

## M형 심초음파도/심음도와 자동 경계 탐지 심초음파도를 이용한 좌심실 수축기 기능의 평가

고신대학교 의학부 내과학교실

이준철 · 이병건 · 김동옥 · 김용수 · 차태준 · 주승재 · 이재우

= Abstract =

### Evaluation of Left Ventricular Systolic Function by M-Mode Echo/Phonocardiography and Automated Border Detection(ABD) Echocardiography

Jun Cheol Lee, M.D., Byoung Gun Lee, M.D., Dong Ok Kim, M.D.,  
Yong Soo Kim, M.D., Tae Jun Cha, M.D.,  
Seung Jae Joo, M.D., Jae Woo Lee, M.D.

*Department of Internal Medicine, Kosin Medical College, Pusan, Korean*

**Background** : The rate of rise of left ventricular(LV) systolic pressure,  $dP/dt$ , and the peak ejection rate(PER) of LV may be more accurate indices for assessing LV systolic function than ejection fraction(EF). Both can be easily obtained by noninvasive methods, M-mode echo/phonocardiography and automated border detection(ABD) echocardiography, respectively. Mean  $dP/dt$  by M-mode echo/phonocardiography and PER by ABD echocardiography were compared with mean  $dP/dt$  by Doppler echocardiography.

**Methods** : Twenty-one adult patients who had normal sinus rhythm, mitral regurgitant signals by continuous wave Doppler echocardiography and an apical 4 chamber view of LV in which at least 75% of the endocardium was clearly visualized were selected for our study. The off-line estimation of LV end-diastolic volume ① were performed by the method of disc, after manually tracing the endocardial border on the apical 4 chamber view and EF was calculated. M-mode echocardiography of the aortic valve and phonocardiography were simultaneously recorded on the strip chart to measure the isovolumic contraction time( $dt_M$ ). A blood pressure ② and LV end-diastolic pressure(LVEDP) was assigned 20mmHg in patients with Q wave myocardial infarction or  $EF \leq 40\%$  and 10mmHg in others. The mean  $dP/dt_M$  during isovolumic contraction time was calculated as (aortic diastolic pressure-LVEDP)/ $dt_M$  and was compared with the Doppler-derived mean rate of LV pressure rise( $dP/dt_{Doppler}$ ) over the time period between velocities of 1 and 3m/sec on the ascending slope of the Doppler velocity spectrum. ABD system was used to measure the changes in LV volume and PER on the apical four chamber view. PER was compared with mean  $dP/dt_{Doppler}$ .

**Results** : Mean  $dP/dt_M$  positively correlated with mean  $dP/dt_{Doppler}$  ( $r=0.73$ ,  $p<0.001$ ), but the limits of agreement between two methods were somewhat wide (-659 - 937mmHg/sec).

PER also positively correlated with  $dP/dt_{Doppler}$  and EF( $r=0.73, p<0.001$ ;  $r=0.80, p<0.001$ ).

**Conclusions** : Mean  $dP/dt_M$  by M-mode echo/phonocardiography and PER by ABD echocardiography may be useful indices for assessing LV systolic function.

**KEY WORDS** : Mean  $dP/dt$  · Peak ejection rate(PER).

## 서 론

좌심실 등용적 수축기 지표인 좌심실 수축기압 상승의 최대 속도(maximum  $dP/dt$ )는, 전부하(preload)나 후부하(afterload)에 의해서 큰 영향을 받는 좌심실 구혈율에 비해서 좌심실 수축력 변화의 보다 더 정확한 지표이지만, 이의 측정을 위해서는 관혈적인 방법으로 좌심실 압력을 반복해서 측정해야 한다는 제약때문에 널리 사용되지 못하였다<sup>1-3)</sup>. 또한 연속파 도플러 심초음파를 이용하면 평균  $dP/dt$ 를 구할 수 있으나<sup>4-6)</sup>, 승모판 역류 혈류가 연속파 도플러 심초음파도에 검출되지 않을때는 사용할 수 없다는 단점이 있다. 이에 저자들은 대동맥판의 M형 심초음파도와 심음도를 동시에 기록하여, 등용적 수축기 시간(dt)을 구하고, 혈압계로 측정한 수축기 혈압과 좌심실 확장기말 압력의 추정치로부터 등용적 수축기시 압력 변화( $dP$ )를 구하여 평균  $dP/dt$ 를 계산하였으며, 이를 연속파 도플러 심초음파도의 승모판 역류 혈류에서 구한 평균  $dP/dt$ 와 비교하여 보았다. 또한, 자동 경계 탐지(ABD : automated border detection) 심초음파도를 이용하면, 좌심실 용적 변화 곡선과 좌심실 용적 변화의 최대치를 구할 수 있다<sup>7)</sup>. 이중 좌심실 용적 변화의 양의 최대치인 최대 박출율(PER : peak ejection rate)의 유용성을 알아보기 위해서, 연속파 도플러 심초음파도의 승모판 역류 혈류에서 구한 평균  $dP/dt$ 와의 상관 관계를 분석하였다.

