

도플러 심초음파를 이용한 폐동맥압의 비관혈적 측정방법들에 대한 비교 연구

원광대학교 의과대학 소아과학교실, 순환기내과학교실*
오재화 · 윤향석 · 정진원*

= Abstract =

Comparison of Various Doppler Echocardiographic Methods for Estimation of Pulmonary Artery Pressure

Jae Hwa Oh, M.D., Hyang Suk Yoon, M.D., and Jin Won Jeong, M.D.

Department of Pediatrics, Department of Cardiology Wonkwang University,
School of Medicine, Iri, Korea*

Background : Noninvasive estimation of pulmonary artery pressure is an important component of echocardiographic studies. A number of methods are available for estimation of pulmonary pressure, each with varying degrees of reported accuracy. To assess accuracy and difficulties, noninvasive pulmonary artery pressure estimates were performed in infants and children with congenital heart diseases.

Methods : Noninvasive estimates from 8 methods were compared with catheterization measurements. Systolic pressure was estimated by the Burstin method and from peak tricuspid regurgitation velocity, and also from systolic pressure gradients through the VSD(ventricular septal defect) and PDA(patent ductus arteriosus). Mean pressure was estimated by acceleration time divided by ejection time measured from Doppler spectrum obtained at the right ventricular out flow tract. Diastolic pressure was estimated from pulmonary regurgitation velocity spectrum at end-diastolic, and also from diastolic pressure gradient through the patent ductus arteriosus.

Results : In systolic pressure, Burstin and tricuspid regurgitation velocities estimates correlated significantly($r=0.92$, 0.90 respectively), whereas VSD and PDA estimates correlated less well with catheterization estimates($r=0.83$, 0.65 respectively). The mean pressure, measured from RVOT(right ventricular outflow tract) Doppler spectrum corresponded well with catheterization pressure($r=0.89$), whereas those obtained from the main pulmonary artery correlated less well($r=0.74$). The diastolic pressure estimates from pulmonary regurgitation velocity spectrum revealed good correlation($r=0.79$), but those from diastolic Doppler spectrum at PDA correlated less well with catheterization estimates($r=0.63$).

Conclusion : All of eight Doppler echocardiographic methods seemed to be easily performable for estimation of pulmonary artery pressure. But, the degree of accuracy was variable. Because a pressure estimate from only a single method may be in error, care should be taken in combining use of other(one or two) methods.

KEY WORDS : Pulmonary artery pressure · Doppler echocardiography.

서 론

선천성 심질환의 혈액동학적 평가에서 심도자 검사등의 관혈적인 방법을 대신할 만한 비관혈적인 검사 방법들이 심초음파 검사의 발달과 더불어 활발히 연구되었다. 폐동맥압의 측정은 심초음파 검사에서 중요한 부분이다. 이것은 폐동맥 고혈압을 동반한 선천성 심장병 환자의 검사에서 특히 중요하다. 폐동맥압의 비관혈적 측정에 대하여 많은 방법들이 제시되었는데 이러한 방법들은 기술적인 성공율이나 정확도에서 다양한 결과를 보였다. 또, 각각의 심질환마다 적용되는 방법들이 다르게 된다. Stevenson¹⁾은 도플러 심초음파를 이용하여 폐동맥압을 정량적으로 측정하는 방법중에서 잘 알려진 것 6가지를 대상환자 모두에게 적용하였다. 이중에서 등용적 이완시간 (IVRT, isovolumic relaxation time)을 이용하거나 우심실 유출로에서의 수축기 시간간격(STI, systolic time interval)을 측정하여 계산하는 방법이 기술적인 어려움이 있더라도 정확도는 높았다고 하였다. 검사방법의 적절한 선택외에도 환자의 진정(sedation), 검사자의 숙련도 등이 정확도를 높이는 요소이다.

본 연구는 폐동맥압을 도플러 심초음파 검사를 이용하여 측정하는 방법들에 대하여 각각의 정확도와 오차발생 요인등을 알아보기 위하여 선천성 심질환을 가진 환자를 대상으로 시행되었다. 모든 대상환자에게 도플러 심초음파 검사를 시행하고, 심도자 검사에서 얻은 폐동맥압과의 상관관계를 조사하였고, 각각의 오차발생 요인도 알아보았다.

대상 및 방법

1. 대 상

1992년 1월 1일 부터 1994년 6월 30일까지 만 2년 6개월간 원광의대 병원 소아과에 선천성 심질환으로 진단받고 심도자 검사를 받기 위해 입원한 환자중 심방 및 심실중격결손, 동맥관개존, 승모판 협착, 대동맥 협착 및 축착 환자를 대상으로 하였다(Table 1). 대상 환자의 나이는 3개월에서 14세, 평균 3.38세였다.

정상대조군은 흉통을 호소했던 소아나 가와사키병의 회복기로 심초음파 검사를 받았던 외래 또는 입

Table 1. Number of cases with congenital heart diseases

Ventricular septal defect	79
Patent ductus arteriosus	33
Atrial septal defect	20
Atrioventricular septal defect	2
Mitral stenosis	2
Aortic stenosis & coarctation	1
	137

원환자중에서 정상 소견을 보였던 경우로 하였다.

2. 방 법

대상환자 모두에서 도플러 심초음파 검사를 시행하였다. 잠자는 상태에서 검사하기 위하여 10% chloral hydrate를 0.5ml/kg 경구 투여하였다. 검사 기기는 UM9(Advanced Technology Laboratories, Inc., Bothell, Washington, USA)을 사용하였다. 변환기의 주파수는 2.25 또는 5 MHz를 사용하였다. 모든 환자는 양와위에서 15도 정도의 좌측와위로 돌려 누이고 검사하였으며, 모두 sinus rhythm을 보였다. 심초음파 검사중 심전도를 동시에 기록하여 초음파의 주요 파형을 초당 100mm의 속도로 녹화하였다. 모든 검사는 동일검사자에 의해 시행되었고 결과치는 3~5회 측정치의 평균으로 얻었다. 이러한 심초음파 측정치를 48시간 이내에 시행한 심도자 검사치와 비교하였다.

