Original Articles Korean Circulation J 1998;28(4):532-544

승모판 협착증에서 풍선 확장술이 좌심방의 역학에 미치는 영향 : 압력-용적 관계 분석에 의한 좌심방의 기능 평가

연세대학교 의과대학 심장혈관센터 심장내과학교실,[1] 보건과학대학 의용전자공학과,[2]
의과대학 병리학교실[3]
하종원[1] · 정남식[1] · 장양수[1] · 윤영로[2] · 강석민[1] · 변영섭[1]
이승하[2] · 임세중[1] · 심원흠[1] · 조승연[1] · 김성순[1] · 조상호[3]

Assessment of Left Atrial Function Using Instantaneous Pressure-Volume Relations in Mitral Stenosis before and after Percutaneous Mitral Balloon Valvuloplasty

Jong-Won Ha, MD[1], Namsik Chung, MD[1], Yangsoo Jang, MD[1], Young-Ro Yoon, PhD[2], Seok-Min Kang, MD[1], Young-Sup Byun, MD[1], Seung-Ha Lee, MD[1], Se-Joong Rim, MD[1], Won-Heum Shim, MD[1], Seung-Yun Cho, MD[1], Sung-Soon Kim, MD[1] and Sang-Ho Cho, MD[3]

[1]Cardiology Division, [2]Department of Biomedical Engineering, [3]Department of Pathology, Yonsei University, Seoul, Korea

ABSTRACT

Background : The left atrium functions as a reservoir for blood stored during ventricular systole, a conduit for pulmonary venous flow during ventricular diastole, and as a pump augmenting left ventricular filling during atrial systole. Cardiac angiography and Doppler echocardiography have been used in the assessment of atrial function. These measurements are, however, quite sensitive to ventricular and atrial loading conditions. Instantaneous pressure-volume relations of the left atrium have been described by a time-varying elastance model in the isolated left atrium and intact circulation in animal models. The mitral stenosis can be characterized hemodynamically as increased afterload of the left atrium. Percutaneous mitral balloon valvuloplasty, which results in a dramatic increase in the mitral orifice area in patients with mitral stenosis, is a well-suited clinical model for physiological assessment of the left atrial function in response to acute change of the left atrial afterload. The purpose of this study was 1) to evaluate the feasibility of the left atrial pressure-volume loop using automatic boundary detection method, 2) to obtain the left atrial pressure-volume loop in patients with mitral stenosis and to compare with that of normal controls, and 3) to assess the changes of the left atrial wall tesion and stroke work after percutaneous mitral balloon valvuloplasty in patients with mitral stenosis using the left atrial pressure-volume relations. **Methods** : Twelve patients had simultaneous measurements of left atrial pressure and left atrial volume using trasseptal catheterization and two-dimensional echocardiography with automatic boundary detection technology. The left atrial pressure-volume was constructed by a computer workstation interfaced with an ultrasound system. Left atrial volumetric parameters, areas of A and V loops, and peak wall tension were measured and compared before and after

논문접수일 : 1998년 2월 6일
심사완료일 : 1998년 4월 27일
교신저자 : 하종원, 120 - 140 서울 서대문구 신촌동 134번 연세대학교 의과대학 심장혈관센터 심장내과학교실
전화 : (02) 361 - 7071 · 전송 : (02) 393 - 2041
E - mail : jwha@yumc.yonsei.ac.kr

percutaneous mitral balloon valvuloplasty. **Results** : 1) The left atrial pressure-volume loop could be obtained without complications in the control group as well as in patients with mitral stenosis. 2) The left atrial peak wall tension and A and V loop areas were significantly increased in mitral stenosis compared to the control group. 3) Left atrial maximal volume, minimal volume and volume before active atrial contraction were significantly increased in mitral stenosis compared to control group. 4) Left atrial ejection fraction and left atrial active emptying fraction were significantly reduced in mitral stenosis. Left atrial passive emptying fraction was slightly reduced in mitral stenosis compared to control group without statistical significance. 5) Left atrial peak wall tension and A loop area were significantly reduced after percutaneous mitral balloon valvuloplasty. 6) There were no significant changes in left atrial maximal volume, minimal volume, volume before active atrial contraction, total volume change, passive emptying volume, active emptying volume, passive emptying fraction, active emptying fraction, V loop area and left atrial ejection fraction after percutaneous mitral balloon valvuloplasty. **Conclusion** : The left atrial stroke work and peak wall tension can be assessed quantitatively using left atrial pressure-volume relations in patients with mitral stenosis and those are significantly reduced after percutaneous mitral balloon valvuloplasty. The analysis of left atrial pressure-volume loop is a potentially useful means in the assessment of left atrial function. **(Korean Circulation J 1998;28(4):532-544)**

KEY WORDS : Mitral stenosis · Left atrial pressure-volume relations · Percutaneous mitral balloon valvuloplasty.

서 론

좌심방은 폐정맥으로부터 유입되는 혈류를 좌심실내로 전달하는 단순한 통로의 기능뿐만 아니라 자발적인 수축에 의하여 이완기말에 좌심실 내로 혈류를 보내는 역할을 하는 심장 내의 구조이다. 특히 좌심실의 이완기능이 감소되어 있는 경우 좌심방의 수축에 의한 이완기 혈류 유입이 상당히 중요한 역할을 하게 된다.[1] 지금까지 좌심방의 기능을 평가하는 방법으로 도플러 심초음파를 이용한 이완기 승모판 혈류 및 폐정맥의 혈류양상 등이 이용되어 왔다.[2-5] 즉, 이완기 승모판 혈류양상중 A파의 기간이나 최고 속도 및 time-velocity integral 등의 측정을 통하여 좌심방의 수축 기능을 평가하거나 폐정맥의 수축기, 이완기 및 좌심방 수축시의 폐정맥 내로의 역류 등의 관찰을 통하여 좌심방의 수축 및 이완 기능 등을 평가하였으나 이와 같은 측정은 좌심방의 압력, 용적 및 순응도 등에 의하여 많은 영향을 받기 때문에 이제 까지 많은 연구 결과들이 일관된 양상을 보이지 않았다.

압력-용적 관계를 이용한 심방의 기능 평가는 여러 요인에 의한 영향이 적으면서 수축 기능과 이완 기능을 동시에 평가할 수 있는 유용한 지표로서 동물 실험에서 이 같은 개념이 알려져 있는 반면에 사람에서 심방의 용적을 측정하기 어려운 이유로 이에 대한 연구에 제한점이 되어 왔다. Suga 및 Sagawa[6]는 심장이 시간에 따라서 변화하는 일종의 탄력체라는 개념(time varying elastance)을 도입하고 전부하나 후부하를 변화시켜서 여러 개의 좌심실 압력-용적 loop를 생성한 다음,

$$E(t) = P(t) / \{V(t) - Vd\}$$

E=time varying elastance
P=instantaneous left ventricular pressure
V=instantaneous left ventricular volume
Vd=volume-axis intercepts
t=time

의 방정식을 도입하여 좌심실의 수축 기능 평가에 유용함을 소개한 바 있다. Alexander 등[7]은 유사한 개념으로 개를 이용한 실험에서 좌심방에서도 이와 같은 개념을 적용하여,

$$ELA(t) = LAP(t) / \{LAV(t) - Vo(t)\}$$

ELA(t)=left atrial time varying elastance
LAP(t)=instantaneous left atrial pressure
LAV(t)=instantaneous left atrial volume
Vo(t)=volume-axis intercepts
t=time

의 방정식으로 좌심방의 수축기능을 가진 공간으로서의 기능을 평가하는 지표로 이용될 수 있음을 보고하였다. 그러나 이제까지 심방의 용적을 측정하는데 이용되

었던 혈관 조영술(angiography), M형 및 이면성 심초음파검사(M-mode and two dimensional echocardiography), 방사선 핵종 조영술(radionuclide angiography) 등의 방법들은 심실과의 지형학적 관계, 일정하지 않은 심방의 형태 등으로 심방의 용적을 측정하는데 제한점이 있었다.[8] 더욱이 압력-용적 관계를 측정하기 위해서는 압력과 용적치를 동시에 연속적으로 표시해야 하기 때문에 이제까지의 방법으로는 많은 어려움이 있었다. 최근에 integrated backscatter를 이용한 자동 경계 탐지 방법(automatic boundary detection method)[9-11]에 의해서 좌심방의 단면적이 심박동의 주기에 따라 연속적으로 측정이 가능하여 좌심방의 단면적 변화와 압력의 변화를 묶어서 압력-면적 loop를 생성하고 좌심방의 단면적이 좌심방의 용적 변화와 상관 관계가 있는 점을 감안하여 압력-용적 loop와 유사한 개념을 근거로 한 좌심방의 기능 평가 연구 노력이 가능하여졌다. 즉, 자동 경계 탐지 방법에서 구한 좌심방의 단면적을 변형된 Simpsons 방법을 이용하여 좌심방의 용적을 측정할 수 있도록 하여 좌심방의 용적 변화를 지속적으로 아나로그 부호(analog signal)로 내보냄으로써 좌심방의 압력과 용적을 동시에 in vivo 상태의 심장에서 측정할 수 있게 되었다. 따라서 좌심방의 압력-용적 loop를 생성하는데 가장 큰 제한점이 해결되었다고 할 수 있으며 심방의 기능을 평가하는데 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다 하겠다.

