

## M형, 이면성, 도플러 심초음파도를 이용한 승모판 혈류량 곡선의 재구성에 관한 연구\*

서울대학교 의과대학 내과학교실

김동운 · 박승우 · 김덕경 · 유규형 · 오병희  
박영배 · 최윤식 · 서정돈 · 이영우

= Abstract =

### Reconstruction of the Transmitral Flow Rate Curve with M-Mode, 2-Dimensional and Doppler Echocardiography — Validation Study —

Dong Woon Kim, M.D., Seung Woo Park, M.D., Duk Kyung Kim, M.D.,  
Kyu Hyung Ryu, M.D., Byung Hee Oh, M.D., Young Bae Park, M.D.,  
Yun Shik Choi, M.D., Jung Don Seo, M.D. and Young Woo Lee, M.D.

*Department of Internal Medicine, College of Medicine, Seoul National University*

To validate left ventricular diastolic phase parameters of reconstructed transmitral flow rate curve by M-mode, 2-dimensional and pulsed Doppler Echocardiography, these parameters were compared with same parameters by left ventriculography. The study population was 22 patients who received both coronary arteriography and echocardiographic examination.

Transmitral flow rate curve and left ventricular filling volume curve were reconstructed from transmitral flow velocity curve by pulsed Doppler, mitral annulus diameter by two dimensional and diastolic motion of both mitral leaflets by M-mode echocardiography. From left ventriculography, left ventricular filling volume curve and transmitral flow rate curve were made using area-length method by Sandler and Dodge. From transmitral flow rate and left ventricular filling volume curves, total diastolic filling volume, 1/3 diastolic time filling fraction, 1/2 diastolic time filling fraction, normalized peak early filling rate and ratio of early to late peak filling rate were measured.

Correlations between same parameters derived from echocardiography and left ventriculography were observed.

- 1) Total diastolic filling volume : correlation coefficient  $r=0.47$ ,  $p<0.05$
- 2) 1/3 diastolic time filling fraction : correlation coefficient  $r=0.90$ ,  $p<0.001$
- 3) 1/2 diastolic time filling fraction : correlation coefficient  $r=0.80$ ,  $p<0.001$
- 4) Normalized peak early filling rate : correlation coefficient  $r=0.57$ ,  $p<0.01$

---

\* 본 연구는 1988년도 서울대학교병원 특진 연구비의 보조로 이루어진 것임.

5) Ratio of early to late peak filling rate : correlation coefficient  $r=0.85$ ,  $p<0.001$

Therefore, left ventricular diastolic phase parameters of reconstructed transmitral flow rate curve using M-mode, 2-dimensional and pulsed Doppler echocardiography seems to be useful for the noninvasive evaluation of the left ventricular diastolic function.

**KEY WORDS** : Pulsed Doppler echocardiography · Transmitral flow rate curve · Left ventricular filling volume curve · Left ventriculography.

## 서 론

좌심실 확장기 기능은 관동맥 질환에서 수축기 기능보다 더 예민한 지표가 되며<sup>1,2,3)</sup>, 방사선 핵종 심실 조영술이나 M형 심초음파도 등의 몇몇 비관혈적 방법들에 의해 평가될 수 있다는 보고들<sup>3,4,5)</sup>이 있다.

도플러 심초음파도는 여러 심질환의 혈역학적 평가에 사용되어 왔고, 조영제 좌심실 조영술이나 방사선 핵종 심실 조영술에 비교하여 비교적 확장기 좌심실 충만 특성을 잘 반영한다고 보고된 승모판 혈류 속도 곡선<sup>6,7,8,9)</sup>을 이용하여 확장기 좌심실 기능을 평가하여 왔다. 그러나, 승모판 혈류 속도 곡선을 사용하여 확장기 좌심실 기능을 평가하는 이전의 도플러 심초음파도 방법은 혈류 속도는 혈류량에 의미 있을 정도로 영향을 받을 수 있고 확장기 기능의 중요 지표는 초기 확장기의 최대 혈류 속도가 아니라 최대 충만 속도<sup>3,10)</sup>라는 점에서 제한점을 가지고 있다.

이에 1) M형 심초음파도로 승모판 전후엽의 운동을, 2) 이면성 심초음파도로 승모판륜의 직경을, 3) 간헐파형 도플러 심초음파도로 승모판 혈류 속도를 측정하여 승모판 혈류량 곡선과 좌심실 충만 용적 곡선을 재구성하고, 이 재구성된 곡선들로부터 구한 좌심실의 확장기능 지표들의 유용성을 평가하기 위해, 좌심실 조영술을 이용하여 구성된 승모판 혈류량 곡선과 좌심실 충만 용적 곡선을 이용하여 구한 동일 지표들을 서로 비교하였다.

## 연구 재료 및 방법

### 1. 관찰 대상

대상환자는 1988년 4월부터 8월까지 서울대학교

병원에 입원하여 좌심실 조영술과 관동맥 조영술을 실시하고 M형, 이면성 및 간헐파형 도플러 심초음파도를 실시한 총 22예였다. 부정맥이 있거나 빈맥이 있는 환자는 제외하였으며, 좌심실 조영술상 심실 초기 수축으로 인하여 정상적인 좌심실 확장기를 관찰할 수 없는 환자와 판막 폐쇄 부전증이 있는 환자 및 기타 다른 원인으로 확장기의 좌심실의 운동을 잘 기록할 수 없는 환자도 제외하였다. 심초음파도 검사상 기록 상태가 양호한 환자를 택하였다. 환자의 평균 연령은  $53 \pm 10.7$ 세였고 남녀의 비는 18 : 4였다. 관동맥 조영술상 정상 관동맥을 보인 환자가 7명이었고 비정상 관동맥을 보인 환자는 15명이었다. 좌심실 조영술상 정상 좌심실 운동을 보인 환자는 9명이었고 비정상적인 환자는 13명이었다.