심도자 검사시의 진정은 meperidine hydrochloride (1~1.5mg/kg) 근주와 chlorpromazine(0.5mg/kg) 정주를 사용하였고, 여기에 큰 소아에서는 diazepam (5~10mg)을, 영유아에서는 10% chloral hydrate(0.5 ml/kg)을 경구 투여하였다. Ketamine(2mg/kg)은 대상환자중 15명에서 검사 도중에 사용하였다. 환자들은 심도자 검사시 room air로 자발적 호흡을 하고 있었다. 심도자압 기록은 Honeywell VR-16 polygraph (Marquette, USA)에 부착된 damped fluid-filled catheter system에서 Dome의 상부를 양와위 흉곽 높이의 중간점에 위치시키고 calibrated strip chart에 기록하였다. 심장 각부의 압력은 좌심실압을 제외하고는 pullback tracing으로 기록하였으며, 좌심실내로 도관이 위치하지 못했던 경우(31례)에는 검사 종료 직후에 상지의 수축기 혈압으로 대신하였다. 모든 검사는 동일검사자에 의해서 시행되었으며 초음파 검사 결과와 독립적으로 비교되었다.

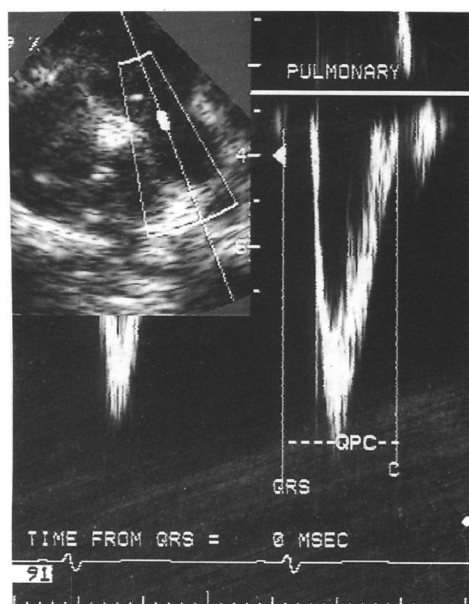
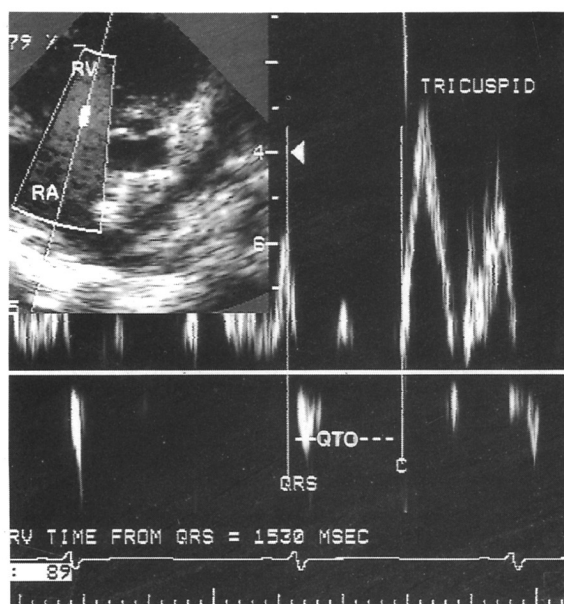


Fig. 1. Pulsed Doppler measurement of the QTO(left) and QPC(right) from the Doppler spectrum of tricuspid and pulmonary flow velocity.

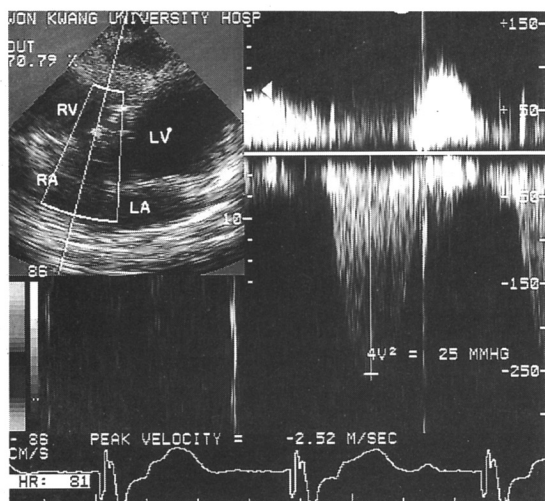


Fig. 2. Continuous Doppler measurement of the peak systolic transtricuspid pressure gradient from the tricuspid regurgitation velocity.

3. 수축기 폐동맥압

1) Burstin 방법²⁾

좌흉골연 단축 단면도에서 주폐동맥 혈류속도의 파형을 얻어 폐동맥판의 closure artifact를 참조하여 폐동맥판의 닫히는 시점(PC pulmonary valve closure)을 기록하고, 심첨 4방도에서 삼첨판을 통한 우심실

유입 혈류속도의 파형을 얻어 삼첨판의 opening artifact를 참조하여 삼첨판의 열리는 시점(T_o , tricuspid valve opening)을 기록하였고, 녹화 화면상에서 심전도의 Q점과 PC(QPC), Q점과 T_o 사이의 거리(QTO)를 측정하여 맥박수 100으로 교정하였다. 이 간격의 차이로 PC와 T_o 사이의 간격(T_o -PC) 즉, 우심실의 등용적 이완시간(IVRT, isovolumic relaxation time)을 산출하였다(Fig. 1). 각각의 기록에서 심박동수의 차이가 분당 5회 이내였던 경우만 측정치로 하였다. 이 값을 modified Burstin normogram¹⁾에 대입하여 수축기압을 측정하였다. 우심실 유출로 폐쇄나 폐동맥 협착, 우심실 부전, 심한 정도의 삼첨판 폐쇄 부전이나 승모판 폐쇄부전, 부정맥이 있는 경우에는 본 검사의 대상에서 제외하였다.

