

심장질환에서 대동맥 혈류의 연속파 Doppler 심초음파를 이용한 좌심실 수축기 기능의 평가

경희대학교 의과대학 내과학교실

이석훈 · 동석호 · 조정휘 · 김권삼

김명식 · 송정상 · 배종화

= Abstract =

Evaluation of Left Ventricular Systolic Performance Based on Blood Flow Velocity Spectrum from Continuous-wave Doppler Echocardiography

Suk Hoon Lee, M.D., Suk Ho Dong, M.D., Chung Whee Choue M.D.,
Kwon Sam Kim, M.D., Myung Shick Kim, M.D., Jung Sang Song, M.D.,
and Jong Hoa Bae, M.D.

*Department of Internal Medicine, Kyung Hee University, School of Medicine,
Seoul, Korea*

The ventricular power generated by ventricle during ejection is the product of intraventricular pressure and aortic flow.

To investigate the usefulness of aortic flow velocity spectrum by Doppler echocardiography to assess left ventricular systolic performance, 16 normal subjects, 27 patients with left ventricular hypertrophy(LVH) with hypertension and 21 patients with dilated cardiomyopathy(DCM) were studied.

Peak velocity(PV), peak acceleration(PA), systolic velocity integral(SVI) and acceleration time/ejection time ratio(AT/ET) were measured from continuous-wave aortic Doppler spectrum.

The results were as followed ;

1) The peak velocities, peak acceleration, systolic velocity integrals and AT/ET ratios in ascending aortic blood flow Doppler spectrum were correlated with ejection fraction significantly($r = +0.387, +0.497, +0.609, -0.648, p < 0.05$). AT, ET, and SVI were higher than those of normal subjects($p < 0.005$ respectively).

2) In patients with LVH group, PV, PA, and SVI were higher than those of normal subjects($p < 0.05$). AT, ET, AT/ET ratio and ejection fraction were not different between two groups.

3) In patients with DCM group, PV, PA, SVI, and EF were lower than those of normal subjects(all $p < 0.005$). AT and AT/ET ratio were significantly prolonged in patient with DCM, as compared with in normal and patients with LVH group($p < 0.05$).

These results suggested that peak velocity, peak acceleration, systolic velocity integral, and AT/ET ratio in blood flow velocity Doppler spectrum from ascending aorta were useful indicator assessing left ventricular systolic performance.

KET WORDS : Left ventricular systolic performance · Aortic flow velocity spectrum · Continuous wave · Doppler echocardiography.

서 론

구혈시 좌심실 수축기능을 평가하는데 심박출량¹⁾, 심실구혈력(ventricular power)¹⁾, 구혈율²⁾, 혈류변화율³⁾(rate of change of flow), fractional shortening (%FD) 등과 같은 여러 지표들이 이용되고 있다. 최근 최근 전부하나 후부하에 영향을 받지않고 좌심실 수축기능을 반영하는 민감한 지표로 구혈력 변화율(rate of change of power)이 알려졌다⁴⁾. 이것은 심실압력과 대동맥 혈류량에 의해 결정된다⁵⁾. 또한 구혈기에 대동맥 혈류의 최대속도⁶⁾와 최대가속도는 수축기 기능을 반영하는 지표로 알려져 있다. 최근 Doppler심초음파를 이용하여 대동맥 혈류의 최대속도와 최대가속도를 비관혈적으로 쉽게 측정할 수 있게 되었다.

저자들은 연속파형 Doppler심초음파로 측정한 대동맥 혈류를 분석하여 좌심실 수축기 기능을 평가하고자 정상인, 확장형심근증환자 및 심비대가 있는 고혈압환자를 대상으로 대동맥 혈류의 최대속도(peak velocity, PV), 최대 가속도(peak acceleration, PA), Systolic velocity integral(SVI), 가속기(acceleration time, AT), 구혈기(ejection time, ET) 및 그 비율(AT/ET ratio)을 측정하였다.

대상 및 방법

1) 검사대상

정상대조군은 심장 및 순환기 질환이 없고 이학적소견, 흉부 X선, 심전도 및 심초음파 검사소견이 정상이었던 16명(연령분포 40~65세, 남자 9명, 여자 7명)을 대상으로 하였다.