## 연구 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

이면성 심초음파도로 얻은 심첨 4방 단면도에서 좌심실 심내막의 경계가 육안으로 75% 이상 구분되고, 연속파 도플러 심초음파도에서 승모판 역류 혈류가 검출되며, 심박동이 동조율인 21예를 대상으로 하였다. 평균 연령은  $48 \pm 15$ 세였으며, 남자는 7예, 여자는 14예였다. 대상 환자 21예는 심장 판막 질환이 9예, 확장성 심근병

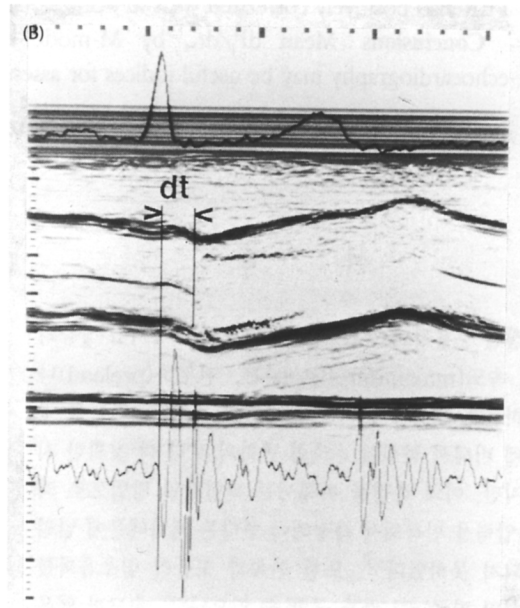
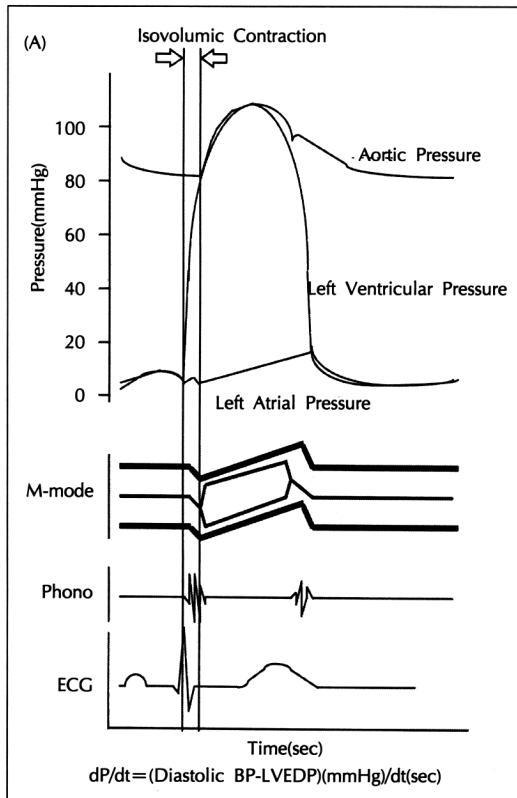
증이 3예, 관동맥 질환이 2예, 고혈압성 심질환이 2예, 만성 신부전이 2예, 그리고 정상인이 3예였다.

