

## 각종 승모판막 질환에서의 압력 - 용적 면적에 관한 연구

충남대학교 의과대학 내과학교실

윤세진 · 김연길 · 박종훈

= ABSTRACT =

### A Clinical Study of Pressure - Volume Area in the Mitral Valvular Heart Diseases

Sei Jin Youn, M.D., Yun Keel Kim, M.D., Chong Hun Park, M.D.

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

To study the parameters of preload, afterload, and contractility of the heart, we evaluated 10 mitral stenosis, 5 mitral stenoin insufficiency, and 5 mitral stenosis with aortic insufficiency by measuring the external energy potential, external mechanical work, and external energy potential to PVA (Pressure-Volume Area) ratio with non-invasive method, echocardiography and carotid pulse tracing.

The results are summarized as follows:

1) External energy potential of mitral stenosis was significantly higher than that of MSI or MS with AI.

2) External mechanical work of MSI or MS with AI was significantly higher than that of MS.

3) External energy potential to PVA ratio was significantly higher in the MS, but there was no significant difference between the MSI and MS with AI.

According to the above results, external energy potential to PVA ratio with echocardiogram and carotid pulse tracing was good parameters of preload, afterload, and contractility. And this method may be used bedside monitoring in the clinical area.

## 서 론

최근 압력-용적 곡선으로 이루어진 면적을 이용한 연구들이 보고되어 있으며<sup>1-12)</sup> 1983년 Suga등<sup>11)</sup>은 압력-용적 면적(Pressure-Volume area, PVA)과 심근의 산소 소모량의 관계에 관한 연구에서, 산소소모량증

심장의 기초대사와 흥분-수축 연결(Excitation-contraction coupling)에 사용된 에너지를 제외한 양은 PVA와 직선적 관계를 이룬다고 보고하였다.

그러나 임상에서 심근의 산소 소모량을, 여러조건에서 측정하기는 아직 어려운 점이 많아<sup>15)</sup> 일차적으로 압력과 용적만을 측정하였다.

PVA를 그림 1에서와 같이 외부 에너지 전위(External energy potential, Ext. E.P.)와 외부 기계적인 일(External Mechanical work, Ext. M.W.)로 구분할 수 있다.<sup>11)</sup> 연구자들은 외부 에너지 전위와 외부 기계적인 일과의 관계를 preload-afterload mismatching, 바꾸어 말하면 Volume overload와 Pressure overload의 관점에서 살펴보고자, 수공적인 방법으로 승모판막 증 환자를 대상으로 PVA를 구하여 보고하는 바이다.

## 대상 및 방법

### 1) 대 상

1985년 4월부터 9월까지 충남대학교 병원 내과에서 심도자 검사를 시행하여 진단한 승모판 협착증 10예, 승모판 협착증 및 폐쇄부전증 5예, 그리고 승모판 협착증 및 대동맥판 폐쇄부전증 5예를 대상으로 하였다. (Table 1)

### 2) 검사방법

좌 심도자 검사를 통하여 상행 대동맥의 압력과 좌심실 조영술을 이용하여 좌심실의 용적을 측정하였으며, 경동맥 압력 트레이싱과 심초음파 검사를 이용하여 좌심실의 용적을 측정하였다. (Fig. 2)

여기서 압력(Pressure)은 대동맥과 경동맥의 압력을, 용적(Volume)은 좌심실 조영술과 심초음파 검사

를 이용한 좌심실의 용적을 의미하는데, 경동맥 압력은 경동맥 압력 트레이싱과 상지혈압을 측정하여 평가하였다.

이상과 같은 방법을 통하여 그려진 그림 (Fig. 3)에서 A점은 대동맥 및 경동맥 압력 트레이싱에서 End-diastolic point 이고, B점은 Peak systolic pressure 또는 경동맥 압력 트레이싱시의 Peak tidal wave point 이며, C점은 dirotic notch point 이고, EDP는 좌 심도자검사시 측정한 좌심실의 End-diastolic pressure 이지만, 심초음파 검사와 경동맥 압력 트레이싱을 이용한 PVA 계산시에는 영(0)으로 정하였다. 이상의 점들은 각각 직선으로 연결하여 압력-용적 곡선을 만들고, 각 부위의 면적을 산술적으로 구하였다.

