

판막폐쇄부전증에서 확장기 초기의 좌심실 Elastance 변화율(d-E)에 관한 연구

서울대학교 의과대학 내과학교실

박 종 훈 · 이 영 우

=Abstract=

Assessment of Early Diastolic Left Ventricular Relaxation in Patients with Valvular Regurgitation(with Reference to Incremental Delta Elastance)

Chong Hun Park, M.D. and Young Woo Lee, M.D.

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

Early diastolic left ventricular relaxation was determined in 20 patients by combined echo-pressure measurement. 7 normal control cases and 13 cases with valvular regurgitation were studied with reference to incremental delta elastance. The hemodynamic and echocardiographic data were analysed during the phase of decreasing left ventricular elastance(that is, when pressure is decreasing while volume is increasing). Starting from a fixed level of wall stress (40 kdyne/cm^2), we determined Incremental Delta Elastance(ratio $\Delta p/\Delta v$) by a constant increase in LV volume(eg. 10 ml/M^2 or 20 ml/M^2). We named Incremental Delta Elastance at 10 ml/M^2 and 20 ml/M^2 of LV volume increase as d-E 10 and d-E 20 respectively.

In valvular regurgitation, incremental delta elastances were statistically different from those of normal subjects($p < 0.01$). d-E10 was -1.67 ± 0.69 (versus -3.38 ± 1.75 in normal subjects) mmHgM^2/ml and d-E 20 was -0.98 ± 0.39 (versus -1.69 ± 0.84 in normal subjects) mmHgM^2/ml .

d-E 10 and d-E 20 were compared with ejection phase indices(ejection fraction, meanV_{ef}) in whole group($n=20$).

There was significant correlation between d-E and ejection fraction(d-E 10 : $r = -0.47$, d-E 20 : $r = -0.50$) $p < 0.05$.

There was significant correlation between d-E and meanV_{ef} (d-E10: $r = 0.53$, d-E 20 : $r = -0.57$) $p < 0.05$. d-E 10 and d-E 20 were compared with volume indices(end-diastolic volume index and end-systolic volume index) but no significant correlation was found.

Because we evaluated that inotropic state or afterload would influence incremental delta elastance, further study, especially with reference to endsystolic volume index may be needed.

The absolute values between d-E 10 and d-E 20 were different but they were similar in property.

We concluded that incremental delta elastance(d-E 10 or d-E 20) could be used as a useful index of early diastolic relaxation in chronic valvular regurgitation.

* 本論文은 1984년도 서울대학교병원 임상연구비의 일부 보조로 이루어진 것임.

서 론

허혈성 심장질환이나 특히 심근병증에서 좌심실 이완에 이상이 있음은 널리 알려져 있으며 이러한 이완 작용의 이상은 좌심실부전의 한 원인으로 지적되고 있다. 일반적으로 확장기 기능의 평가를 위하여 등용이완기 시간지수(isovolumic time index)나 급속충만기(rapid filling period)의 좌심실용적 변화를 또는 좌심실내경 변화를 혹은 급속충만기 이후의 스트레스—strain 관계 등이 이용되고 있다¹⁻¹¹⁾.

그러나 만성판막폐쇄부전증 환자에서는 등용이완기를 설정하기가 어렵고 충만속도의 범위가 크기때문에 일반적인 좌심실 이완기능지수들을 이용하여 좌심실이완을 평가하기에는 제한이 많다.

Rousseau 등¹²⁾은 확장기초기에서 용적이 일정량 변화하였을 때 압력변화를 측정하고 용적변화에 대한 압력의 변화를 비로 나타내어 Elastance 변화율(incremental delta elastance)이라 정의하고 Elastance 변화율을 확장기 이완능의 지수로 평가하여 보고한 바 있다.

이에 저자들은 좌심실 압력과 심에코도의 동시 기록을 이용한 압력—용적—stress 곡선을 구하고 확장기 초기에서 이들의 관계를 분석하여 만성판막폐쇄부전증 환자들에서 Elastance 변화율을 살펴 보았다. 또한 확장기초기의 Elastance 변화율과 수축기 기능과의 관계를 알아보기 위하여 구혈기 기능지수들인 구혈지수(Ejection fraction)와 circumferential fiber shortening의 평균속도(mean velocity of circumferential fiber shortening: $\text{mean } V_{cf}$)를 구하고 용적지수들인 수축기말 용적지수(end systolic volume index)와 확장기말 용적지수(end diastolic volume index)를 구하여 이들과 Elastance 변화율과의 상관관계를 살펴 보았다.