확장형심근증환자는 21명(연령분포 16~70세, 남

자 11명, 여자 10명), 그리고 심비대가 동반된 고혈압환자는 27명(연령분포 44~76세, 남자 10명, 여자 17명)이었다.

확장형심근증환자는 임상적으로 심부전증 증세가 있고 M형 심초음파에서 좌심실 확장말기내경이 60mm이상, %FD가 25% 미만이고, E-point septal separation이 증가되어 있고 2면성 심초음파도에서 확장된 심실이면서 심실 운동이 전체적으로 저운동성인 경우로 하였다.

고혈압환자는 수축기혈압이 160mmHg이상이고 확장기혈압 90mmHg 이상이었고 심초음파 검사상 심비대가 동반된 경우로 하였다.

대동맥 혈류에 영향을 줄수 있는 대동맥판막질환이나 승모판폐쇄부전이 있는 경우는 대상에서 제외하였다.

2) 심초음파검사 및 Doppler심초음파검사

이면성 심초음파의 M형 심초음파도상 표준화된 방법에 의해 구혈율, 좌심실 확장말기내경, 좌심실 수축말기내경, %FD, 심실중격 및 심신후벽 두께를 측정하였다.

Doppler심초음파 검사는 meridian Doppler echocardiographic system을 이용하였으며 3.5/2.0MHz dual frequency변환기를 이용하였다. 피검자를 좌와위로 눕게하고 심첨장축단면도의 이면성 심초음파에서 대동맥(판) 혈류의 방향과 속도를 관찰한 후 pedof변환기를 이용하여 연속파 Doppler심초음파도를 초당 50mm의 속도로 녹화하였다. Microsonic computer aided diagnosis를 이용하여 대동맥 혈류의 Doppler심초음파도에서 최대속도(m/sec), 최대가속도(m/sec²), 구혈기(msec), 가속기(msec) 및 그 비율을 측정하였고 대동맥 혈류의 구혈기 동안의 면적인 Systolic velocity integral를 구하였다(Fig. 1).

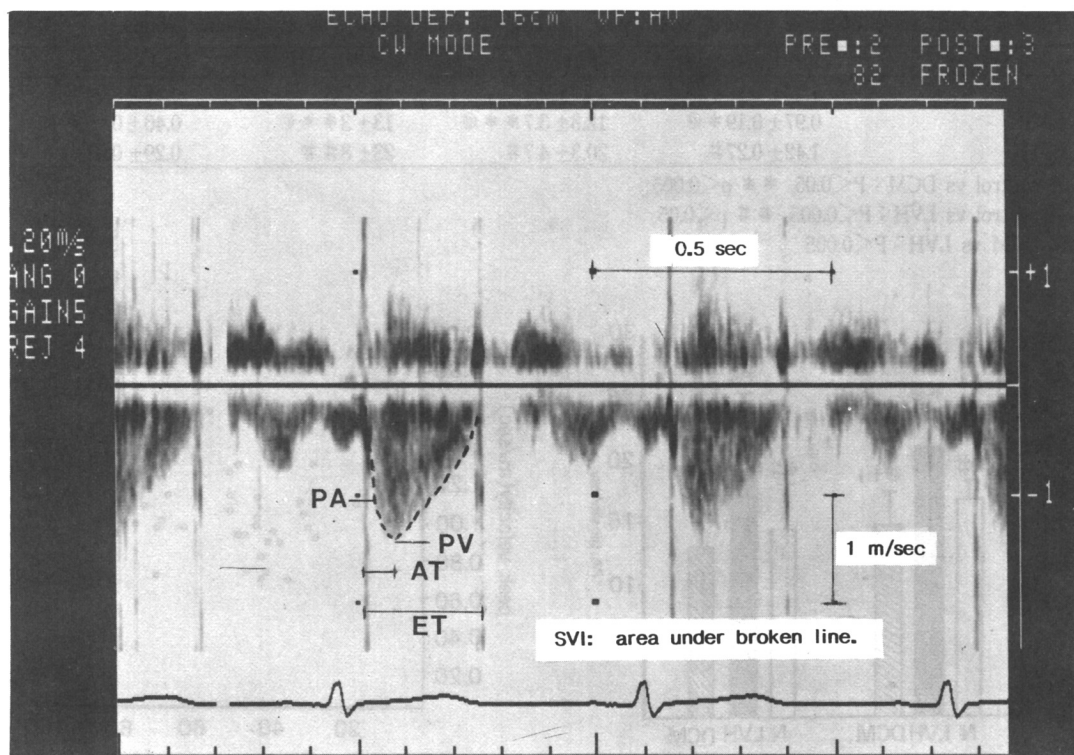


Fig. 1. Continuous-wave aortic Doppler spectrum.

