

단엽식 고분자판막의 모의순환실험

◦김상현*, 김원기*, 장병철**, 조범구**

* 연세대학교 의과대학 의용공학과 ** 연세대학교 의과대학 흉부외과

In Vitro Test of a Monoleaflet Polymer Valve

S.H.Kim[◦], W.K.Kim^{*}, B.C.Chang^{**}, B.K.Cho^{**}

* Dept. of Biomed. Eng. ** Dept. of Thorac. & Cardiovas. Surg.
College of Medicine, Yonsei University

Abstract

We have developed a monoleaflet polymer valve in order to be used as an inlet valve of the ventricular assist device, because it could help to improve the fluid dynamic characteristics in the ventricle. Mean systolic transvalvular pressure drops were measured for the monoleaflet polymer valve and their results were compared with that of the mechanical valve.

1. 서론

현재 이상이 생겨서 더이상 기능을 못하는 심장판막을 인공판막으로 치환하는 수술은 상당히 보편화 되어있다. 그러나 인공판막, 특히 기계판막의 경우에 생기는 문제중의 하나인 혈전현상은 여전히 해결이 안되고 있다. 이에 대해 고분자재료를 이용하여 만든 고분자판막은 제조가 쉽고 대량생산이 가능하여 가격이 저렴하고 항혈전성이 뛰어난 장점이 있어서 Akutsu등(1959)에 의해 폴리우레탄을 이용하여 삼첨판 판막이 최초로 시험된 이후 여러 연구자들의 관심 대상이 되었다(Wisman등, 1982; Harold등, 1987; Hilbert and Jones, 1987; Yu등, 1989; Jansen등, 1991). 고분자판막은 기계판막에 비해 가격이 저렴한 장점 때문에 비교적 단기간 사용하는 심실보조장치용 판막으로 적합한 판막으로 기대되고 있다.

고분자를 이용한 판막은 가공이 수월하여 현재 삼엽식 뿐만 아니라 단엽식, 이엽식등 여러가지 모양이 연구되고 있다(Williams등, 1978; Imachi등, 1988; Wijsmuller등, 1990). Williams등(1978)과 Chandran등(1991)은 flow visualization study를 통하여 유입구에 단엽식 판막을 사용했을 때 심실에 대한 혈액흐름 현상이 실제 심장내에서의 모습과 유사한 현상이 일어난다는 모양을 관찰했다. 또한 Kim등(1992)은 인공심장내의 혈류유동을 컴퓨터 시뮬레이션하여 유입구에 삼엽식 과 단엽식 판막을 각각 사용했을 때의 심실내 유동을 비교 분석하였다. 그들은 심실벽면이나 다이아프램사이에서 생기는 혈류의 소용돌이 현상이 단엽식 판막일 때 감소되는 결과를 얻었다. 결국 단엽식 판막

은 심실보조장치를 장기적으로 사용할 때 발생하는 혈전현상에 직간접적으로 영향을 미치는 난류전단응력을 감소시킨다는 사실을 알 수 있다. 이와 같이 단엽식 판막은 심실보조장치의 유입구에 사용할 경우 심실내의 혈류유동을 크게 개선할 수 있을 것으로 기대되어 본 연구에서 개발하여 시험하였다.

2. 설계 및 제작

Williams등(1978)은 열림판을 금속으로 만든 다음 폴리우레탄을 코팅한후 판막 프레임과 기계적인 결합을 하였다. 이로 인해 결합부가 매끄럽지 못해서 이 부분에 혈전현상이나 tissue growth의 문제가 발생하였다. Chandran등(1991)이 시험한 단엽식 판막은 열림판과 프레임을 고분자재료를 이용하여서 접합함으로써 이 문제를 해결하였으나 열림판이 두꺼워서 높은 압력강하가 생기는 단점이 있다. 본 연구에서는 폴리우레탄재질의 얇은 열림판을 사용하여 압력강하를 줄이고 그 대신 지지대를 사용하여 열림판이 탈구되는 것을 방지하였다.

그림 1 에 단엽식 판막이 완전히 열렸을 때의 모양이 나타나 있는데 보는 바와 같이 판막프레임에 얇은 열림판을 결합한 형태를 하고 있다. 판막이 완전히 닫히는 순간 열림판이 가장 큰 압력을 받게 되는데 이때 열림판이 탈구되는 현상을 방지하기 위해서 두개의 지지대를 만들었다. 지지대는 단면을 등골게하여 혈류저항을 최소화하였다. 지지대에 의해 생기는 혈류의 저항을 줄이기 위해서 두 개의 지지대 수를 한 개로 줄여서 실험하여 보았으나 판막이 닫힐 때 열림판이 지지대 사이로 빠져나가면서 오목하게 되었다. 이로 인해 열림판과 프레임사이의 틈이 커지면서 누수가 많이 되어서 기능을 할 수가 없었다.

