

승모판 폐쇄부전증에서 판막치환 수술후 심기능의 예견 지표에 관한 고찰

부산대학교 의과대학 내과학교실

허재영 · 임홍섭 · 이민기 · 차광수 · 조 몽 · 신영우 · 신영기

= Abstract =

A Predictive Index of Left Ventricular Performance After Mitral Valve Replacement in Pure Mitral Regurgitation

Jae Young Heo, M.D., Hong Seop Im, M.D., Min Kee Lee, M.D.,
Kwang Soo Cha, M.D., Mong Cho, M.D.,
Yung Woo Shin, M.D., Yeong Kee Shin, M.D.

Department of Medicine, Graduate School, Pusan National University

The index on myocardial contractility of pure mitral regurgitation(MR) after mitral valve replacement is believed to be useful in determining proper operation time before irreversible myocardial damage by volume overload. Thus the authors examined pre and post-operative echocardiographic results of 20 cases of pure MR patients who had been admitted to Pusan National University hospital and compared the usefulness of each index. Pre and post-operative echocardiographic results were as follows respectively ;

- 1) Left ventricular internal dimension in diastole(LVIDd) were 6.49 ± 0.19 cm and 5.51 ± 0.17 cm.
- 2) Left ventricular internal dimension in systole(LVIDs) were 4.26 ± 0.12 and 3.79 ± 0.18 cm.
- 3) Ejection Fraction were $71.28 \pm 1.57\%$ and $59.24 \pm 3.05\%$.
- 4) Fractional shortening(FS) were $34.09 \pm 1.18\%$ and $27.21 \pm 1.84\%$.
- 5) Mean Vcf were 1.53 ± 0.08 cm/sec and 1.18 ± 0.09 cm/sec.
- 6) Left ventricular end-diastolic volume index(EDVI) were 196.35 ± 18.33 cc/m² and 98.46 ± 9.96 cc/m².
- 7) Left ventricular end-systolic volume index(ESVI) were 55.28 ± 5.12 cc/m² and 41.88 ± 6.07 cc/m².
- 8) Left ventricular end-systolic wall stress/ESVI(ESS/ESVI) were 2.3 ± 0.21 and 3.91 ± 0.83 .
ESS/ESVI showed significantly($p < 0.05$) elevated postoperative change, LVIDd, LVIDs, EF, FS, EDVI, ESVI revealed significantly($p < 0.05$) reduced postoperative change whereas Mean Vcf had no postoperative change. After examining correlation between preoperative and postoperative results of each index, it is believed that LVIDd, LVIDs, and ESS/ESVI were useful prognostic indices but were unrelated to postoperative ejection phase indices such as EF,

FS, and Mean Vcf.

Especially in case of LVIDd>6cm, LVIDs>4cm, and ESS/ESVI<2, the prognosis was poor due to myocardial damage by mitral regurgitation.

KEY WORD : Mitral regurgitation · Left ventricular performance.

서 론

승모판 폐쇄부전증에서 비가역적 심근장애가 있어 판막치환시술후에 불량한 경과를 갖게 될 것을 미리 예견할 수 있는 지표에 대한 연구는 수술시기를 결정하는 데 있어 대단히 유용할 것으로 믿어지고 있어 이에 대한 관심이 높다고 하겠다. 이에 저자들은 부산대학교병원에서 순수 승모판 폐쇄부전증으로 승모판막 치환시술을 받은 20예의 술전술후 검사소견을 검토하여 승모판폐쇄부전증에서 판막치환시술후 심기능을 예견할 수 있다고 믿어지는 몇가지 유용한 지표에 대해서 추구하였다.

대상 및 방법

1) 대 상

1985년 3월부터 1989년 10월까지 부산대학교병원에서 순수 승모판 폐쇄부전증으로 승모판막치환시술을 받은 20명을 대상으로 하였으며, 연령은 15세부터 48세(평균 28.7세)사이였고 성별로는 남자가 4명 여자가 16명이었다.

2) 방 법

대상예에 대한 심초음파 검사는 술전 및 술후에 Aloka SSD 880을 사용하여 좌상와위 15~30°의 자세에서 시행하였다. 이 검사는 2.5MHz 탐촉자를 사용하여 묘출하였고 American Society of Echocardiography¹⁾의 권장기준에 따라 계속하였다. 승모판막치환시술전 심초음파검사는 연구대상 20예를 전예에서 실시하였으며 시술후 추구 심초음파검사는 술후 조기사망 2예를 제외한 18예에서 시행되었고, 이중 8예는 한번 이상의 반복 추구검사가 가능하였다. 관찰성적은 t-Test로 상호유의성을 평가하였으며 P value가 0.05이하 일때 통계적인 유의성이 있는 것으로 판정하였고, 모든 성적은

평균±표준오차로 표기하였다.

