

## 보조판막의 생체의 실험 연구

김상현, 박영환<sup>1</sup>, 윤치순<sup>1</sup>, 김훈모<sup>2</sup>, 조범구<sup>1</sup>  
연세대학교 의과대학 심혈관연구소, 흉부외과학교실<sup>1</sup>  
성균관대학교 공과대학 기계설계학과<sup>2</sup>

### In Vitro Analysis of Supplementary Valve

S.H.Kim, Y.H.Park<sup>1</sup>, C.S.Yoon<sup>1</sup>, H.M.Kim<sup>2</sup>, B.K.Cho<sup>1</sup>  
Cardiovas. Research Inst., <sup>1</sup>Dept. of Thorac. & Cardiovas. Surg., Yonsei Univ.  
<sup>2</sup>Dept. of Mechanical Design, Sungkyunkwan University.

#### ABSTRACT

To develop the supplementary heart valve which could reduce the complications of prosthetic heart valve, in vitro experiments were performed to analyze the movement of the supplementary valves. The autologous pericardium was attached to deficient portion of the porcine valve which was dissected completely and partially. The instantaneous motion of the leaflet was pictured by the 35mm camera and the pressure drop through the valve and cardiac output were measured in mock circulatory system. The durability of the valves were tested in severe hemodynamic conditions.

#### 서론

심장판막질환 환자는 대부분 선천성 발육이상이나 후천성 류마티스성 판막질환이다[1]. 일반적으로 판막질환이 심하지 않을 경우에는 인공판막치환 수술보다 후유증이 적은 교정수술이 우선적으로 시행되고 있고 교정이 불가능할 정도로 심한 질환이 있는 심장판막은 인공판막으로 치환하고 있다[2,3]. 그러나 인공판막은 약물의 사용, 혈전 혹은 출혈에 의한 합병증, 인공판막의 파열위험 등으로 환자에게 고통을 주고 있으며 계속적으로 환자는 재치환의 위험 속에 지내게 된다[1]. 보조판막을 이용한 판막교정술은 인공판막의 단점을 극복할 수 있어 최근 들어 많이 연구되고 있다[4,5,6,7]. 보조판막 교정술이란 질환이 있는 판막을 절개하고 심낭

이나 생체재료로 만든 판막을 이식하여 판막의 기능을 복원하는 수술방법으로서 인공판막치환에 비해 혈액학적으로 우수하고 수술 후 후유증을 현저히 줄일 수 있는 장점이 있다. 보조판막은 생체조직으로 제작하기 때문에 생체에 이식할 경우 혈액적합성이 뛰어나지만 원래의 판막과는 디자인과 봉합부분의 연결부분에서 차이가 많기 때문에 개폐동작이 원활하지 않을 수 있고 조직판막과 같이 내구성이 문제가 될 수 있다. 본 연구에서는 동물의 심낭을 이용하여 두 가지 모델의 보조판막을 제작하여 그 성능을 생체외에서 분석하였다. 판막을 모의순환장치에 장착하여 보조판막의 운동을 카메라로 고속으로 촬영하여 판막의 개폐모양을 분석하고 압력손실과 박출량을 측정하여 서로 비교하였다. 또한 내구성시험을 위해 모의순환장치에서 압력과 박동수를 증가시키는 가혹 조건하에 판막을 장시간 운동시켜 판막의 파열이나 손상여부를 검사하였다.

#### 보조판막의 제작

보조판막을 제작하기 위해 50 kg 이상의 성숙한 돼지로부터 대동맥판막을 추출하였고 심낭도 동시에 같은 돼지에서 추출하여 항생제를 투여한 식염수에 담가놓았다. 판막전체를 대체한 보조판막과 판막일부를 대체한 보조판막의 기능을 비교하기 위하여 두 가지 모델을 설정하여 실험하였다. 동물에서 추출한 대동맥판막 중 25 mm의 판막(모델 I)에서 판막 한 개 전체를 절개하였다. 27 mm 판막(모델 II)은 판막의 끝 부분을 절개하여 판막이 1/2 만 남도록 하였다. 심낭으로 판막 형상을 만들기 위해서 그림 1과 같이 실리콘과 에폭시 수지를 이용한 몰드를 제