연구대상 및 방법

대 상

연구대상은 1983년 3월부터 1984년 2월까지 서울대학교병원 내과에 입원하여 심도자검사 및 제반검사를 받은 환자들로 전체 예수는 20예이었고 이들을 2군으로 분류하였다. 제 1군은 Q_p/Q_s (폐순환 혈류량/대순환 혈류량)비가 1.5이하인 심실중격손 환자 5예 및 판상동맥 조영촬영상 특별한 이상이 없었던 흉부통증을 호소하였던 환자 2예, 즉 7예로써 대조군으로 삼았고 제 2군은 승모판폐쇄부전증 환자 6예와 승모판폐쇄부전 및

Table 1. Disease, Age & Sex Distribution

Age	Group I		Group II	
	VSD	chest pain s CAD	MR	MR+AR
20~29	2	—	2	5
30~39	2	1	2	2
40~49	1	—	2	—
50~59	—	1	—	—
Total	5	2	6	7

Group I : Male 4 cases & Female 3 cases

Group II : Male 6 cases & Female 7 cases

VSD: Ventricular septal defect($Q_p/Q_s < 1.5$)

CAD: Coronary artery disease

MR: Mitral regurgitation

AR: Aortic regurgitation

대동맥판막폐쇄부전증 환자 7예로써 합이 13예이었다.

판막폐쇄부전증 환자들은 모두 류마치스성 만성판막질환 환자들로서 승모판협착증이나 대동맥판협착증이 심하다고 생각되는 환자들은 제외하였다. 또한 판막폐쇄부전증 환자(제 2군)들은 모두 NYHA functional class III인 환자들이었다. 대상환자의 연령 및 성별분포는 Table 1과 같다.

방 법

대상환자들을 하룻밤 절식시킨후 valium 10 mg 과 Demerol 50 mg 으로 전처치하고 심도자술 및 심에코도를 동시에 시행하였다. 좌심실의 압력은 6.3 F 또는 7.3 F pig-tailed catheter 를 통하여 측정하였으며 이때 동시에 심전도 및 M mode 좌심실 echo 도를 E for M 社 DR-12 photographic recorder 를 사용하여 paper speed 100 mm/sec 로 기록하였다. 이를 기록한 후 대동맥 압력을 측정하였다.

좌심실압력곡선과 좌심실심에코도의 심실중격, 좌심실후벽 endocardium 및 epicardium 을 HIPAD™ digitizer 를 사용하여 2.5 msec 간격으로 digitize 하고 Dec 사 컴퓨터 PDP 11/03 Minc II 에 입력하였다.

확장기말은 심전도상 R파를 기준으로 하였고, 수축기말은 압력/용적비가 최고되는 점, 구혈기시작점은 용적감소가 시작되는 점을 기준으로 함을 원칙으로 하였고 대동맥 압력곡선의 Dicrotic notch 와 대동맥압력곡선의 최저점을 참고 하였다.

용적은 좌심실의 내경을 이용한 Teichholz 의 공식에 의하여 구하였다. Stress 는 $\sigma = 0.334p(LVID/h(1+$

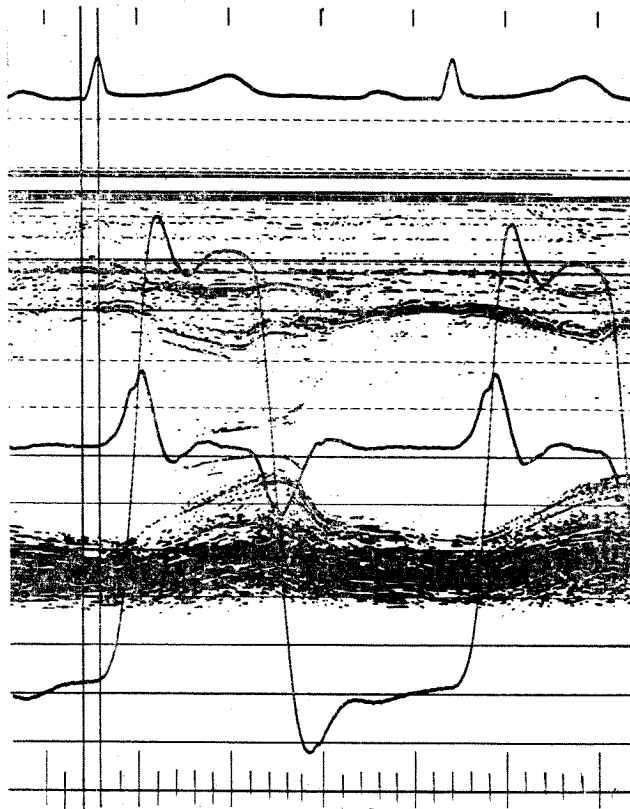


Fig. 1. Simultaneous tracing of left ventricular pressure and echocardiography.

$h/LVID$)의 공식¹³⁾에 의하여 구하였다.