결 과

M형 심초음파 소견

확장형심근증환자의 구혈율은 $41 \pm 0.09\%$, 원위단 축속도(velocity of circumferential fiber shortening)

는 $0.51 \pm 0.04 \text{ circ/sec}$, %FD는 $15.78 \pm 3.85\%$ 로 정상 대조군과 심비대 환자군보다 의미있게 감소 되어있 었고($p < 0.005$, Table 1), 좌심실 확장말기내경 (LVEDd)은 $7.02 \pm 0.79 \text{ cm}$, 좌심실 수축말기내경 (LVESd)은 $5.92 \pm 0.78 \text{ cm}$ 로 증가되어 있었다($p < 0.005$, Table 1).

Table 1. M-mode echocardiographic findings of normal subject and patient groups

		Normal control	LVH	DCM
EF	(%)	78 ± 0.07	78 ± 0.08	$41 \pm 0.09 * @$
Vcf	(circ/sec)	1.41 ± 0.06	1.41 ± 0.07	$0.51 \pm 0.04 * @$
%FD	(%)	40.61 ± 5.94	41 ± 6.9	$15.78 \pm 3.85 * @$
LVEDd	(cm)	4.84 ± 0.56	4.88 ± 0.66	$7.02 \pm 0.79 * @$
LVESd	(cm)	2.87 ± 0.44	2.88 ± 0.53	$5.92 \pm 0.78 * @$
IVS	(cm)	1.01 ± 0.06	$1.56 \pm 0.19 \#$	$1.03 \pm 0.12 *$
PW	(cm)	1.01 ± 0.10	1.19 ± 0.15	$1.05 \pm 0.102 *$

; Control vs LVH, $P < 0.05$

@ ; Control vs DCM, $P < 0.005$

* ; LVH vs DCM, $p < 0.005$

Table 2. Comparison of aortic blood flow Doppler spectrum in normal subjects and patient groups

	PV(m/sec)	PA(m/sec ²)	SVI(cm)	AT/ET ratio
Normal	1.13± 0.1	14.7± 3.1	18± 3.3	0.27± 0.04
CMP	0.97± 0.19 * @	12.3± 3.7 * * @	13± 3 * * @	0.40± 0.05 * @
LVH	1.42± 0.27 #	20.3± 4.7 #	23± 8 # #	0.29± 0.07

* control vs DCM : P<0.05, * * p<0.005

control vs LVH : P<0.005, # # p<0.05

@ DCM vs LVH : P<0.005

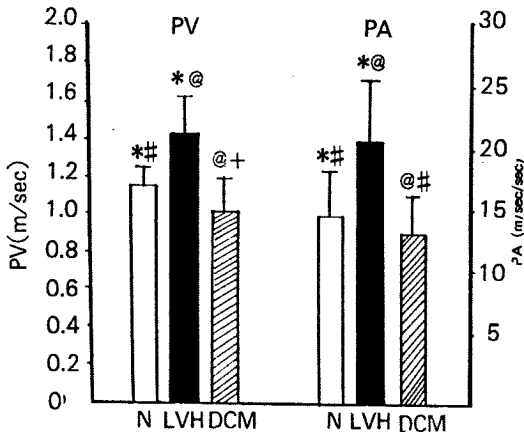


Fig. 2. Mean(± S.D. of the mean) of Doppler peak velocity(PV), peak acceleration(PA) of blood in the ascending aorta in the normal control(N), LVH group(LVH), and dilated cardiomyopathy group(DC.).

* * @ p<0.005

+p<0.05

심비대 환자군의 심실중격 두께는 1.56 ± 0.19 cm, 심실후벽 두께는 1.19 ± 0.15 cm로 정상군과 확장형 심근증 환자군% 비해 의미있게 증가되어 있었다($p < 0.005$), Table 1).