성 적

1) 승모판막 치환시술후 반복 시행한 추구 심초음파 검사 소견간의 비교

시술후 반복하여 추구 심초음파 검사를 실시할 수 있었던 8예를 대상으로 하여 좌심실확장말기 내경(LVIDd)및 수축말기 내경(LVIDs), 구출율(EF), 좌심실 내경단축율(FS), 평균 좌심실 내주단축속도(Mean Vcf) 좌심실 확장말기 용적지수(EDVI), 수축말기 용적지수(ESVI), 수축기말압/용적비(ESS/ESVI)를 비교 대조하였을 때, 시술후의 첫번 소견과 반복시행한 소견간에 통계적으로 유의한 차이를 관찰할수 없었다. 이와같은 결과에서 시술후 추구관찰의 기간이 추구검사소견에 유의한 변수가 아님을 유추할수 있겠다($p<0.05$).

2) 승모판막 치환시술후 심초음파 검사소견의 추이

승모판막 치환시술을 받은 순수 승모판 폐쇄부전증 18예에서 승모판막치환전의 심초음파 검사소견을 승모판막 치환시술후 실시된 추구검사소견과 비교하였다. 즉 좌심실 확장말기 및 수축말기 내경, 좌심실 확장말기 및 수축 말기용적지수, 좌심실 내경 단축율 및 구혈율은 시술전에 비해 후에 유의하게 감소하였으며, 수축말기압/용적비는 시술전에 비해 후에 유의한 변화가 관찰되지 않았다. 또 그 정도는 좌심실 확장말기 내경이 시술전에 비해 후에 평균 1.2cm가 감소하였으며, 좌심실 수축말기 내경, 좌심실 확장말기 용적지수, 좌심실 수축말기 용적지수, 좌심실 내경단축율, 구혈율 및 평균 좌심실 내주단축 속도는 0.4cm, 82.7cm³, 11.5cm³, 6.6%, 12.1% 및 0.3m/sec씩 감소하였고, 수축말기압/용적비는 시술전에 비해 후에 1.5증가하였다(Table 1).

Table 1. Comparison of the preoperative and the postoperative echocardiographic indices

Echo cardiographic indices	LVICd (cm)	LVIDs (cm)	EF (%)	ES (%)	Mean VcF (m/sec)	EDVI (cc/m ²)	ESVI (cc/m ²)	ESS/ESVI
Preoperative	*6.49 ± 0.19	*4.26 ± 0.12	*71.28 ± 1.57	*34.09 ± 1.18	1.53 ± 0.08	*196.35 ± 18.33	*55.28 ± 5.12	*2.3 ± 0.21
Postoperative	5.15 ± 0.17	3.79 ± 0.18	59.24 ± 3.05	27.21 ± 1.84	1.18 ± 0.09	98.46 ± 9.96	41.88 ± 6.07	3.91 ± 0.83

Mean± Standard Error

*Statistically different between preoperative and postoperative value(p<0.05)

Abbreviations :

LVIDd : Left ventricular End-diastolic dimension

LVIDs : Left ventricular End-systolic dimension

EF : Ejection Fraction

FS : Fractional Shortening

Mean VcF : Mean rate of circumferential shortening

EDVI : Left ventricular End-diastolic volume index

ESVI : Left ventricular End-systolic volume index

ESS/ESVI : End-systolic wall stress/ESVI

3) 시술후 심기능 예견지표로서의 시술전 심초음파 검사소견

승모판막 치환시술을 받은 순수한 승모판 폐쇄부전증 20예 중에서 시술후 사망한 4예의 술전소견은 좌심실 확장말기 내경이 8.2cm, 6.9cm, 6.7cm, 6.1cm으로 모두 6cm이상이었고, 좌심실 수축말기 내경은 5.2cm, 4.9cm, 4.4cm, 3.7cm으로 3예가 4.4cm이상이었다. 이와같은 예견지표로서의 의미는 좌심실 확장말기 및 수축말기 용적지수에서도 비슷하였다. 좌심실 수축말기압/용적비에서는 2이하에서 사망이 3예였고 수치가 커질수록 술후 심근 수축력이 커졌다. 그러나 구혈율, 좌심실 내경단축율, 평균 좌심실 내주단축속도에서는 일정한 예견지표로서의 의미를 확인할수가 없었다(Fig. 1~8).

시술전의 심초음파 검사소견과 시술후 검사소견의 상관관계는 술전 좌심실 확장말기 내경이 술후 좌심실 확장말기내경($r=0.655$), 술후 좌심실 확장말기용적지수($r=0.682$), 술전 좌심실 수축말기 내경이 술후 좌심실 확장말기내경($r=0.728$), 술후 좌심실 확장말기용적지수($r=0.747$), 술전 좌심실 수축말기압/용적비는 술후 좌심실 확장말기내경($r=0.758$), 술후좌심실말기내경($r=0.680$), 술후 좌심실 확장말기용적지수($r=0.819$), 술후

좌심실 수축말기용적지수($r=0.678$)와 유의한 상관관계를 보였으며 술후의 좌심실 수축능을 나타내는 지표와 유의한 상관관계를 보이는 술전지표는 관찰되지 않았다(Table 2).