### 2. 연구 방법

Hewlett-Packard사의 SONOS 1500 심초음파기를 사용하였다. 2.5MHz의 탐촉자를 사용하여 흉골연 장축 단면도의 대동맥판 위치에서 M형 심초음파와 심음도를 동시에 50mm/sec의 속도로 기록하였다. 심음도의 제1심음 시작점에서 대동맥판이 열릴 때까지 걸린 시간을 측정하여 등용적 수축기 시간(isovolumic contraction time :  $dt_M$ )으로 하였다(Fig. 1). 환자를 바로 눕힌 상태에서 혈압계로 이완기 혈압을 측정하였으며, 좌심실 확장기말 압력은 좌심실 구혈율이 40% 이하이거나 Q파 심근 경색이 있는 경우에는 20mmHg, 이외의 경우는 10mmHg로 임의로 정하였다. 이완기 혈압에서 좌심실 확장기말 압력을 뺀 값을  $dt_M$ 으로 나누어 평균  $dP/dt_M$ 을 구하였다(Fig. 1).

좌심실 구혈율은 심첨 4방 단면도 및 2방 단면도 정지 화면에서 disc 방법으로 좌심실 확장기말 용적 및 수축기말 용적을 구한 후 계산하였다. 또한 심첨 4방 단면도에서 연속파 도플러 심초음파도로 승모판 역류 혈류를 50mm/sec의 속도로 기록하였다. 승모판 역류 혈류의 순간 속도가 1m/sec에서 3m/sec로 증가할 때까지 걸린 시간( $dt_{Doppler}$ )을 측정하였으며, 그 시간 동안의 좌심실 수축기압 상승치인  $32\text{mm/Hg}(4 \times 3^3 - 4 \times 1^3)$ 를  $dt_{Doppler}$ 로 나누어서 평균  $dt_{Doppler}$ 을 구하였다(Fig. 2). 이후 심첨 4방 단면도에서 자동 경계 시스템을 작동시켜, disc 방법으로 좌심실 용적 변화 곡선 및 최대 박출율을 구하였다<sup>8)</sup>. 모든 측정치는 적어도 3번 이상 측정하여 그 평균치를 취하였다.

모든 통계 처리는 SPSS/PC<sup>+</sup>를 이용하여 하였다. 통계치는 평균 $\pm$ 표준 편차로 기록하였다. 각 방법간의 측정치 비교에는 paired t-test를 사용하였고, 일치 한계(limits of agreement)와 상관 계수는 각각 Bland-Altman의 분석<sup>9)</sup>과 상관 관계 분석을 시행하여 구하였다.



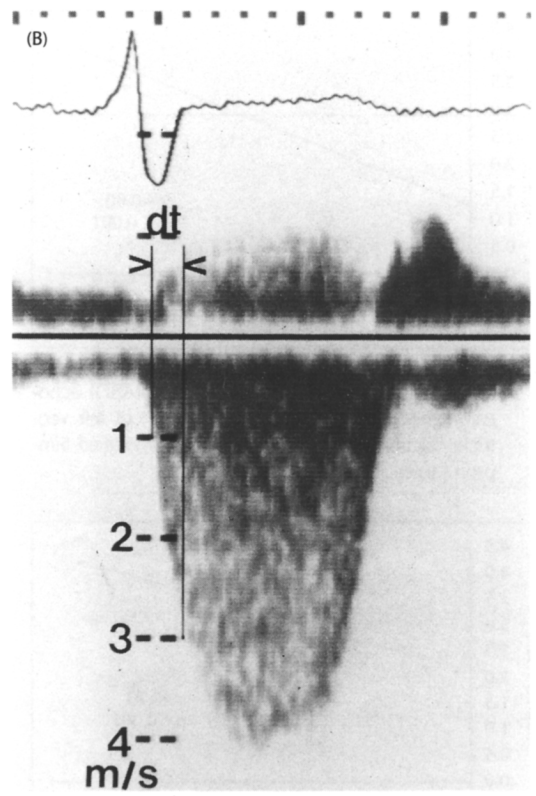
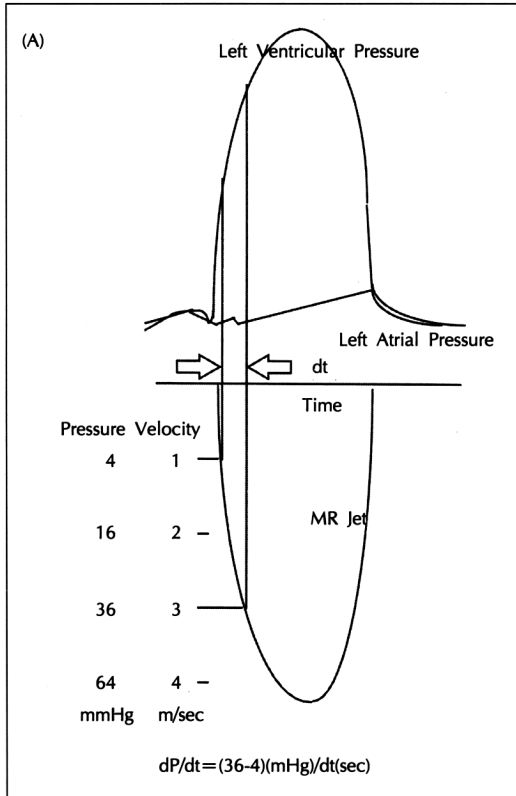
**Fig. 1.** (a) Schematic drawing of hemodynamic, M-mode echocardiographic, phonocardiographic and electrocardiographic events during a cardiac cycle. The ratio(mean  $dP/dt$ ) of the pressure rise during isovolumic contraction(aortic diastolic pressure-left ventricular end-diastolic pressure) over the isovolumic contraction time (measured from the onset of the first heart sound on phonocardiogram to the moment of aortic valve opening on M-mode echocardiography) can be calculated. (b) Simultaneous tracings of M-mode echocardiography of aortic valve, and phonocardiogram. Isovolumic contraction time can be measured.