이와같이, 관혈적인 방법과 비관혈적인 두가지 방법으로 구한 PVA의 상관관계는, 환자의 일부에서 구하였지만, 비교적 좋은 상관관계( $r=0.99$ )를 보이는 것을 확인하고, (Fig. 4) 비 관혈적인 방법인 심초음파 검사와 경동맥 압력 트레이싱 및 상지혈압 측정을 이용하여 대상환자에서 PVA를 구하였다.

Table 1. Materials

	Cases
Mitral stenosis	10
Mitral stenoin sufficiency	5
Mitral stenosis with aortic insufficiency	5

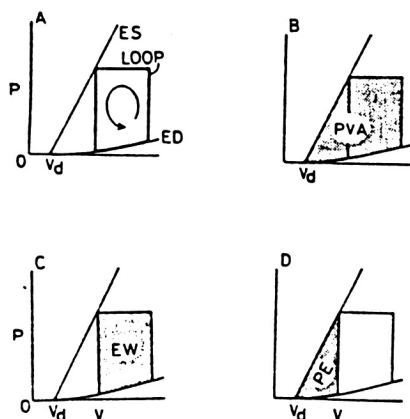
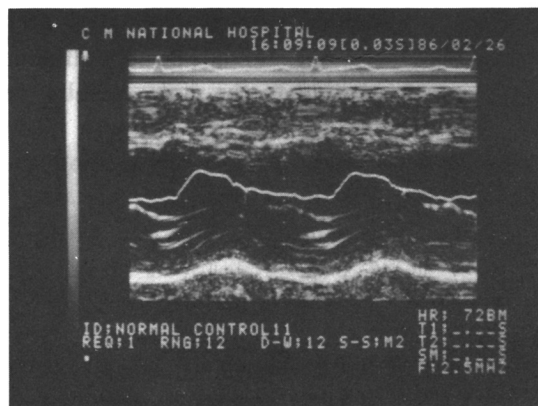


Fig. 1. Schematic illustration of PVA.

PVA : Pressure-Volume Area  
EW : External mechanical work  
PE : External potential energy

From Suga H et al.: Critical evaluation of LV systolic pressure volume area as predictor of oxygen consumption rate. Jap J Physiol 30, 907, 1980



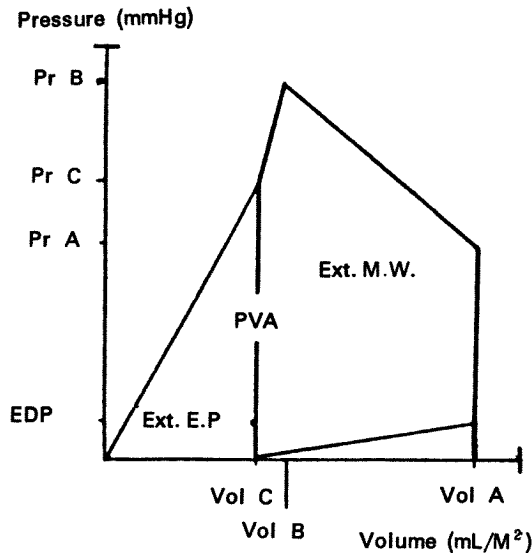


Fig. 3. Pressure - Volume Area (PVA).

Pr : Pressure of aorta or crotid artery

Vol : Left ventricular volume by angiogram or echocardiogram

A : End diastolic point

B : Peak systolic pressure or peak tidal wave point

C : Dicrotic notch point

EDP: End diastolic pressure of left venticle

Ext. M.W.: External mechanical work

Ext. E.P.: External energy potential

## 성 적

### 1) 승모판 협착증 (MS)에서의 PVA

승모판 협착증 10예의 외부 에너지 전위 (External Energy Potential, Ext. E.P.), 외부 기계적인 일 (External mechanical work, Ext. M.W.) 및 PVA에 대한 Ext. E.P.의 비는 각각  $1,889.5 \pm 526.2$  ( $M \pm SD$ )  $\text{mmHg} \cdot \text{mL} / \text{M}^2$ ,  $3,031.8 \pm 898.2 \text{mmHg} \cdot \text{mL} / \text{M}^2$ , 및  $0.395 \pm 0.054$  이었다. (Table 2-1)