고 안

승모판 폐쇄부전증(MR)환자에서 승모판막 치환시술(MVR)후 좌심실 기능이 예기치 못하게 감소하는 경우가 이전부터 일부 저자들에 의해 주목 받기 시작 하였다^{2~11)}. Eckberg등¹²⁾에 의하면 MR의 경과에 있어 EF은 심근 수축능 저하가 이미 생겼더라도 경과중 늦게까지 정상으로 남아 있는데 이는 두가지 보상기전 때문으로 전부하의 증가에 의한 fiber shortening의 증가(Frank-starling mechanism)와 좌심실 수축중 대동맥판이 열리기 전에 저항이 낮은 좌심방으로 상당한 양의 혈액이 역류하여 후부하가 변하기 때문이라고 하였다. 그래서 MR에 의해서 명백한 심부전이 와도 구혈율, 좌심실 내경단축율, 평균 좌심실 내주단축속도등의 ejection phase index는 약간의 저하만을 뿐이며¹³⁾¹⁴⁾ 심한 MR환자에서 ejection phase index가 정상수준이라면 실제로는 손상된 심근 수축능을 나타내고 약간의 저하된 EF, FS, mean

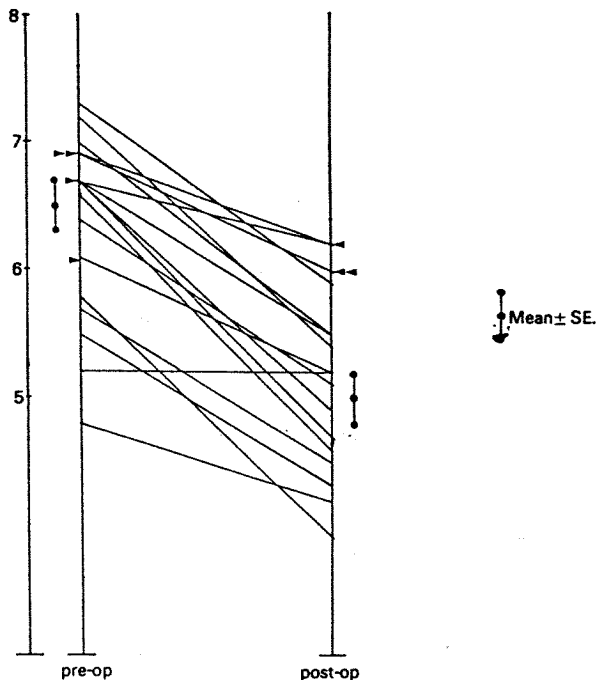


Fig. 1. Comparison of the preoperative and postoperative echocardiographic index(Left ventricular end-diastolic dimension).

- ▶ Early death : death within 1 year after operation due to low cardiac output synd.
- ▶ ▶ Late death : death beyond 1 year after operation due to low cardiac output synd.

Vcf는 매우 심하게 손상된 심근 수축능을 시사한다. MR과 같은 만성적 용적 과부하 상태의 좌심실 기능은 심근의 수축능, fiber length, 후부하 사이의 복잡한 상호 작용이며^{15~20)} 술전 심근 수축능은 술중 위험률, 술후 좌심실의 수축능 정도를 결정하는 중요한 인자이다. 따라서 용적 과부하 상태에서 좌심실의 수축능을 정확히 알아낼 지표가 필요하며 이는 MR환자에서 수술시기를 결정하는데 상당한 도움이 될 것이다. 이론적인 생각과 실험 결과에 의해서 수축말기 fiber length가 좌심실의 수축능을 긴밀히 나타내며^{21~27)}, 수축말기 fiber length가 MR에서의 역류에 의해 증가된 전부하와 무관하게 생리적 범위내에서 후부하와 심근수축

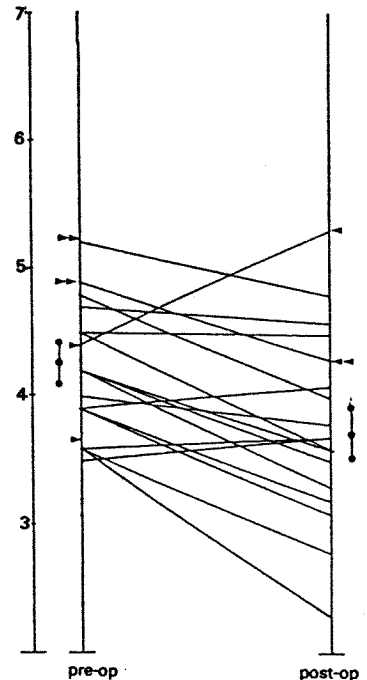


Fig. 2. Comparison of the preoperative and postoperative echocardiographic index(Left ventricular end-systolic dimension).

- ▶ Early death : death within 1 year after operation due to low cardiac output synd.
- ▶ ▶ Late death : death beyond 1 year after operation due to low cardiac output synd.

