

경식도 심초음파도로 평가한 승모판 협착증에서의 폐정맥 혈류양상에 관한 연구*

서울대학교 의과대학 내과학교실

박승우 · 김철호 · 손대원 · 오병희 · 이명묵 · 박영배 · 최윤식 · 서정돈 · 이영우

= Abstract =

Transesophageal Echocardiographic Evaluation of Pulmonary Venous Flow in Mitral Stenosis

Seung Woo Park, M.D., Cheol Ho Kim, M.D., Dae Won Sohn, M.D.,
Byung Hee Oh, M.D., Myoung Mook Lee, M.D., Young Bae Park, M.D.,
Yun Shik Choi, M.D., Jung Don Seo, M.D., Young Woo Lee, M.D.

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

Background : Normally major forward pulmonary venous flow(PVF) into left atrium occurs during systole and early diastole. This is followed by the reversal of the PVF with atrial contraction during late diastole. Chronic increase of left atrial pressure and volume, and decrease of the left atrial compliance might alter the PVF pattern in patients with mitral stenosis. Moreover, the cardiac rhythm could be changed from sinus rhythm(SR) to atrial fibrillation(AF) with the progression of the disease. To elucidate the effect of these changes on PVF, we performed transesophageal echocardiographic(TEE) Doppler examination in 20 patients of mitral stenosis who were going to be taken percutaneous mitral commissurotomy(PMC).

Method : We measured the velocities of the PVF by TEE pulsed Doppler examination, and compared it with the hemodynamic parameters measured by cardiac catheterization in 20 patients of mitral stenosis who underwent the PMC. The SR was found in 12 patients and the rest showed established AF.

Results :

1) Doppler variables measured by TEE

	S-PV	D-PV	S-VTI	D-VTI	S-FVTI	D-FVTI
SR(n=12)	0.32±0.15*	0.33±0.10*	0.05±0.02*	0.05±0.02	0.47±0.17*	0.53±0.17*
AF(n=8)	0.12±0.05*	0.20±0.07#	0.02±0.01	0.04±0.02#	0.28±0.06	0.72±0.06#

S : systole, D : diastole, PV : peak velocity(m/s), VTI : velocity-time integral(m), S-FVTI=S-VTI/(S-VTI+D-VTI), D-FVTI=D-VTI/(S-VTI+D-VTI), *p<0.05 vs. AF, #p<0.05 vs. systole in AF

*이 논문은 서울대학교병원 1992년도 지정연구비(025)의 일부 보조로 이루어졌음.

2) Hemodynamic parameters measured by cardiac catheterization.

	MVA(cm ²)	Mean LAP(mmHg)	LVEDP(mmHg)
SR(n=12)	0.94±0.36	21.4±7.3	5.7±2.4
AF(n=8)	0.93±0.23	19.1±6.6	5.6±2.4

MVA : mitral valve area, LAP : left atrial pressure, LVEDP : left ventricular end diastolic pressure

3) In patients with SR, S-PV, S-VTI and S-FVTI showed negative correlation with mean LAP($r = -0.66, -0.67, -0.71$, respectively, $p < 0.05$). However in AF group, there is no correlation between Doppler variables and mean LAP.

Conclusion : In mitral stenosis with SR, systolic PVF decreases with the increase of mean left atrial pressure and finally, diastolic PVF becomes predominant with the development of AF.

KEY WORDS : Pulmonary venous flow · Mitral stenosis · Cardiac rhythm · Transesophageal echocardiography.

서 론

폐정맥 혈류는 주로 좌심방과 좌심실의 흡입 효과에 의해 결정되는 것으로 알려져 있다¹⁻⁴⁾. 즉, 수축기에는, 좌심방이 이완되고 좌심실의 수축에 의해 승모판류이 심실의 첨부쪽으로 이동함으로써 좌심방압이 떨어지고 초기 이완기에는 승모판이 열리고 좌심방에서 좌심실로 혈류가 흐르게 되므로 좌심방압이 감소하게 되어 폐정맥 혈류가 좌심방으로 들어오게 된다. 그리고 후기 이완기에는 좌심방이 수축함으로써 혈류가 오히려 폐정맥으로 역류되는 현상이 나타난다^{5,6)}. 그런데 승모판 협착증의 경우에는 좌심방압이 비정상적으로 올라가 있으므로 폐정맥 혈류의 양상이 정상과 다르리라 기대되며, 더우기 심방세동의 경우에는 좌심방의 수축과 이완이 불분명해지므로 폐정맥 혈류 양상에 변화가 있으리라고 생각된다. 그동안 승모판 협착증에서 폐정맥 혈류를 측정하고자 하는 시도들이 있어왔는데, Keren등⁷⁾은 경흉심초음파를 이용하여, 동을동을 갖는 환자에서는 승모판협착증이 심할수록 이완기 폐정맥 혈류가 줄어들고 수축기 혈류가 폐정맥 혈류의 대부분을 차지하며 이완기 말기의 폐정맥 혈류의 역전이 증가된다고 보고하였다. 그러나 승모판 협착증이 아닌 다른 질환에서 평균 좌심방압과 수축기 폐정맥 혈류간에는 유의한 음의 상관관계가 있다는 보고가 있고⁸⁾, 동을동의 승모판