(σ : stress, p : pressure, h : thickness of left ventricular posterior wall, $LVID$: left ventricular internal dimension) Elastance 변화율의 측정은 수축기말 이후 심실의 elastance가 감소할때 즉 좌심실압력은 감소하거나 일정하게 유지되면서 좌심실용적은 증가하고 있을 때에서 stress가 40 kdyne/cm²되는 점을 기준으로 설정하고, 용적이 일정량 증가할때 압력의 변화를 측정하여 $\Delta p/\Delta v$ (압력의 변화량/용적의 변화량) 비를 Elastance 변화율(delta elastance)로 하였다. 이때 용적의 증가량을 10 ml/M²와 20 ml/M²로 각 환자에서 일정하게 설정하였으며 용적증가량이 10 ml/M²일 때 Elastance 변화율을 d-E 10(delta elastance 10)이라 하고, 20 ml/M²일 때 Elastance 변화율을 d-E 20(delta elastance 20)이라 칭하였다(Fig. 2).

구혈지수(ejection fraction), mean V_{cf} (mean velocity of circumferential fiber shortening), 수축기말 용적지수, 확장기말용적지수는 다음과 같이 구하였다.

구혈율=(확장기말좌심실용적-수축기말좌심실용

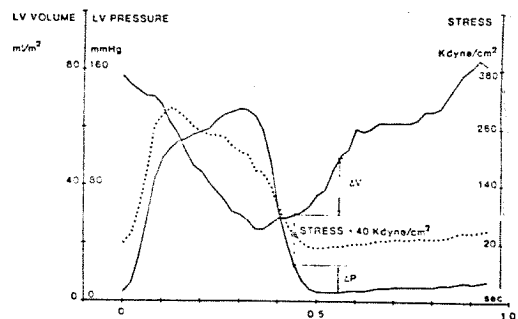


Fig. 2. Method used to assess the delta elastance ($\Delta p/\Delta v$) in early diastole. LV pressure, volume and wall stress are plotted against time. Starting from a fixed level of wall stress(40 kdyne/cm²), the changes in LV pressure(Δp) is determined by a constant increase in LV volume(Δv : eg 10 ml/M² or 20 ml/M²). d-E 10 is delta elastance at 10 ml/M² increase in LV volume and d-E 20 is delta elastance at 20ml/M² increase in LV volume.

적)/확장기말좌심실용적.

$\text{mean}V_{cf} = (\text{확장기말좌심실내경} - \text{수축기말좌심실}$

$\text{내경}) / \text{확장기말좌심실내경} \times \text{구혈시간}.$

수축기말용적지수 = 수축기말용적 / 체표면적.

확장기말용적지수 = 확장기말용적 / 체표면적.

관찰성적

제 1 군 및 제 2 군에서의 Elastance 변화율(delta elastance: d-E), 구혈율(ejection fraction: EF), circumferential fiber shortening 의 평균속도(mean V_{cf}), 수축기말용적지수(endsystolic volume index: ESVI) 및

확장기말용적지수(enddiastolic volume index: EDVI)의 평균 및 표준편차는 Table 2 와 같다.

판막폐쇄부전증 환자들인 제 2 군에서의 Elastance 변화율(d-E)은 용적변화량이 10 ml/M²일때 즉 d-E 10 이 $-1.76 \pm 0.69 \text{ mmHg} \cdot \text{M}^2/\text{ml}$ (제 1 군 : $-3.38 \pm 1.75 \text{ mmHg} \cdot \text{M}^2/\text{ml}$)로 제 1 군과 유의한 차이를 보였으며, 20 ml/M²의 용적변화시 즉 d-E 20 은 $-0.98 \pm 0.39 \text{ mmHg} \cdot \text{M}^2/\text{ml}$ (제 1 군 : $-1.69 \pm 0.84 \text{ mmHg} \cdot \text{M}^2/\text{ml}$)로 제 1 군과 유의한 차이를 보였다(각각 $p < 0.01$) (Fig. 3).

수축력을 나타내는 지수들은 제 2 군에서 구혈율(EF)은 $49.4 \pm 14.85\%$ (제 1 군 : $66.6 \pm 6.3\%$), mean V_{cf} 는

Table 2. Measurement of Delta Elastance and LV Functional Indices

	d-E 10 (mmHg·M ² /ml)	d-E 20 (mmHg·M ² /ml)	EF (%)	mean V_{cf} (sec ⁻¹)	ESVI (ml/M ²)	EDVI (ml/M ²)
Group I Normal subjects (n=7)	-3.38 ± 1.75	-1.69 ± 0.84	66.6 ± 6.3	1.15 ± 0.17	31.5 ± 11.9	94.1 ± 27.1
Group II Valvular regurgitation (n=13)	$-1.76 \pm 0.69^{**}$	$-0.98 \pm 0.39^{**}$	$49.4 \pm 14.9^{**}$	$0.81 \pm 0.29^{**}$	$74.7 \pm 45.1^*$	$145.2 \pm 51.8^*$

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

d-E 10=delta elastance at volume change 10 ml/M²; d-E 20=delta elastance at volume change 20 ml/M²; EF=ejection fraction; mean V_{cf} =mean velocity of circumferential fiber shortening; ESVI=endsystolic volume index; EDVI=enddiastolic volume index.