2) 삼첨판 역류 최고속도

심첨 4방도에서 기록하였고 드물게 좌흉골연 단면도에서도 기록하였다. 삼첨판 역류의 최고속도는 연속파형 도플러로 얻어졌고 포물선 형태가 선명한 파형만 선택하였다(Fig. 2). 삼첨판을 지나는(우심방과 우심실의) 수축기 압력차를 계산하기 위해 modified Bernoulli equation, 즉, $\text{pressure gradient} = 4V^2$ (V = maximal velocity)을 이용하였으며, 구해진 압력차에 평균 중심정맥압 7mmHg를 더하여 수축기 폐동맥

압으로 하였다.

3) 심실중격결손의 압력차

좌흉골연 장축 또는 단축 단면도에서 색채 도플러를 이용하여 최고 혈류속도의 축을 정한 다음 연속파형 도플러로 최고 혈류속도를 구하여 modified Bernoulli equation을 이용하여 수축기 압력차를 구하였다.

4) 동맥관개존의 압력차

좌흉골연 단축 단면도에서 색채 도플러의 도움 아래

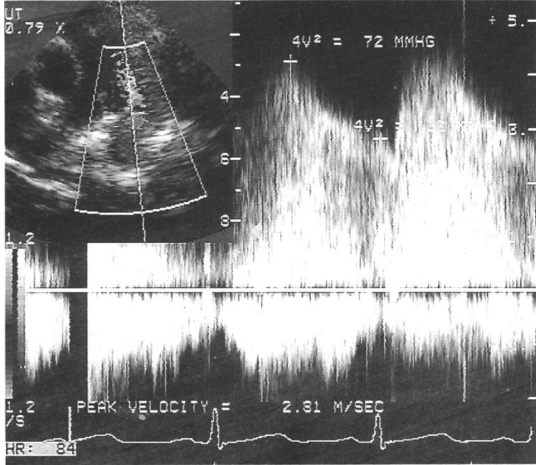


Fig. 3. Continuous Doppler measurement of the peak systolic and End-diastolic pressure gradient(Aorta-pulmonary artery) from the peak shunt flow velocity of the patent ductus arteriosus.

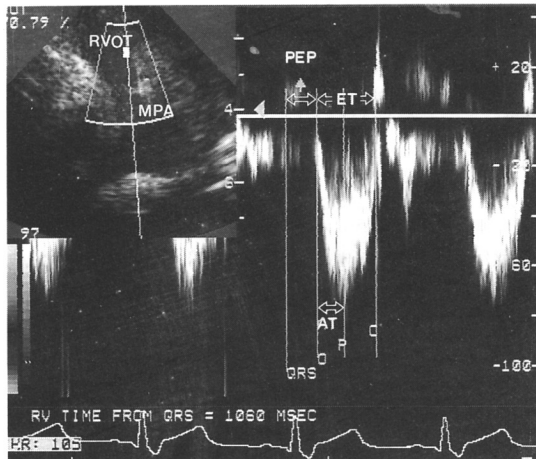


Fig. 4. Pulsed Doppler measurement of the AT/ET from the RVOT flow velocity wave form(PEP : preejection time, AT : acceleration time, ET : ejection time, RVOT : right ventricular outflow tract, MPA : main pulmonary artery).

연속파형 도플러로 동맥관을 통한 수축기 최고속도를 구하여 앞에서와 같은 방법으로 최고 압력차를 구하였다(Fig. 3).

4. 평균 폐동맥압

1) Kitabatake 방법³⁾

우심실 유출로의 혈류속도 파형으로 PEP(preejection period)와 AT(acceleration time), ET(ejection time)를 구하여 Kitabatake의 회귀공식 즉, $\log_{10}(\text{mean PAP}) = -2.8(AT/ET) + 2.4$ 에 대입하여 측정하였다(Fig. 4).

2) Dabestani 방법⁴⁾

주폐동맥의 수축기 혈류속도 파형으로부터 AT/ET를 구하여 Dabestani의 공식($\text{mean MPA pressure} = 83 - 148(AT/ET)$)으로 계산하였다.

이 두가지 방법에서는 우심실 유출로의 폐쇄, 폐동맥 협착, 동맥하형의 심실중격 결손등이 대상에서 제외되었다.

5. 확장기 폐동맥압

1) 폐동맥 역류속도 파형

좌흉골연 장축 단면도에서 변환기를 윗쪽, 시계방향으로 약간 돌려 우심실 유출로, 폐동맥관, 주폐동맥이 직선 축으로 이어질 때, 확장기에 폐동맥관이 모아지는 부위에 sample volume을 위치시켰다. 이

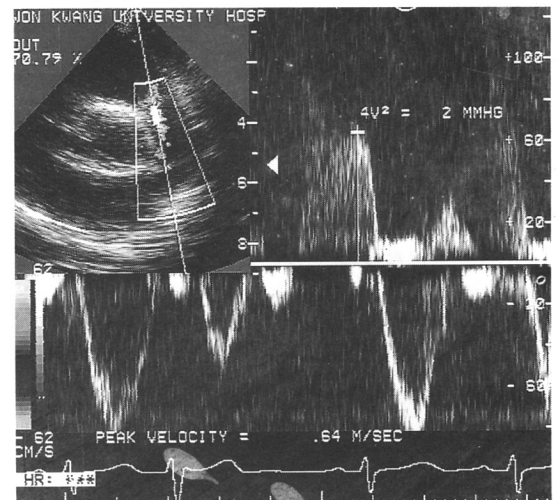


Fig. 5. Pulsed Doppler measurement of the End-diastolic pressure gradient(RVOT)-Pulmonary artery) from the pulmonary regurgitation velocity.