작하였다. 추출한 판막과 유사한 두께의 심낭부위를 선택하여 물드의 형상에 맞게 심낭을 절단한 후 물드 사이에 끼운다. 물드 전체를 판엽의 형상보존과 조직보존을 위해 준비한 글루타르알데히드 완충용액에 10 분 동안 상온에 담가서 판엽조직을 처리하였다. 판엽 한 개 전체를 절개한 모델 I 에 물드에서 제작 처리한 판엽을 절개한 판엽부위에 세심하게 맞추어서 문합하였다. 모델 II 에 접합할 판엽은 부분절개한 판엽모양에 맞게 다시 디자인하여 절개한 후 판엽을 서로 잇는 문합하였다. 그림 2 는 최종적으로 완성된 모델 I 과 모델 II 의 사진그림이다.

### 생체의 실험

모의순환장치는 공압식 펌프를 사용하여 유체를 박동적으로 순환시키는데 구동압력, 심박동수, 그리고 수축기율의 조절이 가능하고 혈류량을 최고 8 L/min 까지 증가시킬 수가 있다. 판막을 투명관 안에 고정한 후 모의순환장치의 혈액펌프의 유출관에 연결하였다. 판막의 압력강하를 측정하기 위하여 펌프의 유출관에 압력 변환기를 설치하여 평균압력을 측정하였고 유량측정은 초음파유량계를 사용하였다. 박동수를 40, 60, 80 의 3 단계로 변화시키면서 이에 따른 압력강하 변화와 심박출량 변화를 측정하였다. 심박출량은 대동맥압 100 mmHg, 심방압 15 mmHg 로 고정한 후 심박동수 변화에 따른 심박출량을 측정하였다. 압력강하는 심박출량을 4.5 L/min 로 고정한 후 심박동수 변화에 따른 압력강하를 측정하였다. 수축기율은 모두 33 % 로 고정하여 실험하였다. 판막의 개폐시 순간적인 판엽배열모양을 관찰하기 위해서 35 mm 카메라를 이용하였다. 판막의 전면이 보일 수 있도록 그림 3 과 같이 투명 아크릴로 제작한 박스 벽에 판막을 장치하였다. 줌 렌즈를 사용하고 백열등 조명 하에 셔터스피드는 1/1000 로 하여 근접 촬영하였다. 판막의 내구성 시험을 위해서는 구동시간을 단축하기 위해 가속조건에서 시행하였다. 펌프 박동수를 150 bpm 으로 증가시키고 대동맥 압력을 200 mmHg 까지 증가시킨 후 150 시간 동안 모의순환장치에서 판막을 운동시켰다. 투명한 박스 벽에 판막을 장착하여 10 시간마다 판막의 운동 모습을 관찰하여 이상여부를 확인할 수 있도록 하였다. 최종적으로 판막을 꺼내어 판막의 손상여부를 육안 및 현미경으로 검사하였다.

### 실험결과 및 고찰

판막을 모의순환장치에서 운동시킨 후 첫 단계로 한 개의 판엽전체를 교체한 것(모델 I)과 한 개의 판엽일부를 교체한 판막(모델 II)을 육안으로 관찰하였다. 관찰 결과 모델 I 은 보조판막이 정상적인 운동모습을 보였다. 그러나 판

