch.

9~15세는 71.9cm/sec이었다(Table 1). 승모판의 혈류속도는 연령과 유의한 상관관계가 없었다($r=0.11, p>0.05$)(Fig. 6). 그러나 체표면적이 증가할수록 승모판 혈류속도의 유의한 증가를 볼수 있었

다($r=0.19, p<0.05$)(Fig. 7).

2) 삼첨판 최대 혈류속도

신생아에선 51.2cm/sec, 1개월~1세는 64.1cm/sec, 1~4세는 63.6cm/sec, 5~8세는 58.9cm/sec,

Table 1. Peak flow velocity (cm/sec) at different site (Mean±S.D.)

Age	No.	Mitral Valve	Tricuspid Valve	Pulmonic Valve	Aorta	
					axial	SSN
0- 1M	34	55.3± 18.4	51.2± 14.1	69.4± 18.0	63.9± 15.2	84.8± 25.8
1M- 1yr	30	75.3± 20.7	64.1± 15.5	86.8± 24.1	83.7± 26.2	119.3± 25.3
1- 4yr	30	77.8± 14.6	63.6± 14.9	79.3± 18.1	77.4± 23.4	125.5± 31.6
5- 8yr	38	76.0± 16.2	58.9± 10.5	78.8± 13.8	76.1± 20.0	115.9± 17.5
9- 15yr	34	71.9± 19.1	56.8± 12.0	77.2± 19.8	81.7± 18.7	116.4± 23.0
Total	166	*70.8± 19.8	58.3± 14.5	75.7± 19.7	**75.7± 21.2	***111.7± 25.0

*Significantly different from tricuspid valve velocity $P<0.005$

**Significantly different from aortic valve velocity at SSN $P<0.005$

***Significantly different from pulmonic valve velocity $P<0.005$

SSN : supra sternal notch

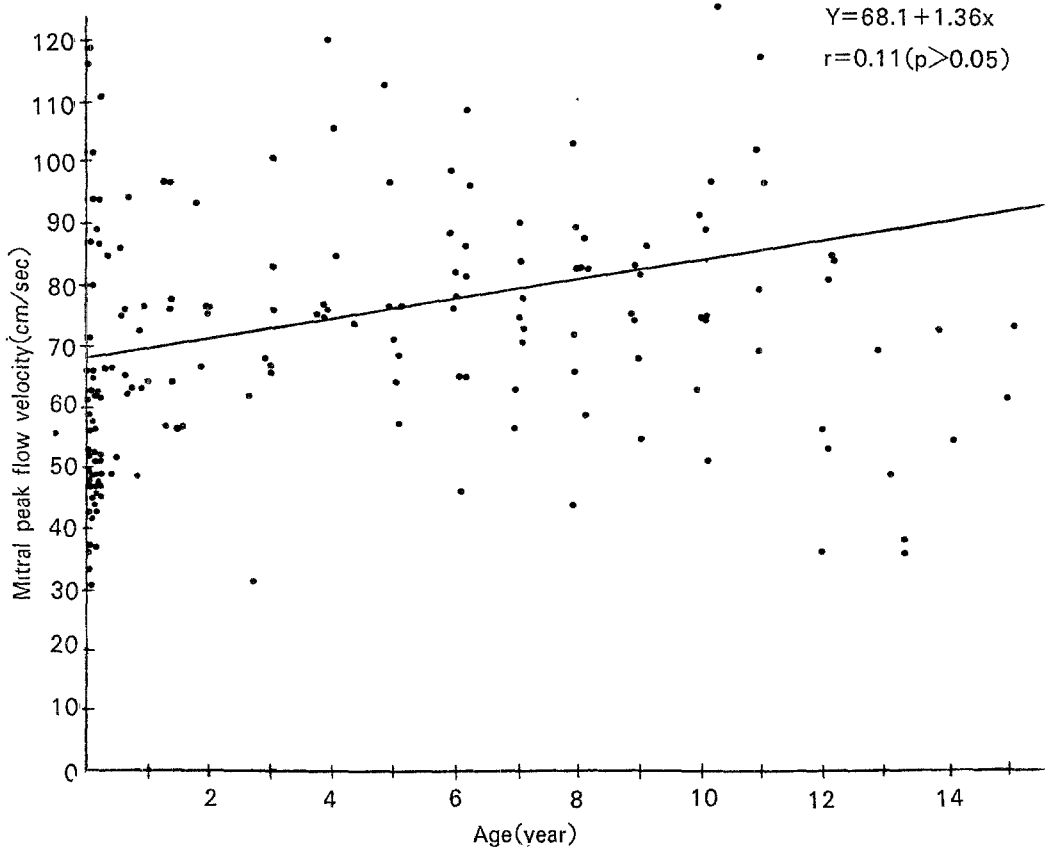


Fig. 6. Linear correlation between age and mitral peak flow velocity.