능에 직접적이고 직선적인 관계를 나타내며 좌심실의 용적 과부하로 부터의 심한 전부하가 있는 환자의 심근의 수축능의 변화를 평가하는데 있어 잠재적으로 유용한 지표이며, 좌심실 수축말기용적지수 하나 만으로도 심근 기능의 유용한 평가가 된다^{25)28~30)}. Borow등²⁸⁾에 의하면 정상적인 술전 ESVI($<30\text{cc}/\text{m}^2$)을 갖는 심한 MR환자는 술후에 정상적인 좌심실 수축능을 갖지만 술전에 심하게 ESVI($<90\text{cc}/\text{m}^2$)이 큰 환자는 높은 술중 사망률 및 술후 좌심실 기능이 좋지 않고, ESVI이 $30\sim90\text{cc}/\text{m}^2$ 인 환자는 수술을 잘 견디나 술후에 좌심실 기능이 좋지 않다고 하였다. Boucher등²⁹⁾도 MR환자에서 multigated blood pool imaging을 이용하

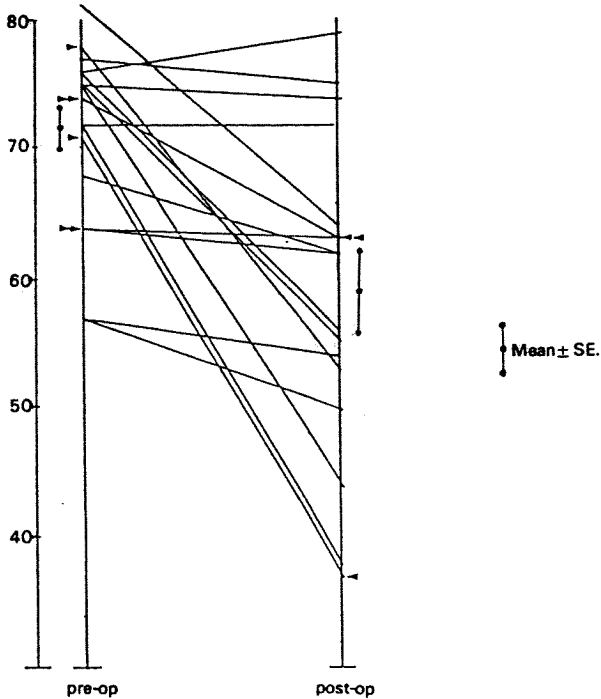


Fig. 3. Comparison of the preoperative and postoperative echocardiographic index(Ejection Fraction).

- ▶ Early death : death within 1 year after operation due to low cardiac output synd.
- ▶▶ Late death : death beyond 1 year after operation due to low cardiac output synd.

여 술후 조기 EF의 정확한 예측 지표는 술전 ESV라 하였다.

여러 저자^{21~27)}에 의하면 ESV는 전부하에는 무관하지만 좌심실의 수축능외에 후부하에도 연관되므로 전부하 및 후부하의 영향을 배제한 end-systolic wall stress(pressure)/volume(or dimension)관계가 판막 폐쇄부전증에서 좌심실 수축능을 나타내는 유일한 지표라 하였다³¹⁾³²⁾. 그외에 술후 좌심실의 기능을 나타낼 것으로 생각되던 EDV는 Grossman등³³⁾에 의하면 혈관촬영 평가

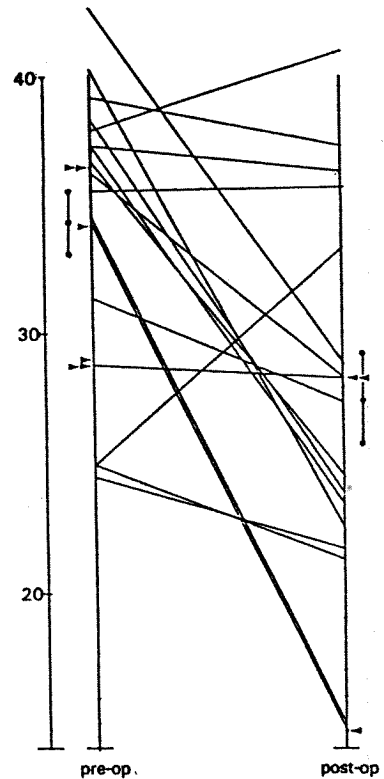


Fig. 4. Comparison of the preoperative and postoperative echocardiographic index(Fractional Shortening).

- ▶ Early death : death within 1 year after operation due to low cardiac output synd.
- ▶▶ Late death : death beyond 1 year after operation due to low cardiac output synd.

방법(angiographic method)으로, 역류에 의한 심근의 손상 정도 보다는 역류자체의 심한 정도를 나타낸다 하며 Miller등³⁴⁾에 의하면 MR에서 술전 EDV의 확장은 2가지 요소에 의한 것으로 첫번째 것은 regurgitation 자체에 의한 것으로 stroke volume의 증가로 반영되며 수술로 호전되는 가역적인 부분이고 두번째 것은 좌심실 기능 부전에 의한 것으로 ESV의 증가로 반영되며 수술에 의해서 호전되지 않는 부분이라 하여 EDV이 술후 심근 수축능을 어느 정도 나타내나 신뢰할 만한 지표가