Table 2. Echocardiographic estimates of the systolic time interval in the right ventricular outflow tract

	Control	PHT	p value
n	41	25	
age	5.27± 4.24	4.87± 4.11	NS
HR	94± 15	98± 20	NS
peak vel.(m/sec)	0.75± 0.15	0.93± 0.18	<0.05
PEP(msec)	87.7 ± 15.6	105.5 ± 18.8	<0.01
AT(msec)	121.7 ± 15.9	108.6 ± 17.9	<0.05
ET(msec)	283.9 ± 21.9	284.0 ± 25.4	NS
PEP/ET	0.31± 0.06	0.37± 0.08	<0.05
AT/ET	0.43± 0.03	0.38± 0.04	<0.05

Values are mean±SD; PHT : pulmonary hypertension, n : number, HR : heart rate, vel : velocity, PEP : preejection period, ET : ejection time, AT : acceleration time, NS : not significant

위치에서 폐동맥 역류 파형을 간헐파 또는 연속파형 도플러로 기록하였다(Fig. 5).

도플러 분광상의 완전한 diastolic envelope, 특히 확장기말의 확실한 변화를 기록하는데 주의를 기울였다. 폐동맥 역류의 확장기말 최고속도 역시 modified Bernoulli equation에 적용시켰고, 평균 중심정맥압 7mmHg를 더하여 확장기 폐동맥압을 산출하였다.

2) 동맥관개존에서 확장기말 압력차

좌흉골연 단축 단면도에서 색채 도플러의 도움 아래 연속파형 도플러로 동맥관을 통한 확장기 최고속도를 구하여 앞과 같은 방법으로 확장기 최고 압력차를 구하였다(Fig. 3).

3) 통계처리

심도자와 초음파 압력 결과는 표로 만들어 Macintosh LC III computer에 입력시켰다. 통계학적 분석은 two group-unpaired t test로 검정하였고, 통계적 유의성은 $p<0.05$ 로 하였다. 평균값과 표준오차(SD), 상관관계 및 회귀방정식 등을 Statview 512+ program으로 처리하였다.

결 과

1. 정상치

1) 우심실 유출로의 수축기 시간간격(STI)

정상 대조군에서 우심실 유출로의 평균 최고 혈류속도는 0.75m/sec로써 폐동맥 고혈압군(0.93m/sec)에 비해 유의있게 낮았다. 평균 심박수 분당 94에서 수

축기 시간 간격은 PEP가 87.7msec, AT 121.7msec로 폐동맥 고혈압군에 비해 유의있게 낮았다. ET는 283.9 msec로 두군간의 차이가 없었다. PEP/ET는 대조군에서 0.31, 폐동맥 고혈압군에서 0.37, AT/ET는 각각 0.43, 0.83로 유의한 차이가 있었다(Table 2).

2) 등용이완시간(IVRT)은 정상 대조군과 폐동맥 고혈압군에서 각각 21msec, 75msec로 유의한 차이를 보였다. 단, QPC는 차이가 없었고 QTO에서 유의한 차이를 보였다(Table 3).

3) 삼첨판 역류의 최고 혈류속도를 구하여 측정함

Table 3. Echocardiographic estimates of the parameters of the isovolumic relaxation time (IVRT) at the heart rate of 100/min(corrected)

	Control	PHT	p value
n	37	23	
QPC(msec)	352± 49	355± 59	NS
QTO(msec)	374± 43	430± 62	<0.05
TO-PC(msec)	21± 29	75± 23	<0.005

PHT : pulmonary hypertension,

QPC : Q-pulmonary closure, QTO : Q-tricuspid opening

Table 4. Echocardiographic data of the peak trans-tricuspid Gradient

	Control	PHT	p value
n	60	28	
Gradient(mmHg)			
Mean±SD	14.28± 4.45	40.75± 19.49	<0.001
Minimum	6	15	
Maximum	23	91	

PHT : pulmonary hypertension,

Table 5. Echocardiographic data of the peak pulmonary regurgitation velocity in 3 groups of normal, RVOTO and pulmonary hypertension

	Control	RVOTO*	PHT
n	88	31	33
Peak	1.08±0.30	1.52±0.38 ^A	1.50±0.75 ^B
End-diastolic	0.69±0.24	0.70±0.32 ^C	0.89±0.58 ^C

Comparison with control group;

^A : $p < 0.001$, ^B : < 0.005 , ^C : not significant

RVOTO : right ventricular outflow tract obstruction, * : mild degree(< 30 mmHg of pressure gradient), PHT : pulmonary hypertension

Table 6. Summary of the Correlation between echocardiographic data(x) and catheterization results(y) in the various methods estimating pulmonary artery pressure

	n	Regression equation	r	SEE	p*
PASP					
Burstin	34	$y = 0.81x + 13.81$	0.92	10.18	0.0001
TR gr	28	$y = 1.08x - 2.23$	0.90	10.55	0.0001
VSD gr	79	$y = 0.86x + 7.57$	0.83	15.17	0.0001
PDA gr	30	$y = 0.48x + 24.47$	0.65	15.09	0.0001
mPAP					
Kitabatake	46	$y = 1.48x - 5.4$	0.89	8.95	0.0001
Dabestani	21	$y = 1.34x - 10.62$	0.74	8.81	0.0001
PADP					
PR gr	33	$y = 1.71x - 2.0$	0.79	9.07	0.0001
PDA gr	30	$y = 0.61x + 12.59$	0.63	11.31	0.0002

* : F test, r=regression coefficient, SEE : standard error of estimates, PASP : pulmonary artery systolic pressure, TR : tricuspid regurgitation, VSD : ventricular septal defect, PDA : patent ductus arteriosus, gr : gradient, mPAP : mean pulmonary artery pressure, PADP : pulmonary diastolic pressure, PR : pulmonary regurgitation

최대 수축기 압력차는 정상 대조군에서 평균 14.28 mmHg(6~23)였고, 폐동맥 고혈압군에서는 40.75 mmHg(15~91)로 유의있게 높았다($p < 0.001$)(Table 4).