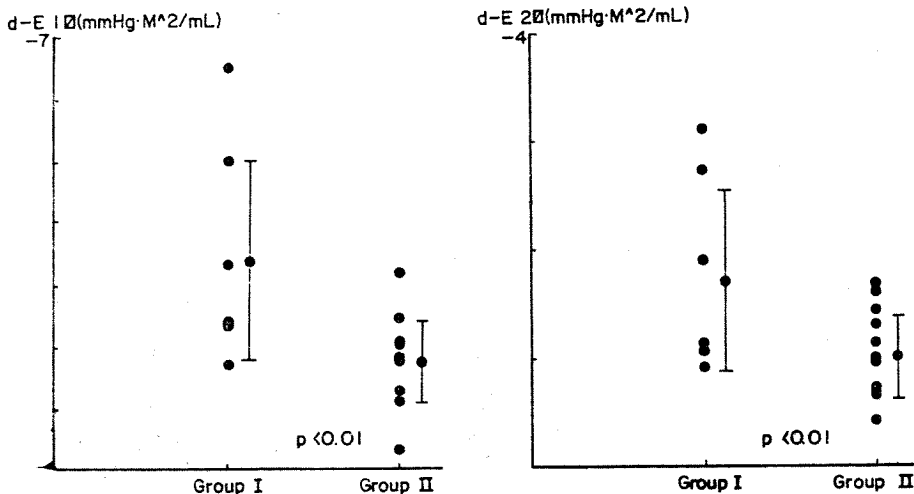


Fig. 3. Individual values of delta elastance d-E 10 and d-E 20.

d-E 10: delta elastance at 10 ml/M² of LV volume change

d-E 20: delta elastance at 20 ml/M² of LV volume change

Group I : normal control group

Group II : patients with valvular regurgitation

$0.81 \pm 0.29 \text{ sec}^{-1}$ (제 1 군 : $1.15 \pm 0.17 \text{ sec}^{-1}$)로 감소되어 있었다(각각 $p < 0.01$).

용적지수들은 제 2군에서 수축기말용적지수(ESVI)는 $74.7 \pm 45.1 \text{ ml/M}^2$ (제 1 군 : $31.5 \pm 11.9 \text{ ml/M}^2$)로

확장기말용적지수(EDVI)는 $145.2 \pm 51.8 \text{ ml/M}^2$ (제 1 군 : $94.1 \pm 27.1 \text{ ml/M}^2$)로 증가되어 있었다(각각 $p < 0.05$).

전체대상 20예에서의 Elastance 변화율(d-E)과 구혈

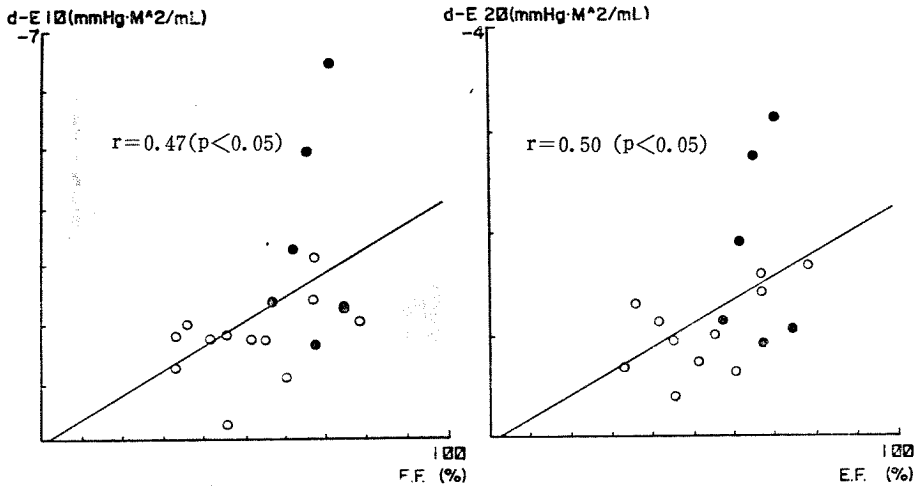


Fig. 4. Correlation between delta elastance and mean velocity of circumferential fiber shortening.

d-E 10: delta elastance at 10 ml/M² of LV volume change

d-E 20: delta elastance at 20 ml/M² of LV volume change

mean V_{cf}: mean velocity of circumferential fiber shortening.