### 2) 승모판 협착증 및 폐쇄부전증 (MSI)에서의 PVA

MSI 5예의 Ext. E.P., Ext. M.W. 및 PVA에 대한 Ext. E.P.의 비는 각각  $4,817.4 \pm 755.1 \text{mmHg} \cdot \text{mL} / \text{M}^2$ ,  $1,129.8 \text{mmHg} \cdot \text{mL} / \text{M}^2$  및  $0.319 \pm 0.034$  이었다. (Table 2-2)

### 3) 승모판 협착증 및 대동맥판 폐쇄부전증 (MS + AI)에서의 PVA

MS + AI 5예의 Ext. E.P., Ext. M.W. 및 PVA에 대한 Ext. E.P.의 비는 각각  $4,369.7 \pm 372.4 \text{mmHg} \cdot \text{mL} / \text{M}^2$ ,  $10,245.4 \pm 1,504.1 \text{mmHg} \cdot \text{mL} / \text{M}^2$ , 및  $0.297 \pm 0.026$  이었다. (Table 2-3)

### 4) Ext. E.P., Ext. M.W. 및 PVA에 대한 Ext. E.P.의 비의 비교 (Table 3)

Ext. E.P.은 MS에서 가장 낮았고 ( $P < 0.001$ ), MSI와 MS + AI에서는 서로 유사하였으며 ( $P > 0.1$ ) (Fig.

Table 2-1. External energy potential, external mechanical work, and external energy potential/pressure-volume area in mitral stenosis

Cases	Ext. E. P ( mmHg mL / M <sup>2</sup> )	Ext. M . W ( mmHg mL / M <sup>2</sup> )	Ext. E P. / PVA
1	1,120.0	1,290.9	0.465
2	1,900.0	2,333.4	0.449
3	1,487.5	2,420.2	0.381
4	1,960.0	4,073.5	0.324
5	1,608.0	2,434.1	0.398
6	2,952.0	4,528.9	0.394
7	2,639.3	3,302.3	0.461
8	2,082.0	3,295.9	0.387
9	1,608.0	3,016.5	0.348
10	1,538.5	3,622.4	0.298
M ± SD	$1,889.5 \pm 526.2$	$3,031.8 \pm 898.2$	$0.395 \pm 0.054$

Table 2-2. External energy potential, external mechanical work, and external energy potential/pressure-volume area in mitral stenosis

Cases	Ext. E. P. ( mmHg mL / M <sup>2</sup> )	Ext. M. W. ( mmHg mL / M <sup>2</sup> )	Ext. E. P. / PVA
1	4,168.0	9,724.4	0.300
2	4,996.0	8,853.3	0.370
3	5,368.0	10,530.4	0.338
4	5,800.0	12,277.2	0.321
5	3,755.0	10,272.9	0.268
M±SD	4,817.4± 755.1	10,331.6± 1,129.8	0.319± 0.034

Table 2-3. External energy potential, external mechanical work, and external energy potential/pressure-volume area in mitral stenosis with aortic insufficiency

Cases	Ext. E. P. ( mmHg mL / M <sup>2</sup> )	Ext. M. W. ( mmHg mL / M <sup>2</sup> )	Ext. E. P. / PVA
1	4,428.0	11,000.4	0.276
2	4,632.2	8,948.0	0.341
3	4,889.5	12,845.0	0.275
4	3,964.7	8,913.4	0.308
5	3,936.0	9,520.2	0.293
M±SD	4,369.7± 372.4	10,275.4± 1,504.1	0.297± 0.026