4) 폐동맥 역류파형에서 분석한 최고 혈류속도의 평균값은 정상 대조군에서 1.08m/sec 였고 확장기말에는 0.69m/sec였다. 경도(우심실-폐동맥 압력차 30 mmHg 미만)의 우심실 유출로 폐쇄 환자 31례에서는 최고 속도가 더 컸다. 단, 폐동맥 고혈압군에서는 대조군에 비해 최고 혈류속도는 컸으나 확장기말의 혈류속도는 유의한 차이가 없었다(Table 5).

2. 수축기 폐동맥압

1) Burstin 법

Fig. 6에서 본 바와 같이 Burstin 방법과 심도자로 측정된 값은 밀접한 상관관계가 있었다($r = 0.92$). Bu-

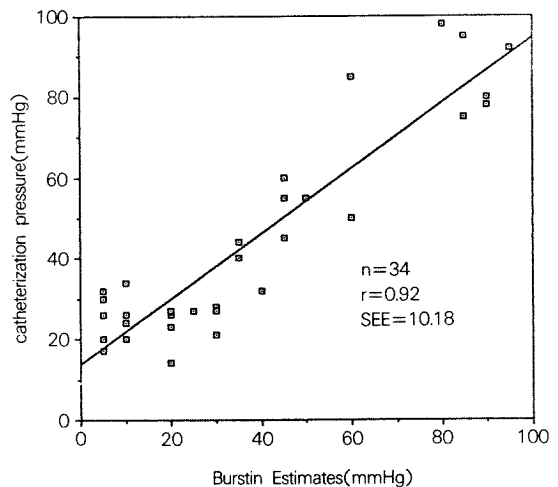


Fig. 6. Systolic pulmonary artery pressure, burstin estimates.

rstin 측정치에서 5mmHg였던 5례에서 매우 과소측정되었는데 실제 심도자치는 18~33mmHg로 높았다. 나머지 대상군에서 1례를 제외하고는 15mmHg 이상의 오차가 나지 않았다.

2) 삼첨판 역류의 최고속도를 이용하여 측정한 수축기 폐동맥압도 역시 심도자 측정치와 상관관계가 높았다($r=0.9$)(Fig. 7). 압력이 낮을수록 과대측정되고, 높을수록 과소측정되는 경향을 보였다. 15 mmHg 이상의 오차는 2례에서 보였고 나머지는 모두 15mmHg 미만이었다.

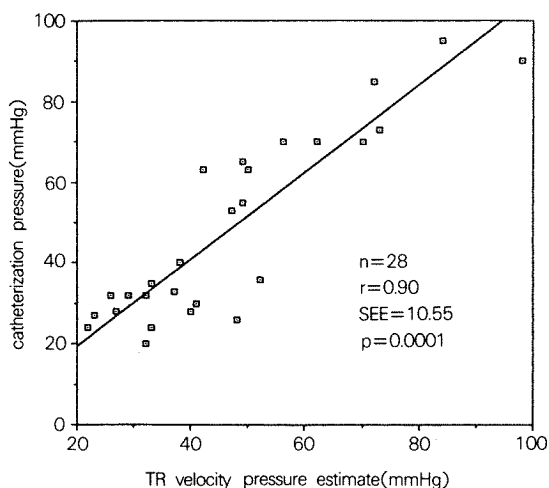


Fig. 7. Systolic pulmonary artery pressure, tricuspid regurgitation method. Horizontal axis is pressure estimate based on maximal regurgitation velocity.

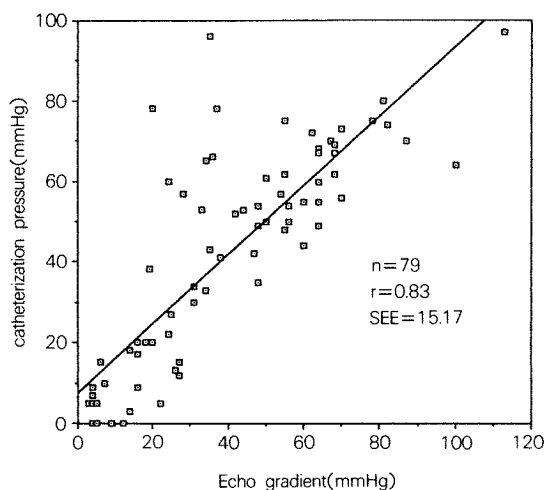


Fig. 8. Systolic pressure gradient on the VSD. Horizontal axis is pressure gradient on peak VSD-velocity.

3) 심실중격결손 환자에서도 상관계수 0.83으로 좋은 상관관계를 보였다. 결손 주위 조직의 증식이 있었던 perimembranous trabecular type 7례에서는 과소측정의 정도가 심했다. 가벼운 형태의 누두부 협착 4례중 3례에서는 어느 정도 과대 측정되었다. 압력차가 클수록 과대측정되는 경향이 있었다. 그러나 나머지 대부분의 경우에는 회귀선상에 밀접하여 집결하였다(Fig. 8).

4) 동맥관계존시 연속파형 도플러 검사에서 대동맥과 폐동맥간의 수축기 압력차를 이용한 측정법에서는 심초음파와 심도자 결과에서 상대적으로 낮은 상관관계를 보였다($r=0.65$). 압력차가 클수록 과대 측정되었고, 동맥관 자체에서 동맥염이 생겨 내강이 좁아졌을 것으로 생각되었던 3례에서는 과소측정의 정도가 심하였다.

3. 평균 폐동맥압

우심실 유출로에서 수축기 시간간격(STI)을 이용하여 측정한 방법(Kitabatake 법, $r=0.89$)이 주폐동맥에서 측정한 Dabestani 법($r=0.74$, SEE 8.81, $p=0.0001$)보다 상관관계가 높았다. Kitabatake 방법에서는 평균압이 높을수록 과소측정되었다(Fig. 9).