승모판 협착증은 좌심방의 유출로인 승모판의 구면적이 감소되고 좌심방의 벽장력(wall tension)이 증가되어 좌심방의 후부하가 증가되어 있는 상태라 할 수 있다. 이 질환의 치료로 선택된 환자에서 시행되고 있는 경피적 승모판 풍선 확장술(percutaneous mitral balloon valvuloplasty, 이하 PMV)은 시술후 승모판의 구면적을 증가시켜 증가된 좌심방의 후부하를 감소시킴으로써 좌심방의 압력을 감소시키고 좌심방의 벽장력을 감소시킨다. 따라서 이와 같은 시술은 압력 변화와 함께 후부하의 변화에 따른 좌심방의 기능 변화를 관찰하는데 이상적인 임상적 연구 모델이라 생각된다.

본 연구의 목적은 첫째, 환자에 있어 좌심방의 압력-용적 loop를 실 시간으로 나타낼 수 있는 시스템을 개발하고 그 효용성을 평가하고자 함이다. 둘째, 정상 대조군과 승모판 협착증군에서 압력-용적 loop를 측정하고 이를 비교 분석하며, 세째, 승모판 협착증 환자에서 PMV 후 좌심방의 후부하를 변화시킨 상태에서 좌심방의 박출 일(stroke work) 및 벽장력의 변화를 좌심방의 압력-용적 관계를 이용하여 정량적으로 측정하고자 함이다.

대상 및 방법

대 상

증상이 있으면서 정상 동율동을 보이는 승모판 협착증 환자를 대상으로 하였다. 환자의 연령과 성별의 제한은 없었으며 환자가 검사 및 시술 방법과 목적을 이해하고 동의한 경우에 시행하였다. 시술전 경흉부 및 경식도 초음파검사를 시행하여 승모판막의 형태가 시술에 이상적이면서 심한 승모판 폐쇄 부전이나 좌심방내 혈전이 없는 경우를 대상으로 하였다. 또한 과거에 뇌색전증의 병력이 있거나 대동맥 판막의 심한 협착이나 폐쇄 부전이 동반된 경우 및 심방 세동이 있는 경우는 연구 대상에서 제외하였다. 비전형적인 흉통을 주소로 내원하여 관동맥 조영술상 정상 소견을 보인 8명의 환자를 정상 대조군으로 하였다.

검사 방법

심도자술 및 경중격 도자술

우측 대퇴정맥을 경피적으로 천자하여 도자를 삽입한 후 7Fr wedge balloon catheter를 삽입하여 폐동맥의 쐐기 위치까지 전진한 후 pull-back tracing하면서 폐동맥 쐐기압(pulmonary capillary wedge pressure), 폐동맥압(pulmonary artery pressure), 우심실압(right ventricular pressure) 및 우심방압(right atrial pressure) 등을 측정하였다. 좌측 대퇴동맥을 Seldinger씨 방법을 이용하여 천자후 5Fr pigtail catheter를 대동맥을 통하여 좌심실내로 위치시킨 후 좌심실의 확장말기압(left ventricular end-diastolic pressure)을 측정하였다. 좌심실 확장말기압 측정후 조영제를 초당 10 mL의 속도로 약 30 mL를 투여하여 좌심실 조영술을 시행한 후 승모판 폐쇄부전의 정도를 관찰하였다. 좌심실 조영술후 우측 대퇴정맥으로 Mullin's sheath와 Brockenbrough needle을 삽입하여 우심방에 위치한 후 경중격 도자법(transseptal catheterization)을 시행하여 좌심방의 압력을 직접 측정하

였다. 좌심방의 압력은 fluid - filled catheter system을 이용하여 측정하였으며 도자를 Statham 23 dB 압력 transducer에 연결한 후 transducer를 우심방의 중간 부위 높이에 위치시킨 후 영점 조정을 하였다. 심전도와 심장내 압력은 초당 25, 50 mm의 속도로 용지에 기록하였다. 정상 대조군의 경우 관동맥 조영술후 5Fr pigtail catheter를 좌심실에서 U자형으로 만든 후 좌심방내로 삽입하여 좌심방압을 측정하였다.

심초음파 검사

심초음파는 2.5 MHz 탐촉자를 이용하여 표준 영상 구도(standard imaging plane)에서 좌심방의 내경, 좌심실의 확장기말 및 수축기말 내경, 좌심실의 분획율(fractional shortening) 및 구혈율(ejection fraction) 등을 측정하였다. Parasternal short axis view의 승모판 부위에서 이면성 초음파상의 planimetry를 이용하여 승모판의 구면적(MVA)을 측정하였다. 연속파 도플러 검사(continuous wave Doppler echocardio - gr - aphy)를 시행하여 apical four chamber view에서 압력 반감기 방법[12]을 이용하여 승모판의 구면적을 측정하였으며 평균 이완기 승모판막 압력차(mean dias - tolic pressure gradient, MDPG)를 구하였다. 컬러 도플러 검사를 시행하여 승모판막, 대동맥 판막 및 삼첨판의 폐쇄 부전 정도를 관찰한 후 정도에 따라 4단계로 나누었다.[13] 경흉부 초음파 검사(transthoracic echoc - ardiography) 후 금식 상태에서 경식도 초음파 검사(tr - ansesophageal echocardiography)를 시행하여 좌심방 및 좌심방이(left atrial appendage)내의 혈전 유무 등을 확인하였다. 경식도 초음파 검사는 4시간 이상 금식한 상태에서 5 MHz의 탐촉자를 이용하여 검사를 시행하였으며 좌심방 내의 혈전 유무와 함께 자발적 에코 영상(spontaneous echo contrast) 등을 관찰하였다. 좌심방 용적의 측정은 Hewlett - Packard사 제품의 SONOS 1500 초음파 장비를 이용하여 apical four - chamber view에서 좌심방의 면적 및 용적을 자동 경계 탐지 방법을 이용하여 실 시간으로 측정하였다(Fig. 1). 좌심방 용적 측정시 좌심방의 심내막 경계가 가장 정확하게 구별되는 심장의 최대 박동점(point of ma - ximal impulse) 부위에서 초음파의 total gain control, lateral gain compensation, transmittance 등을 가장 이상적인 상태로 조정시킨 후 환자가 호기 후 호흡을 멈춘 상태에서 측정하였다.

좌심방의 압력 - 용적 loop 생성 및 분석

자동 경계 탐지 방법을 이용하여 측정된 좌심방의 용적을 실 시간으로 아나로그 신호를 1초에 50회로 디지틀화(digitization)하였으며 동시에 좌심방의 압력을 실 시간으로 측정하면서 이 압력 신호를 좌심방의 용적 신호와 마찬가지로 1초에 50회로 디지틀화하여 같은 시간대의 압력과 용적의 값을 y축에는 압력, x축에는 용적에 각각 대입하여 압력 - 용적 loop를 생성하였다 (Fig. 2). 좌심방의 압력 - 용적 loop는 두 개의 loop로 구성되어 있다. 즉, 좌심방의 수축기에 시계 반대 방향으로 도는 모양의 A loop와 심실의 수축기에 시계 방향으로 도는 V loop로 구성되어 있으며 A loop의 면적은 좌심방의 박출 일을 나타낸다. 이와 같은 방법으로 PM - V전 좌심방의 압력 - 용적 loop를 측정한 후 In -