협착증 환자에서 경피적 승모판 성형술 후 수축기 폐정맥 혈류가 증가한다는 보고⁹⁻¹¹⁾들은, 승모판 협착증 환자에서 수축기 폐정맥 혈류가 감소했을 가능성을 시사한다. 이에 저자들은 폐정맥에 가깝게 위치하여 폐정맥 혈류를 보다 정확히 평가할 수 있는 경식도 심초음파도를 이용하여 승모판 협착증 환자의 폐정맥 혈류를 관찰하고 이를 심도자술로 측정한 혈역학적 변수와 연관지어 분석하고자 하였다.

연구대상 및 방법

승모판구 면적이 1.5cm² 이하인 중증의 승모판 협착증으로 또는 중증의 승모판 협착증 및 경미한 승모판 폐쇄부전증으로 경피적 승모판 성형술을 받을 예정인 20명의 환자를 대상으로 경피적 승모판 성형술을 시술하기 24시간 이내에 경식도 심초음파도 검사를 시행하였다. 대상 환자는 최소한 검사 1주일 전부터 식이나 복용하는 약물의 변화가 없도록 하였다. 경식도 심초음파도 검사는 먼저 2% xylocaine을 이용하여 후두부를 국소마취 시킨 후, Aloka 회사의 SSD-870 모델의 5MHz 탐촉자를 삽입하였다. 첫 10분 동안에는 승모판과 판막하구조 및 좌심방의 혈전 유무를 관찰한 후, 간혈과형도플러를 이용하여 좌상 폐정맥에서 폐정맥 혈류를 관찰하였다. 호흡 측정기(respirometer)는 사용하지

않았다. 폐정맥 혈류는 좌상 폐정맥이 좌심방과 만나는 곳으로부터 1cm 후방부에서 음향신호가 최대이고 색채 도플러 혈류가 최대인 곳에 도플러 sample volume을 놓고 가능한한 혈류와 도플러 빔 (beam)이 평행을 이루도록 한 후 측정하였다. 폐정맥 혈류 속도는 심전도와 함께 50mm/sec의 속도로 기록지에 기록하여 폐정맥 혈류지표를 평가하는데 사용하였으며 동율동의 경우에는 3회의 심주기 기록을, 심방세동의 경우에는 5회의 심주기 기록을 평균하여 지표로 삼았다. 폐정맥 혈류지표로는 수축기 최고속도(S), 초기 이완기 최고속도(D), 후기 이완기의 좌심방 수축에 의한 역류된 폐정맥 혈류의 최고 속도(A), 수축기 속도-시간적(J), 초기 이완기 속도-시간적(K) 등을 측정하였다. 수축기 속도-시간적은 전향파의 시작부터 제2 전향파의 시작까지로 하였으며, 초기 이완기 속도-시간적은 제2 전향파의 시작부터 제2 전향파가 기준선과 만나는 점까지로 하였다(그림 1). 또한 전체 전향파의 속도-시간적에 대한 수축기 전향파와 초기 이완기 전향파의 속도-시간적 분율을 각각 구하였다. 그리고 이면성 심초음파도를 이용하여 좌심방 용적을 구하였다. 경피적 승모판 성형술은 경식도 심초음파로 검사 후 24시간 이내에 시술하였다. 시술도중, 먼저 좌심실 조영술을 시행하여

좌심실 수축기 기능이 정상임을 확인하고 승모판 역류 정도가 조영술상 2도 이내임을 확인하였다. 이후 심방중격천자술을 시행하고 평균 좌심방압, 좌심실 이완기 말압, Gorlin's formula^{12,13)}에 의한 승모판구면적 등을 구하였다. 이 때도 동율동의 경우엔 3회의 심주기 기록을, 심방세동의 경우에는 5회의 심주기 기록을 평균하여 지표로 삼았다. 통계학적 방법으로는 양군간 비교는 Mann-Whitney test를 사용하였고 각 군내에서의 비교는 Wilcoxon Matched-pairs Signed-ranks test를 이용하였고 폐정맥 혈류 지표와 혈역학적 지표간의 상관관계를 보기 위해서는 multiple stepwise linear regression analysis를 시행하여 값이 $P < 0.05$ 미만인 경우에 유의성을 인정하였으며 각각의 수치는 평균±표준편차로 표시하였다.