4. 확장기 폐동맥압

확장기말의 최고속도를 이용하여 측정한 확장기 폐동맥압은 상관계수 0.79로 심도자 결과와 비교적 높은 상관관계를 보였다. 확장기압이 높았던 6례에서 과소측정되었다.

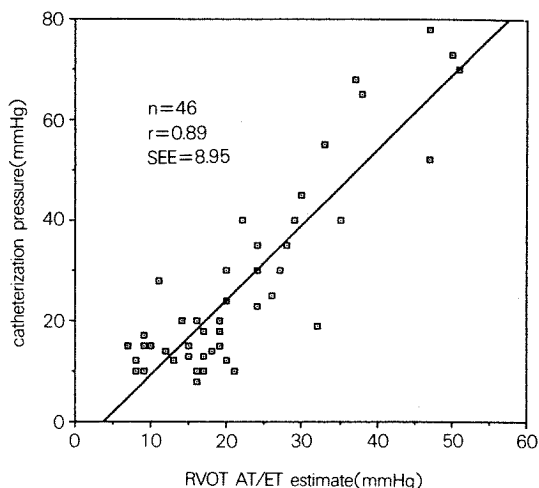


Fig. 9. Mean pulmonary artery pressure estimated by kitabatake method in RVOT.

동맥관개존 환자에서 확장기말에 압력차로 구한 값의 비교에서는 수축기압과 마찬가지로 상관관계수 0.63으로 낮은 상관관계를 보여주었다. 대동맥-폐동맥 압력차가 낮을수록(폐동맥 확장기압이 높을수록) 오차가 컸다. 전반적으로 과소측정의 경향이 더 많았다. 특히, 내경이 좁아져 혈류속도가 늦었던 2례와 Eisenmenger 증후군 1례에서는 측정이 불가능하였다.

고 안

본 연구의 목적이 폐동맥압의 정확한 정량적 측정에 있지만, 폐동맥압의 상승을 반영하는 정성적 방법들도 많이 발표되었다. Kosturakis등⁵⁾은 폐동맥 수축기압이 30mmHg 이상일 때 'a'파(presystolic flow)가 소실된다고 하였고, Stevenson¹⁾도 33mmHg 이상의 수축기압을 갖은 40례중 단지 3례에서만 presystolic flow가 보였다고 하였다. 폐동맥 판막의 midsystolic closure ('flying W' sign)가 심한 폐동맥압의 상승과 유의한 상관관계가 있다고 보고되었는데 즉, 이 두가지는 폐동맥 고혈압의 유용한 양적 지표로 활용되고 있다⁵⁾. 본 연구는 선택된 선천성 심질환 환자에서 폐동맥의 수축기, 평균 및 확장기압을 도플러 심초음파 검사를 이용하여 정량적으로 측정할 수 있다는 것을 보여주고 있다. 얼마만큼의 정확도가 있는가는 보고자들마다 차이가 나지만, 각 방법들의 시행 성공율은 성인보다 소아에서 높았다^{1,6)}. 소아는 우심실 유출로를 잘 관찰할 수 있어서 성인보다 더 쉽게 측정할 수 있다. 그러므로, 성인에서는 한 두가지의 방법에 집중하는 경향이 있는 반면, 소아에서는 여러가지 방법들을 한꺼번에 사용할 수 있다. 정확도를 높이는데는 몇 가지 중요한 조건이 필요하다. 첫째는 심초음파 검사자의 경험과 숙련도이며, 둘째는 환자의 진정(sedation)이다.

본 연구는 소아에서 이용될 수 있는 방법들을 적용의 성공율, 정확도, 그리고 오차발생 요인들에 대해서 비교하였다.

1. 수축기압

수축기압을 정량하는 방법중 등용적 이완시간을 이용하는 Burstin 법은 성인에 비해 성공율이 높다. 소아에서는 부정맥의 빈도가 낮고, 나이가 어릴수록 폐에 의한 방해는 적게 받기 때문이다¹⁾. 단, 시행과

정에서는 어느 정도의 어려움이 있다고 판단된다. 녹화 화면상에서 심전도상의 q파가 선명하지 않은 경우가 있는데, 이때는 선명한 R파의 시작점을 기준으로 모든 파형에서 일치시켜야 한다. 본 연구에서도 이 방법의 정확도는 비교적 높게 나타났다. 단, 낮은 압력에서 과소 측정되는 경향을 보였다. 심박수가 빠를 때는 정확도가 감소한다. 분당 155회 이상일 때는 적용하기 곤란하다는 보고가 있었다⁸⁾. 심박수의 다양한 변화도 오차발생의 요인이 된다. 주 폐동맥과 삼첨판 하부에서 도플러 파형을 기록할 때 분당 5회 이상의 심박수 차이가 나면 적용하기 곤란하다. 삼첨판 폐쇄부전이 심할 때도 과소 측정된다고 하였다⁸⁾. 본 연구에서는 중등도 이상의 삼첨판 폐쇄부전시 대상에서 제외하였다.

정확한 삼첨판 역류의 파형을 얻는 것은 예상보다 쉽지 않다. 상대적으로 속도가 늦기 때문에 도플러 beam과 혈류와의 각도를 최소한으로 하여 많은 window를 써서 중심혈류로부터 최대 속도를 기록해야 한다. 1도의 역류에서는 속도가 너무 늦어 정확한 기록이 거의 불가능하였고, 2도 이상에서는 모두 가능하였다. 즉, 정상인에서 볼 수 있는 1도 정도의 역류파형은 기록하기 힘들다. 이 방법도 성공적인 기록만 된다면 정확도는 좋았다. 압력이 낮으면 과대측정되고 높을수록 과소측정되는 경향을 보였다. 역류된 jet의 범위가 너무 넓어도 과소측정될 수 있다⁹⁾. 또, 심주기의 길이, 호흡의 변동에 따라서도 오차가 생길 수 있다¹⁰⁾.