○: Patient with valvular regurgitation

●: Normal control subject

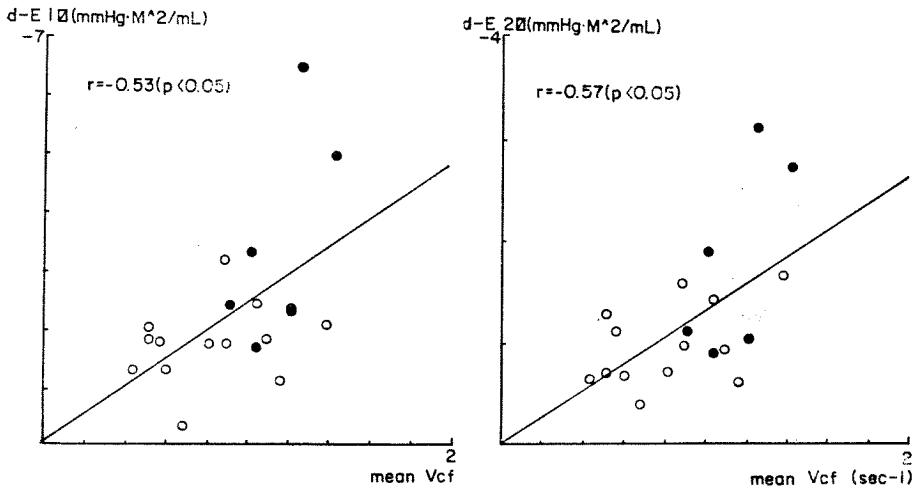


Fig. 5. Correlation between delta elastance and ejection fraction.

d-E 10: delta elastance at 10 ml/M² of LV volume change

d-E 20: delta elastance at 20 ml/M² of LV volume change

E.F.: ejection fraction

○: Patient with valvular regurgitation

●: Normal control subject

기 지수들인 구혈율(EF), meanV_{cf} 와의 상관관계를 살펴 보았다. 용적변화량 10 ml/M²時 Elastance 변화율(d-E 10)과 구혈율(EF)은 상관계수 -0.47로 유의한 상관관계($p < 0.05$)를 나타내었고 회귀방정식은 $Y(d-E 10) = -0.04 \times (EF) + 0.072$ 이었다(Fig. 4). 용적변화량 20 ml/M²時 Elastance 변화율(d-E 20)과 구혈율(EF)은 상관계수 -0.50으로 유의한 상관관계($p < 0.05$)를 나타내었고 회귀방정식은 $Y(d-E 20) = -0.023 \times (EF) + 0.057$ 이었다(Fig. 4). 용적변화량 10 ml/M²時 Elastance 변화율(d-E 10)과 meanV_{cf} 는 상관계수 -0.53으로 유의한 상관관계($p < 0.05$)를 나타내었고 회귀방정식은 $Y(d-E 10) = -2.44 \times (\text{meanV}_{\text{cf}}) - 0.057$ 이었다(Fig. 5). 용적변화량 20 ml/M²時 Elastance 변화율(d-E 20)과 meanV_{cf} 는 상관계수 -0.57, 회귀방정식 $Y(d-E 20) = -1.32 \times (\text{meanV}_{\text{cf}}) + 0.001$ 로 유의한 상관관계($p < 0.05$)를 나타내었다(Fig. 5). d-E 10과 d-E 20은 절대값은 다르지만 구혈율이나 meanV_{cf} 와의 상관관계는 서로 유사하였다.

전체대상 20例에서 Elastance 변화율(d-E 10, d-E 20)과 수축기말용적지수 및 확장기말용적지수와의 상관관계를 살펴보았다. d-E 10과 수축기말용적지수와의 상관계수는 0.34이었고 확장기말용적지수와의 상관계수는 0.23으로 유의한 상관관계를 찾을 수 없었다(각각 $p > 0.05$). 또한 d-E 20과 용적지수들간의 상관관계도 유의하지 않았다.

고 안

일반적으로 사용되는 좌심실확장기지수들은 판막폐쇄부전증이 있는 경우 등용이완기가 거의 없음으로 인하여 이용되기 어렵다. 판막폐쇄부전증의 경우 $-dp/dt$ 의 최고값⁷⁾이나 등용이완기 시간상수등은 tension의 감소율을 반영하기보다는 폐쇄부전 즉 역류의 정도와 심근이완과의 상호관계에 의하여 영향을 받는다^{4~7, 10)}. 최고충혈율(peak filling rate)이나 충혈율(filling fraction)이 확장기기능지수로 사용되고 있다^{9, 11, 14)}. 그러나 이들 지수들은 용적과부하가 있는 만성판막폐쇄부전증의 경우 개개인의 차이가 크고 역류량에 의하여 큰 영향을 받기 때문에 이완기능을 표현하기 위해 사용하기에는 부적합하다. stress-strain 관계로써 판막폐쇄부전증이 있는 경우에도 확장기기능을 평가하기도 하나^{15, 16)} 안정된 stress-strain 관계를 얻기 위한 혈액역학적 조작이나 반복해서 임상에서 시행한다는 것은 용이한 일이 아니다. 이에 저자들은 심도자검사시 동시에 쉽게