결 과

1. 임상적 특징

대상 환자 중 동율동군이 12명 심방세동군이 8명이었으며 동율동군은 모두 여자였고, 심방세동군은 5명이 여자였다. 평균연령은 동율동군에서 36.6±11.4세였고 심방세동군에서 53.0±6.6세로 양군간에 유의한 차이가 있었다($P < 0.01$)

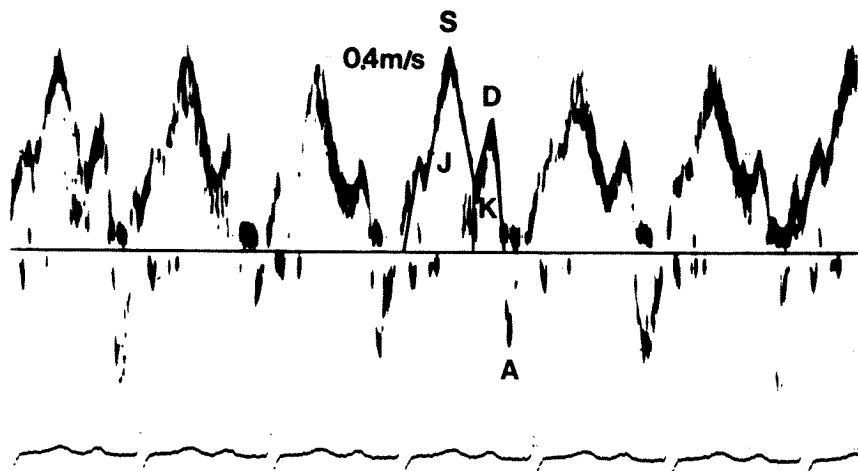


그림 1. 경식도 심초음파도 검사를 통하여 간헐파형 도플러로 측정한 폐정맥 혈류양상.

S: 수축기 최고속도, D: 초기 이완기 최고속도, A: 후기 이완기의 좌심방 수축에 의한 폐정맥 혈류의 역류시 최고속도, J: 수축기 속도-시간적, K: 초기 이완기 속도-시간적

Table 1. 경식도 심초음파도로 간헐파형 도플러를 이용하여 측정한 폐정맥 혈류지표

폐정맥 혈류지표	동물동군(12명)	심방세동군(8명)
수축기 최고속도(m/s)	0.32±0.15*	0.12±0.05
이완기 최고속도(m/s)	0.33±0.10*	0.20±0.07 [#]
수축기 속도-시간적(m)	0.05±0.02*	0.02±0.01
초기 이완기 속도-시간적(m)	0.05±0.02	0.04±0.02 [#]
수축기 속도-시간적 분율	0.47±0.17*	0.28±0.06
이완기 속도-시간적 분율	0.53±0.17*	0.72±0.06

수축기 속도-시간적 분율=수축기 속도-시간적/(수축기 속도-시간적 + 초기 이완기 속도-시간적)
 이완기 속도-시간적 분율=초기 이완기 속도-시간적/(수축기 속도-시간적 + 초기 이완기 속도-시간적)

* $p<0.05$ 대 심방세동군, [#] $p<0.05$ 대 심방세동군내 수축기

2. 심도자 및 좌심실 조영술 조건

심율동에 따른 혈역학적 지표는, 동물동군에서 평균 좌심방압이 21.4 ± 7.3 mmHg, 승모판구면적이 0.94 ± 0.36 cm², 좌심실 이완기말압이 5.7 ± 2.4 mmHg였고, 심방세동군에서는 평균 좌심방압이 19.1 ± 6.6 mmHg, 승모판구면적이 0.93 ± 0.23 cm², 좌심실 이완기말압이 5.6 ± 2.4 mmHg로 양군간에 유의한 차이를 보이지 않고 있다. 좌심실 조영술상 좌심실 벽운동은 양군에서 모두 정상이었으며, I도 정도의 승모판 폐쇄부전이 동물동군은 3명에서 심방세동군은 4명에서 관찰되었다.