심실중격결손에서 단락 혈류의 최고속도를 구하여 압력차를 구하는 방법은 적용이 쉬운 반면 정확도는 다양하게 보고되었다^{11,12,13)}. 본 연구에서는 대부분이 회귀선상에 일치하였으나, 7례에서만 큰 오차가 생겼는데, 이것은 막주위형 결손에서 가성 중격류가 형성되었거나 삼첨판과 유착된 경우에 단락혈류의 방향이 꺾여지거나 분산되었기 때문으로 생각된다. 또, 대동맥판첨두의 일부가 결손 부위쪽으로 탈출되는 동맥하형 결손에서도 과소측정될 수 있다⁹⁾. 정도의 누두부 협착이 있었던 4례중 3례가 과대측정되었다. 압력차가 클 때(폐동맥압이 낮을 때) 과대측정되었던 것은 도플러 속도의 가속현상 때문이 아닌가 생각된다. 동맥관개존의 경우에서도 적용은 쉬웠으나 측정치가 다양한 양상을 보였다. 심실중격결손과 마찬가지로 압력차가 클수록 과대측정되었고, 압력차가

낮거나 속도가 늦을수록 과소측정되었다. 자연경과 중에 혈관 내벽의 변화로 내경이 좁아졌다고 생각되었던 3례에서는 도플러 분광상의 획득이 어려운 것은 아니었으나 매우 과소측정되어 큰 오차발생의 요인이 되었다. 이 경우, 혈류가 분산되어 느려진 것 때문으로 사료된다.

2. 평균압

과거에는 우심실의 수축기 시간간격을 측정할 때 주폐동맥을 많이 이용했다^{4,14)}. Panidis등¹⁵⁾은 주폐동맥의 중양부보다 폐동맥벽 근처에서 최고속도에 좀더 빨리 도달하는 것을 증명하였다. 이 경우, 양자간에 AT가 40~140msec의 격차를 보였다. 본 연구에서도 주폐동맥 방법이 더 낮은 정확도를 보여주었다. Kitabatake 법³⁾은 우심실 유출로에서 파형을 기록함으로써 sample volume을 항상 일정하게 중심혈류에 위치시킬 수 있다. 이것은, 소아에서 우심실 유출로의 만곡이 폐동맥 판막 직후에서 미세하기 때문이다. 성인에서는 window상의 어려움 때문에 기록이 어렵다.

3. 확장기압

폐동맥 역류속도법은 적용이 쉽고 다른 보고들과서와 같이 비교적 높은 정확도를 보였다^{1,16)}. 단, 정상대조군보다 정도의 누두부 협착 또는 폐동맥 고혈압을 동반한 경우에서 역류 파형 기록이 용이하였다. 역류가 아주 가벼운 정도의 정상인에서는 확장기 중간의 최고 역류속도는 잘 기록되더라도 확장기 말에서는 분광상이 선명치 못한 경우가 종종 있었다. 이것을 해결하기 위해서는 색채 도플러의 도움 아래 각도를 잘 맞추는 것이 중요한 것 같다. 간헐파형 도플러에서도 기록이 가능하나 연속파형 도플러 기록이 확장기말의 분광상 획득에 유리하였다. 동맥관 개존에서 확장기말의 압력차를 측정할 때도 각도가 중요하며 중심혈류를 잡아야 균질의 분광상이 얻어진다. 본 연구에서 내경이 후천적으로 좁아진 경우와 Eisenmenger 증후군, 그리고 대동맥-폐동맥 압력차가 낮은 경우에 오차가 컸다.

폐동맥 확장기압을 비관혈적으로 측정하는데 있어서, 등용적 수축기간(IVCT, isovolumic contraction time)을 이용하는 방법도 소개된 바 있다¹⁷⁾($r=0.63$). 또, 수축기 시간간격(STI)을 이용하는 방법들^{18,19)}도 소개되었으나, 정확도가 높지 않고 적용이 어려운

것으로 보고된 바 있다¹⁾.

요 약

연구배경 :

본 연구는 도플러 심초음파 검사를 이용하여 폐동맥압을 측정하는 방법들에 대하여 각각의 정확도와 오차발생 요인등을 알아보기 위하여 선천성 심질환을 가진 환자를 대상으로 시행되었다. 모든 대상환자에게 도플러 심초음파 검사를 시행하여 폐동맥의 수축기압, 평균압과 확장기압을 측정하기 위한 8가지 방법을 시행하고, 아울러 시행한 심도자 검사에서 얻은 폐동맥압과의 상관관계를 조사하였고 각각의 오차발생 요인도 알아보았다.

방 법 :

대상환자 모두에서 도플러 심초음파 검사를 시행하였다. 수축기 폐동맥압은 Burstin 방법과 압력차를 이용하는 방법을 사용했다. 압력차는 삼첨판 폐쇄부전, 심실중격결손, 동맥관 개존을 이용했다. 평균압은 우심실 유출로와 주폐동맥의 수축기 시간 간격을 이용하였고, 확장기압은 폐동맥 폐쇄부전과 동맥관 개존의 압력차를 이용하여 측정하였다. 이러한 심초음파 측정치를 48시간 이내에 시행한 심도자 검사치와 비교하였다.

결 과 :

수축기압 측정에서 Burstin 방법은 심도자 방법과 높은 상관관계($r=0.92$)를 보였다. 삼첨판 역류 속도로 압력차를 구하여 측정하는 방법 역시 높은 상관관계($r=0.90$)를 보였다. 삼첨판 역류 속도로 압력차를 구하여 측정하는 방법 역시 높은 상관관계($r=0.90$)를 보였다. 심실중격결손에서 압력차를 이용하여 측정할 때, 결손부위의 변화가 있어서 단락혈류의 방향이 꺾여지거나 분산되면 심하게 과소측정되었다. 동맥관개존에서도 내경이 좁아진 경우에 과소측정되어 큰 오차가 발생하였다. 평균압 측정을 위한 파형은 우심실 유출로와 주폐동맥에서 기록되었다. 우심실 유출로에서 얻은 기록들은 심도자압과 잘 부합($r=0.89$)된 반면, 주폐동맥으로부터의 기록들은 폐동맥압 추정에 있어서 상관관계가 낮았다($r=0.74$). 폐동맥 역류속도에 근거한 확장기 압도 비교적 높은 상관관계를 보였다($r=0.79$). 동맥관개존에서 확장기말의 압력차를 측정하는 방법은 낮은 상관관계를 보였으며

특히, 내경이 좁은 2레에서는 큰 오차가 발생하였다.