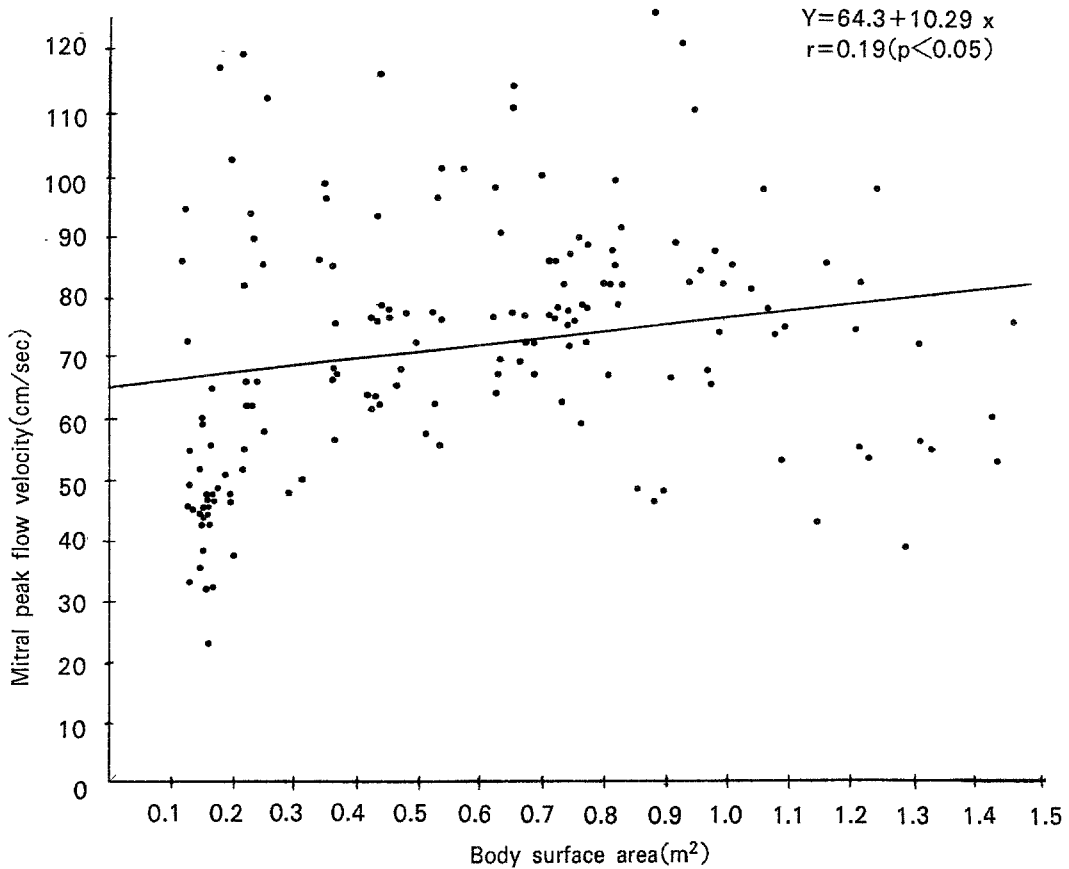


Fig. 7. Linear correlation between body surface area and mitral peak flow velocity.

9~15세는 56.8cm/sec이었다(Table 1). 삼첨판의 최대 혈류속도는 연령과 유의한 상관관계가 없었다($r=0.03$, $P>0.05$)(Fig. 8). 또한 체표면적과도 유의한 상관관계가 없었다($r=0.04$, $p>0.05$)(Fig. 9).

3) 폐동맥관 최대 혈류속도

신생아에선 69.4cm/sec, 1개월~1세는 86.8cm/sec, 1~4세는 79.3cm/sec, 5~8세는 78.8cm/sec, 9~15세는 77.2cm/sec이었다(Table 1). 폐동맥관의 최대 혈류속도는 연령과 유의한 상관관계가 없었다($r=0.009$, $p>0.05$)(Fig. 10). 또한 체표면적과도 유의한 상관성이 없었다($r=-0.093$, $p>0.05$)(Fig. 11).

4) 대동맥관 최대 혈류속도

심첨부에서 측정된 최대 혈류속도는 신생아에선 63.9cm/sec, 1개월~1세는 83.7cm/sec, 1~4세는

77.4cm/sec, 5~8세는 76.1cm/sec 9~15세는 81.7cm/sec이었고, 흉골상부에서 측정된 최대 혈류속도는 신생아에선 84.8cm/sec, 1개월~1세에서 119.3cm/sec, 1~4세는 125.5cm/sec, 5~8세는 115.9cm/sec, 9~15세에선 116.4cm/sec으로 흉골 상부에서 측정된 혈류속도가 심첨부에서 측정된 것보다 유의하게 높았다. 대동맥관의 최대 혈류속도는 연령과 유의한 상관관계가 없었다($r=0.12$, $P>0.05$)(Fig. 12). 또한 체표면적과도 유의한 상관성이 없었다($r=0.15$, $p>0.05$)(Fig. 13).

2. 초기 이완기에 대한 후기 이완기의 혈류 속도 비(E/A)

1) 승모판 E/A 혈류속도비

신생아에선 1.4, 1개월~1세에서 1.7, 1~4세는 2.0, 5~8세는 1.8, 9~15세는 1.8이었다(Table 2).