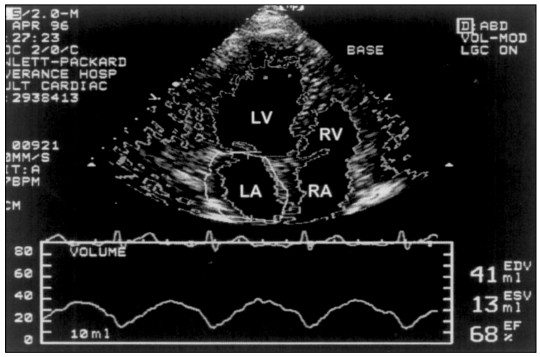

Fig. 1. Conventional two dimensional echocardiographic imaging with automatic boundary detection providing instantaneous left atrial volumes. LA : left atrium, LV : left ventricle, RA : right atrium, RV : right ventricle

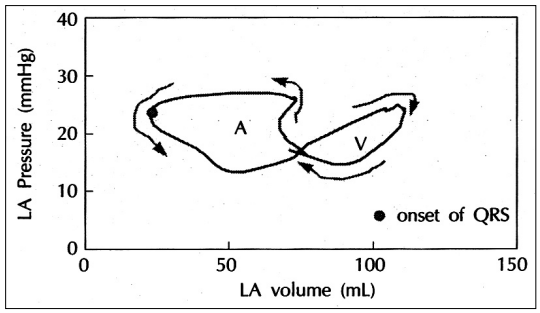

Fig. 2. Left atrial pressure-volume loop from a single beat. Left atrial pressure-volume loop consists of a counterclockwise A loop (atrial contraction) and a clkwise V loop (passive filling). The onset of QRS complex is shown for timing purposes. LA denotes left atrium.

oue 풍선 도자(Toray Inc. Tokyo, Japan)를 이용하여 PMV를 시행하였다. 승모판 확장술 후 같은 방법으로 좌심방의 압력-용적 loop를 측정하였으며 특히 시술 후 좌심방의 압력-용적 loop 측정시 자동 경계 탐지 방법 중 artifact에 의한 오차를 줄이기 위해 Inoue 풍선 도자를 좌심방에서 제거한 후 Mullin's sheath를 다시 좌심방 내로 위치한 후 측정하였다. 압력-용적 loop는 시술 전후에 각각 3회씩 반복 측정하였다. 좌심방 압력 곡선에서 a파의 압력(Pa), x점에서의 압력(Px), v파의 압력(Pv) 및 평균 압력(mean LAP)을 측정하였고 용적 곡선에서 최대 좌심방 용적(Vmax), 최소 좌심방 용적(Vmin), active atrial emptying전의 좌심방 용적(Va) 및 좌심방 용적의 변화(VC) 등을 시술 전후에 측정하고 이를 비교하였다. 좌심방의 passive emptying volume(PEV)은 Vmax에서 Va를 뺀 값으로 구하였으며 좌심방의 active emptying volume (AEV)은 Va에서 Vmin을 뺀 값으로 나타내었다. VC는 Vmax에서 Vmin을 뺀 값으로 구하였다(Fig. 3). 좌심방의 박출량은 Va에서 Vmin을 뺀 값인 좌심방의 active emtying volume으로 계산하였으며 좌심방의 구혈율은 (Va-Vmin)/Va로 계산하였다. 좌심방의 passive emtying fraction은 (PEV/Vmax)*100, active emptying fraction은 (AEV/Va)*100으로 구하였다. 좌심방의 최대 벽장력은 좌심방의 압력 곡선에서 최대값을 나타내는 점에서의 압력과 이 점에서의 용적을 곱한 값으로 나타내었다.

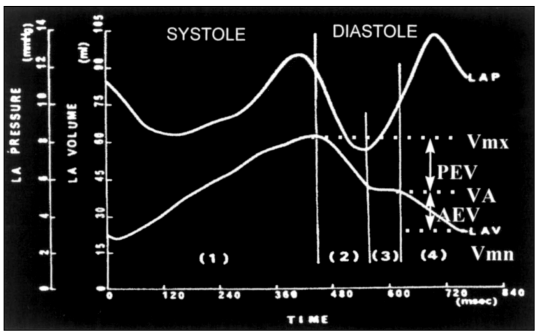

Fig. 3. Instantaneous changes of left atrial pressure (LAP) and left atrial volume (LAV) during single cardiac cycle. Passive emptying volume (PEV) was calculated by subtracting the left atrial volume before active atrial emptying (VA) from the maximal left atrial volume (Vmx). Active emptying volume (AEV) was calculated by subtracting the minimal left atrial volume (Vmn) from left atrial volume before active contraction.

PMV 시술 방법

우심도자검사 및 경중격 도자법을 시행하여 좌심방의 압력을 측정한 후 헤파린 100 IU/Kg을 좌심방 내로 투여하였다. 좌심방에 위치한 Mullins sheath 안으로 Inoue wire를 넣어 좌심방 안에 위치시킨 다음 Mullins sheath를 제거 후 dilator를 삽입하여 Inoue 풍선 도자의 통과를 용이하게 하기 위하여 서혜부 부위와 심방 중격을 확장시켰다. Dilator를 제거한 후 Inoue 풍선 도자(26 30 mm, Toray Inc. Tokyo, Japan)를 삽입하여 stylet을 시계 역방향으로 돌리면서 풍선 도자를 승모판막구(mitral valve orifice) 앞에 위치시킨 후 좌심실 안으로 전진시켰다. 좌심실 안에서 Inoue 풍선 도자의 원위부를 확장시켜 풍선 도자가 승모판의 중앙에 위치하게 한 후 풍선 도자를 확장시켰다. 풍선 도자의 선택은 효과적인 풍선 확장 면적(effective balloon dilating area)이 체표 면적의 4배 정도가 되도록 조합하여 결정하였다.[14] 풍선 도자를 좌심실에서 좌심방으로 빼낸 후 좌심방과 좌심실의 압력을 동시에 측정하여 이완기 압력차가 남아 있을 경우 같은 방법으로 재차 2 3회에 걸쳐 확장을 시행하였다. 풍선 확장 후 5Fr pigtail catheter를 좌심실에 위치 시킨 후 30 mL의 조영제를 투여 후 좌심실 조영술을 시행하여 승모판 폐쇄 부전의 정도를 관찰하였다. 혈역학적으로 안정된 후 Inoue 풍선 도자를 Mullins sheath로 교체한 후 좌심방의 압력-용적 loop를 측정하였다. 좌심방의 압력-용적 loop를 측정한 후 7Fr wedge balloon catheter를 이용하여 폐동맥 쐐기압, 폐동맥압, 우심실압 및 우심방압을 측정하였다. PMV후 좌우 단락의 정도를 평가하기 위해 시술 전후 우심방 및 폐동맥에서 산소 분압을 측정하여 비교하였다.

통계 분석

모든 자료는 평균과 표준 편차로 나타내었으며 자료의 통계학적 분석은 SPSS/PC 통계 소프트웨어를 이용하였다. 정상 대조군과 승모판 협착증군 간의 압력-용적 loop의 비교에는 Mann-Whitney test를 이용하였다. PMV 전후에 맥박수, MVA, MDPG, mean LAP, Pa, Px, Pv, PCWP, mean PAP 등은 Wilcoxon signed rank test를 이용하여 비교하였다. 좌심방의 압력-용적 loop 자료중 Vmax, Vmin, Va, VC, PEV, AEV, PEF, AEF, LAEF, A loop의 면적, V loop의 면적, 좌

심방의 최대 벽장력 등을 Wilcoxon signed rank test를 이용하여 비교 분석하였다. 통계적 유의성은 p값이 0.05 이하인 경우로 하였다.

연 구 결 과

정상 동율동을 보인 16명의 환자에서 PMV 전후에 좌심방의 압력-용적 관계를 측정하였으며 acoustic window가 만족스럽지 않아 좌심방의 용적 측정이 정확하지 않았던 4명을 제외한 12명의 환자에서 분석을 시행하였다. 대상 환자의 평균 연령은 45.0±7.9세였으며 남자가 2명, 여자가 10명이었다. 환자의 신장, 체중 및 체표 면적은 각각 156.0±7.1 cm, 55.3±8.4 kg, 1.55±0.2 m^2이었다. 평균 증상 기간은 50.4±37.0개월이었으며 증상의 정도는 New York Heart Association functional class 2가 10명, functional class 3 가 2명이었다. 정상 대조군 8명에서 좌심방의 압력-용적 관계를 측정하여 비교 분석하였다.