## 결 과

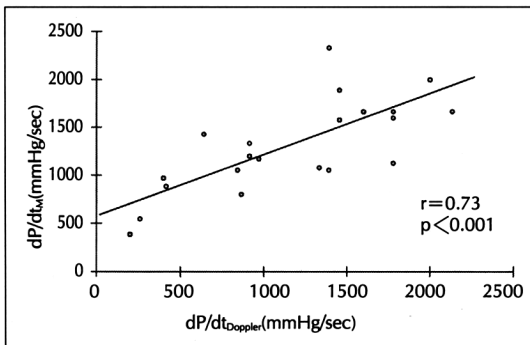
## 고 안

M형 심초음파도로 구한 평균  $dP/dt_M$ 과 연속파 도플러 심초음파도로 구한 평균  $dP/dt_{Doppler}$  사이에 상관 계수 0.73으로 유의한 양의 상관 관계( $p < 0.001$ )가 있었으나(Fig. 3), 평균  $dP/dt_M$ 에서 평균  $dP/dt_{Doppler}$ 를 뺀 값의 평균은  $139 \pm 339 \text{ mmHg/sec}$ 로, 평균  $dP/dt_M$ 이 평균  $dP/dt_{Doppler}$ 보다 크게 측정되었으며( $p < 0.05$ ), 일치 한계는  $-659 \sim 937 \text{ mmHg/sec}$ 로, 일치 한계의 범위가 넓었다(Fig. 4). 좌심실 구혈율과 자동 경계 탐지 심초음파도로 구한 최대 박출율 사이에 양의 상관 관계( $r = 0.80$ ,  $p < 0.001$ )가 있었으며(Fig. 5), 연속파 도플러 심초음파도로 구한 평균  $dP/dt_{Doppler}$ 와 최대 박출율 사이에도 유의한 양의 상관 관계( $r = 0.73$ ,  $p < 0.001$ )가 존재하였다(Fig. 6).

최대  $dP/dt$ 는 심박동수, 전부하에 의해서 영향을 받을 수 있으나, 좌심실 수축력의 급성 변화를 측정하는데 상당히 유용한 좌심실 등용적 수축기 지표로 인정되고 있다. 최대  $dP/dt$ 를 측정하는 가장 정확한 방법은 micromanometer를 사용해서 좌심실 압력 변화 곡선을 구하는 것이나, 이를 위해서는 고가의 micromanometer와 관혈적인 검사가 필요하기 때문에, 임상에서 사용하기에는 부적합하다. 따라서 비관혈적인 방법으로 최대  $dP/dt$ 를 측정하려는 연구들이 있었는데, 이중 연속파 도플러 심초음파도를 이용하는 방법이 제시되었다. Bargiggia 등<sup>4)</sup>은 연속파 도플러 승모판 역류 혈류 곡선에서, 역류 혈류 속도가  $1 \text{ m/sec}$ 에서  $3 \text{ m/sec}$ 로 상승하는데 걸리는 시간( $dt$ )을 측정하였다. Bernoulli 공식에