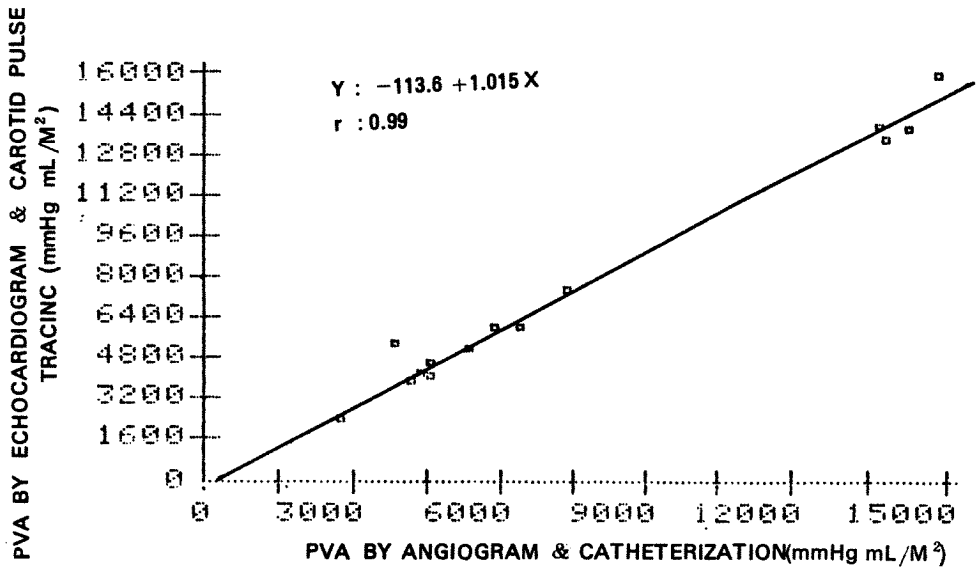


Fig. 4. Correlation between of Pressure-Volume Area by echocardiogram & carotid pulse tracing and Angiogram & cardiac catheterization.

Table 3. External energy potential, external mechanical work, and external energy potential / pressure - volume area in various group

Group	Ext. E. P. ( mmHg mL / M <sup>2</sup> )	Ext. M. W. ( mmHg mL / M <sup>2</sup> )	Ext. E. P. / PVA
MS	1,889.5 ± 526.2	3,031.8 ± 898.2	0.395 ± 0.054
MSI	4,817.4 ± 755.1	10,331.6 ± 1,129.8	0.319 ± 0.034
MS + AI	4,369.7 ± 372.4	10,245.4 ± 1,504.1	0.297 ± 0.026
M ± SD			

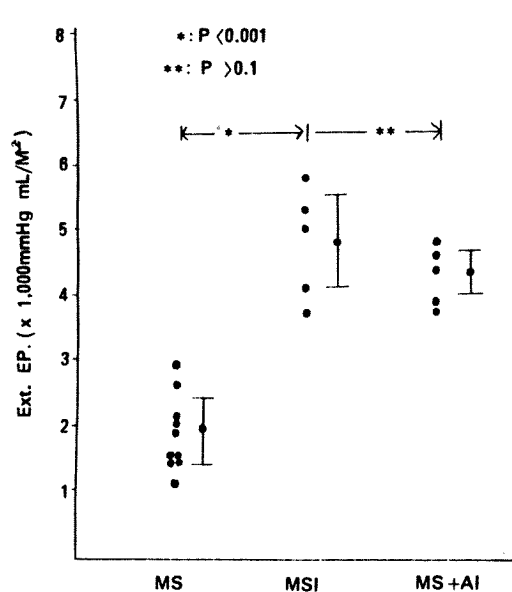


Fig. 5. Comparison of External Energy Potential (Ext. EP.)

4), Ext. M.W.는 쉽게 짐작할수 있는 대로 MS에서 보다 MSI나 MS+ AI와 같은 Voulume overloading된 환자군에서 높았다. ( $P < 0.001$ ) (Fig. 5) 또 PVA에 대한 Ext. E.P의 비는 MS에서가 MSI에서나 ( $P < 0.05$ ) MS+ AI에서 보다 ( $P < 0.01$ ) 컷으나, MSI와 MS+AI사이에 통계적인 차이가 없었다. ( $P > 0.1$ ) (Fig. 6)

## 고 안

일 (work)은 물리화적인 용어로서, 질량(mass) 이 움직일때 발생하는 힘의이동 (Energy transfer)을 말하는데, 이를 심장에 적용할 때 광범위한 의미를 지닌다할 수 있다. 심장의 일 (cardiac work)은 대사물질 (Metabolic substrate)을 혈중 압력 및 동력화적인 에