3. 폐정맥 혈류의 도플러 검사조건

표 1은 심율동에 따른 폐정맥 혈류의 도플러 지표들을 나타낸 것으로 심방세동군에 비해 동물동군에서 수축기 지표들이 모두 유의하게 증가되어 있고 ($P<0.05$), 심방세동군내에서는 이완기 지표들이 수축기 지표들에 비해 유의하게 증가되어 있다 ($P<0.005$). 또한 동물동군에서 후기 이완기에 관찰되는 좌심방 수축에 의한 폐정맥 혈류의 역류 현상이 심방세동군에서는 관찰되지 않았다.

4. 폐정맥 혈류의 도플러 지표들과 심도자술에 의한 혈역학 변수들과의 관계

폐정맥 혈류에 영향을 미칠 수 있으리라고 생각되는 변수들 즉 연령, 좌심방 용적, 승모판구면적, 좌심실 이완기말압, 평균 좌심방압, 승모판 폐쇄부전의 정도 등을 독립변수로 하고, 측정된 폐정맥 혈류의 모든 도플러 지표를 종속변수로 하여 동물동군과 심방세동군으로 나누어서 multiple step-wise regression analysis를 시행하였다.

1) 동물동군

수축기 최고 속도(S)와 수축기 속도-시간적(J)은 평균 좌심방압과 유의한 음의 상관관계를 보였다 (수축기 최고속도: -0.66 , $SEE=0.12$, $P<0.05$, 수축기 속도-시간적: -0.67 , $SEE=0.02$, $P<0.05$, 그림 2) 그러나 이완기 최고속도(D)와 초기 이완기 속도-시간적(K)은 평균 좌심방압과 유의한 상관관계를 나타내지 않았고, 후기 이완기에 나타나는 폐정맥 혈류의 역류시 최고속도(A)도 평균 좌심방압과 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 그리고 전체 전향과 속도-시간적에 대한 수축기 분율은 평균 좌심방압과 유의한 음의 상관관계를 (-0.71 , $SEE=0.13$, $P<0.05$), 초기 이완기 분율은 유의한 양의 상관관계 (0.71 , $SEE=0.13$, $P<0.05$)를 각각 나타냈다.(그림 3) 그 밖의 다른 독립변수들은 폐정맥 혈류의 도플러 지표들과 유의한 상관관계를 나타내지 않았다.

2) 심방세동군

어떠한 독립 변수들도 폐정맥 혈류의 도플러 지표들과 유의한 상관관계를 나타내지 않았다.

그밖에 경흉부 심초음파도를 이용하여 구한 좌심방 용적은 동물동군에서는 59.1 ± 23.1 ml, 심방세동군에서는 68.3 ± 20.4 ml로 양군간에 차이는 없었으며, 또한 양군에 상관없이 어떠한 폐정맥 혈류 지표들과도 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

고 안

정상적으로 폐정맥 혈류는 2개의 전향파를 갖는 것으로 알려져 있다^{2,3,14-17}). 그것은 좌심방과 좌심

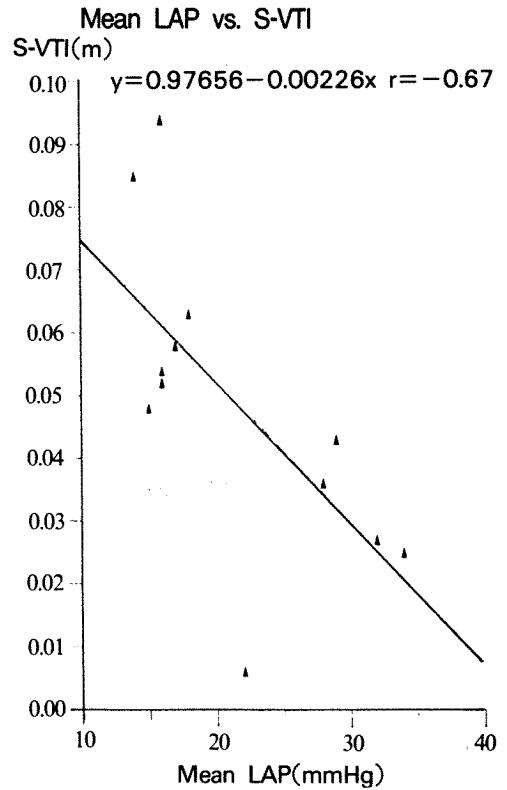
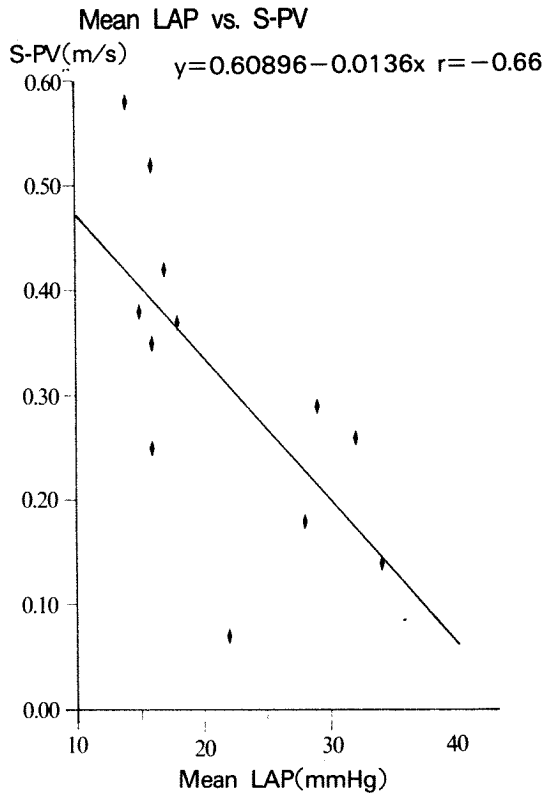