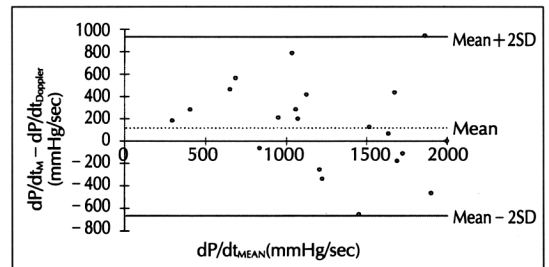


**Fig. 2.** (a) Schematic drawing of a mitral regurgitation velocity curve, illustrating the mathematical base for determining mean  $dP/dt$  during the time interval of mitral regurgitation velocity from 1m/sec to 3m/sec. (b) Continuous wave Doppler of the mitral regurgitation velocity curve. The time interval( $dt$ ) of mitral regurgitation velocity from 1m/sec is measured.



**Fig. 3.** Plots of mean  $dP/dt$  as measured with M-mode echo/phonocardiography( $dP/dt_w$ ) versus continuous wave Doppler echocardiography( $dP/dt_{Doppler}$ ).

의해서 ③이 동안의 평균  $dP/dt$ 를 구할 수 있다. 최대  $dP/dt$ 는 역류 혈류 속도가 1m/sec에서 3m/sec로 상승하는 사이에 기록되므로, 이 시간 사이의 평균  $dP/dt$ 는 최대  $dP/dt$ 를 반영하여, 심도자로 구한 최대  $dP/dt$ 와 연속파 도플러 심초음파도로 구한 평균  $dP/dt$  사이에



**Fig. 4.** Limits of agreement of mean  $dP/dt$  determined by M-mode echo/phonocardiography( $dP/dt_w$ ) and continuous wave Doppler echocardiography( $dP/dt_{Doppler}$ ).

매우 좋은 양의 상관 관계가 있음이 보고되었다<sup>4)</sup>. 또한 Chung 등<sup>6)</sup>은 심도자와 연속파 도플러 심초음파도를 동시에 시행하여 얻은 각각의 좌심실 압력 변화 곡선에서 혈류 속도가 1m/sec에서 3m/sec로 상승할 때까지 걸린 시간으로부터 측정된 각각의 평균  $dP/dt$ 가 서로 일치함을 보고하였다. 그러나, 승모판 역류 혈류의 방향과 도플러 초음파의 방향이 일치하지 않을 때는 실제  $dP/dt$ 를

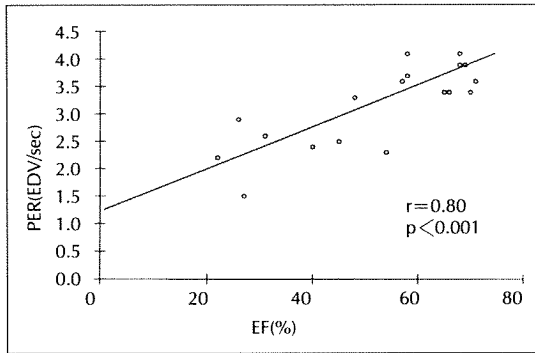


Fig. 5. Plots of peak ejection rate(PER) of left ventricle measured with automated border detection(ABD) echocardiography versus ejection fraction(EF) of left ventricle calculated by the method of disc(modified Simpson's rule).

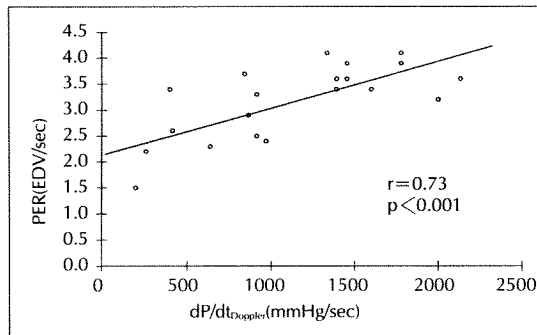


Fig. 6. Plots of peak ejection rate(PER) of left ventricle measured with automated border detection(ABD) echocardiography versus mean dP/dt measured with continuous wave Doppler echocardiography(dP/dt<sub>Doppler</sub>).