대동맥 혈류 Doppler심초음파도 소견

1. 최대속도

확장형심근증 환자군의 최대속도는 0.97 ± 0.19 m/sec로, 정상 대조군의 1.13 ± 0.1 m/sec와 심비대군의 1.42 ± 0.27 m/sec보다 의미있게 저하되어 있었다($p < 0.05$)(Table 2, Fig. 2).

심비대군은 1.42 ± 0.27 m/sec로 정상 대조군에 비해 의미있게 증가되어 있었다($p < 0.005$)(Table 2,

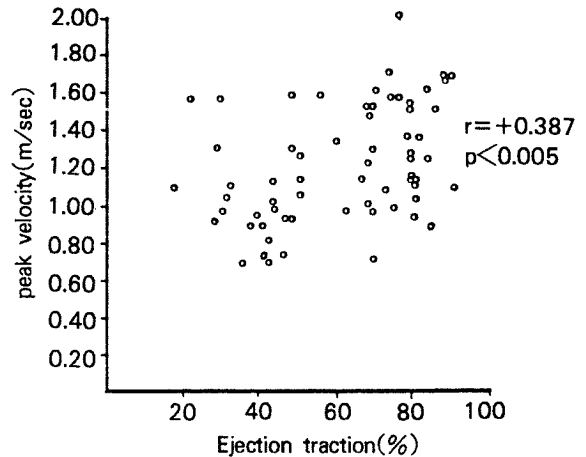


Fig. 3. Relationship between left ventricular ejection fraction and peak velocity of aortic blood flow measured with the continuous-wave Doppler.

Fig. 2).

최대속도와 구혈율사이에는 의미있는 상관관계가 있었다($r = +0.387$, $p < 0.005$)(Fig. 3).

2. 최대가속도

확장형심근증 환자의 최대가속도는 12.3 ± 3.7 m/sec²로, 정상 대조군의 14.7 ± 3.1 m/sec², 심비대군의 20.3 ± 4.7 m/sec²에 비해 의미있게 낮았다($p < 0.005$).

심비대군은 정상 대조군보다 증가 되어 있었다($p < 0.005$)(Table 2, Fig. 2).

최대가속도와 구혈율사이에는 의미있는 상관관계가 있었다($r = +0.497$, $p < 0.005$)(Fig. 4).

3. Systolic velocity integral(SVI)

SVI는 확장형심근증 환자에서 13 ± 3 cm로, 정상 대조군의 18 ± 3.3 cm와 심비대군의 23 ± 8 cm보다 의

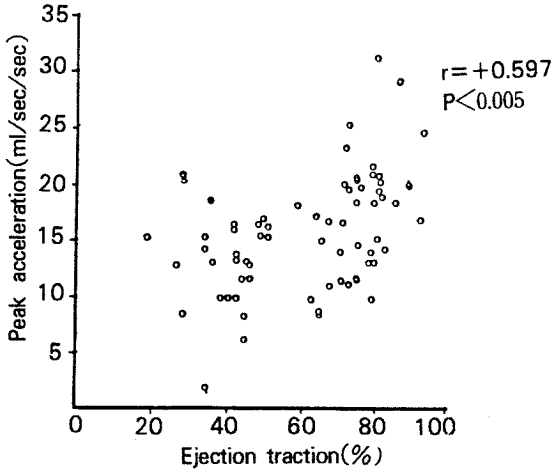


Fig. 4. Relationship between left ventricular ejection fraction and peak acceleration of aortic blood flow measured with the continuous-wave Doppler.

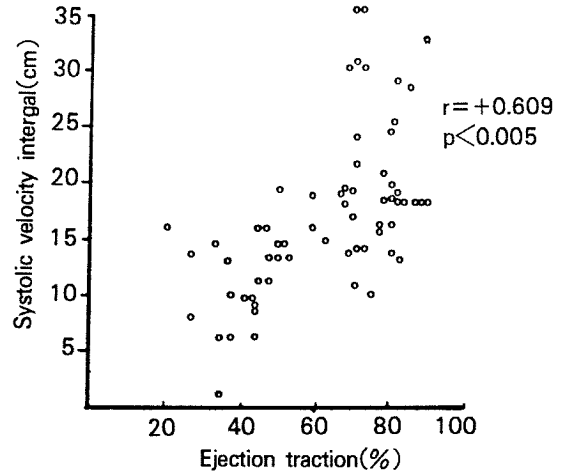


Fig. 6. Relationship between left ventricular ejection fraction and systolic velocity integral.