### 2. M형, 이면성 및 간헐파형 도플러 심초음파도 방법

심초음파도 검사는 좌심실 조영술 하루 전에 실시하였다. 심초음파도는 Aloka SSD-880 CW System (Aloka Inst., Japan)을 사용하였다. 1) M형 심초음파도로 승모판 전후엽의 운동을, 2) 이면성 심초음파도로 승모판륜의 직경을, 3) 간헐파형 도플러 심초음파도(2.5 MHz transducer)로 승모판 혈류 속도를 측정하였다. 검사는 환자가 좌측위로 누운 상태에서 시행하였고, 모든 기록은 호기말에 실시하였으며 지속 100mm/sec로 기록하였다(SSZ-95, Aloka Inst., Japan).

승모판 전후엽의 운동은 표준 흉골연 장축-단면도에서 승모판 전후엽의 운동이 적절히 기록되도록 초음파 투사 방향이 승모판의 첨단 부위를 지나도록 M형 심초음파도를 이용 기록하였다.

승모판륜의 직경은 이면성 심첨 4방 단면도에서 승모판의 삼입 부위 바로 아래에서 내측과 외측 모

통이의 안쪽 경계사이의 거리로 측정하였다.

간헐파형 도플러 심초음파도에 의한 승모판 혈류 속도 곡선은 좌심실과 승모판이 잘 보이는 심점 4방 단면도에서 구하였으며 양질의 최대 도플러 혈류 속도가 얻어질 수 있는 승모판륜 약간 아래 위치한 승모판의 첨단 부위에서 혈류 속도를 측정하였다. 또 도플러 투사 방향과 추정되는 혈류 방향의 사이의 각도가 최소가 되도록 노력하였다.

### 3. 승모판 혈류량 곡선과 좌심실 충만 용적 곡선의 분석

승모판 혈류량 곡선과 좌심실 충만 용적 곡선은 컴퓨터화된 digitizer system(TG-1011 Houston Inst., Apple Co.)를 사용해 재구성하였다.

승모판 혈류량 곡선과 좌심실 충만 용적 곡선의 재구성 원리는 그림 1에 도시적으로 제시하였다.

주어진 시간  $t$ 에서의 승모판 혈류량(TMFR( $t$ ))은 승모판 개구 면적(MVA)에 주어진 시간  $t$ 에서의 승모판 혈류 속도( $V(t)$ )를 곱한 것으로 표현될 수 있다.

$$TMFR(t) = MVA \times V(t)$$

승모판 개구 면적이 1) 일정한 것이 아니라 확장기 동안 시간에 따라 계속 변하고, 2) 고정된 공통의 승모판륜 직경(AD)을 장축으로 하고 승모판의 전후엽의 움직임에 따라 변하는 단축을 가진 두 개의 다른 반타원체로 구성되고, 주어진 시간  $t$ 에서 각 단축의 반지름의 합이  $d(t)$ 로 표현된다고 가정하면 주어진 시간  $t$ 에서의 승모판 개구 면적(MVA( $t$ ))은 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$MVA(t) = \pi/4 \times AD \times d(t)$$

그러면 주어진 시간  $t$ 에서의 승모판 혈류량은 아래와 같이 유도된다.

$$TMFR(t) = \pi/4 \times AD \times d(t) \times V(t)$$

시간  $t$  동안의 좌심실 충만 용적(LVFBV(T))은 TMFR( $t$ )를 적분하여 계산할 수 있다.

$$LVFBV(T) = \pi/4 \times AD \times \int_0^T d(t) \times V(t) dt$$

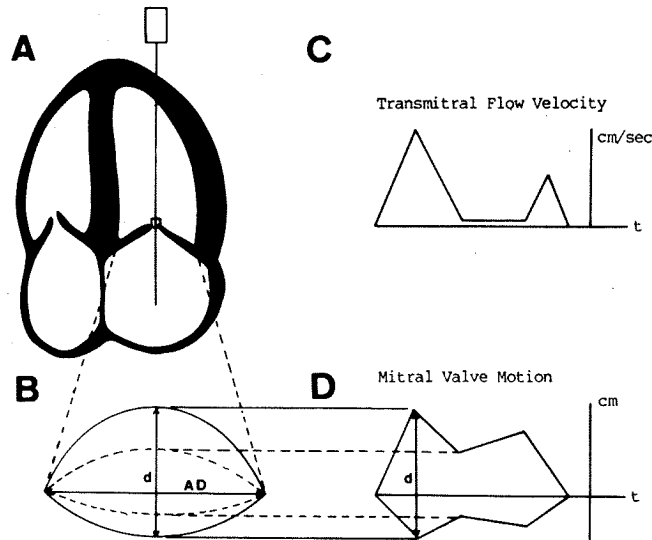


Fig. 1. Schematic presentation of reconstruction of transmitral flow rate curve and left ventricular filling volume curve(Echocardiography). A) Apex 4-chamber view showing sample volume at the tip of mitral valve. B) Elliptical geometry of mitral valve area. C) Transmitral flow velocity curve. D) Diastolic mitral valve motion taken at parasternal position by M-mode echocardiography. AD=mitral annulus diameter; d=mitral leaflet separation distance; t=time.