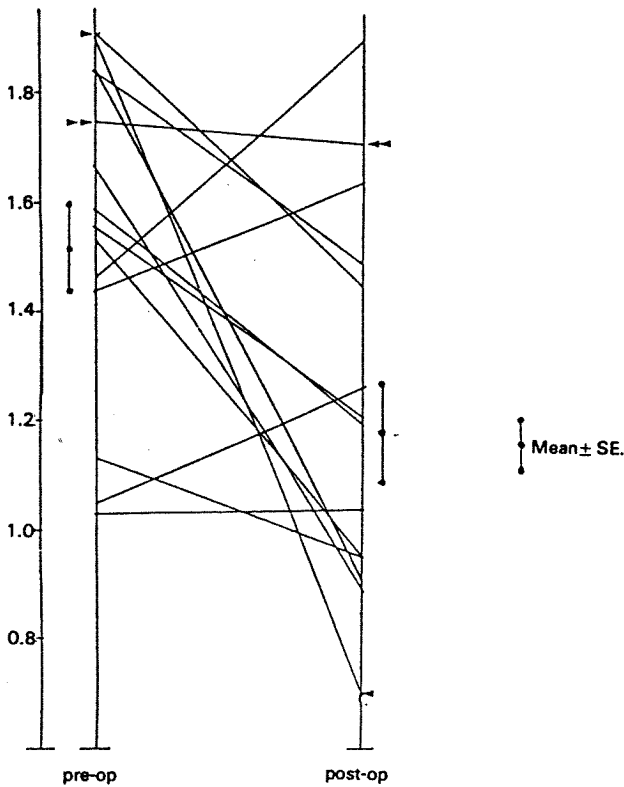


Fig. 5. Comparison of the preoperative and postoperative echocardiographic index(Mean rate of circumferential shortening)

- ▶ Early death : death within 1 year after operation due to low cardiac output synd.
- ▶▶ Late death : death beyond 1 year after operation due to low cardiac output synd.

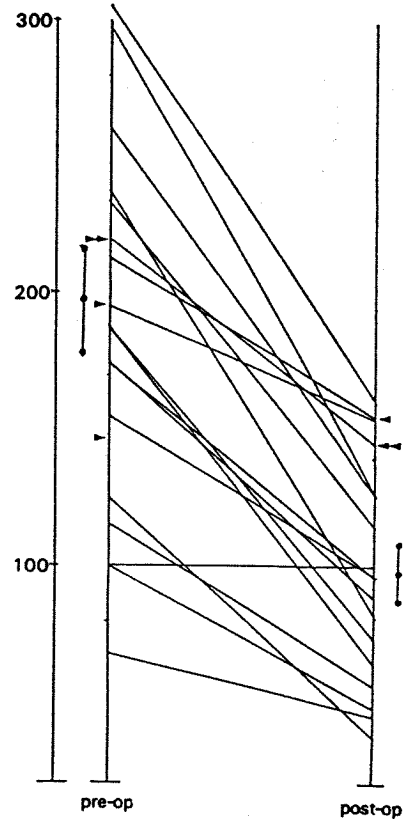


Fig. 6. Comparison of the preoperative and postoperative echocardiographic index(Left ventricular end-diastolic volume index)

- ▶ Early death : death within 1 year after operation due to low cardiac output synd.
- ▶▶ Late death : death beyond 1 year after operation due to low cardiac output synd.

아님을 말하였다.

본 연구에서는 술후 심초음파 검사 시간범위가 크나 Hildner등³⁵⁾에 의하면 MR에서 술후 계속 측정한 좌심실 기능은 거의 변화가 없었으며 본 조사에서도 같은 결과를 얻었고 술후 소견간의 큰 차이를 보이는 두예는 각각 저심박출증후군으로 사망한 1예와 심도자법으로 승모판 폐쇄부전증외에 심한 승모판협착증이 있는 1예였다. 비록 Schuller등³⁶⁾에 의해 술전 심초음파 검사에 의해서 구

해진 EF과 좌심실 혈관 촬영에 의한 EF사이의 상관관계($r=0.88$), 그리고 술전 심초음파 검사에 의한 EF와 방사선 동위원소를 이용한 방법에 의한 EF사이의 상관관계($r=0.09$)가 다 컸지만 저자들의 경우 ESV은 술후 EF와 상관 관계가 낮았는데 이는 어느 정도 타원형인 EDV과는 달리 ESV는 어떤 예견 가능한 형태가 아니므로 LVIDs를 이용하여 구한 저자들의 ESV과 다른 저자들의 혈관 촬영이나 핵의학적 방법을 이용한 ESV사이의 오

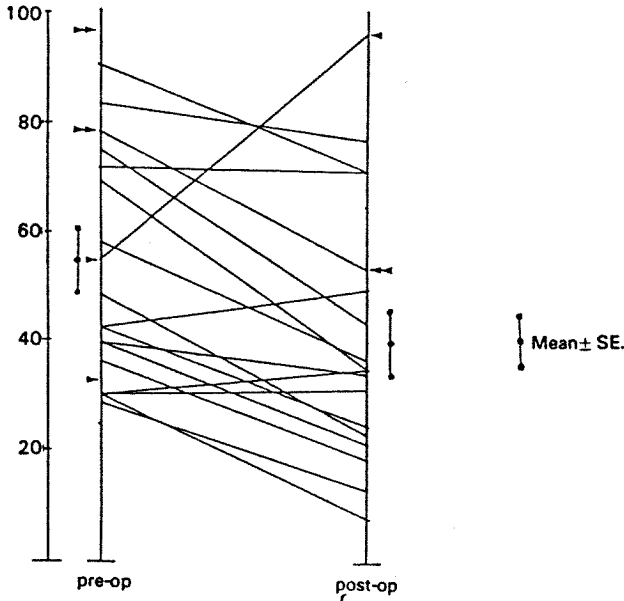


Fig. 7. Comparison of the preoperative and postoperative echocardiographic index(Left ventricular end-systolic volume index)
 ▶ Early death : death within 1 year after operation due to low cardiac output synd.
 ▶▶ Late death : death beyond 1 year after operation due to low cardiac output synd.