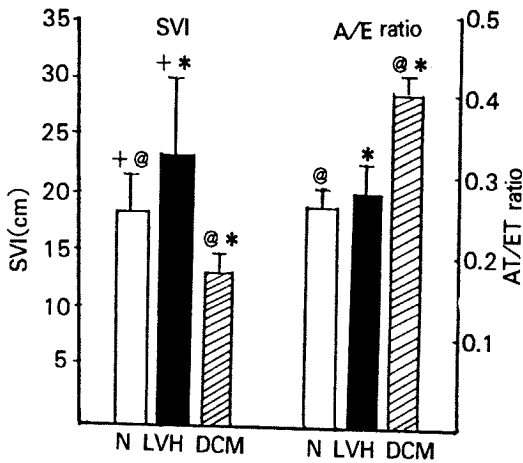


Fig. 5. Mean(\pm S.D. of the mean) of systolic velocity integral(SV'), AT/ET ratio in the normal control(N), LVH group(LVH, and dilated cardiomyopathy group(DC.)).

미있게 낮았으며($p < 0.005$), 심비대군은 정상 대조군보다 높았다($p < 0.05$)(Table 2, Fig. 5).

SVI는 구혈율과 의미있는 상관관계가 있었다($r = +0.609$, $p < 0.005$)(Fig. 6).

4. 가속기, 구혈기 및 그 비율(AT/ET 비)

확장형심근증 환자의 가속기는 84 ± 19 msec로, 정

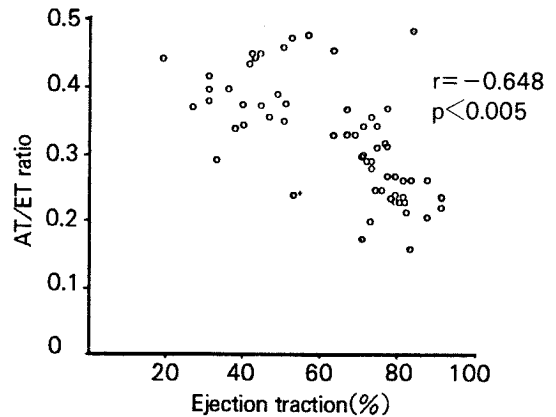


Fig. 7. Relationship between left ventricular ejection fraction and acceleration time/ejection time ratio.

상 대조군의 80 ± 15 msec와 심비대군의 75 ± 15 msec에 비해 의미있게 연장되어 있었으며($p < 0.05$), 구혈기는 211 ± 40 msec로, 정상 대조군의 294 ± 38 msec와 심비대군의 267 ± 47 msec에 비해 유의하게 감소되어 있었다($p < 0.05$). 확장형심근증 환자의 AT/ET비는 0.4 ± 0.05 로, 정상 대조군의 0.27 ± 0.04 , 심비대군의 0.29 ± 0.07 에 비해 의미있게 증가되어 있었다($p < 0.05$)(Table 2, Fig 5).

AT/ET비는 구혈율과 의미있는 상관관계가 있었다($r = -0.648$, $p < 0.005$)(Fig. 7).

고 안

심실의 수축기 기능은 등용수축기에 심실내압(Intraventricular pressure)과 단위 시간당 변화량(dp/dt)를 측정하여 평가하여 왔으나^{10,11,18,22)}, 이것은 전부하와 후부하에 영향을 받는 것으로 알려지고 있다. 최근 심박출량¹⁾ 심실 작업량¹⁾, 심실력¹⁾, 구혈율²⁾, 혈류변화율⁷⁾, 원위단축속도 및 구혈율⁹⁾ 등의 여러 지표들이 심실 수축기 기능의 평가에 사용되고 있다.