엽의 일부를 이식한 모델 II는 주위의 정상인 판엽과 비교할 때 완전개폐가 이루어지지 않아서 불안정한 운동 모습을 나타냈다. 개폐모양을 좀더 확실하게 분석하기 위해서 35 mm 카메라로 근접 촬영한 사진을 그림 4(모델 I)와 그림 5(모델 II)에 나타냈다. 사진에서 가장 윗 쪽에 있는 판엽이 이식한 판엽이다. 판막의 운동모양을 시간에 따라 단계적으로 배열하였다. 여러 단계의 판막운동을 세 단계로 나누어서 완전 닫힘(a), 완전 열림(b), 부분 열림(c)의 3 가지를 선택하여 비교하였다. 이 때의 운동조건은 박동수 60 bpm 과 수축기율 33 % 였으며 대동맥 압력은 100 mmHg 이고 심방압력은 15 mmHg 였다. 이 때의 박출량은 모델 I 은 5.5 L/min 였고 모델 II 는 4.0 L/min 이었다. 그림 4 를 관찰해 보면 모델 I 은 세 개의 판엽이 완전 닫힘과 완전 열림이 동시에 일어난다는 것을 볼 수 있다. 부분 열림에서도 판엽의 배열이 서로 비슷한 형태를 보여 주고 있다. 이에 반해 사진 그림 5 를 관찰해 보면 모델 II 는 세 개의 판엽에서 이식한 판막이 완전 닫힘이 이루어지지 않고 있고 완전 열림도 동시에 이루어지지 않는 현상을 볼 수 있다. 부분 열림에서도 배열이 정상적이지 못한 형태를 보여주고 있다. 두 모델의 성능을 비교하기 위해 심박동수 변화에 따른 모델 I 와 모델 II의 심박출량과 압력강하 변화를 표 1 과 표 2 에 나타냈다. 압력강하는 두 판막의 직경이 다르기 때문에 무차원식에 의하여 계산한 후 비교하였다. 압력강하는 두 모델에서 별 차이가 없었으나 박출량에서 모델 II 가 모델 I 에 비해 상당히 낮았다. 박동수가 증가할수록 두 모델의 박출량 차이가 점점 커졌다. 모델 I 의 박출량은 정상판막의 박출량 범위에 있으므로 판엽전체를 대체한 보조판막이 판막 본래의 정상기능을 회복하고 있다는 것을 알 수 있다. 모델 II 에서의 박출량 저하는 판막이 정상적인 기능을 회복하지 못하고, 불완전한 개폐에 따른 누수가 일어났다고 볼 수 있다. 판엽이 완전히 열리지 못하는 현상은 봉합사가 그 부분에서 판막의 유연성을 크게 저하시켜서 판막의 열림을 방해한 것으로 보인다. 판엽이 닫힐 때는 원래의 판엽과 이식한 판엽의 재료 특성차이 때문에 유동 압력이 고르게 전달되더라도 저항력이 다르게 작용하여 완전히 닫히지 못하는 것으로 보인다. 불안정한 개폐를 개선하기 위해 문합방법을 여러 번 변경하여 반복 실험하였으나 별 다른 효과는 없었다. 본 실험의 결과로는 판엽의 일부를 대체하는 수술은 판막의 기능을 떨어뜨리므로 판엽전체를 대체하는 방법이 안정된 판막기능을 회복할 수 있을 것으로 보인다. 보조판막의 내구성 시험에서 판막이 가속조건에서 장시간 운동하는 동안 이상여부를 발견할 수 없었고 최종적으로 판막을 꺼내어 판엽과 문합부위를 관찰한 결과 판막의 파열이나 손상은 없었다.

참고문헌

[1] D.C. Sabiston Jr. and F.C. Spenser, Surgery of the Chest, 5th ed., Philadelphia, W.B.Saunders comp., 1990.  
 [2] J.M. Cravar, C. Cohen and W.S. Weintraub, "Case-matched comparison of mitral valve replacement and repair", Ann. Thorac. Surg., Vol. 49, pp. 964-969, 1990.  
 [3] A.C. Galloway, S.B. Clovin, F.G. Bauman, et al., "A comparison of mitral valve reconstruction with mitral valve replacement: intermediate-term results, Ann. Thorac. Surg., Vol. 47, pp.655-662, 1989.  
 [4] C.M.G. Duran, "Present status of reconstructive surgery for aortic valve surgery", J. Cardiac Surg., Vol. 8 pp. 443-452, 1993.  
 [5] C.M.G. Duran, B. Gometza and Z. Al-Halees, "Non prosthetic aortic valve surgery", J. Heart Valve Dis., Vol. 3, pp.439-444, 1994.  
 [6] C.M.G. Duran CMG, R. Gallo and N. Kumar N, "Aortic valve replacement with autologous pericardium", J. Card. Surg., Vol. 10 pp.1-9, 1995.  
 [7] S.P. Kumar, G. Prabhakar, M. Kumar, N. Kumar, M. Shahid, M.L. Ali, A. Becke and C.M.G. Duran, "Comparison of fresh and glutaraldehyde-treated autologous stented pericardium as pulmonary valve replacement", J. Card. Surg., Vol. 10, pp.545-551, 1995.