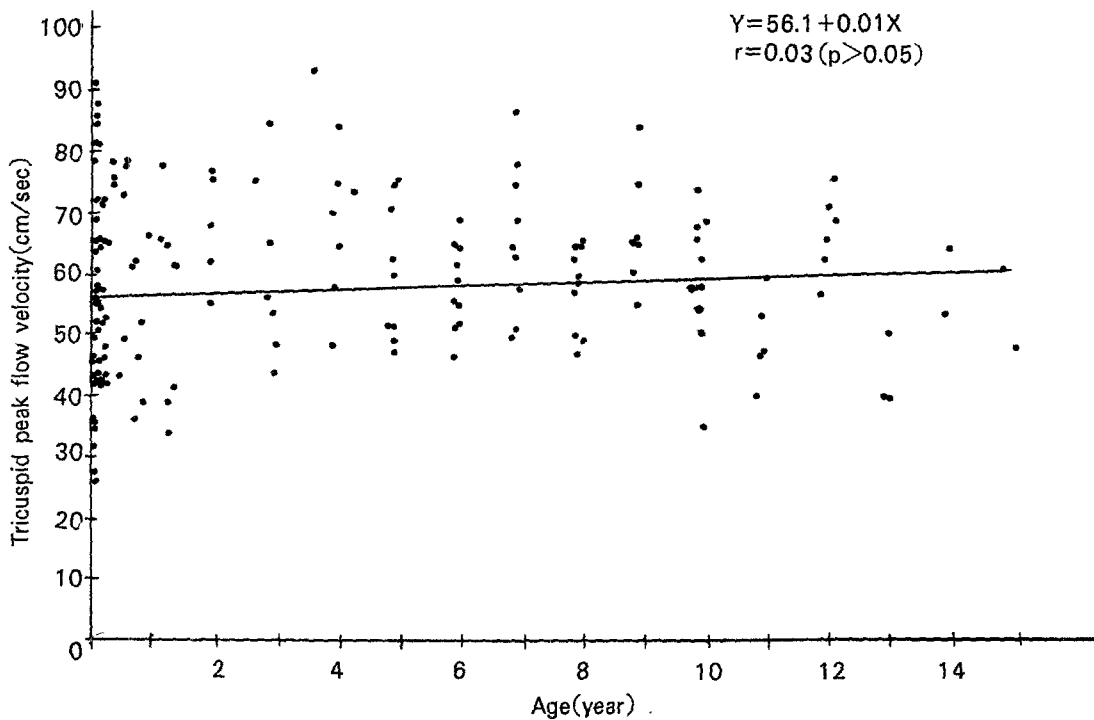


Fig. 8. Linear correlation between age and tricuspid peak flow velocity.

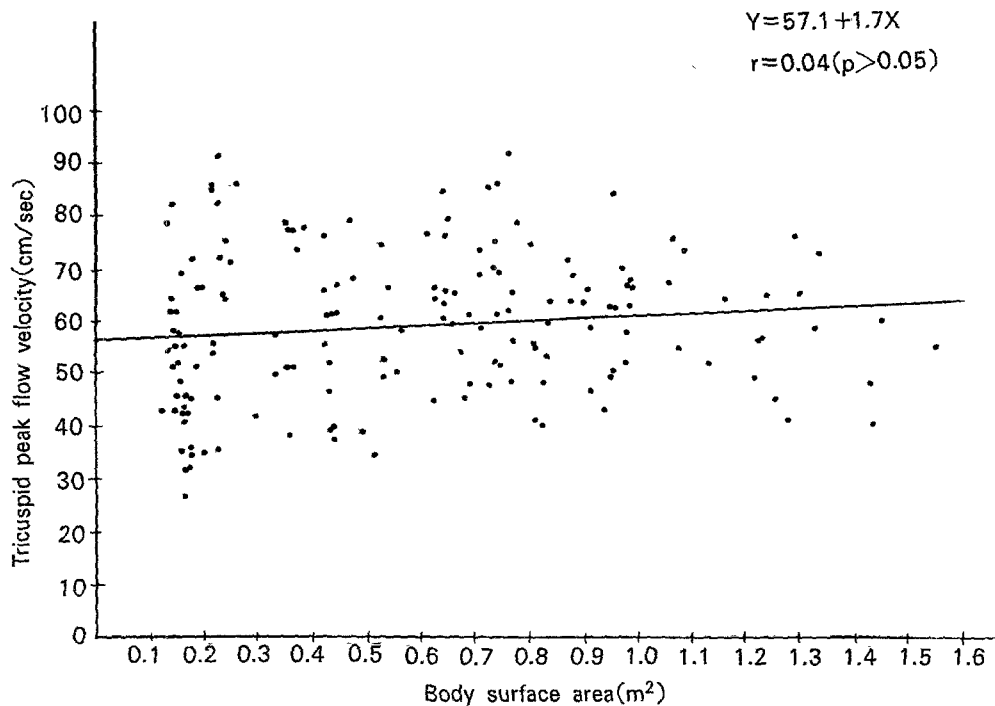


Fig. 9. Linear correlation between body surface area and tricuspid peak flow velocity.