Charles등⁴⁾은 전부하와 추부하에 영향을 받지않은 수축기 기능 지표로서 최대 심실내압에서의 구혈력 변화율을 제시하였다. 이는 혈액학적 변화뿐 아니라 구혈기에 심실에서 이용되는 에너지 소비량의 변화도 반영한다⁵⁾. 심실 구혈력은 심실내압과 대동맥 혈류(량)에 의해 결정되므로 심실 구혈력변화율은 좌심실내압과, 대동맥 혈류의 시간당 변화율로 구할 수 있다($\text{Rate of change of power} = \dot{Q} \frac{dp}{dt} + P \frac{dQ}{dt}$). 또한 구혈력변화율은 %FD, 구혈율 및 원위단축속도와 의미있는 상관관계가 있으며¹²⁾ Panl등¹¹⁾에 의하면 대동맥 혈류량의 최대 변화율(peak rate of change of aortic flow)와도 유의한 상관관계가 있다. 그러므로 대동맥 혈류의 변화와 역동을 분석하여 좌심실 수축기 기능을 평가할 수 있을 것이다.

최근 Doppler심초음파를 이용하여 혈관이나 심장내의 혈류속도를 측정하여 좌심실 수축기 기능을 비관혈적 방법으로 평가할 수 있게 되었다. Colocousis등¹³⁾에 의하면 연속파 Doppler심초음파로 측정한 대동맥 혈류변화는 열회석법이나 Ficks씨 방법으로 구한 심박출량과 유의한 상관관계가 있다. 또한 상행 대동맥에서 Doppler심초음파로 측정한 구혈기는 심박동수에 영향을 받지않고 정상인과 확장형심근증 환자에서 의미있는 차이를 보인다는 보고도 있다^{14,15)}.

1. 대동맥혈류 최대속도

저자들이 연속파 Doppler심초음파로 측정한 정상인의 최대속도는 $1.13 \pm 0.1 \text{m/sec}$ 로 외국에서 보고된 결과와 유사하였고^{6,17,19)}, 최대속도는 구혈율과 유의한 상관관계가 있었다. 확장형심근증 환자의 최대속도는 $97 \pm 19 \text{m/sec}$ 이고 구혈율은 $42 \pm 9\%$ 로 정상군에 비해 현저히 감소되어 있어 좌심실 수축기능이

저하되어 있음을 알 수 있었다. 심비대가 있는 고혈압 환자군은 최대속도가 $142 \pm 27 \text{m/sec}$ 로 정상군보다 증가되어 있었으며 EF는 정상 대조군과 차이를 보이지 않았다. Torrence등¹⁶⁾의 보고에서도 비후성 심근증환자에서 최대속도가 증가되어 있어, 심비대를 가지는 고혈압환자는 심실의 이완기 기능저하가 오기전에는 수축기기능이 유지 또는 상승되어 있을 것으로 생각되었다. 또한 허혈성 심질환에서 운동부하검사 때 최대속도의 변화로 관상동맥의 병변 정도를 예측할 수 있다. Robert등²²⁾의 보고에 의하면 최대운동 부하시 최대속도가 감소한 환자군은 최대속도가 증가하거나 변함이 없는 환자군에 비해 관상동맥의 병변 정도가 심하다고 하였다. 또한 Uri등²¹⁾은 심부전증 환자를 대상으로 연구하여 최대속도와 체순환저항이 유의한 역상관관계가 있음을 보고하고 있다. 이상과 같은 저자들의 결과와 보고된 사실로 보아 최대속도는 좌심실 수축기 기능을 반영하는 유용한 지표의 하나로 생각된다.

2. 최대가속도

최대가속도는 운동부하에 의해 증가되며, 좌심실 수축기 기능을 반영하는 지표인 구혈력변화율과 의미있는 상관관계가 있다. Chandraratna등²²⁾은 대동맥혈류의 최대가속도가 구혈율을 반영함을 보고하였다. 저자들의 결과에서도 최대가속도는 구혈율과 유의한 상관관계가 있었으며($r = +0.497$), 최대가속도와 구혈율과의 상관관계보다($r = +0.387$) 더 의미있는 상관관계를 보였다. 이와 같은 결과는 Lambert등¹⁰⁾이나 Sabbash등⁶⁾의 결과와 같으며 최대가속도가 최대속도보다 좌심실기능을 더 예민하게 반영하는 지표일 것으로 생각된다.