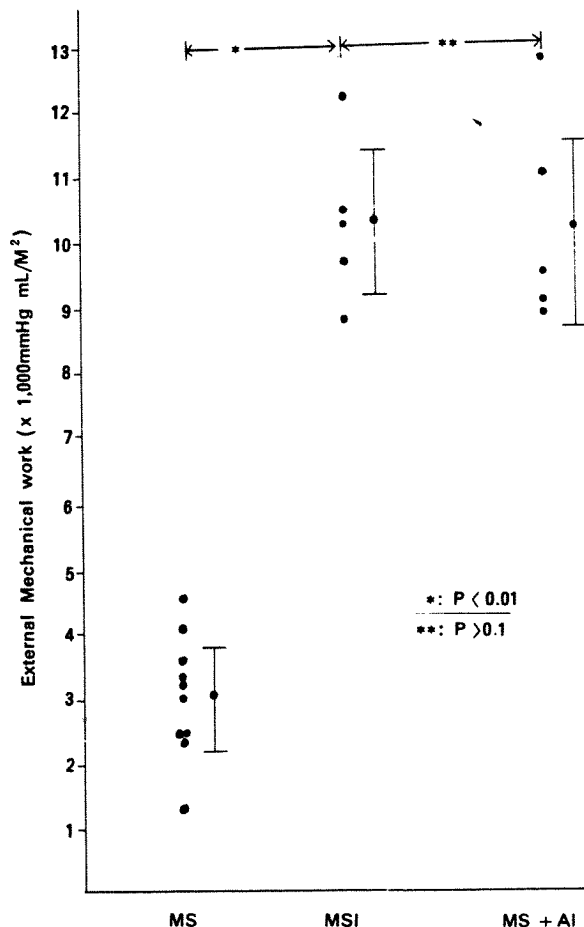


Fig. 6. Comparison of External Mechanical Work  
MS: mitral stenosis  
MSI: mitral stenoin sufficiency  
MS + AI: mitral stenosis with aortic insufficiency

너지로의 Myocardial transfer라할 수 있다. 이 과정은 여러가지 형태로 나타낼 수 있는데, 일 예로 용적 - 압

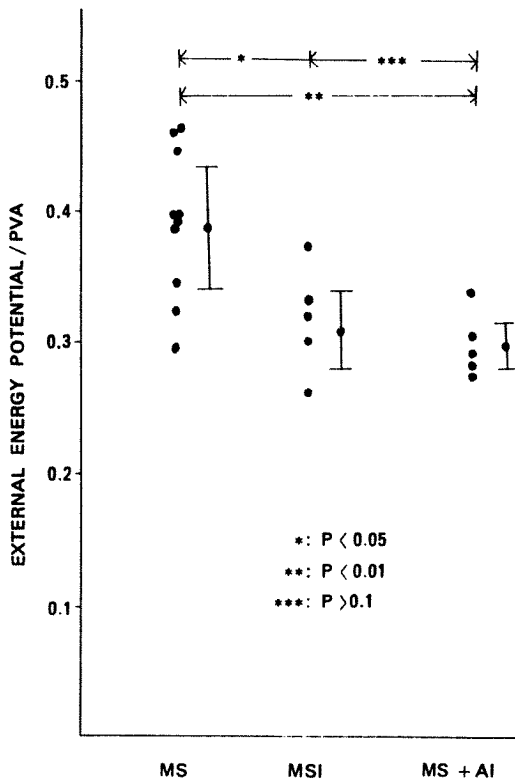


Fig. 7. Comparison of External Energy Potential / Pressure-Volume Area (PVA)

력 또는 외부적인 일 (volume-pressure or external work)을 들 수 있다. 이는 stroke volume을 대동맥 또는 폐동맥 압력에 대해 ejection 하는데 사용하는 에너지이다.

총 심장의 일 (Total cardiac work)은 심장이 사용하는 총 에너지이동으로, 대사적 산소요구량으로 추론할 수 있다. 이와같은 지표는 내적 뿐 아니라 외적인 일 모두를 포함한다. 내적인 일은 심장에서 판막들을 열고 닫는데 뿐 아니라 정상 기초대사를 나타낸다. 좌심실의 외부적인 일은 한 심장주기 동안에 용적과 압력의 관계로서 도표로 나타낼 수 있다. 이 한 심장주기 동안에서 그릴 수 있는 그림 (Diagram)의 면적이 압력-용적 일 (pressure-volume work)이다.<sup>17)</sup>

최근 다시 심실의 압력-용적도표에 대한 기본적인 연구가 많이 되고있는데, 여러 보고에서 End-systolic volume에 대한 end-diastolic pressure의 관계로 심장의 수축력 상태를 측정할 수 있다고 한다.<sup>1-12,15)</sup> 또 canine heart를 이용한 연구에서 좌심실의 압력-용적사이에는 직선적인 관계가 있다고하나 이를 사람에게 적용하여