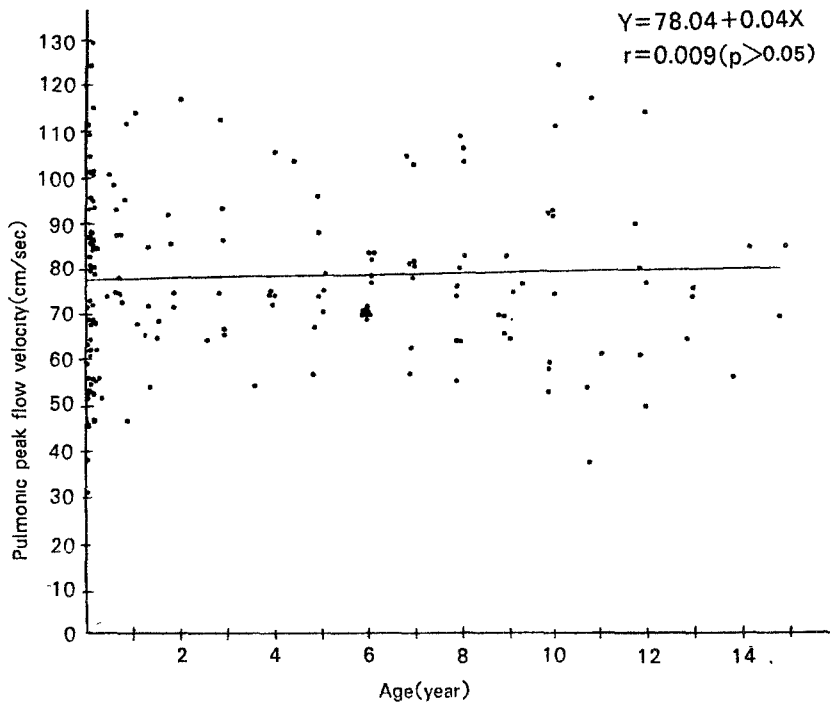


Fig. 10. Linear correlation between age and pulmonic peak flow velocity.

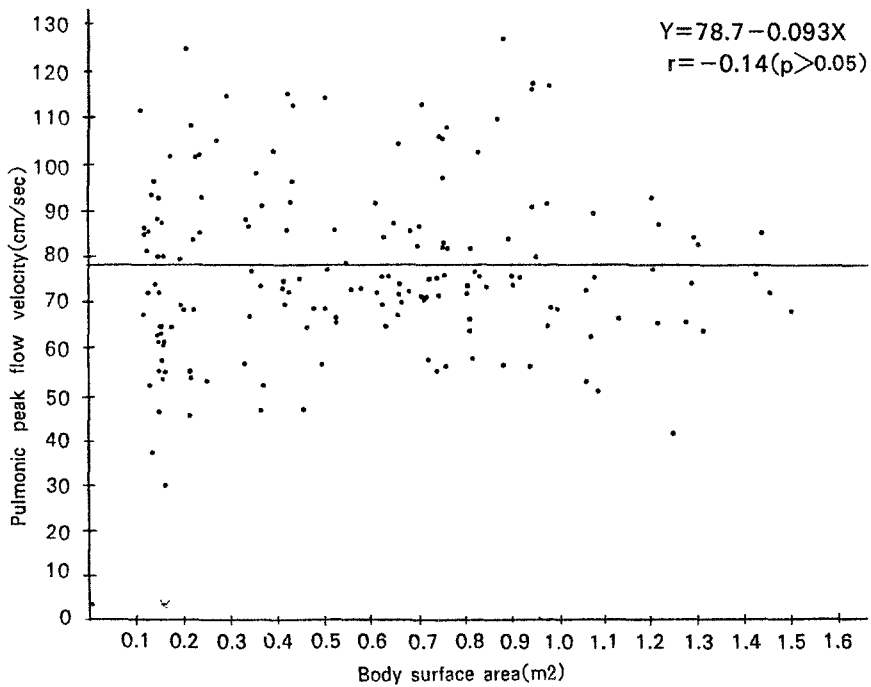


Fig. 11. Linear correlation between body surface area and pulmonic peak flow velocity

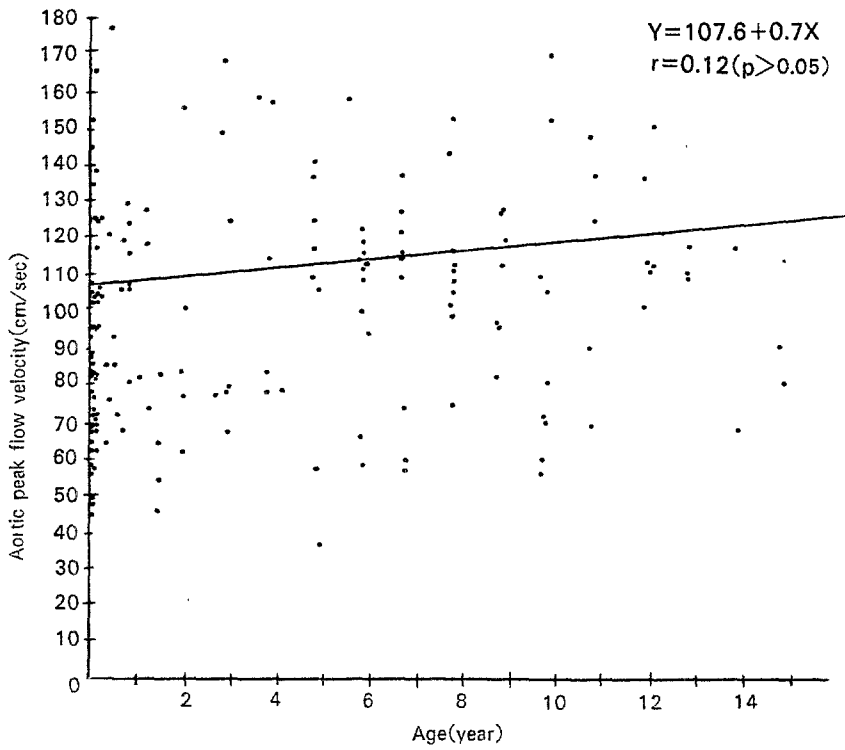


Fig. 12. Linear correlation between age and aortic peak flow velocity.