3. Systolic velocity integral(SVI)

Doppler심초음파에서 심박출량의 측정은 SVI와 대동맥내경에 의해 결정되며, 대동맥내경은 측정자와 측정시기에 따라 변화가 많으므로 SVI의 측정이 심박출량을 잘 반영하는 지표로 알려져 있다^{13,21,23)}. Colocousis등¹³⁾은 SVI와 심박출량이 의미있는 상관관계가 있음을 보고하였고, 치료 전후의 심박출량과 체순환저항의 변화가 SVI변화와 일치한다고 하였다²¹⁾. 최근 급성 심경색증의 예후 판정에 SVI의 측정이

도움이 될 수 있다는 보고도 있었다²³⁾. 저자들의 결과에서도 SVI는 구혈율과 의미있는 상관관계를 보였으며 정상인보다 확장형심근증 환자에서 저하되어 SVI가 심박출량을 반영하는 지표로 생각되었다.

4. 가속기, 구혈기 및 그 비율(AT/ET).

좌심실 기능이 저하되거나 박출량이 감소될 때 구혈기가 감소된다는 것은 잘 알려진 사실이다^{14,15)}. 저자들의 결과에서는 확장형심근증 환자의 구혈기는 211 ± 40 m/sec로 감소되어 있었고 가속기는 84 ± 19 m/sec로 증가되어, Gardin 등¹⁴⁾이 확장형심근증 환자에서 가속기가 감소한다는 결과와는 차이가 있었다. 이러한 차이의 원인을 설명하기는 어려우나 심박동수 등 가속기에 영향을 줄 수 있는 변수가 있음을 고려해야 될 것이다^{14,17)}. AT/ET 비율은 확장형심근증 환자에서 정상 대조군보다 의미있게 증가되었고, 수축기 기능이 정상 혹은 그 이상일 것으로 생각되는 심비대 환자의 AT/ET비는 정상 대조군과 차이가 없었다. 또한 AT/ET비가 구혈율과 $r = -0.648$ 로 가장 의미있는 역 상관관계를 보여 수축기 기능을 반영하는데 가장 예민한 지표로 생각된다.

이상에서 대동맥혈류의 최대속도, 최대가속도, 가속기, 구혈기 및 그 비율, SVI 등은 좌심실 수축기 기능을 반영하는 지표도 유용하리라 생각되었다.

결 론

저자들은 확장형심근증 환자, 심비대를 동반한 고혈압 환자군 및 정상 대조군에서 좌심실 수축기 기능을 평가하고자 연속파 Doppler 심초음파도에서 측정된 대동맥혈류의 최대속도, 최대가속도, SVI, 가속기, 구혈기 및 AT/ET비를 구하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 상행 대동맥혈류의 Doppler 심초음파도에서 측정된 AT/ET비는 구혈율과 의미있는 역 상관관계가 있었으며 ($r = -0.648$, $p < 0.005$) SVI, 최대가속도, 최대속도 등도 구혈율과 유의한 상관관계가 있었다 ($r = -0.609$, $+0.497$, $+0.387$, $p < 0.005$).

2) 심비대를 동반한 고혈압 환자군에서 최대속도, 최대가속도 및 SVI는 정상 대조군보다 의미있게 증가되어 있었다 ($p < 0.05$). 가속기, 구혈기, AT/ET비 및

구혈율은 정상 대조군과 유의한 차이가 없었다.

3) 확장형심근증 환자군에서 최대속도, 최대가속도, SVI 및 구혈율은 정상 대조군과 심비대 환자군보다 의미있게 저하되어 있었다 (각각 ($p < 0.05$, ($p < 0.005$). AT 및 AT/ET비는 확장형심근증 환자군에서 정상 대조군과 심비대군보다 의미있게 증가되었다 ($p < 0.05$).

결론적으로 연속파 Doppler 심초음파도에서 측정된 대동맥혈류의 최대속도, 최대가속도, SVI, 가속기, 구혈기 및 AT/ET비는 좌심실 수축기 기능을 비관혈적으로 평가하는데 유용한 지표로 생각되었다.