과소 평가할 수 있으며, 연속파 도플러 심초음파도에서 승모판 역류 혈류가 검출되지 않는 환자에서는 사용할 수 없다는 단점이 있다.

Rhodes 등<sup>10)</sup>은 대동맥관의 M형 심초음파도와 심음을 동시에 기록하여 등용적 수축기 시간을 구하였다(Fig. 1). 이 등용적 수축기 시간 동안의 좌심실압 상승치는 이완기 혈압에서 좌심실 확장기말 압력을 빼면 되므로 이 압력 차이를 등용적 수축기 시간으로 나누게 되면, 등용적 ④시간의 평균 dP/dt를 계산할 수 있게 되는데, 이 평균 dP/dt와 좌심실 압력 변화 곡선에서 구한 최대 dP/dt와 상당히 일치함을 보고하였다. 비관혈적인 방법으로 평균 dP/dt를 구하기 위해서는 좌심실 확장기말 압력을 추정해야 하는데, Rhodes 등<sup>10)</sup>은 Q파 심근 경색이 있는 환자에서는 20mmHg, 이외의 환자에서는 10mmHg로 추정 후 계산해도 실제 최대 dP/dt와 일치

한다고 하여, 본 연구에서는 좌심실 구혈율이 40% 이하이거나, Q파 심근 경색이 있는 경우에는 20mmHg, 이외의 경우에는 10mmHg로 임의로 정하였다. 이 방법을 사용하면 도플러 심초음파도에서 승모판 역류 혈류의 검출 유무에 관계없이 평균 dP/dt를 구할 수 있다. 그러나, Rhodes 등<sup>10)</sup>의 연구에서 좌심실 등용적 수축기의 평균 dP/dt를 심도자로 구한 최대 dP/dt와 비교하였으므로, 당연히 평균 dP/dt가 최대 dP/dt보다 작게 측정되었다. 연속파 도플러 심초음파도로 구한 승모판 역류 혈류가 1m/sec에서 3m/sec로 상승할 때는 대개 좌심실 등용적 수축기 시간에 해당되므로, 저자들은 승모판 역류 혈류 곡선에서 구한 평균 dP/dt와 좌심실 등용적 수축기 시간의 평균 dP/dt를 서로 비교하여 보았다. 그 결과 두 방법으로 구한 각각의 평균 dP/dt 사이에 유의한 양의 상관 관계가 있어서, M형 심초음파도와 심음을 이용하면, 승모판 역류 혈류 존재에 관계없이 좌심실 수축기의 평균 dP/dt를 용이하게 구할 수 있음을 시사하였다. 그러나, 두 방법 사이에 일치 한계의 범위가 컸다. 연속파 도플러 심초음파도로 평균 dP/dt를 구할 때는 승모판 역류 혈류의 방향과 도플러 초음파의 방향이 완전히 일치하지 않는 경우나 도플러 초음파 신호의 filter나 gain 조절의 차이에 의해서 도플러 심도가 종이에 부정확하게 기록될때 오차가 생길 수 있으며, M형 심초음파도와 심음도에서 평균 dP/dt를 구할 때는 심음도에서 제 1심음의 시작점 위치 판정이 잘못되었을 때나 임의로 정한 좌심실 확장기말 압력이 실제 압력과 같지 않을 때 오차가 생길 수 있다.

좌심실 용적 변화 곡선으로부터 구한 최대 박출율은 좌심실 박출기의 지표인데, 지금까지 최대 박출율을 구하기 위해서는 게이트 심장 혈액 풀 스티그라피에서 좌심실 시간 용적 곡선을 얻은 후, 이의 1차 미분 곡선으로부터 구하였다<sup>11)</sup>. 자동 경계 탐지 심초음파도를 이용하면 심내막과 혈액의 경계가 자동으로 구분되어 각 심주기마다 좌심실강 면적<sup>12-14)</sup>, 좌심실 용적<sup>8,15)</sup>, 각각의 면적 및 용적 변화 곡선 등을 구할 수 있고, 이 곡선으로부터 좌심실 수축기 및 이완기 기능을 평가할 수 있다<sup>7,16)</sup>. 좌심실 용적 변화 곡선을 1차 미분하면 최대 박출율 및 최대 이완율을 구할 수 있는데, 저자들은 자동 경계 탐지 심초음파도로 구한 최대 박출율과 최대 이완율이 심장 혈액 풀 스티그라피로부터 구한 각각의 수치와 일치함을 보고하였다<sup>7)</sup>. 본 연구에서는 자동 경계 탐지 심초음파도

로 구한 최대 박출율이 좌심실 수축기 기능 평가에 이용될 수 있는가를 알아보기 위해서, 도플러 심초음파도로 구한 평균  $dP/dt$ 와 비교하였다. 그 결과 두 수치 사이에 유의한 양의 상관 관계가 존재하여 자동 경계 탐지 심초음파도로부터 얻은 최대 박출율이 좌심실 기능 평가에 이용될 수 있으리라 생각된다.