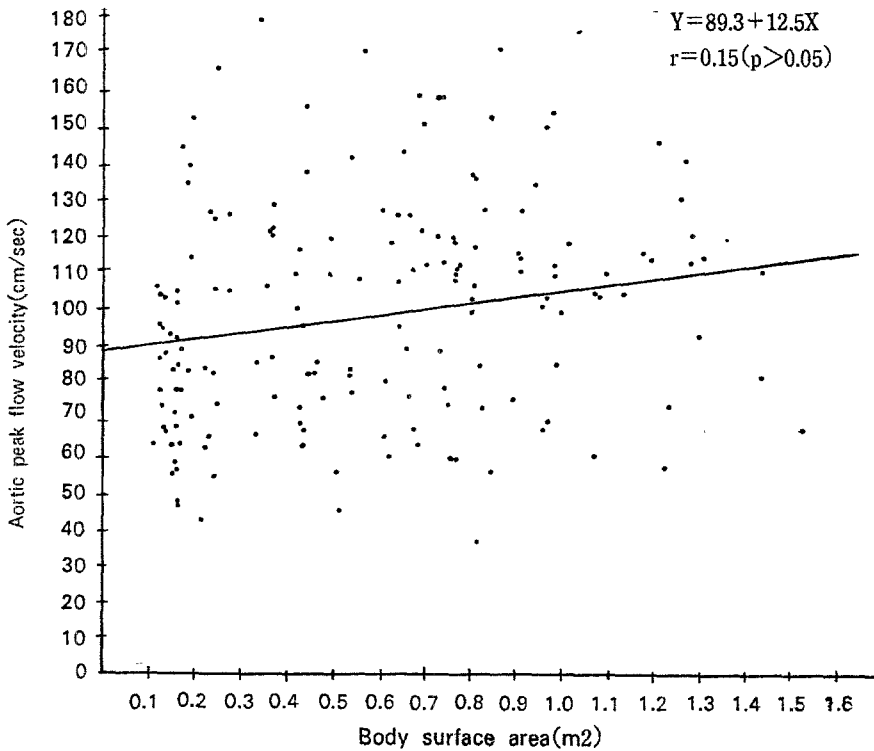


Fig. 13. Linear correlation between body surface area and aortic peak flow velocity

Table 2. Difference of the velocity of early diastole (E) and atrial systole (A) in mitral valve and tricuspid valve according to age (Mean±S.D.)

Age	No.	Mitral Valve			Tricuspid valve		
		E	A	E/A	E	A	E/A
0- 1M	34	52.8± 19.9	41.5± 12.4	1.4± 1.0	48.0± 16.3	38.6± 14.2	1.4± 1.4
1M- 1yr	30	72.3 ± 20.9	55.7 ± 25.5	1.7± 1.3	60.4± 17.1	42.5± 19.7	1.9± 1.8
1- 4yr	30	77.3± 15.0	49.5± 22.8	2.0± 1.2	62.3± 15.6	43.9± 17.6	1.4± 0.3
5- 8yr	38	76.0± 16.2	49.6± 18.1	1.8± 0.8	57.2± 11.8	42.1± 14.2	1.4± 0.6
9- 15yr	34	72.3± 19.3	45.5± 19.5	1.8± 0.8	55.6± 12.6	43.0± 14.4	1.3± 0.5

2) 삼첨판 E/A 혈류속도비

신생아에선 1.4, 1개월~1세는 1.9, 1~4세는 1.4, 5~8세는 1.4, 9~15세는 1.3이었다(Table 2).

고 안

Doppler 심에코도로 심장과 혈관내에서 혈류속도를 측정할 수 있게 됨에 따라 선천성 심장병을 가진 환자의 진단에 매우 유용하게 사용하게 되었다. 혈류속도의 측정치에 대한 정상치가 보고¹⁶⁾¹⁷⁾ 되 있으나 여러 저자들이 사용한 초음파 기계의 종류와 기술에 따라 측정치에 차이가 있을 수 있으며 혈류속도와 심초음파 beam과의 각도에 따라 다른데 이 교정각이 적을수록 측정치가 정확하다.

Grenadier¹⁸⁾은 102명의 정상 소아에서 각 판막의 최대 혈류속도를 측정한 결과 승모판은 81.1 cm/sec, 삼첨판 61.8cm/sec, 대동맥 88.5cm/sec, 폐동맥은 76.1cm/sec이었고 승모판 혈류속도는 삼첨판에 비해, 대동맥 혈류속도는 폐동맥에 비해 유의하게 혈류속도가 높았다. 폐동맥 혈류속도가 연령아에서 신생아에 비해 유의하게 높았다. Wilson¹⁹⁾도 정상인에서 심에코도를 이용하여 최대 혈류속도를 측정한 결과 승모판에서 77cm/sec, 삼첨판에서 53cm/sec, 대동맥은 104cm/sec, 폐동맥은 81cm/sec으로 Grandier의 결과처럼 왼쪽 심장에서 측정한 혈류속도가 오른쪽 심장에서 측정한 결과보다 더 높았다. 김등²⁰⁾은 87명의 정상 성인에서 측정한 결과 대동맥 혈류속도는 121cm/sec으로 가장 높았고, 승모판은 86.4cm/sec, 폐동맥은 85cm/sec, 삼첨판은 64.8cm/sec이었다. 대동맥 혈류속도는 흉골 상부에서 측정한 것이 가장 높다고 하였