References

- 1) Rushmer RF : *Cardiovascular dynamics*, ed. 3. Philadelphia 1970, WB Saunders Company
- 2) Levine IJ, Neill WA, Wagman RJ, Kasnow N, Gorlin R : *The effect of exercise on mean left ventricular ejection rate in man*. *J Clin Invest* 41 : 1050, 1962
- 3) Noble MIM, Trenchard D, Guz A : *Left ventricular ejection in conscious dogs. 1. Measurement and significance of the maximum acceleration of blood from the left ventricle*. *Circ Res* 19 : 139, 1966
- 4) Charles RL, Wilmer WN, Carl JR : *Indices of ventricular contractile state : comparative sensitivity and specificity*. *Am Heart J* 106 : 136, 1983
- 5) Paul DS, Hani NS : *Rate of change of ventricular power : An indicator of ventricular performance during ejection*. *Am Heart J* 91 : 219, 1976
- 6) Hani NS, Fareed K, James FB : *Noninvasive evaluation of left ventricular performance based on peak aortic blood acceleration measured with a continuous-wave Doppler velocity meter*. *Circulation* 74 : 2-323, 1986
- 7) Chandraratna PAN, Silveira B, Aronow WS : *Assessment of left ventricular function by determination of maximum acceleration of blood flow in the aorta using continuous Doppler ultrasound*. *Am J Cardiol* 45 : 398, 1980
- 8) Karliner JS, Gault JH, Eckberg D, Mullins CB, J : *Mean velocity of fiber shortening. A simplified*

- measure of left ventricular myocardial contractility. *Circulation* 64 : 323, 1971
- 9) Dodge HT, Baxley WA : *Left ventricular volume and mass and their significance in heart disease.* *Am J Cardiol* 23 : 528, 1969
 - 10) Gleason WL, Braunwald E : *Studies on the first derivative of the ventricular pressure pulse in man.* *J Clin Invest* 41 : 80, 1962
 - 11) Mason DT, Spann JF, Zelis R : *Quantification of the contractile state of the human heart. Maximal velocity of contractile element shortening determined by the instantaneous relation between the rate of pressure rise and pressure in the left ventricle during isovolumic systole.* *Am J Cardiol* 26 : 248, 1970
 - 12) Paul DS, Hani NS : *Ventricular performance measured during ejection : Studies in patients of the rate of change of ventricular power.* *Am Heart J* 91 : 599, 1976
 - 13) Colocousis of Huntsman LL, Curreri PW : *Estimation of stroke volume changes by ultrasound Doppler.* *Circulation* 56 : 914, 1977
 - 14) Julius MG, Lloyd TI, Uri E : *Evaluation of dilated cardiomyopathy by pulsed Doppler echocardiography.* *Am Heart J* 106 : 1057, 1977
 - 15) Weissler AM Harris WS, Schoenfeld CD : *Systolic time intervals in heart failure in man.* *Circulation* 37 : 149, 1968
 - 16) Terrence LC, Kiran BS, Wann LS : *Left ventricular ejection dynamics in hypertrophic cardiomyopathy and aortic stenosis : Comparison with the use of Doppler echocardiography.* *Am Heart J* 113 : 110, 1987
 - 17) Gardin JM, Burn CS, Childs WJ, Henry WL : *Evaluation of blood flow velocity in the ascending aorta and main pulmonary artery of normal subjects by Doppler echocardiography.* *Am Heart J* 107 : 310, 1984
 - 18) Najad NS, Klein MD, Mirsky I, Lown B : *Assessment of myocardial contractility from ventricular pressure recordings.* *Cardiovasc Res* 5 : 15, 1971
 - 19) Hatle L, Angelsen B : *Doppler ultrasound in cardiology. Physical principles and clinical application, ed 2. Philadelphia 1982 Lea and Febiger, p93*
 - 20) Robert JB, Arthur JL, All AM : *Effect of coronary artery disease on Doppler-derived parameters of aortic flow during upright exercise.* *Am J Cardiol* 58 : 14, 1986
 - 21) Elkayam U, Gardin JM, Berkley R, Hughes CA, Henry WL : *The use of Doppler blood flow measurement to assess the hemodynamic response to vasodilators in patients with heart failure.* *Circulation* 67 : 377, 1983
 - 22) Stein PD, Sabbah HN : *The isovolumic fractional rate of change of power, its applicability to the assessment of ventricular performance of patients.* *Am J Cardiol* 35 : 264, 1975
 - 23) Nawzer M, David EB : *Impaired left ventricular function if acute myocardial infarction assessed by Doppler measurement of ascending aortic blood velocity and maximum acceleration.* *Am J Cardiol* 57 : 1052, 1986