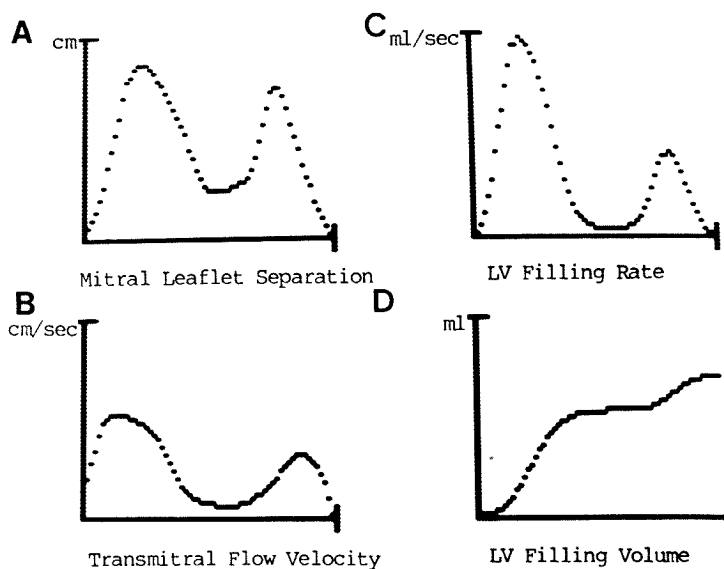


Fig. 2. An example of reconstructing transmitral flow rate curve and left ventricular filling volume curve(Echocardiography).

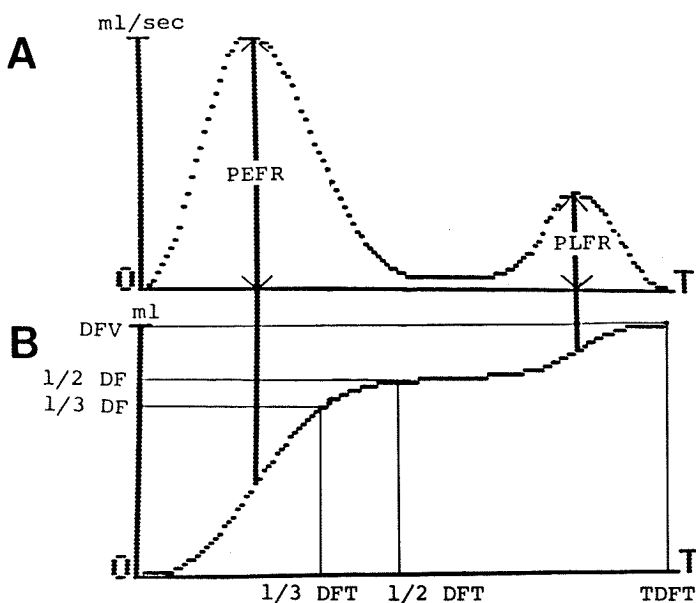


Fig. 3. Transmitral flow rate curve(A) and left ventricular filling volume curve(B) and related measurements(Echocardiography). DFV=total diastolic filling volume; 1/3(1/2) DF=1/3(1/2) diastolic time filling volume; 1/3(1/2, T) DFT=1/3(1/2, Total) diastolic filling time; PE(L)FR=peak early(late) filling rate; T=time in milliseconds.

실제적으로는 각 반타원체 단축들의 합이 되는 시간에 따른 승모판 전후엽의 분리 거리를 얻기 위해 승모판의 M형 심초음파도를 digitize 하였다(그림 2. A.). 그리고 승모판 혈류 속도 곡선을 digitize 하였다(그림 2. B.). 그리고 나서 승모판 혈류량 곡선을 재구성하고 상기 식을 사용하여 좌심실 충만 용적 곡선을 구하였다(그림 2. C. & D.).

재구성된 승모판 혈류량 곡선과 좌심실 충만 용적 곡선으로부터 아래 지표들을 구하였고, 이것들을 적어도 3번의 심주기에서 측정하여 평균하였다(그림 3).

- 1) 전체 확장기 충만 용적
- 2) 1/3 확장기 충만을
- 3) 1/2 확장기 충만을
- 4) 표준 초기 최대 충만 속도
- 5) 초기와 후기의 최대 충만 속도의 비

#### 4. 좌심실 조영술

모든 혈관 영화 촬영술은 경피적 동맥 천자술을

사용하였으며 60frame/sec의 속도로 영화 촬영하였다.