본 연구의 제한점으로 추천 참고 방법으로 사용한 연속파 도플러 심초음파도에 의한 평균  $dP/dt$ 가 과연 믿을 만한 정확한 방법인가이다. 기존의 보고에서 연속파 도플러 심초음파도로 구한 평균  $dP/dt$ 가 심도자에서 구한 최대 혹은 평균  $dP/dt$ 와 일치한다고 하나, 더 정확한 비교를 위해서는 M형 심초음파도, 심음도, 자동 경계 탐지 심초음파도를 심도자와 동시에 시행하여, 각각의 평균  $dP/dt$ , 최대 박출율을 서로 비교해야 한다. 그리고,  $dP/dt$ 나 최대 박출율은 그 수치를 다른 사람의 수치와 비교하기보다는 각 개인에서 연속적으로 측정하여 좌심실 수축력의 변화를 평가하는데 더 유용하므로, 치료 후 좌심실 기능 회복의 지표로 이용되어야 할 것으로 생각된다. 이러한 제한점이 있으나, 본 연구에서는 M형 심초음파도와 심음도를 이용하여 쉽게 좌심실의 평균  $dP/dt$ 를 측정하는 방법과 좌심실 수축기 기능 평가에 자동 경계 탐지 심초음파도가 이용될 수 있음을 제시하였다.

## 요 약

### 연구 배경 :

비관혈적인 방법으로 좌심실 수축기 기능을 평가하기 위해서 M형 심초음파도와 심음도로 측정한 좌심실 수축기 압 상승의 평균 속도(평균  $dP/dt$ )와 자동 경계 탐지 심초음파도로 구한 좌심실 최대 박출율(PER : peak ejection rate)을 연속파 도플러 심초음파도로 측정한 평균  $dP/dt$ 와 각각 비교하였다.

### 연구 방법 :

심첨 4방 단면도에서 심첨막 경계가 75% 이상 구분되고, 연속파 도플러 심초음파도에 승모판 역류 혈류가 검출되며, 심박동이 동조율인 21예를 대상으로 하였다. 심첨 4방 단면도에서 좌심실 내막의 경계를 수동으로 그려서 disc 방법으로 좌심실의 확장기말 용적과 수축기말 용적을 측정하여 좌심실 구혈율(EF)을 구하였고, 연속파 도플러로 승모판 역류 혈류를 그린 후 좌심실 수축 초기 혈류 속도가 1m/sec에서 3m/sec로 증가할 때까지

걸린 시간을 측정하여 평균  $dP/dt_{Doppler}$ 를 구하였다. 이후 대동맥판의 M형 심초음파와 심음도를 동시에 기록하여 좌심실 등용적 수축기 시간( $dt_M$ )을 구하고 이완기 혈압에서 좌심실 확장기말 압력을 뺀 값을 좌심실 등용적 수축기 시간으로 나누어 평균  $dP/dt_M$ 을 구하였다. 이때 좌심실 확장기말 압력은 EF가 40% 이하이거나, Q와 심근 경색이 있는 경우는 20mmHg, 이외의 경우는 10 mmHg로 하였다. 심첨 4방 단면도에서 자동 경계 탐지 심초음파를 시행하여 좌심실 최대 박출율을 구하였다.

### 결 과 :

1)  $dP/dt_{Doppler}$ 와  $dP/dt_M$  사이에는 상관계수가 0.73으로 유의한 양의 상관 관계가 있었으나, 일치 한계의 범위가 넓었고(-659~937mmHg),  $dP/dt_M$ 이  $dP/dt_{Doppler}$ 보다 크게 측정되었다.

2) EF와 PER 사이에 상관 계수 0.80으로 유의한 양의 상관 관계가 있었다( $p<0.001$ ).