다. 본 연구결과도 위 저자들과 마찬가지로 대동맥 혈류속도가 111.7cm/sec으로 제일 높았고, 폐동맥은 75.7cm/sec, 승모판은 70.8cm/sec, 삼첨판은 58.3cm/sec이었다. 대동맥 혈류속도는 김등의 결과와 마찬가지로 심첨부에 비해 흉골 상부에서 측정된 결과가 더 높았다. Gardin²¹⁾은 상행 대동맥에서 측정한 것이 하행 대동맥이나 대동맥궁에서 측정한 것보다 높다고 하였다. Halte²³⁾은 흉골 상부가 대동맥 혈류속도를 기록하는데 가장 좋은 부위라고 보고하였으나 근래에는 심첨 5방단면도나 심첨 장축단면도에서 기록해도 좋은 결과를 얻을 수 있다고 하였다²²⁾.

최대 혈류속도와 연령이나 체표면적과의 상관성에 대한 연구도 많으나 저자들마다 차이가 있다. Wilson¹⁹⁾은 각 판막에서 최대 혈류속도와 연령이나 체표면적 사이에 유의성있는 역비례 관계를 보고하였다. 그러나 Light²³⁾은 연령의 증가에 따른 혈류속도의 변화는 없다고 하였다. Gardin²⁴⁾은 대동맥이나 폐동맥 혈류속도와 성별이나 체표면적사이에 유의한 차이는 없다고 하였다. 대동맥 혈류속도는 연령이 증가함에 따라 감소한다고 하였는데 이것은 대동맥직경의 증가와 관련된다고 설명하였다. 반면에 폐동맥 최대 혈류속도는 체표면적이 증가할수록 증가한다고 하였으나 그 원인은 쉽게 설명할 수 없었다. 폐동맥 최대 혈류속도와 연령과는 유의한 상관관계가 없다고 하였다. 신생아에서 폐동맥 측정치는 대동맥과 차이가 없으나 연령이 증가할수록 두 혈관의 측정치에 더 큰 차이가 있었다. 이러한 차이는 유아와 소아에서 일어나는 폐동맥 혈관저항의 감소와 우심실의 퇴축을 반영한다²⁵⁾. 두 혈관에서의 혈류속도가 생후 첫 4년동안에는 증가하지만 4세에서 8세에 도

달하게 되면 폐동맥 최대 혈류속도와 가속시간(acceleration time)은 대동맥 측정치의 반 정도이며 대동맥과 폐동맥 사이에 가속(acceleration)의 차이는 사춘기와 성인이 되면 더 뚜렷해진다²⁶⁾²⁷⁾. 본 연구 결과에서도 대동맥 혈류속도는 생후 4세까지는 증가하는 추세였으나 5세 이후부터는 약간 감소하였고 폐동맥 혈류속도는 생후 1세까지는 증가하다가 1세 이후부터는 서서히 감소하였다. 대동맥, 폐동맥 최대 혈류속도와 성별, 연령이나 체표면적사이에 유의한 상관관계는 없었다.

최근에 승모판을 통한 최대 혈류속도는 좌심실 확장기능을 평가하기 위한 지수로 사용되었다²⁸⁾²⁹⁾. 초기 이완기의 승모판 혈류속도나 후기 이완기에 대한 초기 이완기의 승모판 혈류속도비는 좌심실 이완의 변화나³⁰⁾ 고혈압, 관상동맥질환, 비후성 심근병증, 확장성 심근병증, 대동맥 협착증을 가진 환자의 변화를 반영할 수 있는 지표로 중요하다. Johnson³¹⁾ 등은 미숙아에서 연구한 결과 재태연령과 심실 확장기 performance 지수사이에 유의한 관련성이 없다고 하였다. 최대 혈류속도는 연령과 함께 증가하나 초기 이완기 혈류속도에 대한 후기 이완기 혈류속도비는 연령의 증가와 상관성이 없다고 하였다.

소아기 동안에 E/A 혈류속도비는 연령과 관련된 변화가 기술되어 있지만 성인치로의 증가는 유아기를 넘을 때까지는 잘 나타나지 않는다³²⁾. 성인에서는 나이가 많아지면 좌심실이 비후되고 좌심실 확장 기능에 변화가 온다. 따라서 Doppler 심에코도 검사에서 승모판 A파 속도가 E파 속도에 비해 증가하는 것을 알 수 있다³³⁾. Johnson 등³¹⁾의 결과를 보면 승모판의 E/A 혈류속도비는 만삭아에서 1.13 ± 0.30 , 미숙아에서는 1.10 ± 0.11 이었고 삼첨판의 E/A 속도비는 만삭아에서 0.71 ± 0.13 , 미숙아에서 0.67 ± 0.1 이었다. 본 연구결과에서 신생아의 E/A 속도비는 승모판에서 1.4 ± 1.0 , 삼첨판에서 1.4 ± 1.4 이었고 승모판에서 E/A 속도비는 4세까지 증가하다가 그 이후는 감소하는 경향을 나타냈고, 삼첨판은 1세에 최대치를 나타내나 그 이후 감소하는 경향을 보였다. 그러나 Hosono³⁴⁾ 등은 E/A 속도비는 신생아에서 시일이 지남에 따라 증가하기는 하나 유의한 차이가 없다고 하였고 Drinkovic 등³⁵⁾은 E/A 속도비는 승모판을 통한 혈류의