좌심실 조영술은 관동맥 조영술 전에 환자를 30° 우전사위로 누이고 조영제(Hexabrix 38 or Telebrix 38)를 40내지 45ml를 주입한 뒤 시행하였으며, 확대율을 보정하기 위해 1 cm 간격의 격자를 같이 촬영하였다. 좌심실 조영술의 분석은 혈관 영화 촬영술 영사기(Tagarno 35D)를 사용하여 심실 조기 박동으로 인한 영향이 없는 좌심실 조영도를 한 화면 간격으로 바깥쪽 경계선을 그려서 Sandler와 Dodge의 area-length method<sup>11)</sup>를 사용하여 각 화면의 좌심실의 용적을 이용 좌심실 충만 용적 곡선을 만들었다(그림 4). 한편 좌심실 용적을 IBM-PC/AT 호환 기종인 Acer 910에 입력하여 "Cubic Spline Interpolant"를 이용한 일차 미분을 시행 승모판 혈류량 곡선을 구하였다(그림 5). 이 좌심실 충만 용적 곡선과 승모판 혈류량 곡선으로부터 M형, 이면성 및 간혈파형 도플러 심초음파도 방법으로 구한 지표들과 동일한 지표들을 구하였다.

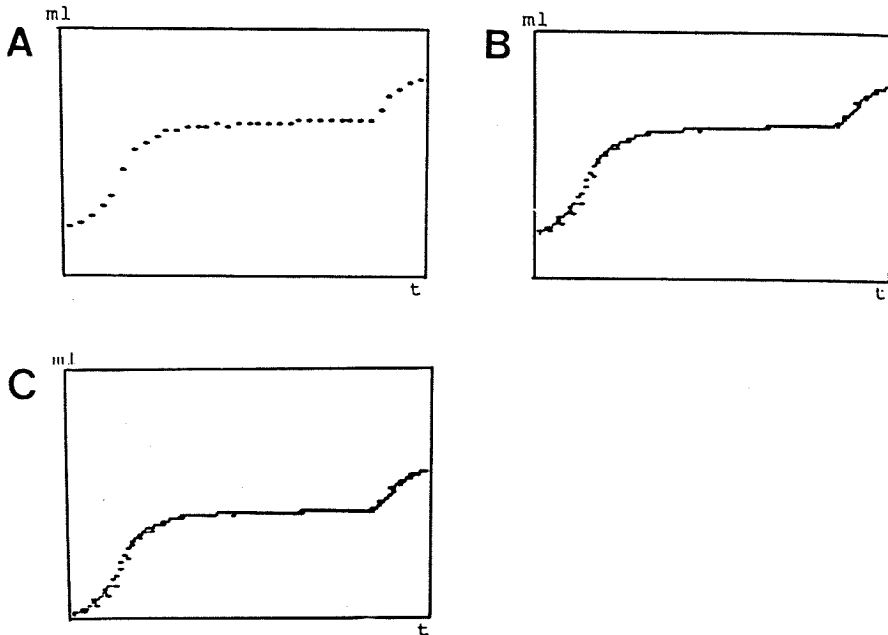


Fig. 4. Left ventricular filling volume curve(Left ventriculography). A) Raw data diastolic left ventricular volume curve. B) 5 point smoothed diastolic left ventricular volume curve. C) Left ventricular filling volume curve(End systolic volume=0).

의성을 인정하였다.

## 5. 통계적 방법

M형, 이면성 및 간혈파형 심초음파도 방법과 좌심실 조영술로 구한 지표들의 상관 관계는 직선 회귀법에 의해 관찰하였으며,  $p < 0.05$ 이면 통계적 유

## 연구 성적

1) 전체 확장기 총만 용적(그림 6); 상관 계수  $r = 0.47$ ,  $p < 0.05$

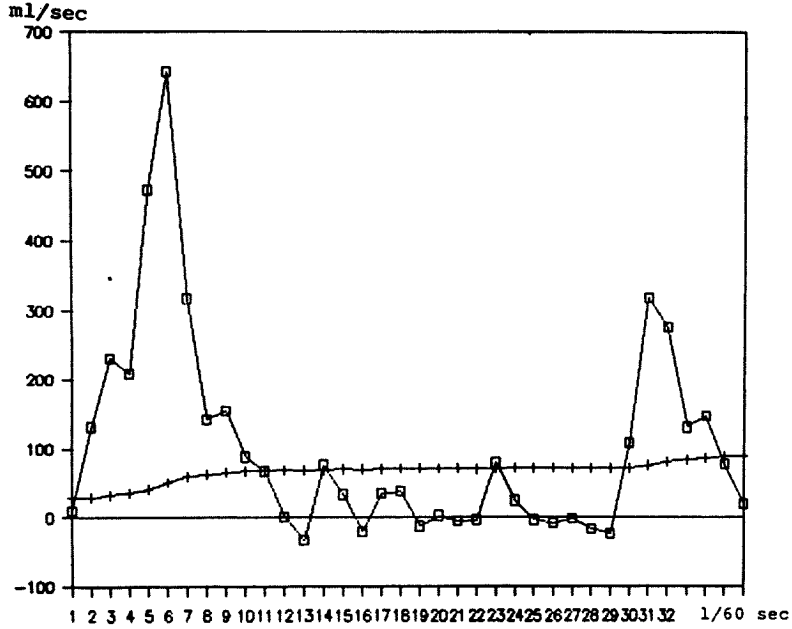


Fig. 5. Transmitral flow rate curve(Left ventriculography).