심초음파 소견

좌심실의 확장기말 및 수축기말 내경은 각각 48.0±3.3, 32.4±3.3 mm이었으며 좌심실의 분획율(fractional shortening) 및 구혈율(ejection fraction)은 각각 32.5±4.1, 65.0±5.2%로 정상이었다(Table 1). 좌심방의 내경은 50.0±3.6 mm로 증가되어 있었으며 컬러 도플러 검사상 대동맥 판막 폐쇄 부전이 관찰되지 않은 경우가 9명이었으며 3명에서 1단계의 대동맥 판막 폐쇄부전이 관찰되었다. 대동맥 판막 및 삼첨판막 협착증이 동반되었던 경우는 없었으나 1단계의 삼첨판 폐쇄부전이 4명에서 관찰되었으며 8예에서는 관찰되지 않았다. 승모판 폐쇄부전의 경우 4예에서 1단계의 승모판 폐쇄 부전이 관찰되었으나 8예에서는 관찰되지 않았다. 이면성 심초음파로 측정한 승모판의 구면적은 시술전 1.0±0.1 cm^2에서 시술후 1.7±0.2 cm^2로 유의하게 증가하였다($p<0.05$). 압력 반감기 방법으로 측정한 승모판의 구면적 역시 시술 전 1.0±0.1 cm^2에서 시술 후 1.7±0.2 cm^2로 유의하게 증가하였다($p<0.05$). 평균 이완기 승모판 압력 차이(mean diastolic gradient)는 시술전 14.9±5.8 mmHg에서 시술후 3.9±1.3 mmHg로 유의하게 감소하였다($p<0.05$)(Table 2).

정상 대조군과 승모판 협착증군 간의 압력-용적 loop의 비교

Fig. 4는 정상 대조군과 승모판 협착증환자에서의 좌심방 압력-용적 loop를 도식화한 것이다. 정상 대조군에 비해 승모판 협착증군에서 압력-용적 loop중 A loop 및 V loop의 면적이 유의하게 증가되어 있었으며(185.3±56.5 mmHg*ml 대 1.7±28.3, 117.6±71.8 mmHg*ml 대 42.1±3.8 mmHg*ml, $p<0.05$) 좌심방의 구혈율은 승모판 협착군에서 정상 대조군에 비해 유의하게 감소되어 있었다(22.2±8.9% 대 58.8±8.6%, $p<0.05$)(Fig. 5). 좌심방의 최대 벽장력은 승모판 협착

Table 1. Demographic and echocardiographic data of patients

Age (years)	45± 7.9
Sex (M/F)	2 / 10
Height (cm)	156.0 ± 7.1
Weight (kg)	55.3 ± 8.4
BSA (m^2)	1.55± 0.2
Symptom duration (months)	50.4 ±37.0
LAD (mm)	50.0 ± 3.6
LVEDD (mm)	48.0 ± 3.3
LVESD (mm)	32.4 ± 3.3
LVEF (%)	65.0 ± 5.2

BSA : body surface area, LAD : left atrial dimension, LV-EDD : left ventricular enddiastolic dimension, LVEF : left ventricular ejection fraction, LVESD : left ventricular end-systolic dimension

Table 2. Hemodynamic changes after PMV

	Pre PMV	Post PMV
Mitral valve area (cm^2)		
Two-dimensional echo	1.0±0.1	1.7±0.2
Mean diastolic pressure gradient (mmHg)	14.9±5.8	3.9±1.3
Mean left atrial pressure (mmHg)	25.1±7.4	13.8±4.9
Mean pulmonary artery pressure (mmHg)	36.0±13.4	23.1±8.8

PMV : percutaneous mitral balloon valvulplasty. All comparisons were statistically significant ($p<0.050$)

증군에서 유의하게 증가되어 있었다(2469.8±715.5 mmHg*ml 대 370.2±285.5 mmHg*ml, p<0.05) (Fig. 6). 용적 변화중 Vmax, Va, Vmin 등이 승모판 협착증군에서 정상 대조군에 비해 유의하게 증가되어 있었으나(117.0±42.9 ml 대 49.8±32.7 ml, 90.8±32.1 ml 대 34.4±26.8 ml, 70.7±25.1 ml 대 15.4±13.9 ml, p<0.05) PEV, AEV,VC 등에는 유의한 차이가 없었다(26.2±16.3 ml 대 15.4±5.9 ml, 20.1±13.4 ml 대 19.1±12.8 ml, 46.3±27.6 ml 대 34.4±18.9 ml, p>0.05)(Fig. 7).

PMV 전후의 혈역학적 변화

시술 전후에 맥박수의 유의한 변화는 관찰되지 않았다. 좌심방의 평균 압력은 시술전 25.1±7.4 mmHg에서 시술후 13.8±4.9 mmHg로 통계적으로 유의하게 감소하였다(p<0.05). 좌심방의 압력 곡선중 좌심방의 수축기에 관찰되는 a파는 시술전 34.6±7.4 mmHg에서 시술후 20.5±4.5 mmHg로 유의하게 감소하였으며

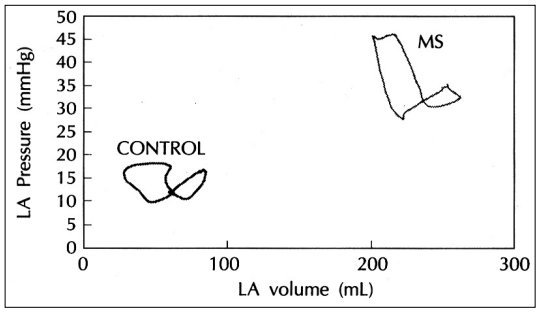

Fig. 4. Left atrial pressure-volume loop from a single beat in patients with mitral stenosis and control. MS : mitral stenosis. Abbreviation as in Fig. 2.

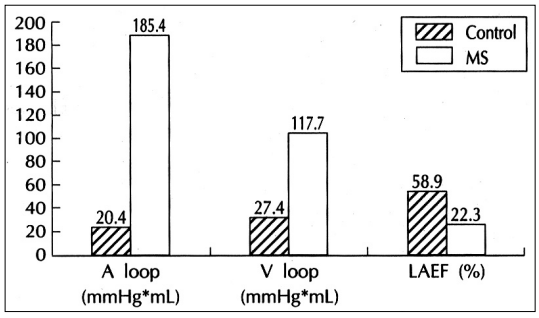

Fig. 5. Comparison of left atrial ejection fraction (LAEF), A loop and V loop areas between mitral stenosis and control groups. LAEF was significantly reduced in mitral stenosis whereas A loop and V loop areas were significantly increased in mitral stenosis. All comparisons were statistically significant (p<0.05).

(p<0.05) 좌심실의 수축기에 관찰되는 v파는 시술전 38.5±12.8 mmHg에서 시술후 20.9±5.7 mmHg로 유의하게 감소하였다(p<0.05). 폐동맥 쐐기압은 시술전 26.1±8.8 mmHg에서 시술후 12.1±4.0 mmHg로 유의하게 감소하였다(p<0.05). 폐동맥의 평균 압력은 시술전 36.0±13.4 mmHg에서 시술후 23.1±8.8 mm Hg로 유의하게 감소하였다(p<0.05). PMV후 2단계 이상의 승모판 폐쇄 부전이나 유의한 좌우 단락을 보인 경우는 없었다.

PMV 전후 압력-용적 loop의 변화

Fig. 8은 PMV 전후 좌심방의 압력-용적 loop의 변화를 나타낸 것이다. 좌심방의 최대 벽장력은 PMV 전 2469.9±331.6 mmHgml에서 1575.7±177.2 mmHgml로 통계적으로 유의하게 감소하였으며(p<0.05) 압력-용적 loop에서의 A loop의 면적은 시술 전 185.3±56.5 mmHg*ml에서 시술 후 64.0±11.6 mmHg*ml로 유의하게 감소하였다(p<0.05). V loop의 면적은 시술 전 115.5±22.6 mmHg*ml에서 시술 후 91.0±18.4 mmHg*ml로 유의한 변화를 보이지 않았다(p>0.05)(Fig. 9). PMV 전후 좌심방의 Vmin, Va, Vmax, VC, PEV, AEV, PEF, AEF, LAEF 등에는 유의한 변화가 없었다(p>0.05)(Fig. 10).