표본 위치에 따라 뚜렷하게 달라진다고 하였다. 좌심실 승모판을 통한 혈류속도는 판막윤에서의 측정치가 판막 소엽의 측정치보다 10~18% 적었다.³⁶⁾ 삼첨판을 통한 혈류속도는 호흡상태에 따라 다른데 흡기동안에 크고 호기동안에는 더 작다³⁰⁾. 그러나 호흡수의 변화가 유아에서는 분석되기 어려운 점이 있다.

사용하는 심에코도의 종류와 개개인의 기술에 따라 혈관이나 심장내의 혈류속도 측정에 차이가 있지만 실제의 혈류속도 방향과 Doppler beam 사이의 각도를 최소한으로 줄이도록 Transducer을 조정하는 것이 필요하고, 심장병을 가지고 있는 환자의 혈역학적 이상을 알기 위해선 정상 혈류속도를 아는 것이 중요할 것으로 사료된다.

결 론

심장병이 없는 정상 소아 166명을 대상으로 이면성 심에코도와 Pulsed Doppler 심에코도로 심장과 혈관내에서 각 판막의 혈류속도를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 대동맥 혈류속도는 $111.7 \pm 25.0 \text{cm/sec}$ 으로 제일 높았고 폐동맥 $75.7 \pm 19.7 \text{cm/sec}$, 승모판 $70.8 \pm 19.8 \text{cm/sec}$, 삼첨판 $58.3 \pm 14.5 \text{cm/sec}$ 순이었고, 대동맥 혈류속도는 폐동맥에 비해, 승모판 혈류속도는 삼첨판에 비해 유의하게 높았다.
- 2) 대동맥 혈류속도는 흉골 상부에서 측정된 결과가 심첨부보다 유의성있게 높았다.
- 3) 승모판이나 삼첨판 E/A 혈류속도비는 연령과 유의한 상관관계가 없었다.
- 4) 각 판막의 최대 혈류속도와 연령사이에는 유의한 상관관계가 없었다. 승모판 최대 혈류속도는 체표면적이 증가할수록 유의성있게 증가하였으나 삼첨판이나 대동맥, 폐동맥 혈류속도와 체표면적과는 유의한 상관성이 없었다.

Reference

- 1) Huntsman LL, Stewart DK, Barnes SR, Franklin SB, Colocousis JS, Hessel FA : *Noninvasive Doppler determination of cardiac output in man : Clinical validation. Circulation* 1983 ; 67 : 593-

- 2) Alverson DC, Eldridge M, Dillon T, Yabek SM, Berrnan W Jr : *Noninvasive pulsed Doppler determination of cardiac output in neonates and children. J Pediatr* 1982 : 101 : 46-51
- 3) Hatle L, Angelsen Ba, Tromsdal A : *Noninvasive assessment of aortic stenosis by Doppler ultrasound. Br Heart J* 1980 : 43 : 284-292
- 4) Holen J, Aaslid R, Landmark K, Simonsin S, Ostrem T : *Determination of effective orifice area in mitral stenosis from noninvasive ultrasound Doppler data and mitral flow rate. Acta Med Scand* 1977 : 201 : 83-88
- 5) Thuillez C, Theroux P, Bourassa MG, Blanchard D : *Pulsed Doppler echocardiographic study of mitral stenosis. Circulation* 1980 : 61 : 381-387
- 6) Young JB, Quinones MA, Waggoner AD, Miller RR : *Diagnosis and quantification of aortic stenosis with pulsed Doppler echocardiography. Am J Cardiol* 1980 : 45 : 987-994
- 7) Boughner DR : *Assessment of aortic insufficiency by transcutaneous Doppler ultrasound. Circulation* 1975 : 52 : 874-879
- 8) Hatle L, Brubakk A, Tromsdal A, Angelsen B : *Noninvasive assessment of pressure drop in mitral stenosis by Doppler ultrasound. Br Heart J* 1978 : 40 : 131-140
- 9) Holen J, Aaslid R, Landmark K, Simonsen S : *Determination of pressure gradient in mitral stenosis with a noninvasive ultrasound Doppler technique. Acta Med Scand* 1976 : 199 : 455-460
- 10) Stevenson JG, Kawabori I, Dooley T, Guntheroth WG : *Diagnosis of ventricular septal defect by pulsed Doppler echocardiography sensitivity, specificity and limitations. Circulation* 1978 : 58 : 322-326
- 11) Hatle L, Rokseth R : *Noninvasive diagnosis and assessment of ventricular septal defect by Doppler sound. Acta Med Scand* 1981 : 645 : 47-56
- 12) Stevenson JG, Kawabori I : *Noninvasive detection of pulmonary hypertension in patent ductus arteriosus by pulsed Doppler echocardiography. Circulation* 1979 : 60 : 355-359
- 13) Goldberg SJ, Areias JC, Spitaels SEC, de Villencuve VH : *Use of time interval histographic output from echo Doppler to detect left to right atrial shunt. Ciuculation* 1978 : 58 : 147-152
- 14) Magnin PA, Stewart JA, Myers S, Von Rammo, Kisslo JA : *Combined Doppler and phased array echocardiographic assessment of cardiac output. Circulation* 1981 : 63 : 388-392
- 15) Elkayam U, Gardin JM, Berkley BA, Hughes CA, Henry LOL : *The use of Doppler flow velocity measurements to assess the hemodynamic response to vasodilators in patients with heart failure. Circulation* 1983 : 67 : 377-383
- 16) Grenadier E, Oliveira Lima C, Allen HD : *Normal intracardiac and great vessel Doppler flow velocities in infant and children. J Am Coll Cardiol* 1980 : 4 : 343-350
- 17) Mowat DHR, Haites NE, Rawles JM : *Aortic blood velocity measurement in healthy adult using a simple ultrasound technique. Cirdiovasc Res* 1983 : 17 : 75-80
- 18) Grenadier B, Oliveira C, Allen HD, Sahn DJ, Barron TV : *Normal intracardiac and great vessel Doppler flow velocities in infants and children. J Am Coll Cardiol* 1984 : 50 : 343-350
- 19) Wilson N, Goldberg SJ, Dickinson DF, Scott O : *Normal intracardiac and great artery blood velocity measurements by pulsed Doppler echocardiography. Br Heart J* 1985 : 53 : 451-458
- 20) 김권상 · 김명석 · 송정상 · 배종화 : 한국인 정상 성인에서 연속파 Doppler 심초음파도로 측정된 판막혈류방향과 최대속도. 순환기 1987 : 17 : 696-701
- 21) Garden JM, Burn CS, Childs WJ, Henry WL : *Evaluation of blood flow velocity in ascending aorta and main pulmonary artery of normal subjects by Doppler echocardiography. Am Heart J* 1984 : 310 : 310-319
- 22) Lewis JF, Kuo LC, Nelson JG, Limacher M, Quinones MA : *Pulsed Doppler echocardiographic determination of stroke volume and cardiac out-*