그림 2. 동물동군에서 평균 좌심방압(Mean LAP)과 수축기 최고속도(S-PV) 및 수축기 속도-시간적(S-VTI)과의 관계.

실의 수축과 이완에 의한 좌심방압의 동적인 변화에 의해 결정된다¹⁸⁻²⁰⁾. 그러나, 승모판 협착증의 경우에는 좌심방압이 만성적으로 상승되어 있고, 더 우기 심방세동의 경우에는 좌심방의 수축이 없어 지므로 폐정맥 혈류 양상에 변화가 기대된다.

본 연구에서는 동물동의 승모판 협착증의 경우, 수축기 도플러 폐정맥 혈류 지표들이 평균좌심방압과 유의한 음의 상관관계를 보였는데, 이는 역학적으로 승모판 협착증의 정도가 심해질수록 수축기 폐정맥 혈류가 감소함을 의미한다. 이는 경흉심초음파도로 검사하여 심한 승모판 협착증 환자에서 이완기 폐정맥 혈류가 줄어들고 수축기 폐정맥 혈류가 증가한다는 과거의 보고⁷⁾와는 반대의 결과다. 이러한 차이의 원인으로는 먼저 검사방법의 차이를 들 수 있는데, 폐정맥 혈류를 평가하기 위해서는 경흉심초음파도에 의한 검사방법 보다는 경식도 심초음파도에 의한 방법이 해부학적으로 더 유리하다. 또한 송¹¹⁾등과 Lee²¹⁾등의 보고에서도 승모판 협착증에서 정상인에 비해 수축기

폐정맥 혈류속도(S) 및 속도-시간적(J)이 감소한다고 하였으며, 승모판 협착증이 아닌 경우에서 평균 좌심방압과 수축기 속도-시간적 분율사이에는 유의한 음의 상관관계가 있다는 보고⁸⁾등은 본 연구결과와 일치하는 소견이다.

Kuecherer등⁸⁾은 정상적인 조건에서 평균 폐모세 혈관폐기압과 후기 이완기 폐정맥 혈류의 역류시 최고속도(A) 사이에 유의한 양의 상관관계를 보인다고 보고하였으나, 본 연구에서는 양자간에 유의한 상관관계를 보이지는 않았다. 이것은 승모판 협착증 환자에서 승모판 좌심방의 순응도가 떨어 지므로 인하여²²⁾ 좌심방의 수축이 비정상적인 것을 고려하면 가능하리라고 생각된다.

이완기에는 속도-시간적 분율을 제외하고는 어떠한 이완기 폐정맥 혈류지표들도 평균 좌심방압과 유의한 상관관계를 보이지 않았는데, 이완기 속도-시간적 분율은 완전히 독립적이지 못하고 수축기 속도-시간적 분율에 의해 결정될 수 있으므로, 실질적으로 이완기 폐정맥 혈류지표들은 평균 좌심