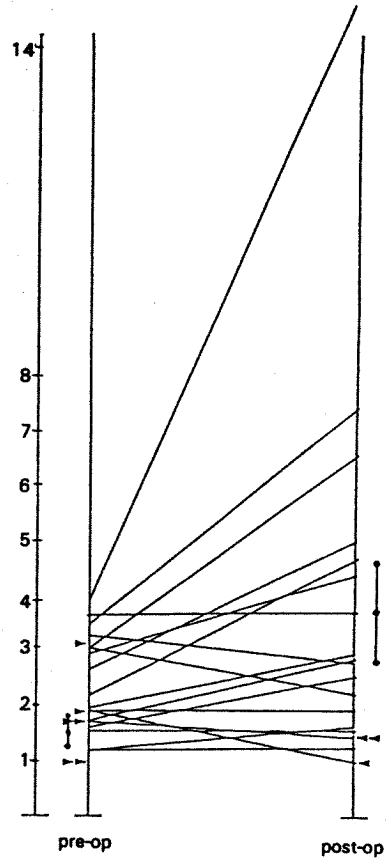


Fig. 8. Comparison of the preoperative and postoperative echocardiographic index(End-systolic wall stress/End-systolic volume index)
 ▶ Early death : death within 1 year after operation due to low cardiac output synd.
 ▶▶ Late death : death beyond 1 year after operation due to low output synd.

차에 기인하는 것으로 생각된다. ESS/ESVI도 간편법으로³⁷⁾³⁸⁾하여 ESS를 cuff pressure의 systolic pressure로 구하였던 바 수술 후 EF와 상관관계($r=0.24$)가 낮았는데 이도 역시 상기한 ESV자체의 오차 때문으로 생각된다. 그러나 수술 전 ESS/ESVI가 2 이하인 경우에 사망이 4예중 3예였고 수술 후 좌심 기능이 좋지 않았으며 수술 전 ESS/ESVI가 높을수록 수술 후 좌심 기능이 좋은 관계를 볼수 있었다. 다른 지표인 EF, FS, mean Vcf에서 저자들의 경우에

수술 전의 수치가 평균 \pm 표준오차 이상이였을때 수술 후에도 계속 평균이상인 경우도 있었지만 수술 평균 $-S.E.$ 이하로 떨어지는 경우가 많은 등, ejection phase index는 판막 폐쇄부전등에서는 부적절한 지표임을 증명하였다. LVIDs에서는 평균 \pm 표준 오차 이상의 수치는 수술 후 그 수치가 커지거나 아니면 큰 수치 그대로 유지 하였거나 작아지더라도 여전히 정상보다는 큰 수치를 유지하였고 평균 \pm 표준오차 이하의 수치는 거의 모든 경우에

Table 2. Correlation coefficient between the preoperative and the postoperative echocardiographic indices

Post-op/pre-op	LVIDd	LVIDs	EF	FS	Mean Vcf	EDVI	ESVI	ESS/ESVI
LVIDd	**0.655	**0.728	-0.153	-0.142	0.514	*0.616	**0.696	** -0.758
LVIDs	0.420	*0.551	-0.232	-0.225	0.335	0.428	*0.533	** -0.680
EF	0.086	-0.054	0.221	0.220	0.018	0.032	-0.053	0.247
FS	-0.023	-0.183	0.272	0.261	0.035	-0.088	-0.186	0.407
Mean Vcf	-0.232	-0.189	0.041	0.003	0.019	-0.303	-0.207	0.524
EDVI	**0.682	**0.747	-0.149	-0.137	-0.525	**0.720	**0.776	** -0.819
ESVI	0.420	0.529	-0.199	-0.193	0.379	0.466	*0.540	** -0.678
ESS/ESVI	-0.423	-0.502	0.186	0.161	-0.243	-0.450	-0.509	**0.682

*p<0.05 **p<0.01

See text for details and abbreviations

서 수치가 작아졌는데 작아지는 정도는 다양하였다. 특히 수술로 인한 영향이 없다고 생각되는 1개월 경과후의 소견은 술전 LVIDs가 4.4cm을 경계로 술후소견이 확연히 구분되었다. LVIDd는 술후 모든 경우에서 수치가 작아졌으며 술전수치가 6cm이상인 경우가 예후가 좋지 않았다.