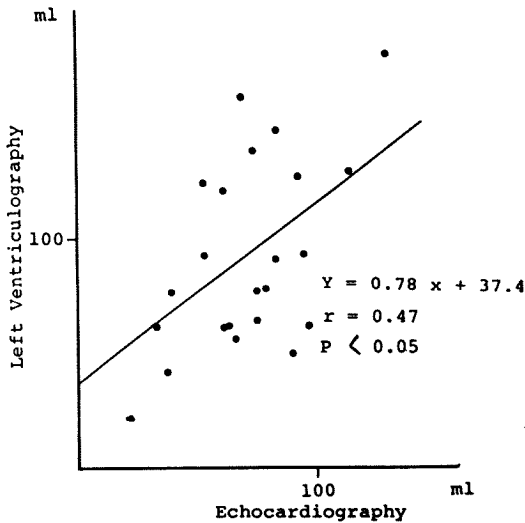


Fig. 6. Correlation of total diastolic filling volumes by echocardiography and left ventriculography.

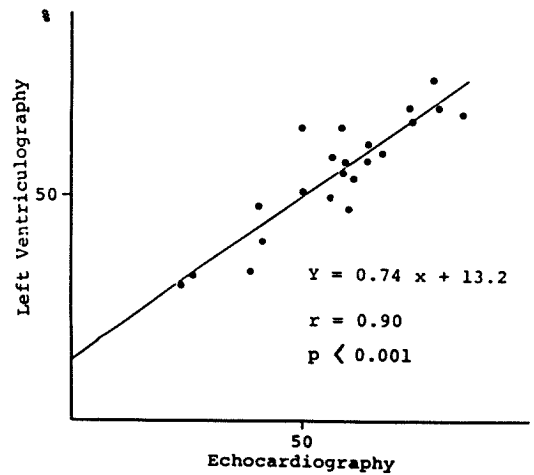


Fig. 7. Correlation of 1/3 diastolic time filling fractions by echocardiography and left ventriculography.

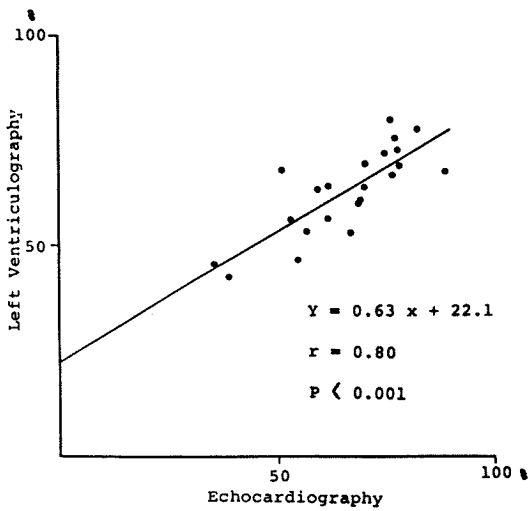


Fig. 8. Correlation of 1/2 diastolic time filling fractions by echocardiography and left ventriculography.

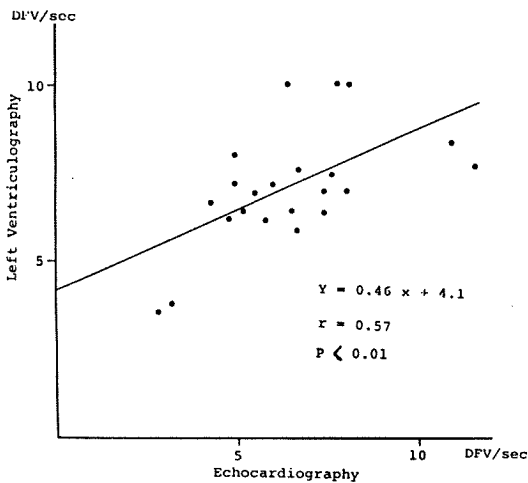


Fig. 9. Correlation of normalized peak early flow rates by echocardiography and left ventriculography.

2) 1/3 확장기 충만율(그림 7); 상관 계수  $r=0.90$ ,  $p<0.001$

3) 1/2 확장기 충만율(그림 8); 상관 계수  $r=0.80$ ,  $p<0.001$

4) 표준 초기 최대 충만 속도(그림 9); 상관 계수  $r=0.57$ ,  $p<0.01$

5) 초기와 후기의 최대 충만 속도의 비(그림 10); 상관 계수  $r=0.85$ ,  $p<0.001$

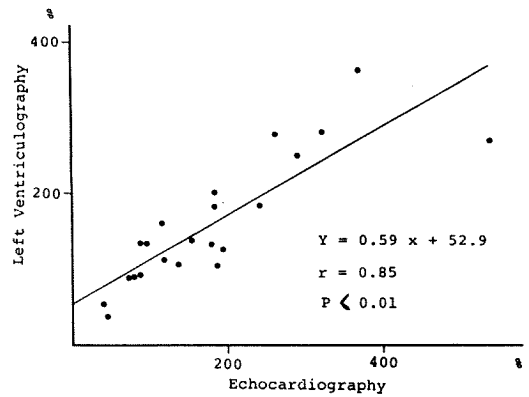


Fig. 10. Correlation of ratios of early to late peak filling rate by echocardiography and left ventriculography.