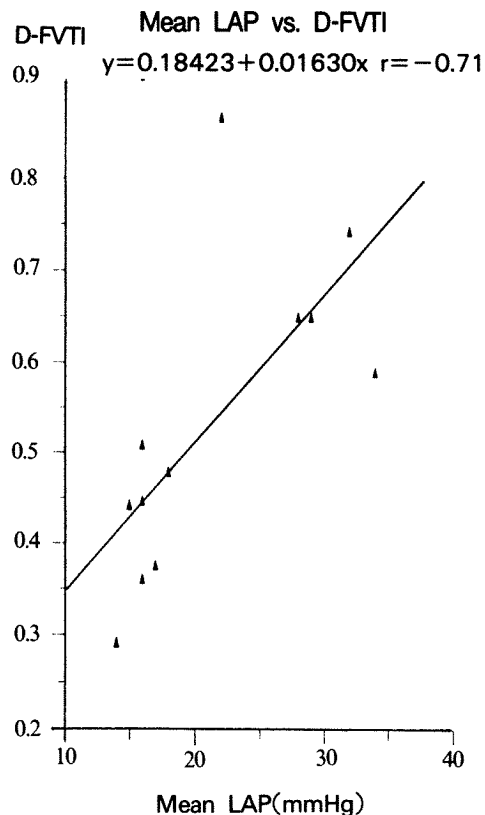
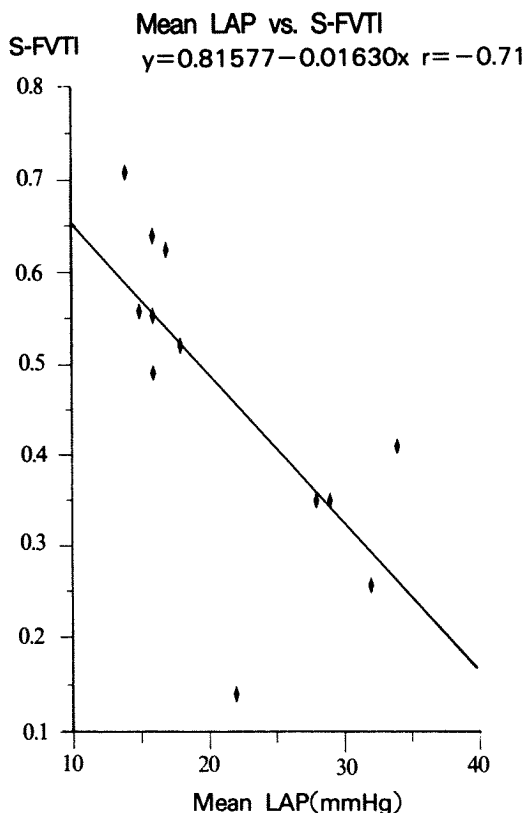


그림 3. 동물동군에서 평균 좌심방압(Mean LAP)과 수축기 속도-시간적 분율(S-FVTI) 및 이완기 속도-시간적 분율(D-FVTI)과의 관계.

방압과 유의한 상관관계를 보이지 않았다고 할 수 있다. 이에 대한 설명으로는 이완기에는 좌심방압이 증가할수록 좌심방 좌심실간의 압력차가 커지고 따라서 승모판 혈류 속도도 증가하므로 승모판 혈류에 대한 기계적 협착효과를 어느 정도 감소시킬 수 있다. 즉 폐정맥 혈류에 대한 좌심방압의 효과가 이완기 승모판 혈류 속도의 변화로 어느 정도 감소될 수 있어서 이완기 폐정맥 혈류 지표와 평균 좌심방압 사이에는 유의한 상관관계를 보이지 않았을 것으로 생각된다. 그러나 수축기의 경우에는 좌심방압의 변화가 전적으로 폐정맥 혈류에 영향을 미쳐서 양자간에 유의한 상관관계를 보였을 것으로 생각된다.

심방세동을 갖는 승모판 협착증에서는 수축기 혈류지표들이 동물동군에 비하여 유의하게 낮으며, 심방세동군 내에서도 이완기 혈류에 비해 유의하게 낮아서 다른 보고들에서와 같이^{6,7,23,24)}, 이완기 혈류가 전체 폐정맥 혈류의 대부분을 차지하였으며

후기 이완기에 폐정맥 혈류의 역류 현상이 관찰되지 않는 것은 심방세동으로 인해 효과적인 좌심방 수축이 일어나지 않기 때문으로 생각된다.

좌심실 이완기말압은 승모판 혈류에 영향을 미쳐 폐정맥 혈류에도 변화를 줄 수 있으리라고 생각되는데, 본 연구에서는 좌심실 이완기말압과 폐정맥 혈류 지표 사이에 유의한 상관관계를 볼 수 없었다. 이것은 본 연구에 포함된 대상군이 모두 정상 좌심실 기능을 갖고 있어 평균 좌심방압에 비해 좌심실 이완기말압이 상대적으로 낮아서 그 영향이 미약했기 때문이라고 생각된다. 또한 연령이 증가됨에 따라 좌심실 이완기능이 떨어져서 수축기 폐정맥 혈류와 좌심방 수축에 의한 폐정맥 역류가 증가한다는 보고^{5,25)}가 있는데, 본 연구에서는 대상군의 규모가 작아서 연령에 따른 분석을 하기 어려워 이를 밝힐 수 없었다. 그렇지만 높은 좌심방압과 좁은 승모판구면적에 의해 좌심실 이완장애가 폐정맥 혈류에 영향을 미치는 것은 어려웠을