고 찰

좌심방은 이완기에 폐정맥으로부터 유입되는 혈류를 좌심실내로 전달하는 단순한 통로의 기능과 수축기에 혈류를 저장하는 저류기능과 함께 자발적인 수축에 의

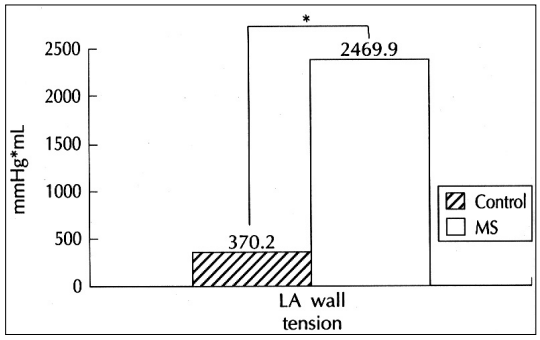

Fig. 6. Comparison of left atrial wall tension between mitral stenosis and control groups. Note the significantly increased left atrial wall tension in mitral stenosis. *p<0.05

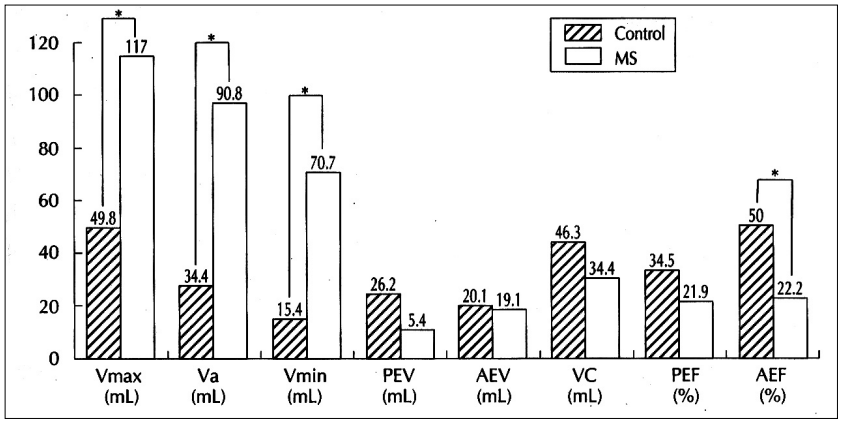

Fig. 7. Comparison of left atrial volume between mitral stenosis and control groups. Left atrial volumes were siginificatly increased in mitral stenosis compared to controls. *p<0.05. AEF : active emptying fraction, PEF : passive emptying fraction, VC : volume change. Other abbreviations as in Fig. 3.

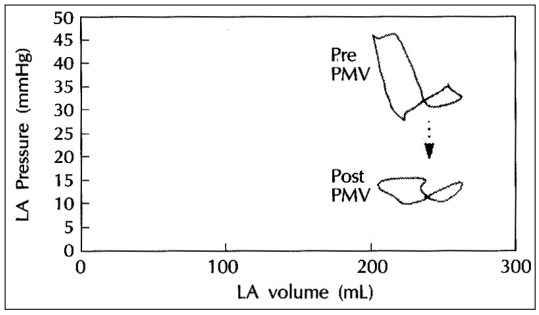

Fig. 8. Left atrial pressure-volume loop in a single beat before and after PMV. Left atrial pressure-volume loop shifted downward and A loop area was significantly reduced after PMV mainly due to pressure decline induced by PMV. PMV : percutaneous mitral balloon valvuloplasty.

하여 이완기말에 좌심실내로 혈류를 보내는 역할 등을 가지고 있다.[15-18] 이와 같은 좌심방의 기능 평가에 이용되어 왔던 검사 방법으로는 심도자술, 심방 조영술, sonomicrometry 및 도플러 심초음파를 이용한 이완기 승모판 혈류 양상, 폐정맥의 혈류 양상 등이 많이 이용되어 왔다.[2-5] 특히 도플러 심초음파를 이용한 승모판 혈류 양상 및 폐정맥 혈류 양상의 분석은 좌심방의 기능 평가에 유용하게 이용되고 있다. 그러나 이와 같은 측정의 제한점은 좌심방의 압력, 용적 및 순응도 등에 의하여 많은 영향을 받기 때문에 이제까지 많은 연구 결과들이 일관된 양상을 보이지 않았다.

압력-용적 관계를 이용한 심방의 기능 평가는 여러 요인에 의한 영향이 적으면서 수축기능과 이완기능을 동시에 평가할 수 있는 유용한 지표로서 동물실험에서 이같은 개념이 알려져 있는 반면에 사람에서 심방의 용적을 측정하기 어려운 이유로 이에 대한 연구에 제한점이 되어 왔다.[7)19-23] Canine model에서 좌심방의 압력-용적관계를 이용한 좌심방의 기능 평가 연구는 Alexander 등[7]에 의하여 부하에 독립적인 time-varying elastance의 특징을 모형화한 바 있다. Miller등[21]은 pig model에서 압력 측정을 위한 micromanometer catheter를 우심방과 우심실에 위치하고 용적 측정을 위한 impedance catheter를 우심방에 위치한 후 삼첨판 폐쇄 부전시 우심방의 압력-용적 관계를 관찰한 바 있다. 또한 Hoit등[23]은 canine model에서 time-varying elastance model을 이용하여 nonisochronal end-systolic pressure-volume relation으로 Emax를 측정함으로써 좌심방의 수축 기능을 in vivo 상태에서 평가하였다. 따라서 압력-용적 관계를 이용한 좌심방의 기능 평가는 in vitro 및 in vivo에서 증명되었다 할 수 있다. 임상적 연구로 Matsuda등[24]은 10명의 심근 경색환자에서 좌심방 조영술(left atrial angiography)을 이용하여 좌심방의 용적을 측정하고 micromanometer-tipped catheter를 이용하여 좌심방의 압력을 측정하여 압력-용적 loop를 얻었으며 그 결과 figureof-eight 모양의 두 개의 loop로 구성되었음을 관찰하였다. 즉, A loop는 좌심방의 pump 기능을 대변하며 V loop는 좌심방의 reservoir 기능을 나타낸다 하였으며 또한 심근 경색 환자에서 좌심방의 str-oke work가 대조군에 비하여 증가되어 있었으며 좌심방의 stroke work가 좌심방의 active contraction 전의 용적과 유의한 상관 관계가 있다고 하였다. 또한 Ma-tsuzaki 등[1]은 M-mode 심초음파 검사로 좌심방의 내경을 측정하여 이를 이용한 좌심방의 압력-면적 loop를 측정하여 심근 경색 환자에서 좌심방의

pump 기능이 강화된 기전이 Starling's mechanism 이라 하였다. 그러나 이들 연구에서 좌심방의 용적 측정에 이용되었던 혈관 조영술(angiography), M mode 심초음파검사 등은 심방의 용적을 측정하는데 여러 제한점이 있었다. 더욱이 압력-용적 관계를 비교적 정확하게 측정하기 위해서는 연속적이면서 동시에 압력과 용적치를 표시해야 하기 때문에 이와 같은 방법으로는 여러 제한점이 있었다. 최근에 integrated backscatter를 이용한 자동 경계 탐지 방법[9-11]은 좌심방 단면적을 심박동의 주기에 따라 연속적으로 측정 가능하게 하였다. Waggoner 등[11]은 45명의 환자에서 자동 경계 탐지 방법을 이용하여 apical four chamber view에서 좌심방의 단면적을 측정하여 기존의 이면성 심초음파를 이용하여 측정한 값과 비교한 결과 높은 상관 관계를 보여 좌심방 면적의 측정에 있어 자동 경계 탐지 방법이 비교적 정확한 방법이라 하였다. Clarkson 등[25]도 20명의 건강 대조군 및 환자에서 자동 경계 탐지 방법으로 apical four chamber view에서 좌심방의 단면적을 측정하여 기존의 이면성 심초음파와 비교한 결과 유의한 상관 관계를 관찰하였으며 높은 reproducibility가 있음을 보고하였다.

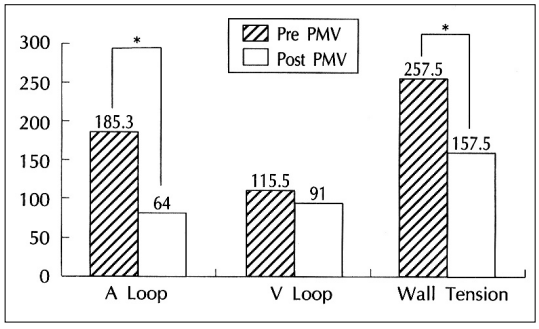

Fig. 9. Changes of left atrial pressure-volume loop areas and left atrial peak wall tension after PMV. Note the significant decrease of A loop area and left atrial wall tension after PMV. *$p<0.05$. Abbreviation as in Fig. 10.