## 고 찰

간헐파형 심초음파도로 구한 승모판 혈류 속도 곡선은 확장기 좌심실 충만을 반영할 뿐 아니라 비후성<sup>12,13)</sup> 혹은 확장형<sup>14)</sup> 심근증, 중증도 이상의 고혈압<sup>15)</sup>과 관동맥 질환<sup>16,17,18,19)</sup>의 환자에서 지장이 초래된 확장기 좌심실 기능을 평가하는데 사용되어 왔다. 그러나, 현재까지 사용되고 있는 승모판 혈류 속도를 측정하고 분석하는 간헐파형 심초음파도는 좌심실 크기나 모양에 영향을 받지 않을 뿐 아니라<sup>20)</sup>한 심박동 단위로 확장기 좌심실 기능을 잘 분석할 수 있으나 몇몇 제한점을 가지고 있다. 심초음파도 영상이 안 좋을 수 있다는 점, 도플러 투사 방향과 혈류 방향의 일치 여부 등의 제한점들 중에 제일 중요한 것은 혈류 속도는 혈류량의 변화에 대해 일정 불변하게 변화하지 않기 때문에<sup>21)</sup>, 확장기 좌심실 기능의 중요한 지표인 확장 초기의 최대 충만 속도가 구해지는 승모판 혈류량을 승모판 혈류 속도만으로 정확하게 반영할 수 없다는 점이다. 그래서 그런 제한점들을 최소화하기 위해서 이전의 연구들은 초기와 후기 최대 혈류 속도의 상대적인 비<sup>7,8,13,16,18)</sup> 혹은 초기 확장기 승모판 혈류 속도의 적분된 면적<sup>9,12,19)</sup>에 초점을 두었다. 직접 측정하거나 승모판 개구가 원형이라는 가정하에 승모판륜 직경 혹은 승모판 전후엽의 분리 거리를 이용하여 구한 승모판 개구 면적을

최대 혈류 속도에 곱하여 최대 충만 속도를 구하는 시도들<sup>6,20)</sup>도 있었다. 그러나, 이 시도들은 승모판 개구 면적이 확장기를 통해 고정되어 있다고 생각했기 때문에 승모판 혈류 속도 곡선만을 사용한 연구에 비해 더 정보를 얻을 수 없었고 비슷한 제한점을 가졌다. 더구나 승모판 개구가 원형이라는 가정하에 M형 심초음파도의 승모판 전후엽 분리 거리나 이면성 심초음파도의 승모판륜 직경을 사용하여 구한 승모판 개구 면적이거나 직접 측정한 면적에 관련된 오차들이 좌심실 초기 최대 충만 속도의 정확한 측정에 제한점이 된다. 이면성 심초음파도에서 보듯이 승모판 개구 면적이 고정되어 있지 않고 연속적으로 변화하며 최대 승모판 전후엽 운동이 최대 충만 속도와 일치하지 않는다<sup>22)</sup>는 것을 고려할 때, 이전의 대부분의 도플러 심초음파도 방법은 최대 충만 속도를 계산하는데 부적절하다고 여겨진다. 재구성된 승모판 혈류량 곡선과 좌심실 충만 용적 곡선을 사용하는 방법은 다른 방법들과 몇몇 점에서 다르다. 첫째로, 승모판륜의 위치가 아니라 승모판첨단 부위에서 도플러 심초음파도를 기록하였고 승모판륜의 면적이 아니라 승모판 개구 면적을 사용하였다. 둘째로, 승모판 개구 면적이 승모판륜의 직경을 장축으로 하고 승모판 전후엽의 분리 거리를 단축으로 하는 타원형 모양을 가졌다고 가정하였다. 타원형 모양은 여러 해부학적<sup>23)</sup>, 이면성 심초음파도<sup>24)</sup>와 도플러 혈류 연구<sup>25,26)</sup>들에 의해 뒷받침되었지만, 최대 충만 속도를 계산하는 대부분의 도플러 연구에서는 원형이라는 가정을 사용하였다. 셋째로, 다른 연구와 가장 다른 점은 승모판 개구 면적이 고정되어 있는 것이 아니라 연속적으로 변화하며 승모판 혈류량 곡선이 같은 시점의 승모판 혈류 속도와 승모판 개구 면적을 곱하여 구해졌다는 것이다. Fisher등<sup>27)</sup>도 역시 승모판 개구 면적의 확장이 중 변동을 고려했으나 단지 확장기 승모판 개구 면적을 평균하기 위해 M형 심초음파도의 승모판 전후엽 운동을 사용하였다. 또 다른 점은 최대 충만 속도를 표준화하는 방법에 있는데 좌심실 확장 말기 용적이 아니라 전체 확장이 충만 용적으로 나누어 구하였다. 최대 충만 속도가 좌심실 확장 말기 용적에 영향을 받는다는 보고<sup>10)</sup>가 있지만, 이 방법이 충만 속도가 좌심실 확장 말기 용적보다 충만 용적에 직접 관련이 있고 심초음파도로 구한

확장 말기 용적이 또 다른 오차의 원인이 될 수 있기 때문에 더 적절한 것으로 보인다.

이 방법의 단점 중의 하나는 승모판 혈류 속도 곡선과 M형 심초음파도의 승모판 전후엽의 운동을 동시에 기록할 수 없다는 것이다. 이런 단점을 극복하기 위해 호기말의 거의 같은 심주기에서 두 사항을 기록하도록 노력하였다. 그러나, 이 방법은 다른 방법보다 간편하고, 반복 시행이 가능하며, 시간적 해상도가 우수하고 한 심박동 단위로 확장기 좌심실의 기능을 평가할 수 있다.