시행할 수 있는 심도코드를 이용하여 압력—용적—stress 정보를 얻고 이를 확장기초기를 중심으로 분석하여 Elastance 변화율을 측정하였다. 이때 확장기 초기에는 능동적이완기와 급속충혈기(rapid filling period)가 포함되며 Elastance 변화율은 용적변화에 따른 압력변화로써 심실의 stiffness를 표현할 수 있다고 생각하였다.

Elastance 변화율의 측정시 환자에 따라 확장기 시작점에는 많은 차이가 있기 때문에 확장기 초기의 일정 시점을 설정하여 이를 기준으로 하는 것이 필요하다. 정상뿐만 아니라 용적과부하가 있는 판막질환에서도 비교적 일정한 residual wall tension이 존재한다고 보고되고 있다¹²⁾. 이점을 Rousseau 등¹²⁾은 stress가 40 kdyne/cm²인 점으로 경험적으로 설정하였다. 저자들도 여러가지 stress 값을 기준으로 삼아 Elastance 변화율을 구하여 보았는데, stress가 30 kdyne/cm²인 점이나 그이하를 기준으로하여 값을 구하면 용적이 10 ml/M²만 변하여도 Elastance가 증가하는 기간이 포함되기도 하였다. 환자간에 서로 비교하는 지수로 사용되기 위하여 Elastance가 감소하는(즉 압력이 감소하면서 용적이 증가하는) 기간을 중심으로 Elastance 변화율을 측정하기로 하였기 때문에 본 연구에서도 stress가 40 kdyne/cm²인 점을 기준으로 하였다.

Elastance 변화율을 나타내기 위하여 압력/용적비의 1차 미분계수를 사용할 수도 있으나 이때에는 미분되는 시점에서의 좌심실 모양에 따라 크게 영향을 받을 수 있고 특히 용적과부하가 심하여 좌심실 모양이 변형되면 시간에 따른 큰 영향을 받을 수 있을 것으로 생각되어 적어도 용적변화를 10 ml/M²이상으로 하였다.

좌심실조영촬영을 이용한 용적곡선의 경우 1초에 60 frame으로 촬영하게 되면 정보수집 간격은 16.7 msec가 되어 한 frame의 용적차이가 10 ml/M²를 넘는 경우도 있게 되나 심도코드를 이용할 경우 비교적 연속적인 용적곡선을 얻을 수 있는 장점이 있다. 이에 10 ml/M²의 용적변화시와 20 ml/M²의 용적변화시 Elastance 변화율을 구하여 어느 한순간의 좌심실형태에 따른 영향을 방지하고자 하였다. 그러나 용적변화량 10 ml/M²와 20 ml/M²때의 Elastance 변화율은 절대값의 차이는 물론 있었지만 서로 밀접한 상관관계를 나타내어 즉 d-E 10과 d-E 20은 다른 지수와의 상관관계에서도 비슷한 양상을 나타내어 어느 것을 선택하여도 무방하리라고 생각되었다.

좌심실의 확장기 특성은 수동적 Elasticity²⁴⁾, 능동적 이완과정(active relaxation process)^{8~10, 17, 18)}, 접

성도(viscous property)^{15,16,19,20)} 그리고 복원력(restoring force)¹²⁾에 의하여 정해진다. 수동적 Elasticity는 stress-strain 관계에서, 기본길이에 대한 길이 변화율(strain)에 의하여 정해지는, elastic stiffness로 표시되며 확장기 중기이후의 완만한 충혈시 중요한 의미를 갖는다. 이에 반하여 점성도는 strain의 변화율(내경의 속도)에 의하여 규정지어지는 요인으로 충혈율이 빠른 이완기 초기에 중요한 의미를 갖는다^{15,16,19,20)}.

본 연구에서는 Elastance의 감소시 Elastance의 변화율을 측정하였으므로 수동적 Elasticity는 큰 문제가 되지 않는다 할 수 있다. 따라서 Elastance 변화율에 주영향을 미치는 인자들은 능동적이완과정, 점성도, 복원력등이다.