것이라고 생각된다. 또한 심방세동군이 동율동군에 비해 평균연령이 높았으나 좌심실 이완기말압에는 차이가 없었고, 대상군을 좌심실 조영술상 정상 좌심실 수축기능을 갖는 환자에 국한하였으며, multiple stepwise regression analysis에서도 연령에 의한 유의한 변화를 볼 수 없었으므로 본 연구에서 양군간의 유의한 연령차가 연구결과에 영향을 미칠 가능성은 매우 적다고 하겠다.

본 연구의 한계점으로는 폐정맥 혈류 지표와 측정 혈역학적 변수의 측정사이에 시간차가 있다는 점이다. 그렇지만 대상군의 모든 환자가 만성상태이고 복용하는 약물이나 식이에 있어 검사전 적어도 1주일전에는 변화가 없었으므로 두 검사간의 시간 차이 동안에 폐정맥 혈류나 심장내 혈류역학에 의미있는 변화는 없으리라고 생각하였다.

이상의 결과로 승모판 협착증 환자에서 폐정맥 혈류의 변화는 동율동의 경우, 좌심방압이 증가할수록 수축기 폐정맥 혈류가 감소하다가 결국에는 심방세동이 나타나면서 이완기 혈류가 폐정맥 혈류의 주류를 이루게 된다고 생각된다.

요 약

폐정맥 혈류는 주로 좌심방압의 변화에 의해 결정되는데 승모판 협착증의 경우는 만성적으로 좌심방압이 상승되어있다. 또한, 심율동의 변화도 좌심방압 및 폐정맥 혈류에 영향을 미치리라 생각되어 경피적 승모판 성형술을 시행받을 예정인 20명의 승모판 협착증 환자에서 수술전 24시간 이내에 경식도 심초음파도 검사를 시행하여 폐정맥 혈류지표들을 관찰하고 승모판 성형술 시술때 혈역학적 변수들을 측정하였다. 이들을 서로 비교분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 경식도 심초음파도로 평가한 폐정맥 혈류양상은, 수축기 최고속도(S), 수축기 속도-시간적(J), 수축기 속도-시간적 분율 등 모든 수축기 지표들에서 동율동군이 심방세동군에 비하여 유의하게 증가되어 있었다.($p<0.05$) 그리고 동율동군에서는 수축기 지표와 이완기 지표간에 유의한 차이를 보이지 않았으나 심방세동군에서는 최고속도, 속도-시간적, 속도-시간적 분율에서 모두 이완기 지표들이 수축기 지표들에 비하여 유의하게 증가

되어 있었다.($p<0.05$).

2) 경피적 승모판 성형술 시행시 심도자술로 측정한 승모판구면적, 평균 좌심방압, 좌심실 이완기말압 등은 양군 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다.

3) 동율동군에서는 모든 수축기 혈류지표들이 평균 좌심방압과 유의한 음의 상관관계를 보였으나, ($p<0.05$) 심방세동군에서는 어떤 폐정맥 혈류지표도 평균 좌심방압과 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

이상의 결과로 승모판 협착증 환자에서 폐정맥 혈류는 동율동을 유지할 때는 좌심방압이 증가할수록 수축기 폐정맥 혈류가 감소하다가 심방세동이 나타나면서 이완기 혈류가 폐정맥 혈류의 주류를 이루게 된다고 생각된다.

Reference

- 1) Morgan BC, Abel F, Mullins G, Guntheroth WC : *Flow patterns in the cavae, pulmonary artery, pulmonary vein, and the aorta in the intact dogs. Am J Physiol* 210 : 903, 1966
- 2) Rajagopalan B, Friend JA, Stallard T, Lee G de J : *Blood flow in pulmonary veins : I. Studies in dog and man. Cardiovasc Res* 13 : 667, 1979
- 3) Rajagopalan B, Friend JA, Stallard T, Lee G de J : *Blood flow in pulmonary veins : II. The influence of events transmitted from the right to the left sides of the heart. Cardiovasc Res* 13 : 677, 1979
- 4) Rajagopalan B, Bertram CD, Stallard T, Lee G de J : *Blood flow in pulmonary veins : III. Simultaneous measurements of their dimensions, intravascular pressure and flow. Cardiovasc Res* 13 : 684, 1979
- 5) Klein AL, Hatle LK, Burstow DJ, Seward JB, Kyle RA, Bailey KR, Luscher TF, Gertz MA, Tajik AJ : *Doppler characterization of left ventricular diastolic function in cardiac amyloidosis. J Am Coll Cardiol* 13 : 1017, 1989
- 6) Klein AL, Tajik AJ : *Doppler assessment of pulmonary venous flow in healthy subjects and in patients with heart disease. J Am Soc Echo* 4 : 379, 1991
- 7) Keren G, Pardes A, Miller HI, Scherez J, Laniado S : *Pulmonary venous flow determined by Doppler echocardiography in mitral stenosis. Am J Cardiol*