최근에 본 연구의 방법과 유사한 심초음파도 방법으로 심박출량을 구하여 열회석법으로 구한 값과 좋은 상관 관계를 보고한 연구<sup>28)</sup>가 있으나 단지 박출량만을 비교한 것이고, 승모판 혈류량 곡선이나 좌심실 충만 용적 곡선의 지표들을 비교한 것이 아니어서 확장기 좌심실 기능을 평가하는 방법으로서의 유용성에 대해서는 알 수 없었다.

M형, 이면성 및 간헐파형 도플러 심초음파도를 이용하여 재구성한 승모판 혈류량 곡선과 좌심실 충만 용적 곡선으로부터 구한 좌심실의 확장 기능 지표들의 유용성을 평가하기 위해 좌심실 조영술을 사용하였는데, 좌심실 조영술은 가장 표준적인 방법으로 여겨져 왔고, 초당 60화면 속도로 촬영되므로 방사선 핵종 좌심실 조영술보다 심방 수축때 나오는 후기 좌심실 충만 등을 더 잘 나타낼 수 있다고 알려져 있다. 그러나, 좌심실 조영술에서는 좌심실 조영도 바깥쪽 경계선의 정확한 인지가 어렵고 digitizing시 오차가 발생할 수 있다는 문제점이 있다. 또 확장기 좌심실 곡선을 미분하여 승모판 혈류량 곡선을 구하였는데 미분시 약간의 기울기 변화에도 큰 수치의 변화가 올 수 있다는 단점이 있다. 향후 이 문제에 대한 연구가 더 필요한 것으로 생각된다.

전체 확장기 충만 용적의 상관 관계는 상관 계수 0.47로 다른 지표의 상관 관계에 비해 비교적 낮았는데, 심초음파도 방법에서는 승모판륜의 직경의 측정시 오차와 도플러 투사 방향의 일치 여부 등이 문제가 될 수 있고, 좌심실 조영술에서는 비정상적인 심실 운동을 보이는 사람에서 area-length method로 측정된 좌심실 용적의 오차에도 기인할 수 있다. 그러나, 전체 확장기 충만 용적은 확장기 기능에 관계가 없다고 알려져 있고, 확장 기능의 지표인 1/3확장기



충만율<sup>29)</sup>과 1/2확장기 충만율은 좋은 상관 관계를 보였다. 표준 초기 최대 충만 속도는 좌심실 이완을 비교적 잘 반영하는 예민한 지표로 알려져 있는데<sup>3,10,30)</sup>, 상관 관계는 좋았다. 초기와 후기의 최대 충만 속도의 비는 최대 초기 혈류 속도와 최대 후기 혈류 속도를 이용한 것<sup>7,8,18,16,18)</sup>보다 충만 속도의 비이므로 더 좋은 지표로 생각되며 상관 관계도 매우 좋았다.

## 결 론

M형, 이면성 및 간혈과형 도플러 심초음파도를 이용하여 재구성한 승모판 혈류량 곡선과 좌심실 충만 용적 곡선으로부터 구한 좌심실 확장 기능 지표들은 좌심실 조영술에 의한 지표들과 상관 관계가 좋아 좌심실 확장기 기능의 비관혈적 평가에 유용할 것으로 사료된다.

## References

- 1) McLaurin LP, Rolett EL, Grossman W : *Impaired left ventricular relaxation during pacing-induced ischemia*. *Am J Cardiol* 32 : 751-57, 1973
- 2) Bourdillon PD, Lorell BH, Mirsky I, Paulus WJ, Wynne J, Grossman W : *Increased myocardial stiffness of the left ventricle during pacing induced angina in man*. *Circulation* 67 : 316-22, 1983
- 3) Bonow RO, Bacharach SL, Green MV, Kent KM, Rosing DR, Lipson LC, Leon MB, Epstein SE : *Impaired left ventricular diastolic filling in patients with coronary artery disease and assessment with radionuclide angiography*. *Circulation* 64 : 315, 1981
- 4) Yamagishi T, Ozaki M, Kumada T, Ikezono T, Shimazu T, Furutani Y, Yamaoka H, Ogawa H, Matsuzaki M, Matsuda Y, Arima A, Kusakawa R : *Asynchronous left ventricular diastolic filling in patients with isolated disease of left anterior descending coronary artery : Assessment with radionuclide ventriculography*. *Circulation* 69 : 933, 1984
- 5) Hanrath P, Mathey DG, Siegert R, Bleifeld W : *Left ventricular relaxation and filling patterns in different forms of left ventricular hypertrophy : An echocardiographic study*. *Am J Cardiol* 45 : 15-23, 1980
- 6) Rokey R, Zoghbi WA, Limacher MC, Quinones MA : *Determination of parameters of left ventricular diastolic filling with cineangiography*. *Circulation* 71 : 543-50, 1985
- 7) Dabestani A, Johnston WD, Tobis JM, Gardin JM, Allie A, Burn C, Henry WL : *Relation between Doppler transmitral diastolic flow and left ventricular filling(abstr)*. *J Am Coll Cardiol* 3 : 612, 1984
- 8) Spirito P, Maron BJ, Bonow RO : *Noninvasive assessment of left ventricular diastolic function : comparative analysis of Doppler echocardiographic and radionuclide angiographic techniques*. *J Am Coll Cardiol* 7 : 518-26, 1986
- 9) Friedman BJ, Drinkovic N, Miles H, Shin WJ, Mazoleni A, DeMaria AN : *Assessment of left ventricular diastolic function : comparison of Doppler echocardiography and blood pool scintigraphy*. *J Am Coll Cardiol* 8 : 1348-54, 1986
- 10) Hammermeister KE, Warbasse JR : *The rate of change of left ventricular volume in man. II. Diastolic events in health and disease*. *Circulation* 49 : 739-47, 1974
- 11) Sandler H, Dodge HT : *The use of single plane angiograms for the calculation of left ventricular volume in man*. *Am Heart J* 75 : 325-34, 1968
- 12) Gidding SS, Snider AR, Rocchini AP, Peters J, Fransworth R : *Left ventricular diastolic filling in children with hypertrophic cardiomyopathy : Assessment with pulsed Doppler echocardiography*. *J Am Coll Cardiol* 8 : 310-6, 1986
- 13) Takenaka K, Dabestani A, Gardin JM, Russell D, Clark S, Allie A, Walter LH : *Left ventricular filling in hypertrophic cardiomyopathy : a pulsed Doppler echocardiographic study* : *J Am Coll Cardiol* 7 : 1263-71, 1986
- 14) Takenaka K, Dabestani A, Gardin JM, Russell D, Clark S, Allie A, Henry WL : *Pulsed Doppler echocardiographic study of ventricular filling in dilated cardiomyopathy*. *Am J Cardiol* 58 : 143, 1986