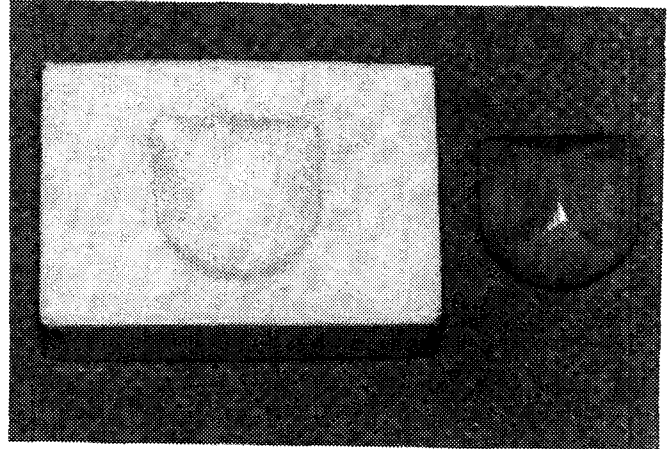


그림 1. 판엽을 형상화하기 위한 몰드

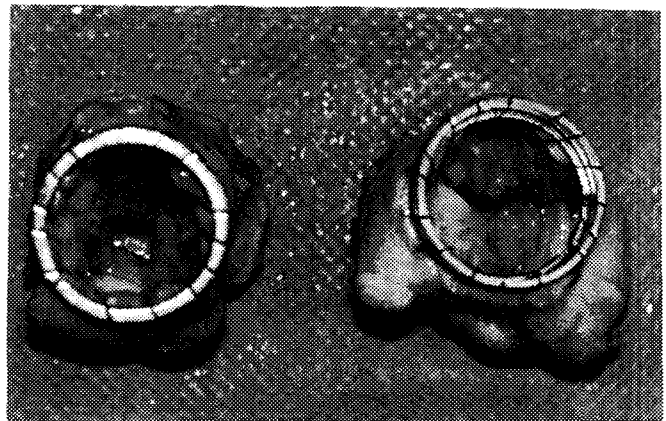


그림 2. 완성된 모델 I 과 모델 II

표 1. 심박출량 변화 비교

Heart rate(bpm)	Cardiac output (L/min)	
	Model I	Model II
40	4.2	3.1
60	5.5	4.0
80	6.4	4.7

aortic pressure = 100 mmHg  
 atrial pressure = 15 mmHg  
 systolic duration = 33 %

표 2. 압력강하 변화 비교

Heart rate(bpm)	Press. drop(nondimension)	
	Model I	Model II
40	9.8	13.3
60	11.2	15.3
80	14.0	15.3