Schuler등³⁶⁾에 의해서도 MR에서 술전 LVIDd<6.5cm이고 LVIDs<4.3cm인 군이 술전 LVIDd>7cm이고 술전 LVIDs>5.0cm인 군에 비해서 술후 EF가 떨어지는 정도가 더 작았으며 술후에 LVIDs, LVIDd도 정상화 되었는데 반해 후자는 LVIDs는 증가 하였고 LVIDd는 변화가 없었다고 하여 본 연구와 비슷한 소견을 보였다. 따라서 비침습적인 심초음파 만으로 MR에서 술후 좌심실수축능을 알려면 정확한 용적 계산이 어려우므로 비록 술후 EF와 상관관계가 크지는 않지만 LVIDd, LVIDs, ESS/ESVI가 술후 심근수축력 및 예후를 예견하는데 유용한 지표임을 알 수 있었다.

LVIDd, LVIDs, EF, FS, Mean Vcf, EDVI, ESVI, ESS/ESVI의 술전 및 술후 수치는 각각 6.49 ± 0.19 cm, 5.15 ± 0.17 cm, 4.26 ± 0.12 cm, 3.79 ± 0.18 cm, 71.28 ± 1.57 cm%, 59.24 ± 3.05 %, 34.09 ± 1.18 %, 27.21 ± 1.84 %, 1.53 ± 0.08 m/sec, 1.18 ± 0.09 m/sec, 196.35 ± 18.33 cc/m², 98.46 ± 9.96 cc/m², 55.28 ± 5.12 cc/m², 41.88 ± 6.07 cc/m², 2.3 ± 0.21 , 3.91 ± 0.83 으로 LVIDd, LVIDs, EF, FS, EDVI, ESVI는 통계적으로 유의하게 감소하였으나 Mean Vcf는 술전후에 유의한 변화가 관찰되지 않았고 ESS/ESVI는 술후 유의한 증가가 있었다. 술전후의 상가지표 사이의 상관관계를 검토한 결과 술후의 좌심실 수축기능지표와 유의한 상관관계를 나타내는 술전 지표는 없었으나 LVIDd, LVIDs, ESS/ESVI가 술후 예후를 예견할 수 있는 유용한 지표인 것으로 믿어지며 특히 LVICd>6cm, LVIDs>4.4cm, ESS/ESVI<2시 MR로 인한 심한 심근 손상으로 불량한 예후를 나타내었다.

요 약

순수 승모판 폐쇄부전증이 있어 승모판막 치환 수술을 받은 20명의 환자를 대상으로 술전술후 심초음파 검사를 시행하여 술후의 좌심실기능을 예견할 것으로 생각되는 지표들을 검토한 결과 수술후의 첫번 심초음파 소견과 반복시행한 소견 간에 통계적으로 유의한 상관관계가 없었으며,

References

- 1) The committee on M-mode standardization of the American Society of Echocardiography : *Recommendations regarding quantitation of M-mode echocardiography*. *Circulation* 52 : 1072, 1975
- 2) Carey JS, Hughes RK, Plested WG, Nelson CB, Sacks E, Salvay H : *Functional rehabilitation after*

- cardiac valve surgery. *Ann Thorac Surg* 16 : 492, 1973
- 3) Carey JS, Plested WG, Scott C : *Cardiac valve replacement the rationale for earlier operation*. *West J Med* 121 : 274, 1974
 - 4) Kirlin JW, Pacifico AD : *Surgery for acquired valvular heart disease*. *N Engl J Med* 288 : 194, 1973
 - 5) Maloney JR, Cooper N, Mulder DG, Buckberg GD : *Depressed cardiac performance after mitral valve replacement—a problem of myocardial preservation during operation*. *Circulation* 52(Suppl I) : 1-3, 1975
 - 6) Doces J, Kennedy W : *Quantitative assessment of left ventricular function following successful mitral valve surgery(abstr)*. *Am J Cardiol* 35 : 132, 1975
 - 7) Hultgren H, Hubis H, Shumway N : *Cardiac function following mitral valve replacement*. *Am Heart J* 75 : 302, 1968
 - 8) Johnson AD, Daily PO, Peterson KL, LeWinter M, DiDonna GJ : *Functional evaluation of the porcine heterograft in the mitral position*. *Circulation* 52(Suppl I) : I-40, 1975
 - 9) Graham AF, Schroeder JS, Daily PO, Harrison DC : *Clinical and hemodynamic studies in patients with homograft mitral valve replacement*. *Circulation* 44 : 334, 1971
 - 10) Bistow JD, Kremkau EL : *Hemodynamic changes after valve replacement with Starr-Edwards prosthesis*. *Am J Cardiol* 35 : 716, 1975
 - 11) Peterson CR, Herr R, Crisera R, Starr A, Bistow D : *The failure of hemodynamic improvement after valve replacement surgery*. *Ann Intern Med* 66 : 1, 1967
 - 12) Eckberg DL, Gault JH, Bouchard RL, Karliner JS, Ross JJr : *Mechanics of left ventricular contraction in chronic severe mitral regurgitation*. *Circulation* 47 : 1252, 1973
 - 13) Ross J Jr : *Left ventricular function and the timing of surgical treatment in valvular heart disease*. *Ann Intern Med* 94 : 498, 1981
 - 14) Vokonas PS, Gorlin R, Cohn PF, Herman MV, Sonnenblick EH : *Dynamic geometry of the left ventricle in mitral regurgitation*. *Circulation* 48 : 786, 1973
 - 15) Ross J Jr, McCullagh WH : *Nature of enhanced performance of the dilated left ventricle in the dog during chronic volume overloading*. *Circulation Res* 30 : 549, 1972
 - 16) Urschel CW, Covell JW, Sonnenblick EH, Ross J Jr, Braunwald E : *Myocardial mechanics in aortic and mitral valvular regurgitation. The concept of instantaneous impedance as a determinant of the intact heart*. *J Clin Invest* 47 : 867, 1968
 - 17) Braunwald E : *Mitral regurgitation—physiological, clinical and surgical considerations*. *N Engl J Med* 281 : 425, 1969
 - 18) McCullagh WH, Covell JW, Ross J Jr : *Left ventricular dilatation and diastolic compliance changes during chronic volume overloading*. *Circulation* 45 : 943, 1972
 - 19) Lewis BS, Gotman MS : *Left ventricular function in systole and diastole in mitral incompetence*. *Am J Cardiol* 34 : 635, 1974
 - 20) Ross J Jr, Sonnenblick EH, Taylor RR, Spotnitz HM, Covell JW : *Diastolic geometry and sarcomere lengths in the chronically dilated canine left ventricle*. *Circ Res* 28 : 49, 1971
 - 21) Holt JP : *Regulation of the degree of emptying of the left ventricle by the force of ventricular contraction*. *Circ Res* 5 : 281, 1975
 - 22) Suga H, Sagawa K, Shoukas AA : *Load independence of the instantaneous pressure-volume ratio of the canine left ventricle and effects of epinephrine and heart rate on the ratio*. *Circ Res* 32 : 314, 1973
 - 23) Mahler F, Covell JW, Ross J Jr : *Systolic pressure-diameter relations in the normal conscious dog*. *Cardiovasc Res* 9 : 447, 1975
 - 24) Weber KT, Janicki JS, Hefner LL : *Left ventricular force-length relations of isovolumic and ejecting contractions*. *Am J Physiol* 231 : 337, 1976
 - 25) Grossman W, Braunwald E, Mann T : *Contractile*