연구하기는 어렵다할 수 있다.<sup>15)</sup>

좌심실의 End-Systolic and end-diastolic P-V curve와 isovolumic relaxation and contraction에서 얻어진 곡선으로 둘러싸인 PVA는 수축기 동안에 형성되고 심실벽에 End-Systole 때 저장된 기계적에너지 전위를 말한다.<sup>15)</sup>

Suga<sup>1)</sup> 등은 Canine study에서 PVA의 70%가 외부 기계적인 일로 전환되는데 이는 좌심실 용적이 이완기 동안 적당한 속도로 (55ml/sec in 70 gm LV) 감소될 때가 가장 크다고 하였다. 만약 용적감소의 속도가 이보다 크거나 작을 경우에는, 동일한 PVA라 할지라도 외부적인 일은 작아지게 된다고한다. 이것은 PVA가 에너지 전위의 대부분이 isovolumic relaxation 동안 소모되게 되고, 또 Afterload가 적당히 감소함에 따라 외부 기계적인 일로 전환가능하다.

이완된 심실은 pressure load를 계속 외부 기계적인 일로 수행할 수 있는데 이 일은 Systole 동안 형성되어 end-systole 때 심실벽에 저장된 것으로부터 유래하는 것이다.<sup>1)</sup>

사실 최근 실험연구에서 총 기계적인 에너지는 각 심박동 동안에 측정된 심실의 산소 소모량과 매우 상관관계가 좋다고 한다.<sup>3,4,7,8,11,12,16)</sup> 또 1983년 Suga<sup>11)</sup> 등의 연구에서 산소 소모량중 기초 대사와 Excitation-contraction coupling에서사용된 에너지를 제외한 양은 PVA와 직선적인 관계를 이룬다고 보고하고 있다.

Afterload, preload, 그리고 Contractility는 심실의 Stroke volume과 심근의 수축력을 결정하는 main determinant(주 결정인자)로 알려지고 있다.<sup>13)</sup>

저자들은, 비관혈적인, 수공적인 방법을 통해서 얻어진 외부 에너지 전위와 외부 기계적인 일과의 관계를 Preload-Afterload mismatching의 관점에서 살펴보았다.

외부 에너지 전위가 PVA에서 차지하는 비율은 어떤 Preload 및 Afterload가 주어졌을 때, 그 Preload가 주어진 상태에서 행한 일 중에서 Afterload 때문에 소비되는 에너지를 나타내는 것으로, MS와 MSI를 비교하여 생각해보면 MS는 Preload는 적지만 Afterload는 감소되어 있지않고, MSI는 Preload는 많고 Afterload는 감소되어 있어, 전체 기계적인 일 중에서 Afterload에 대한 일과 Contractility유지에 이용되는 에너지는 MS에서가 MSI에서 보다 큰것으로 생각된다.<sup>3,17,18)</sup>

저자들의 연구에서도 PVA에 대한 Ext. E.P.의 비는 MS에서가 MSI에서나 ( $P < 0.05$ ), MS + AI에서 보다 ( $P < 0.01$ ) 큰것을 볼 수 있다.

앞으로는 심장의 산소 소모량의 측정과 함께 많은 예에서 추후 결과 관찰이 필요할 것으로 생각되며, 대동맥판 협착증과 같은 압력경사가 있는 경우는 Doppler 심초음파 검사를 이용한 혈류속도 계산으로 압력경사에 의해 소모되는 에너지를 고려한 연구가 필요하리라 사료된다.

## 결 론

1985년 4월부터 9월까지 충남대학교병원 내과에서 진단한 승모판 협착증 10예, 승모판 협착증 및 폐쇄부전증 5예, 그리고 승모판 협착증 및 대동맥판 폐쇄부전증 5예를 대상으로, 비관혈적인 방법인 심초음파 검사와 경동맥 압력 트레이싱 및 상지혈압 측정을 이용하여 PVA를 구하여 다음과 같은 결과 및 결론을 얻었다.