3)  $dP/dt_{Doppler}$ 와 자동 경계 탐지 심초음파도로 구한 PER 사이에 상관 계수 0.73으로 유의한 양의 상관 관계가 있었다( $p<0.001$ ).

### 결 론 :

M형 심초음파도로 구한  $dP/dt_M$ 과 자동 경계 탐지 심초음파도로 구한 PER이 좌심실 수축기 기능의 지표로 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 더욱 정확한 연구를 위해서는 M형 심초음파도, 심음도, 자동 경계 탐지 심초음파와 심도자를 동시에 시행하여 각각의 수치를 비교한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## References

- 1) Grossman W : *Cardiac catheterization, angiography, and intervention*. 4th ed. p319, Philadelphia, Lea & Febiger, 1991
- 2) Mahler F, Ross JJr, O'Rourke RA, Covell JW : Effects of changes in preload, afterload and inotropic state on ejection and isovolumic phase measures of contractility in the conscious dog. *Am J Cardiol* 35 : 626, 1975
- 3) Quinones MA, Gaasch WH, Alexander JK : Influence of acute changes in preload, afterload, contractile state and heart rate on ejection and isovolumic indices of myocardial contractility in man. *Circulation* 53 : 293, 1976

- 4) Bargiggia GS, Bertucci C, Recusani F, Raisaro A, de Servi S, Valdes-Cruz LM, Sahn DJ, Tronconi L : *A new method for estimating left ventricular dP/dt by continuous wave Doppler-echocardiography : Validation studies at cardiac catheterization. Circulation* 80 : 1287, 1989
- 5) Chen C, Rodriguez L, Cuerrero L, Marshall S, Levine RA, Weyman AE, Thomas JD : *Noninvasive estimation of the instantaneous first derivative of left ventricular pressure using continuous-wave Doppler echocardiography. Circulation* 83 : 2101, 1991
- 6) Chung N, Nishimura RA, Holmes DRJr, Tajik AJ : *Measurement of left ventricular dP/dt by simultaneous Doppler echocardiography and cardiac catheterization. J Am Soc Echocardiogr* 5 : 147, 1992
- 7) 김대현 · 김용수 · 김동옥 · 차태준 · 주승재 · 이재우 : 자동경계탐지(Automated Border Detection) 심초음파도를 이용한 좌심실 기능의 평가 : *Gated Cardiac blood pool scintigraphy*와의 비교. *순환기* 26 : 637, 1996
- 8) 최현목 · 김영우 · 이금희 · 이신화 · 박능화 · 지상근 · 차태준 · 주승재 · 이재우 : 자동경계탐지(Automated Border Detection) 심초음파도를 이용한 좌심실 용적 및 구혈율의 측정. *순환기* 25 : 614, 1995
- 9) Bland JM, Altman DG : *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet* i : 307, 1986
- 10) Rhodes J, Udelson JE, Marx GR, Schmid CH, Konstam MA, Hijazi ZM, Bova SA, Fulton DR : *A new noninvasive method for the estimation of peak dP/dt. Circulation* 88 : 2693, 1993
- 11) 고창순 : *핵의학* p320, 서울, 고려의학, 1992
- 12) Gorcsan III J, Lazar JM, Romand J, Pinsky MR : *On-line estimation of stroke volume by means of echocardiographic automated border detection in the canine left ventricle. Am Heart J* 125 : 1316, 1993
- 13) Vandenberg BF, Rath LS, Stuhlmuller P, Melton HE, Skorton DJ : *Estimation of left ventricular cavity area with an on-line, semiautomated echocardiographic edge detection system. Circulation* 86 : 159, 1992
- 14) Lindower PD, Rath L, Preslar J, Burne TL, Rezai K, Vandenberg BF : *Quantification of left ventricular function with an automated border detection system and comparison with radionuclide ventriculography. Am J Cardiol* 73 : 195, 1994
- 15) Bednarz JE, Marcus RH, Lang RM : *Technical guidelines for performing automated border detection studies. J Am Soc Echocardiogr* 8 : 293, 1995
- 16) Gottlieb S, Keren A, Khoury Z, Stern S : *Findings of automatic border detection in subjects with left ventricular diastolic dysfunction by Doppler echocardiography. J Am Soc Echocardiogr* 8 : 149, 1995