- state of the left ventricle in man as evaluated from end-systolic pressure-volume relations. *Circulation* 56 : 845, 1977
- 26) Weber KT, Janicki JS : *Instantaneous force-velocity-length relations : experimental findings and clinical correlates.* *Am J Cardiol* 40 : 740, 1977
 - 27) Sagawa K, Suga H, Shoukas AA, Bakalar KM : *End-systolic pressure-volume ratio : a index of ventricular contractility.* *Am J Cardiol* 40 : 748, 1977
 - 28) Borow K, Green LH, Mann T, Sloss LJ : *End-systolic volume as a predictor of postoperative left ventricular performance in volume overload from valvular regurgitation.* *Am J Med* 68 : 655, 1980
 - 29) Boucher CA, Bingham JB, Osbakken MD, Okada RD, Strauss WH, Block PC, Levine FH, Phillips HR, Pohost GM : *Early changes in left ventricular size and function after correction of left ventricular volume overload.* *Amer J Cardiol* 47 : 991, 1981
 - 30) Konstam MA, Wynne J, Holman BC, Brown EJ, Neil JM, Kozlowski J : *Use of equilibrium(gated) radionuclide ventriculography to quantitate left ventricular output in patients with and within left-sided valvular regurgitation.* *Circulation* 64 : 578, 1981
 - 31) Ramanathan KB, Knowles J, Connor MJ, Tribble R, Kroetz FW, Sullivan JM, Mirvis DM : *Natural history of chronic mitral insufficiency : Relation of peak systolic pressure/end-systolic volume ratio to morbidity and mortality.* *J Am Coll Cardiol* 3 : 1412, 1984
 - 32) Wisenbaugh T, Spann JF, Carabello BA : *Differences in myocardial performance and load between patients with similar amount of chronic aortic versus chronic mitral regurgitation.* *J Am Coll Cardiol* 3 : 913, 1984
 - 33) Grossman W, McLaurin LP, Stefadouros MA : *Left ventricular stiffness associated with chronic pressure and volume overloads in man.* *Circ Res* 35 : 913, 1974
 - 34) Miller GH, Kirklin JW : *Myocardial function and left ventricular volumes in acquired valvular insufficiency.* *Circulation* 31 : 374, 1965
 - 35) Hildner FJ, Javier RP, Cohen CS : *Myocardial dysfunction associated with valvular heart disease.* *Am J Cardiology* 30 : 319-26, 1972
 - 36) Schuler G, Peterson KL, Johnson A, Francis G, Dennish G, Utley J, Daily PO, Ashburn W, Ross J Jr : *Temporal response of left ventricular performance to mitral valve surgery.* *Circulation* 59 : 1218, 1979
 - 37) Takahashi M, Sasayama S, Kawai C, Kotoura H : *Contractile performance of the hypertrophied ventricle in patients with systemic hypertension.* *Circulation* 62 : 116, 1980
 - 38) Watkins J, Slutsky R, Tubau J, Karliner J : *Scintigraphic study of relation between left ventricular peak systolic pressure and end-systolic volume in patients with coronary artery disease and normal subjects.* *Br Heart J* 48 : 39, 1982