승모판 협착증은 좌심방의 유출로(outflow)의 협착으로 인하여 좌심방압의 상승 및 좌심방의 확장 등을 야기하며 궁극적으로 좌심방의 기능 부전을 초래한다. 따라서 만성적인 승모판 협착증 환자에서 좌심방 기능 부전 및 심방 세동을 흔히 관찰할 수 있게 된다. 승모판 협착증에서 좌심방의 기능 평가는 여러 가지 방법을 통해 이루어져 왔다. Triposkiadis 등[26]은 15명의 정상 동율동을 보이는 승모판 협착증 환자에서 이면성 심초음파를 이용하여 좌심방의 용적을 측정하여 좌심방의 기능을 관찰한 결과 승모판 협착증에서는 좌심방의 용적은 증가되어 있으나 좌심방의 passive emptying, active emptying, total emptying fractions이 감소되어 있음을 관찰하여 승모판 협착증에서 좌심방의 기능이 감소되어 있다고 보고하였다. 본 연구의 결과 정상 대조군에 비하여 승모판 협착증에서 좌심방의 최대 용적, 최소 용적 및 Va 모두 유의하게 증가되어 있어 이전의 연구 결과와 일치되는 양상을 보였다. 또한 PEV의 경우 통계적 유의성은 없었으나 승모판 협착증에서 대조군에 비해 감소된 양상을 보였으며 AEV 및 VC는 양군간에 유의한 차이를 관찰할 수 없었다. 그러나 AEF는 승모판 협착증에서 정상 대조군에 비해 유의하게 감소되어 있었으며 PEF 역시 승모판 협착증군에서 감소된 경향을 보였으나 통계적 유의성은 없었다. 즉, 정상 동율동인 승모판 협착증에서 이완기시 좌심실로 보내어지는 혈류를 유지하기 위한 일종의 보상 기전으로 좌심방의 용적이 증가되어 있으며 이로 인하여 PEV와 AEV는 대조군과 유사하게 유지되고 있으나

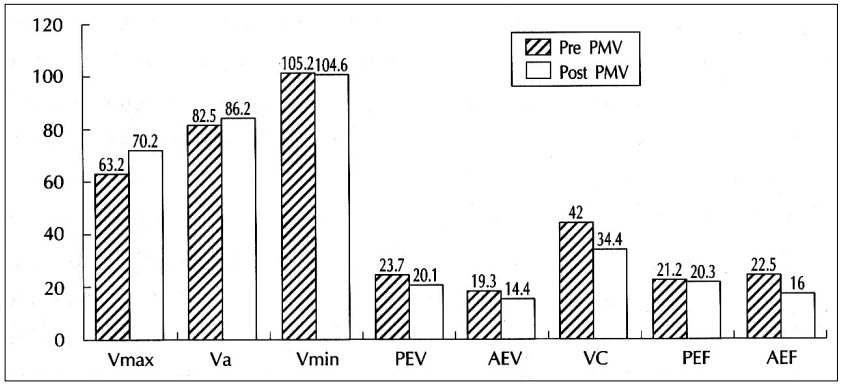

Fig. 10. Changes of left atrial volumes after PMV. There were no significant changes in all volume parameters after PMV. Abbreviations as in Fig. 8.

증가된 좌심방의 용적이 비해 그 효율은 감소되어 있다 할 수 있다. 또한 본 연구의 결과 승모판 협착증군에서 좌심방의 stroke work를 대변하는 A loop의 면적이 대조군에 비해 유의하게 증가되어 있는 반면에 좌심방의 구혈율은 대조군에 비해 유의하게 감소되어 있었다. 즉, 승모판 협착증에서 증가된 좌심방의 후부하로 인하여 좌심방의 stroke work 및 벽장력이 증가되어 있으며 이로 인한 좌심방의 섬유화 등으로 좌심방의 구혈율 감소를 초래한 것으로 생각된다. Klein 등[27]은 27명의 승모판 협착증환자에서 경식도 초음파를 이용하여 폐정맥 혈류 양상을 측정하여 승모판 협착증 환자에서 폐정맥의 수축기 혈류가 감소되어 있으며 폐정맥 이완기 혈류가 연장되어 있음을 관찰하고 승모판 협착증의 혈역학적 평가에 폐정맥 혈류 양상의 분석이 유용하다고 하였다. 그러나 폐정맥 혈류 양상의 분석은 좌심방의 부하 및 순응도 등에 영향을 받을 수 있을 뿐만 아니라 좌심방에 미치는 역학적 영향 등을 평가할 수 없다는 제한점이 있다. 이런 면에서 압력-용적 관계를 이용한 좌심방의 기능 평가는 유용하다고 생각되나 아직까지 자동 경계 탐지 방법을 이용한 승모판 협착 질환에서의 압력-용적 관계를 분석한 연구는 없었으며 특히 이 질환의 치료 시술중의 하나인 풍선 확장술 전후의 좌심방의 기능의 변화에 관한 연구는 아직 없다. 본 연구는 이런 점에서 승모판 협착증 환자에서 압력-용적 관계를 이용하여 좌심방의 벽장력, stroke work 등을 정량적으로 측정, 관찰하였으며 연구 모델이란 측면에서도 급성 승모판 폐쇄 부전과 달리 만성적인 승모판 협착증은 현재까지 적절한 동물 실험 모델이 없는 상황에서 좋은 임상 연구 모델이라 생각되며 이를 이용한 임상 연구란 점에서 의의가 있다 하겠다.

승모판 협착증 환자에서 치료로 시행되고 있는 PMV는 승모판의 구면적을 증가시켜 상승되어 있던 좌심방압을 감소시켜 폐 울혈을 감소시킴으로써 호흡곤란과 같은 증상을 경감시킬 뿐만 아니라 급격하게 좌심방의 후부하를 변화시킴으로써 좌심방의 역학 변화를 관찰할 수 있는 유용한 임상 연구 모델이다. Mohan 등[28]은 20명의 승모판 협착증 환자에서 혈관 조영술을 이용하여 PMV 전후 좌심실의 용적과 기능을 관찰한 결과 시술 후 승모판의 구면적이 유의하게 증가함에도 불구하고 좌심실의 용적에는 유의한 변화를 관찰할 수 없었다고 보고하였다. Tischler 등[29]은 15명의 승모판 협착증 환자에서 PMV후 이면성 심초음파 검사를 이용하여 좌심실의 용적 및 중량을 관찰한 결과 성공적인 PMV 후 좌심실의 확장말기 용적 및 중량이 유의하게 증가하였다고 하여 Mohan 등의 연구 결과와 일치하지 않는 결과를 보였다. 한편 PMV 전후 좌심실의 용적 등의 변화에 관한 연구에 비해 좌심방의 기능 변화에 관한 연구는 많지 않았다. Grover-McKay 등[30]은 승모판 협착증에서 PMV 전후 심장의 용적 변화를 cine computed tomography를 이용하여 분석한 결과 좌심방의 이완기말 용적에는 유의한 차이가 없었으나 좌심방의 수축기말 용적이 유의하게 감소하였음을 보고하였다. 또한 좌심방의 stroke volume은 PMV후 유의한 변화를 보이지 않았으며 이들 환자에서 1년후 재차 cine computed tomography를 이용한 추적 검사를 시행한 결과 좌심방의 수축기 및 이완기말 용적이 PMV 전에 비하여 유의하게 감소하였다고 하였다. Jolly 등[31]은 14명의 승모판 협착증 환자에서 PMV전후 경식도 초음파를 이용하여 폐정맥 혈류를 관찰하여 성공적인 PMV후 폐정맥 혈류중 수축기 전향 혈류가 증가함을 관찰하였다. 이와 같은 결과는 승모판 협착증에서 증가되어 있던 후부하가 PMV후 감소함으로 인해 좌심방의 압력이 감소하고 순응도가 증가되어 폐정맥 혈류중 수축기 전향 혈류가 증가하였다고 볼 수 있다. 그러나 이 연구에서는 PMV후 좌심방에 미치는 벽장력이나 좌심방의 stroke work와 같은 중요한 지수들에 대한 변화를 관찰하지 않았으며 역시 다른 연구들과 마찬가지로 좌심방의 압력 변화만을 관찰하였다. 본 연구에서 PMV후 관찰된 변화로 승모판의 구면적 증가와 함께 좌심방압이 감소하였으며 이때 좌심방의 압력-용적 loop에서 관찰되는 변화는 압력-용적 loop가 우측 상단에 위치하였던 것이 시술 후 우측 하단으로 수직 이동함을 관찰할 수 있었다. 즉, PMV후 용적의 변화는 미미하였으나 주로 압력 변화에 의하여 압력-용적 loop가 변화하였음을 시사한다. 또한 시술 후 좌심방의 stroke work를 대변하는 A loop의 면적이 유의하게 감소하였으며 좌심방의 최대 벽장력이 유의하게 감소함을 관찰할 수 있었다. 따라서 승모판 협착증에서 시행된 PMV는 증가된 좌심방압을 감소시켜 폐정맥 고혈압을 경감시키고 따라서 환자의 폐 울혈로 인한 호흡곤란 등의 증상을 경감시킬 뿐 만 아니라 좌심방에 가해진 과도한 벽장력과 stroke work를 감소시켜 장기적