- 8) Kuecherer HF, Muhiudeen IA, Kusumoto FM, Lee E, Moulinier LE, Cahalan MK, Schiller NB : *Estimation of mean left atrial pressure from transesophageal pulsed Doppler echocardiography of pulmonary venous flow. Circulation* 82 : 1127, 1990
- 9) Natarajan D, Sharma VP, Chandra S, Dhar SK, Gaba M, Caroli B : *Effects of percutaneous mitral valvotomy on pulmonary venous flow in severe mitral stenosis. Am J Cardiol* 69 : 810, 1992
- 10) 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* 70 : 780, 1992
- 11) 송재관 · 박승정 · 박성욱 · 김재중 · 김원호 · 두영철 · 이종구 : 승모판협착증 환자에서 경피적승모판성형술이 폐정맥혈류속도에 미치는 영향. 순환기 23 : 14, 1993
- 12) Gorlin R, Gorlin SG : *Hydraulic formula for calculation of area of stenotic mitral valve, other cardiac values and central circulatory shunts. Am Heart J* 41 : 1, 1951
- 13) Cohen MV, Gorlin R : *Modified orifice equation for the calculation of mitral valve area. Am Heart J* 84 : 839, 1972
- 14) Morkin E, Collins JA, Goldman HS, Fishman AP : *Pattern of blood flow in the pulmonary veins of the dog. J Appl Physiol* 20 : 1118, 1965
- 15) Dixon SH Jr, Nolan SP, Morrow AG : *Pulmonary venous flow : The effects of alteration in left atrial pressure, pulmonary arterial occlusion, and mitral regurgitation in the dog. Ann Surg* 174 : 944, 1971
- 16) Guntheroth WG, Gould R, Butler J, Kinnen E : *Pulsatile flow in pulmonary artery, capillary, and vein in the dog. Cardiovasc Res* 8 : 330, 1974
- 17) Skagseth E : *Pulmonary vein flow pattern in man during thoracotomy. Scand J Thorac Cardiovasc Surg* 10 : 36, 1976
- 18) Keren G, Sonnenblick EH, LeJemtel TH : *Mitral annulus motion : Relation to pulmonary venous and transmitral flows in normal subjects and in patients with dilated cardiomyopathy. Circulation* 78 : 621, 1988
- 19) Keren G, Sherez J, Megidish R, Levitt B, Laniado S : *Pulmonary venous flow pattern-Its relationship to cardiac dynamics : A pulsed Doppler echocardiographic study. Circulation* 71 : 1105, 1985
- 20) Smallhorn JF, Freedom RM, Olley PM : *Pulsed Doppler echocardiographic assessment of extraparenchymal pulmonary vein flow. J Am Coll Cardiol* 9 : 573, 1987
- 21) Lee MM, Park SW, Kim CH, Sohn DW, Oh BH, Park YB, Choi YS, Seo JD, Lee YW : *Relation of pulmonary venous flow to mean left atrial pressure in mitral stenosis with sinus rhythm. Am Heart J* 126 : 1401, 1993
- 22) Sato S, Kawashima Y, Hirose H, Nakano S, Matsuda H, Shimasaki Y : *Clinical study of left atrial compliance and left atrial volume in mitral stenosis. Jpn Circ J* 55 : 481, 1991
- 23) 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* 7 : 693, 1986
- 24) Klein AL, Cohen GI, Davison MB, Stewart WJ, Husbands K, Pearce GL, Saledo EE : *Effect of mitral stenosis on pulmonary venous flow by transesophageal echocardiography(Abtract). J Am Soc Echo* 4 : 296, 1991
- 25) Klein AL, Burstow DJ, Taliencio CP, Zachariah PK, Bailey KR, Seward JB, Tajik AJ : *Effect of age on pulmonary venous flow velocities in normal subjects (Abstract). J Am Coll Cardiol* 30 : 50A, 1989