능동적 이완과정에는 여러가지 의견이 있으나 inotropic state와 심근의 이완과정이 밀접한 관계를 가지고 있음은 일반적으로 인정되고 있다^{5,21~23)}. 또한 이완과정은 후부하의 영향을 받는다^{6,7,10,11)}. Elastance 변화율과 구혈기 지수들인 구혈율 또는 mean V_{cf} 와의 상관관계가 유의함은 위의 사실과 일치한다. 그러나 Elastance 변화율과 수축기말용적지수와와의 상관관계가 유의하게 나타나지 않은 점은 추후에 많은 예에서의 검토가 필요하리라고 생각된다.

점성도는 심실 용적의 변화율이 클수록 증가하고 심근의 길이가 길어질수록 증가한다²⁰⁾. 확장기 초기의 충혈속도와 Elastance 변화율과의 직접적인 상관관계는 살펴보지 못하였지만 Elastance 변화율의 정의에 용적의 변화량이 분모로써 있음은 만성판막폐쇄부전증에서의 충혈속도의 변화는 점성도에 영향을 미치고 점성도의 변화는 Elastance 변화율에 영향을 미쳤을 것으로 생각되었다. 또한 수축기말용적과 Elastance 변화율과의 유의한 상관관계를 볼 수는 없었지만 판막폐쇄부전증에서 수축기말내경의 증가는 이완기 점성도의 증가를 가져올 수 있는 한 요인으로 생각되었다.

심근의 어떠한 구조변화에 의해 좌심실 확장기 특성이 변하는가 하는 점에는 심근량의 증가 또는 간질조직의 변화등이 영향을 미칠 것으로 생각되고 있다²⁰⁾. 심실의 stiffness는 심근의 stiffness, 좌심실벽의 비후, 심실용적, 심낭의 영향등 여러가지 요인에 의하여 정해진다²⁵⁾.

이러한 심근의 inotropic state와 부하에 따른 능동적 이완과정의 변화, 충혈속도와 용적변화에 따른 점성도의 변화, 그리고 심근의 구조 및 심실의 형태 변화에 의한 복원력의 변화등이 Elastance 변화율에 복합적으로 영향을 미치고 있다고 생각되었다. 앞으로

Elastance 변화율과 능동적이완과정, 점성도, 복원력의 관계를 분석적으로 구명하는 것이 더 필요하리라 생각된다.

결 론

만성 판막폐쇄부전증 환자에서 좌심실의 확장기 초기 이완능을 평가하기 위하여 Elastance 변화율을 용적변화량 10 ml/M² 및 20 ml/M²에서 구하여 이를 각각 d-E 10 및 d-E 20이라 칭하고 구혈기 지수들인 구혈율(EF) 및 mean V_{cf} 와 용적지수들인 수축기말용적지수(ESVI), 확장기말용적지수(EDVI)를 구하여 이들의 관계를 살펴 보았다.

만성 판막폐쇄부전증 환자에서(13예) d-E 10 및 d-E 20은 각각 -1.67 ± 0.69 mmHgM²/ml 및 -0.93 ± 0.39 mmHgM²/ml로, 정상대조군(7예)의 -3.38 ± 1.75 및 -1.69 ± 0.84 mmHgM²/ml에 비하여 유의하게 감소되어 있었다($p < 0.01$).

전체 20예에서 d-E10과 d-E20은 구혈율과 각각 상관계수 -0.47 및 -0.50 의 유의한 상관관계를 나타내었고(각각 $p < 0.05$), mean V_{cf} 와도 각각 상관계수 -0.53 및 0.57 의 유의한 상관관계를 나타내었다(각각 $p < 0.05$).

따라서 압력측정과 동시에 비교적 쉽게 기록할 수 있는 심에코도를 이용하여 측정한 d-E10 및 d-E20은 수축력과 부하의 영향을 반영하는 확장기 지수로 평가되었고 보편적인 확장기 기능 지수가 없는 판막 폐쇄부전증에서 확장기 초기의 이완기능 평가에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각되었다.

REFERENCES

- 1) Bonow, R.O., Rosing, D.R., Bacharach, S.L., et al.: *Effects of verapamil on left ventricular systolic function and diastolic filling in patients with hypertrophic cardiomyopathy. Circulation*, 64:787, 1981.
- 2) Strauer, B.E.: *Force-velocity relations of isotonic relaxation in mammalian heart muscle. Am. J. Physiol.*, 224:431, 1973.
- 3) Frederiksen, J.W., Weiss, J.L. and Weisfeldt, M.L.: *Time constant of isovolumic pressure fall: determinants in the working left ventricle. Am. J. Physiol.*, 235:H701, 1978.