결 론 :

진경이 잘된 선택적 선천성 심질환에서 위에 언급한 8가지 방법들은 몇가지 오차발생 요인이 있으나 쉽게 적용될 수 있으리라 사료되며, 특히 폐동맥 고혈압이 있는 경우에는 적용이 더 쉬웠다. 반면, 정상 대조군에서는 삼첨판 역류 최고속도나 폐동맥 역류속도 기록이 예상보다 어려웠다. 심실중격결손에서는 색채 도플러로 단락혈류의 중심축을 잡은뒤 최대 혈류속도를 얻어야 하나, 혈류의 꺾어짐, 분산시에는 과소측정이 불가피하므로 정성적인 평가를 참조해야 될 것 같다. 동맥관개존에서도 내경이 심하게 좁아져 혈류속도가 너무 느리고 분산되면 오차가 발생하여 과소측정되었다. 이러한 방법들 중에서 Burstin 법, Kitabatake 법, 그리고 삼첨판 역류와 심실중격결손의 압력차를 이용하는 방법이 생산성이 높았다. 한가지 방법만으로 측정한 압력은 오차가 잘 발생할 수 있으므로 여러가지의 방법을 쓰되 각각의 방법에 대한 장단점을 잘 알고 상황에 유리한 적용을 해야 한다고 사료된다.

References

- 1) Stevenson JG : *Comparison of several noninvasive methods for estimation of pulmonary artery pressure. J Am Soc Echo* 2 : 157, 1989
- 2) Burstin L : *Determination of pressure in the pulmonary artery by external graphic recordings. Br Heart J* 29 : 396, 1967
- 3) Kitabatake A, Inoue M, Asao M : *Noninvasive evaluation of pulmonary hypertension by a pulsed Doppler technique. Circulation* 68 : 302, 1983
- 4) Dabestani A, Mahan G, Gardin JM : *Evaluation of pulmonary artery pressure and resistance by pulsed Doppler echocardiography. Am J Cardiol* 59 : 662, 1987
- 5) Kosturakis D, Goldberg SJ, Allen HD, Loeber C : *Doppler echocardiographic prediction of pulmonary arterial hypertension in congenital heart disease. Am J Cardiol* 53 : 1110, 1984
- 6) Chan KL, Currie PJ, Seward JB, Hagler DJ, Mair DD, Tajik AJ : *Comparison of three Doppler ultrasound methods in the prediction of pulmonary artery pressure. J Am Coll Cardiol* 9 : 549, 1987
- 7) Stevenson JG, Kawabori I, Guntheroth WG : *Noninvasive estimation of peak pulmonary artery pressure*

by M-mode echocardiography. J Am Coll Cardiol 70 : 657, 1984

- 8) Hatle L, Angelsen B, Tromsdal A : *Noninvasive estimation of pulmonary artery systolic pressure with Doppler ultrasound. Br Heart J* 45 : 157, 1981
- 9) 최두영 · 김연심 · 윤향식 : 선천성 심질환에서 연속파형 Doppler 심초음파를 이용한 심장 각 부의 압력차이 측정. *소아과* 33 : 324, 1990
- 10) Yock PG, Popp RL : *Noninvasive estimation of right ventricular systolic pressure by Doppler ultrasound in patients with tricuspid regurgitation. Circulation* 70 : 657, 1984
- 11) Pieroni DR, Nishimura RA, Bierman FZ, Colan SD, Kaufman S, Sanders SP, Seward JB, Tajik AJ, Wiggins JW, Zahka KG : *Second natural history study of congenital heart defects(ventricular septal defect : Echocardiography). Circulation* 87(suppl 1) : I-80, 1993
- 12) Hatle L, Rokseth R : *Noninvasive diagnosis and assessment of ventricular septal defect by Doppler ultrasound. Acta Med Scand* 645(suppl.) : 47, 1981
- 13) Murphy, Jr. DJ, Ludomirsky A, Huhta JC : *Continuous-wave Doppler in children with ventricular septal defect : Noninvasive estimation of interventricular pressure gradient. Am J Cardiol* 57 : 428, 1986
- 14) 이정석 · 고미정 · 오연균 · 윤향식 : 선천성 질환에서 연속파형 Doppler 심에코도를 이용한 폐동맥고혈압의 추정. *소아과* 32 : 951, 1989
- 15) Panidis IP, Ross J, Mintz GS : *Effect of sample site on assessment of pulmonary artery blood flow by Doppler echocardiography. Am J Cardiol* 58 : 1145, 1986
- 16) Masuyama T, Kodama K, Kitabatake A, Sato H, Nanto S, Inoue M : *Continuous wave Doppler echocardiographic detection of idiopathic pulmonary regurgitation and its application to noninvasive estimation of pulmonary artery pressure. Circulation* 74 : 484, 1986
- 17) Mills P, Amara I, McLaurin LP, Craige E : *Noninvasive assessment of pulmonary hypertension from right ventricular isovolumic contraction time. Am J Cardiol* 46 : 272, 1980
- 18) Hirschfeld S, Meyer R, Schwartz DC, Korfhagen J, Kaplan S : *The echocardiographic assessment of pulmonary artery pressure and pulmonary vascular resistance. Circulation* 52 : 642, 1975
- 19) Riggs T, Hirschfeld S, Borkat G, Knoke J, Liebman J : *Assessment of the pulmonary vascular bed by echocardiographic right ventricular systolic time interval. Circulation* 57 : 939, 1978