cardiac output = 4.5 L/min  
 systolic duration = 33 %

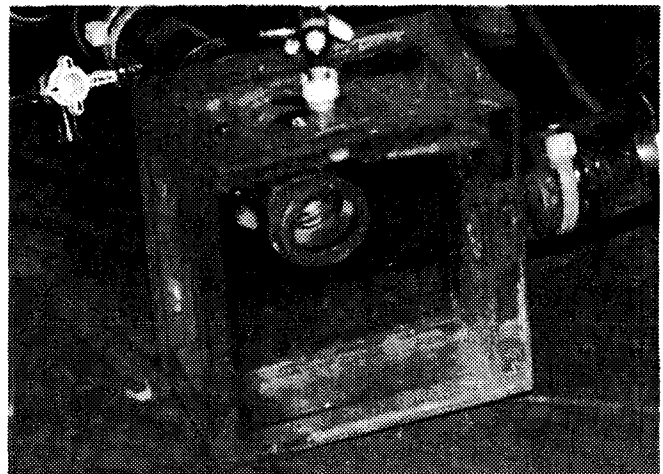


그림 3. 판막운동 관찰을 위한 투명한 박스

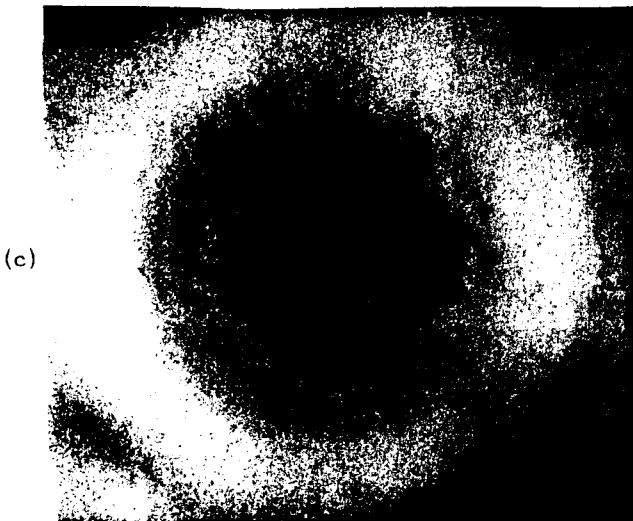
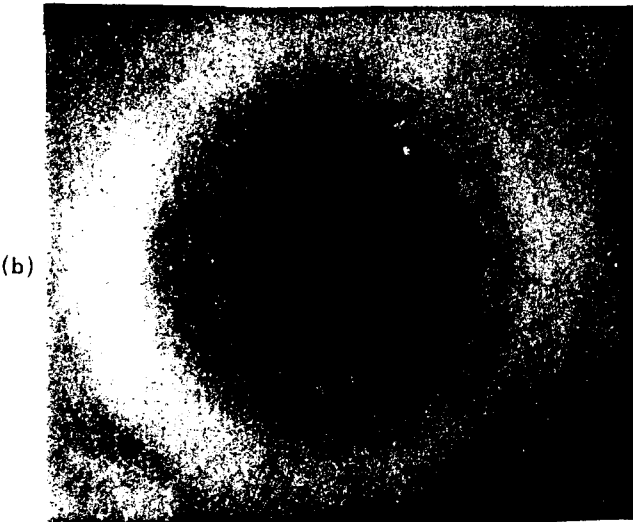
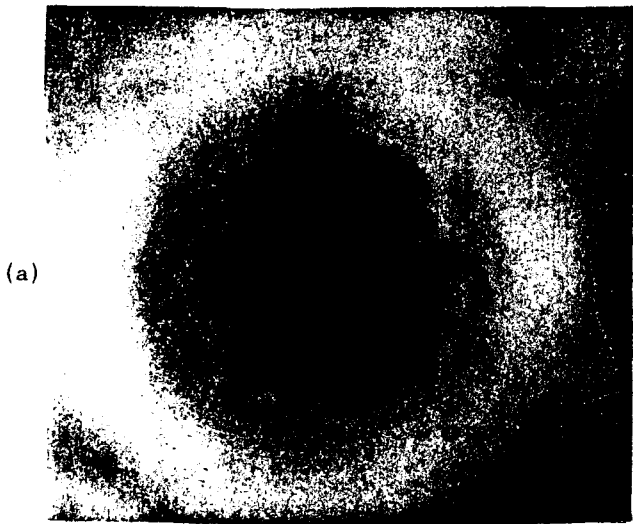


그림 4. 모델 I 의 판엽운동 모습  
(이식한 판엽은 가장 빛 판엽임)  
(a) 완전닫힘, (b) 완전열림, (c) 부분열림

그림 5. 모델 II 의 판엽운동 모습  
(이식한 판엽은 가장 빛 판엽임)  
(a) 완전닫힘, (b) 완전열림, (c) 부분열림