인 측면에서 좌심방근의 피로화를 막아주고 이로 인한 좌심방근의 수축 기능 상실 및 심방 세동과 같은 부정맥의 발생을 방지할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 본 연구의 결과에서 성공적인 PMV 후 좌심방 구혈율의 유의한 변화가 없었던 점으로 미루어 만성적인 후부하의 증가로 인한 좌심방의 섬유화로 인하여 좌심방압의 감소와 좌심방의 벽장력 감소에도 불구하고 좌심방의 구혈율은 유의한 변화를 보이지 않은 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서의 관찰은 PMV 시술 직후의 혈역학적 변화 관찰이기 때문에 장기적으로 좌심방의 구혈율을 추적 관찰할 경우 좌심방의 수축 기능의 변화를 기대할 수도 있을 것으로 사료된다. 향후 이에 대한 장기적인 연구가 기대되며 이와 같은 역학적 분석에 있어 좌심방의 압력-용적 관계를 이용한 연구는 임상적으로 유용한 검사 방법으로 생각된다.

연구의 제한점

자동 경계 탐지 방법을 이용한 좌심방의 용적 측정은 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, 좌심방의 용적 측정은 좌심방의 면적의 변화를 근거로 계산된 수치이다. 그러나 심장의 움직임 중 translation movement에 의한 변화와 좌심방 자체 면적의 변화를 감별하기 어려울 수 있다. 그러나 이와 같은 제한점은 실제적으로 중요한 역할을 하지는 않는다고 생각된다. 그 이유로 좌심방은 심장의 기저부에 위치하고 있어 translation movement에 의한 영향이 상대적으로 적을 것으로 생각되기 때문이다. 둘째, 심장의 수축기에 승모판륜의 심첨부로 향한 움직임에 의하여 좌심방의 면적 측정에 오차를 초래할 수 있다. 본 연구에서는 이와 같은 오차를 최소한으로 줄이기 위하여 환자의 호흡을 호기후에 멈춘 후 좌심방의 내막을 최대한 선명하게 구분한 상태에서 자동 경계 탐지 방법을 이용하여 좌심방의 용적을 측정하였다. 세째, acoustic window가 좋지 않은 환자의 경우 자동 경계 탐지 방법을 이용한 좌심방 용적의 측정은 많은 오차를 동반할 수 있기 때문에 이와 같은 환자에 있어 큰 제한점을 가지고 있다 할 수 있다. 네째, PMV후 좌심방의 압력-용적 관계 측정시 압력의 측정을 위해 좌심방에 위치한 도자에 의한 artifact로 자동 경계 탐지 방법을 이용한 좌심방의 용적 측정에 오차를 유발할 수 있다. 본 연구에서는 이와 같은 오차를 최소화하기 위하여 Inoue 풍선 도자를 제거 후 굵기가 이에 비해 작은 Mullins sheath를 이용하여 좌심방압을 측정하였다. 다섯째, 초음파의 depth attenuation 때문에 심방 중격의 후측이 echo drop-out되는 소견을 일으켜 자동 경계 탐지 방법을 이용한 좌심방의 용적 측정시 오차를 일으킬 수 있다. 그러나 depth attenuation에 의한 심방 중격 후측의 echo drop-out은 lateral gain compensation을 이용하여 심방 중격 일부의 gain을 증가시킴으로써 이와 같은 제한점을 줄일 수 있다.

본 연구에서는 좌심방의 압력 측정에 micromanometer-tipped catheter 대신에 fluid-filled catheter system을 이용하였다. 그러나 fluid-filled catheter system은 micromanometer-tipped catheter system에 비하여 약간의 time delay가 있다는 단점이 있다. 그러나 Gorcsan 등의 연구에 따르면 좌심실의 압력-용적 관계 분석에 있어 fluid-filled catheter system과 micromanometer-tipped catheter를 비교한 결과 두 방법간에 큰 오차 없이 end-systolic pressure-volume relation을 측정할 수 있었다고 보고한 바 있어 이와 같은 차이는 본 연구의 결과에 큰 영향을 미치지 않았을 것으로 생각된다.[32]

요 약

연구배경 :

좌심방은 폐정맥으로부터 유입되는 혈류를 좌심실 내로 전달하는 단순한 통로의 기능뿐만 아니라 자발적인 수축에 의하여 이완기말에 좌심실 내로 혈류를 보내는 역할을 하는 심장 내의 구조이다. 지금까지 좌심방의 기능을 평가하는 방법으로 심도자검사, 혈관 조영술 및 도플러 심초음파를 이용한 방법 등이 이용되어 왔다. 그러나 이와 같은 측정은 좌심방의 압력, 용적 및 순응도 등에 의하여 많은 영향을 받기 때문에 이제까지 많은 연구 결과들이 일관된 양상을 보이지 않았다. 압력-용적 관계를 이용한 심방의 기능 평가는 여러 요인에 의한 영향이 적으면서 수축 기능과 이완 기능을 동시에 평가할 수 있는 유용한 지표로서 동물 실험에서 이 같은 개념이 알려져 있는 반면에 사람에서 심방의 용적을 측정하기 어려운 이유로 이에 대한 연구에 제한점이 되어 왔다. 최근에 integrated backscatter를 이

용한 자동 경계 탐지 방법(automatic boundary detection method)에 의해서 좌심방의 단면적이 심박동의 주기에 따라 연속적으로 측정이 가능하여짐에 따라 압력-용적 관계를 이용한 좌심방의 기능 평가 연구 노력이 가능하여졌다. 임상적으로 승모판 협착증은 좌심방의 유출로인 승모판의 구면적이 감소되어 있으면서 이들 환자에서 치료로 시행되는 경피적 승모판 풍선 확장술은 시술후 급격한 후부하 감소에 의한 좌심방의 기능 변화를 관찰하는데 이상적인 연구 모델이라 생각된다. 따라서 본 연구의 목적은 승모판 협착증에서 좌심방의 압력-용적 관계를 이용하여 경피적 승모판 풍선 확장술 전후 좌심방의 역학 변화를 분석하고자 함이다.

방 법 :

증상이 있으면서 정상 동율동을 보이는 승모판 협착증 환자(12명, 평균 연령 : 45세, 남/여 : 2/10)를 대상으로 좌심방압과 자동 경계 탐지 방법으로 측정된 좌심방 용적을 이용하여 실 시간으로 압력-용적 loop를 생성하였다. 경피적 승모판 풍선 확장술 전후에 심초음파 및 혈역학적 소견과 함께 압력-용적 loop에서 얻어진 2개 loop의 면적(A loop, V loop), 좌심방의 최대 용적, 최소 용적, 좌심방 수축전 용적, passive emptying volume, active emptying volume, 용적 변화, passive emptying fraction, active emptying fraction, 좌심방의 구혈율 및 최대 벽장력(peak wall tension) 등을 측정 후 비교 분석하였다.

결 과 :

1) 좌심방의 압력-용적 loop에서 A loop와 V loop의 면적 및 좌심방의 최대 벽장력은 정상 대조군에 비해 승모판 협착증군에서 유의하게 증가되어 있었다.

2) 좌심방의 용적중 최대 용적, 최소 용적, 좌심방 수축전 용적 등이 승모판 협착증군에서 정상 대조군에 비해 증가되어 있었으며 active emptying fraction은 승모판 협착증군에서 유의하게 감소되어 있었다. Passive emptying fraction 은 승모판 협착증군에서 감소된 경향을 보였으나 통계적 유의성은 없었다. 그러나 passive emptying volume, active emptying volume, 용적 변화 등에는 양군간에 유의한 차이가 없었다.