1) 외부 에너지 전위는 승모판 협착증에서 가장 낮았고 ( $1.889.5 \pm 526.2 \text{ mmHg} \cdot \text{mL} / \text{M}^2$ ) ( $P < 0.001$ ) MSI와 MS+AI에서는 서로 유사하였다. ( $P > 0.1$ ) (Fig. 4)

2) 외부 기계적인 에너지는 MS에서보다 MSI나 MS+AI에서 컸다. ( $P < 0.001$ ) (Fig. 5)

3) PVA에 대한 Ext. E.P.의 비는 MS에서가 MSI에서나 ( $P < 0.005$ ) MS+AZ에서보다 ( $P < 0.01$ ) 컸다. 그러나 MSI와 MS+AZ에서는 서로 유사하였다. ( $P > 0.1$ ) (Fig. 6)

이상의 결과로 비관혈적이고, 수공적인 방법을 이용한 PVA에 대한 Ext. E.P.의 비는, 복잡한 Digitizing하는 방법을 대체하여, 임상에서 Bed-side monitoring으로 가능하리라 생각되며, 에너지이용에 대한 또는 Preload, Afterload, 및 Contractility의 평가에 사용될 수 있는 지표로 생각된다.

## REFERENCES

- 1) Suga H: *External mechanical work from relaxing ventricle. Am J physiol* 236(5):494, 1979
- 2) Suga H, Kitabatake A, and Sagawa K: *End-systolic pressure determines stroke volume from fixed end-diastolic volume in the isolated left ventricle under a constant contractile state. Cir Res* 44:238, 1979
- 3) Suga H, Hayashi T, and Shirahata M: *Ventricular systolic pressure-volume area as predictor of cardiac oxygen consumption. Am J Physiol* 240(Heart Circ Physiol 9):39, 1981
- 4) Suga H: *Total mechanical energy of a ventri-*

*cle model and cardiac oxygen consumption. Am J Physiol* 236(3):498, 1979

- 5) Suga H, and Sagawa K: *Instantaneous pressure-volume Relationships and their ratio in the excised, supported canine left ventricle. Cir Res.* 35:117, 1974
- 6) Suga H: *Total internal mechanical work of ventricle assessed from Quick release pressure-volume curve. Jap J Physiol* 29:227, 1979
- 7) Suga H, Hayashi T, Shirahata M, and Nino-miya I: *Critical Evaluation of left ventricular systolic pressure volume area as predictor of oxygen consumption rate. Jap J Physiol* 30: 907, 1980
- 8) Monroe RG, Strang RH, La Fiange and Levy J: *Ventricular performance, pressure-volume relationships, and  $O_2$  consumption during hypothermia. Am J physiol* 206(1):67, 1964
- 9) Taylor RR, James WC and John RJr: *Volume-tension diagram of ejecting and isovolumic contraction in left ventricle. Am J Physiol* 216(5):1097, 1969
- 10) Grossman W, Braunwald E, Mann T, McLaughlin LP, and Green LH: *Contractile state of the left ventricle in man as evaluated from end-systolic pressure-volume relations. Circulation* 56(5):845, 1977
- 11) Suga H, Hisano R, Goto Y, Yamada O and Igarashi Y: *Effect of positive inotropic agents on the relation between oxygen consumption and systolic pressure volume area in canine left ventricle. Cir Res* 53:306, 1983
- 12) Suga H, Goto Y, Yamada O and Igarashi Y: *Independence of myocardial oxygen consumption from pressure-volume trajectory during diastole in canine left ventricle. Cir Res* 55: 734, 1984
- 13) Mahler F, Ross J JR, O'Rourke RA, and 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
- 14) Bennett DH, Evans DW, and Raj MVJ: *Echocardiographic left ventricular dimensions in pressure and volume overload. British Heart J*

- 37:971, 1975
- 15) Sagawa K: *The End-systolic pressure-volume relation of the ventricle; Definition, modifications, and clinical use.* *Circulation* 63( 6):1223, 1981
- 16) Khalofbeigui F, Suga H, Sugawa K: *Left ventricular systole pressure-volume area correlates with oxygen consumption.* *Am J Physiol* 237:566, 1979
- 17) Sonnenblick EH: *Force-velocity relations in mammalian heart muscle.* *Am J Physiol.* 202:931, 1962
- 18) Hawthorne EW: *Instantaneous dimensional changes of the left ventricle in dogs.* *Cir Res* 9: 110, 1961
-