- put : clinical validation of two new method using the apical window. Circulation 1984 : 70 : 425-431*
- 23) Light LH : *Implications of aortic blood velocity measurement in children*[Abstract]. *J Physiol* 1978 : 285 : 17-18
 - 24) Gardin JM, Davidson DM, Rohan MK, Butman SB : *Relationship between age, body size, gender and blood pressure and Doppler flow measurement in the aorta and pulmonary artery. Am Heart J* 1987 : 113 : 101-109
 - 25) Astrom HR, Lin KH, McIlroy MB : *pulmonary capillary blood flow during normal spontaneous breathing in man. J Appl physiol* 1973 : 35 : 823-829
 - 26) Targett RC, Heldt GP, McIlroy MB : *Doppler blood velocity in the pulmonary artery of infants, children, and adults. Cardiovasc Res* 1986 : 20 : 816-821
 - 27) Levy B, Targett RC, Bardou A, McIlroy MB : *Quantitative ascending aortic Doppler blood velocity measurements in normal human subjects. Cardiovas Res* 1985 : 19 : 383-393
 - 28) Takenaka, Dabestani A, Gardin JM, Russell D, Clark S, Allfie A, Henry WL : *Left ventricular filling in hypertrophic cardiomyopathy : a pulsed Doppler echocardiographic Study. J Am Coll Cardiol* 1986 : 7 : 1263-1271
 - 29) Gardin JM, Dabestani A, Takenaka K, Rohan MK, Knoll M, Russell D, Henry WL : *Effect of imaging view and sample volume location on evaluation of mitral flow velocity by pulsed echocardiography. Am J Cardiol* 1986 : 57 : 1335-1339
 - 30) Masuyama T, Abe H, Morita H, Senda S, Matsuo H : *Transmitral blood flow reflecting diastolic behavior of the left ventricle in health and disease. A study by pulsed Doppler technique. Jpn Circ J* 1982 : 46 : 92-102
 - 31) Johnson GL, Moffett CB, Noonan JA : *Doppler echocardiographic studies of diastolic ventricular filling patterns in premature infants. Am Heart J* 1988 : 116 : 1568-1574
 - 32) Danford DA, Huhta JC, Murphy DJ : *Age dependent variation in ventricular inflow velocity patterns in the normal fetus, infant, and child. Am Heart J* 1986 : 112 : 648
 - 33) Gardin JM, Dabestani A, Rohan MK, Sklansky M, Garcia R, Knoll M, and Henry WL : *Noninvasive studies of ventricular filling with Doppler echocardiography J Am Coll Cardiol* 1984 : 3 : 613
 - 34) Hosono T : *Right ventricular flow dynamics in the early neonatal period assessed by pulsed Doppler echocardiography. J Cardiolgy* 1987 : 17 : 895-905
 - 35) Drinkovic N, Smith MD, Wisenbaugh T, Friedman B, Kwan OL, Demaria AN : *Influence of sampling site upon the ratio of atrial to early diastolic transmitral flow velocities by Doppler. J Am Coll Cardiol* 1987 : 9 : 16A
 - 35) Smith VE, Schulman P, Karimeddini MK, White WB, Meeran MK, Katz AM : *Rapid ventricular filling in left ventricular hypertrophy. II pathologic hypertrophy. J Am Coll Cardiol* 1985 : 5 : 869-874