- 4) Rousseau, M.F., Veriter, C., Detry, J.M.R., Brasseur, L.A. and Pouleur, H.: *Impaired early left ventricular relaxation in coronary artery disease: effects of intracoronary nifedipine. Circulation, 62:764, 1980.*
- 5) Rousseau, M.F., Pouleur, H., Detry, J.M.R. and Brasseur, L.A.: *Relationship between changes in left ventricular inotropic state and relaxation in normal subjects and in patients with coronary artery disease. Circulation, 64:736, 1981.*
- 6) Hirota, Y.: *A clinical study of left ventricular relaxation. Circulation, 62:756, 1980.*
- 7) Papapietro, S.E., Coghlan, H.C., Zissermann, D., Russell, R.O., Rackley, C.E. and Rogers, W.J.: *Impaired maximal rate of left ventricular relaxation in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction. Circulation, 59:984, 1979.*
- 8) Lorell, B.H., Paulus, W., Grossman, W., Fulton, M.A., Wynne, J. and Cohn, P.F.: *Improved diastolic compliance in hypertrophic cardiomyopathy treated with nifedipine(abstr.). Circulation, 62: Suppl. II:11, 1980.*
- 9) Hanrath, P., Mathy, D.G., Siegert, R. and Bleifeld, W.: *Left ventricular relaxation and filling pattern in different forms of left ventricular hypertrophy: an echo-cardiographic study. Am. J., Cardiol. 45:15, 1980.*
- 10) Mann, T., Goldberg, S., Mudge, G.H. and Grossman, W.: *Factors contributing to altered left ventricular diastolic properties during angina pectoris. Circulation, 59:14, 1979.*
- 11) Reduto, L.A., Wickmeyer, W.J., Young, J.B., et al.: *Left ventricular diastolic performance at rest and during exercise in patients with coronary artery disease. Assessment with first-pass radionuclide angiography. Circulation, 63: 1228, 1981.*
- 12) Rousseau, M.F., Pouleur, H., Charlier, A.A. and Brasseur, L.A.: *Assessment of left ventricular relaxation in patients with valvular regurgitation. Am. J. Cardiol., 50:1028, 1982.*
- 13) Grossman, W., Jones, D. and McLaurin, L.P.: *Wall stress and patterns of hypertrophy in human left ventricle. J. Clin. Invest., 56:14, 1975.*
- 14) Bonow, R.O., Bacharach, S.L., Green, M.V., et al.: *Impaired left ventricular diastolic filling in patients with coronary artery disease: assessment with radionuclide cineangiography. Circulation, 64:315, 1981.*
- 15) Rankin, J.S., Arentzen, C.E., McHale, P.A., Ling, D. and Anderson, R.W.: *Viscoelastic properties of the diastolic left ventricle in the conscious dog. Circ. Res., 41:37, 1977.*
- 16) Pouleur, H., Karliner, J.S., LeWinter, M.M. and Covell, J.W.: *Diastolic viscous properties of the intact canine left ventricle. Circ. Res., 45:410, 1979.*
- 17) Sharma, B. and Goodwin, J.F.: *Beneficial effect of salbutamol in cardiac function in severe congestive cardiomyopathy: effect on systolic and diastolic function of the left ventricle. Circulation, 58:449, 1978.*
- 18) Grossman, W. and Barry, W.H.: *Diastolic pressure-volume relations in the diseased heart. Fed. Proc., 39:148, 1980.*
- 19) Noble, M.I.M.: *The diastolic viscous properties of cat papillary muscle. Circ. Res., 40:228, 1977.*
- 20) Hess, O.M., Schneider, J., Koch, R., Bamert, C., Grimm, J. and Krayenbuehl, H.P.: *Diastolic function and myocardial structure in patients with myocardial hypertrophy. Special reference to normalized viscoelastic data. Circulation, 63:360, 1981.*
- 21) Parmley, W.W. and Sonnenblick, E.H.: *Relation between mechanics of contraction and relaxation in mammalian cardiac muscles. Am. J. Physiol., 216:1084, 1969.*
- 22) Brutsaert, D.L., Housmans, P.R. and Goethals, M.A.: *Dual control of relaxation. Its role in the ventricular function in the mammalian heart. Circ. Res., 47:637, 1980.*
- 23) Pouleur, H., Lefevre, J., Van Mechelen, H. and Charlier, A.A.: *Free wall shortening and relaxation during ejection in the canine right*

ventricle. *Am. J. Physiol.*, 8:H601, 1980.

- 24) Mirsky, I.: *Elastic properties of the myocardium: a quantitative approach with physiological and clinical applications*. In: *The Cardiovascular System. Vol. 1. The Heart*. Berne R.M., Sperelakis N., eds. *Handbook of Physiology*. Am. Physiol. Society. Baltimore: Williams

& Wilkins, 497-531, 1979, cited from ref. 12.

- 25) Lewinter, M.M. and Pavlec, R.: *Influence of the pericardium on left ventricular enddiastolic pressure-segment relations during early and later stages of experimental chronic volume overload in dogs*. *Cir. Res.*, 50(4):501, 1982.