- 15) Gardin JM, Drayer JI, Rohan MK, Sklansky M, Garcia R, Knull M, Henry WL : *Doppler evaluation of left ventricular filling in mild and severe hypertension*(abstr). *J Am Coll Cardiol* 7 : 185A, 1986
- 16) Rosoff M, Funai J, Wang SS, Pandian N : *Left ventricular diastolic filling dynamics in acute myocardial infarction : Immediate effects of ischemia, time course in first 6 hours and relation to infarct size*(abstr). *J Am Coll Cardiol* 7 : 227A, 1986
- 17) Kitabatake A, Inoue M, Asao M, Tanouchi J, 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* 46 : 92, 1982
- 18) Fujii J, Yazaki Y, Sawada H, Aizawa T, Watanabe T, Kato K : *Noninvasive assessment of left and right ventricular filling in myocardial infarction with 2-dimensional Doppler echocardiographic method*. *J Am Coll Cardiol* 5 : 1155-60, 1985
- 19) Wind BE, Snider AR, Buda AJ, O'Neill WW, Topol EJ, Dilworth LR : *Pulsed Doppler assessment of left ventricular diastolic filling in coronary artery disease before and immediately after coronary angioplasty*. *Am J Cardiol* 59 : 1041-6, 1987
- 20) Takenaka K, Dabestani A, Waffarn F, Gardin JM, Henry WL : *Effect of left ventricular size on early diastolic left ventricular filling in neonates and in adults*. *Am J Cardiol* 59 : 138-41, 1987
- 21) Stewart WJ, Jiang L, Mich R, Pandian M, Guerrero JL, Weyman AE : *Variable effects of changes in flow rate through the aortic, pulmonary and mitral valves on valve area and flow velocity : Impact on quantitative Doppler flow calculations*. *J Am Coll Cardiol* 6 : 653-62, 1985
- 22) Yellin EL, Peskin C, Yoran C, Koenigsberg M, Matsumoto M, Laniado S, McQueen D, Shore D, Frater RWM : *Mechanisms of mitral valve motion during diastole*. *Am J Physiol* 241 : H389-400, 1981
- 23) Rusted IE, Scheifley CH, Edwards JE : *Studies of the mitral valve. I. Anatomic features of the normal mitral valve and associated structures*. *Circulation* 6 : 825-31, 1952
- 24) Ormiston JA, Shah PM, Tei C, Wong M : *Size and motion of mitral valve annulus in man. I. A two dimensional echocardiographic method and findings in normal subjects*. *Circulation* 64 : 113-20, 1981
- 25) Goldberg SJ, Dickinson DF, Wilson N : *Evaluation of an elliptical area technique for calculating mitral blood flow by Doppler echocardiography*. *Br Heart J* 54 : 68-75, 1985
- 26) Ascah KJ, Stewart WJ, Triulzi MO, Gillam LD, Weyman AE : *Comparison of Doppler echocardiographic methods for calculating trans-mitral blood flow in a canine model*(abstr). *J Am Coll Cardiol* 7 : 60A, 1986
- 27) Fisher DC, Sahn DJ, Friedman MJ, Larson D, Valdes-Cruz LM, Horowitz S, Golderg SJ, Allen HD : *The mitral orifice method for noninvasive two-dimensional echo Doppler determinations of cardiac output*. *Circulation* 67 : 872-7, 1983
- 28) Dominique de zutere, MD, Thierry Touche, MD, Georges Saumon, MD, Alain Nitenberg, MD, Richard Prasquier, MD : *Doppler Echocardiographic Measurement of Mitral Flow Volume : Validation of a New Method in Adult Patients*. *J Am Coll Cardiol* 11 : 343-50, 1988
- 29) Inouye I, Massie B, Loge D, Topic N, Silverstein D, Simpson P, Tubau J : *Abnormal left ventricular filling : An early finding in mild to moderate systemic hypertension*. *Am J Cardiol* 53 : 120, 1984
- 30) Fioretti P, Brower RW, Meester GT, Serruys PW : *Interaction of left ventricular relaxation and filling during early diastole in human subjects*. *Am J Cardiol* 46 : 197-203, 1980