3) 좌심방의 구혈율은 승모판 협착군에서 정상 대조군에 비해 유의하게 감소되어 있었다.

4) 압력-용적 관계에서 A loop의 면적 및 좌심방의 최대 벽장력은 경피적 승모판 풍선 확장술 후 유의하게 감소하였으나 최대 용적, 최소 용적, 좌심방 수축전 용적, passive emptying volume, active emptying volume, passive emptying fraction, active emptying fraction, V loop 면적 및 좌심방의 구혈율 등은 경피적 승모판 풍선 확장술 후 유의한 변화를 관찰할 수 없었다.

결 론 :

승모판 협착증에서는 좌심방의 벽장력 및 박출 일이 증가되어 있으며 이 같은 환자에서 치료로 시행된 경피적 승모판 풍선 확장술은 좌심방의 최대 벽장력 및 박출 일을 유의하게 감소시켰다. 이와 같은 좌심방의 기능 평가에 있어 압력-용적 관계를 이용한 분석은 유용한 방법으로 사료된다.

중심 단어 : 승모판협착증 · 좌심방의 압력-용적 관계 · 승모판 풍선 확장술.

■ **감사문**

본 연구의 진행에 많은 도움을 주신 심도자검사실팀(백성일, 박경진, 류지완, 성진희, 안미숙, 황정화, 형수연)에게 진심으로 감사드립니다.

REFERENCES

1) Matsuzaki M, Tamitani M, Toma Y, Ogawa H, Katayama K, Matsuda Y, *et al. Mechanism of augmented left atrial pump function in myocardial infarction and essential hypertension evaluated by left atrial pressuredimension relation. Am J Cardiol 1991;67:1121-6.*
2) Keren G, Bier A, Sherez J, Miura D, Keefe D, LeJemtel T. *Atrial contraction is an important determinant of pulmonary venous flow. J Am Coll Cardiol 1986;7:693-5.*
3) Nishimura RA, Abel MD, Hatle LK, Tajik AJ. *Relation of pulmonary vein to mitral flow velocities by transesophageal Doppler echocardiography: effect of different loading conditions. Circulation 1990;81:1488-97.*
4) Rossvoll O, Hatle LK. *Pulmonary venous flow velocities recorded by transthoracic Doppler ultrasound: relation to left ventricular diastolic pressures. J Am Coll Cardiol 1993;21:1687-96.*
5) Hofmann T, Keck A, Van Ingen G, Simic O, Ostermeyer J, Meinertz T. *Simultaneous measurement of pulmonary venous flow by intravascular catheter Doppler velocimetry and transesophageal Doppler echocardiography: Relation to left atrial pressure and left atrial and left ventricular function. J Am Coll Cardiol 1995;26:239-49.*
6) Suga H, Sagawa K. *Instantaneous pressure-volume relation-ships and their ratio in the excised, supported canine left ventricle. Circ Res 1974;35:117-26.*
7) Alexander J II, Sunagawa K, Chang N, Sagawa K. *Instantaneous pressure-volume relation of the ejecting canine left atrium. Circ Res 1987;61:209-19.*
8) Ferguson JJ, Miller MJ, Aroesty JM, Sahagian P, Grossman W, McKay RG. *Assessment of right atrial pressure-volume relations in patients with and without an*

atrial septal defect. J Am Coll Cardiol 1989;13:630-6.
9) Perez JE, Waggoner AD, Barzilai B, Melton HE, Miller JG, Sobel BE. *On-line assessment of ventricular function by automatic boundary detection and ultrasound backscatter imaging. J Am Coll Cardiol 1992;19:313-20.*
10) Vandenberg BF, Rath LS, Stuhlmuller P, Melton HE, Skorton D. *Estimation of left ventricular cavity area with an on-line, semiautomated echocardiographic edge detection system. Circulation 1992;86:159-66.*
11) Waggoner AD, Miller JG, Perez JE. *Two-dimensional echocar-diographic automatic boundary detection for evaluation of left ventricular function in unselected adult patients. J Am Soc Echocardiogr 1994;7:459-64.*
12) Hatle L, Brubakk A, Tromsdal A, Angelsen B. *Noninvasive assessment of pressure drop in mitral stenosis by Doppler ultra-sound. Br Heart J 1978;40:131-40.*
13) Helmcke F, Nanda NC, Hsiung MC, Soto B, Adey CK, Goyal RG, *et al. Color Doppler assessment of mitral regurgitation with orthogonal planes. Circulation 1987;75:175-83.*
14) Palacios I, Block PC, Brandi S, Blanco P, Casal H, Pulido JI, *et al. Percutaneous balloon valvotomy for patients with* severe mitral stenosis. Circulation 1987;75:778-84.
15) Grant C, Bunnel IL, Greene DG. *The reservoir function of the left atrium during ventricular systole. Am J Med 1964;37:36-43.*
16) Stott DK, Marpole DGF, Bristow JD, Kloster FE, Griswold HE. *The role of left atrial transport in aortic and mitral stenosis. Circulation 1970;41:1031-41.*
17) Kendall ME, Walston A, Cobb FR, Greenfield JC. *Pressure-flow studies in man: effect of atrial systole on ventricular function in mitral stenosis. J Clin Invest 1971;50:2653-9.*
18) Hitch DC, Nolan SP. *Descriptive analysis of instantaneous left atrial volume with special reference to left atrial function. J Surg Res 1981;30:110-20.*
19) Lau V, Sagawa K, Suga H. *Instantaneous pressure-volume relationship of right atrium during isovolumin contraction in canine heart. Am J Physiol 1979;236:H672-H9.*
20) Sasayama S, Takahashi M, Osakada G, Hirose K, Hamashima H, Nishimura E, Kawai C. *Dynamic geometry of the left atrium and left ventricle in acute mitral regurgitation. Circulation 1979;60:177-86.*
21) Miller MJ, McKay RG, Ferguson JJ, Sahagian P, Nakao S, Come PC, *et al. Right atrial pressure-volume relationships in tricuspid regurgitation. Circulation 1986;73:799-808.*
22) Hoit BD, Shao Y, Tsai LM, Patel R, Gabel M, Walsh RA. *Altered left atrial compliance after atrial appendectomy: influence on left atrial and ventricular filling. Circ Res 1993b;72:167-75.*
23) Hoit BD, Shao Y, Gabel M, Walsh RA. *In vivo assessment of left atrial contractile performance in normal and pathological conditions using a time-varying elastance model. Circulation 1994;89:1829-38.*
24) Matsuda Y, Toma Y, Ogawa H, Matsuzaki M, Katayama K, Fujii T, *et al. Importance of left atrial function in patients with myocardial infarction. Circulation 1983;67:566-71.*
25) Clarkson PBM, Wheeldon NM, Lim PO, Pringle SD, MacDonald TM. *Left atrial size and function: assesment using echocardiographic automatic boundary detection. Br Heart J 1995;74:664-70.*
26) Triposkiadis F, Wooley CF, Boudoulas H. *Mitral stenosis: left atrial dynamics reflect altered passive and active emptying. Am Heart J 1990;120:124-32.*
27) Klein AL, Bailey AS, Cohen GI, Stewart WJ, Husbands K, Pearce GL, Salcedo EE. *Effects of mitral stenosis on pulmonary venous flow as measured by Doppler transesophageal echocardiography. Am J Cardiol 1993;72:66-72.*
28) Mohan JC, Nair M, Arora R. *Left ventricular volumes and function immediately after balloon mitral valvoplasty. Int J Cardiol 1991;33:275-80.*
29) Tischler MD, Sutton MS, Bittl JA, Parker JD. *Effects of percutaneous mitral valvuloplasty on left ventricular mass and volume. Am J Cardiol 1991;68:940-4.*
30) Grover-McKay M, Weiss RM, Vandenberg BF, Burns TL, Weidner GJ, Winniford MD, *et al. Assessment of cardiac volumes and left ventricular mass by cine computed tomography before and after mitral balloon commissurotomy. Am Heart J 1994;128:533-9.*
31) Jolly N, Arora R, Mohan JC, Khalilullah M. *Pulmonary venous flow dynamics before and after balloon mitral valvuloplasty as determined by transesophageal Doppler echocardiography. Am J Cardiol 1992;70:780-4.*
32) Gorcsan J III, Denault A, Gasior TA, Mandarino WA, Kancel MJ, Denault LG, et al. Rapid estimation of left ventricular contractility from end-systolic relations by echocardiographic automated border detection and femoral arterial pressure. Anesthesiology 1994;81:553-62