판막프레임은 경질 폴리우레탄인 Isoplast[®](Dow Chem., U.S.A)를 기계가공 하였으며 바깥지름이 22 mm, 두께는 2 mm, 높이는 75 mm 이다. 열림판은 연질 폴리우레탄인 Pellethane[®](Dow Chem., U.S.A)을 DMAC(dymethylacrylamide)용매에 녹인 용액에 얇은 금속판을 농도에 따라 2-3 회 dipping 하여 제조하였다. 열림판의 두께는 접합점부근에서는 약 0.1 mm 로 하여 부드럽게 여닫히게 한다. 열림판끝으로 갈수록 점차로 두꺼워져서 열림판끝이 탈구가 되는 것을 방지한다. 최종적으로 제작된 열림판의 두께는 0.10-0.35 mm 의 범위를 갖는다. 프레임과 열림판의 접합은 양쪽 재질

모두 폴리우레탄계이므로 DMAc로 프레임을 약간 녹인 후 열림판을 압축하면 완전한 접합이 된다. 그림 2 는 완성한 단엽식 판막의 사진 그림이다.

3. 실험방법

완성한 단엽식 판막의 성능 실험을 하기 위해서 모의순환장치를 구성하였다. 그림 3 은 모의순환장치의 모식도를 나타낸다. 유체저항과 컴플라이언스 박스 (compliance box) 를 각각 한개씩 설치했고 공기압을 이용한 펌프에 의해 유체가 순환하도록 하였다. 구동기의 공기압력, 시간, 유체저항과 컴플라이언스 등을 상호 조정하면 심박출량이 최고 8 L/min 이다. 사용한 유체는 혈액과 유사한 유체특성을 가지는 글리세롤 용액(30-40 % 글리세롤)을 사용한다. 이 때 점성계수와 밀도가 각각 혈액과 근접한 3.5 cp, 1.13 g/cm³ 이 된다. 판막에서의 압력강하를 측정하기 위하여 펌프의 유출관에 판막을 장치하고 판막을 중심으로 상류와 하류 양쪽에 두개의 압력변환기 (pressure transducer) 를 삽입하여 측정한다. 로타미터(rotameter)를 이용하여 유체흐름을 직접 눈으로 확인할 수 있게 하고 정확한 유량측정은 전자기유량계(EMF)를 사용한다.

4. 결과 및 고찰

단엽식 고분자판막과 St. Jude 이엽식 기계판막을 모의순환장치에서 순환시켜 각각의 압력강하를 측정하여 비교하였다. 그림 4 는 그 결과를 나타낸 것이다. 각 판막의 압력강하는 펌프의 박출량의 변화에 따라 나타내었는데 두 판막 모두 박출량이 증가함에 따라 압력강하도 증가하였다. 두 개의 판막을 비교하면 단엽식 고분자판막의 압력강하가 기계판막의 압력강하보다 심박출량이 3 L/min 일 때 최고 30 % 낮았다. 본 연구에서는 St. Jude 기계판막 외에는 같은 크기(프레임 외경 = 22 mm)의 다른 기계판막을 구할 수가 없었다. 그러나 Chandran등(1983)은 여러종류의 인공판막의 압력강하를 측정비교하였는데 그 결과 이엽식 기계판막의 압력강하가 가장 낮은 결과를 얻었다. 다른 판막 특히 porcine 조직판막은 최고 21 % 더 높은 압력강하를 보였다. 결과적으로 단엽식 고분자판막은 다른 종류의 인공판막과 비교할 때 가장 낮은 압력강하를 갖는다는 사실을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 기존의 단엽식 판막의 문제점의 하나로 제시된 판막에서의 높은 압력강하를 낮은 열림판과 지지대를 사용하여 감소시켰다. 또한 프레임과 열림판을 일체식으로 매끄러운 접합을 함으로써 기계적 결합으로 인한 문제점을 해결하였다. 그러나 다른 문제점들인 결합부에서의 혈전형성과 tissue growth 발생여부 등은 별도의 동물실험을 필요로 한다.

6. 참고문헌

Akutsu, T., Dreyer, B. and Kolff, W.J., Polyurethane artificial herat valves in animals. J. appl. Physiol., 14:1045-1048, 1959.

Chandran, K.B., Cabell, G.N., Khalighi, B., and Chen, C.J., Laser anemometry measurements of pulsatile flow past aortic valve prostheses. J. Biomech., 16:865-873, 1983.

Chandran, K.B., Lee, C.S., Shipkowitz, T., Chen, L.D., Yu, L.S. and Wurzel, D., In vitro hemodynamic analysis of flexible artificial ventricles. 15:420-426, 1991.

Harold, M., Lo, H.B., Reul, H., Michter, H., Tauchi, K., Giersiepen, M., Birkle, G., Hollweg, G., Rau, G., and Messmer, B.J., The Helmholtz Institute trileaflet polyurethane heart valve prosthesis:design, manufacturing, and first in vitro and in vivo results. Polyurethanes in Biomedical Engineering II (edited by Planck, H., et al.), pp 321-356, Elsevier, Amsterdam.

Hilbert, S.L. and Jones, M., Evaluation of explanted polyurethane trileaflet cardiac valve prosthesis. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 94:419-29, 1987.

Imachi, K., Fujimasa, J., Mabuchi, K., Chinzei, T., Abe, Y., Maeda, K., Imanishi, K., Kouro, A., Ono, T. and Atsumi, K., A newly designed jellyfish valve for an artificial heart blood pump. ASAIO Trans. 34:726-728, 1988.

Jansen, J., Willeke, S., Reiners, B., Harbott, H., Reul, H., Lo, H.B., Dabritz, S., Rosenbaum, C., Bitter, A., Ziehe, K., Rau, G., and Messmer, B.J., Advances in design principle and fluid dynamics of a flexible polymeric heart valve. ASAIO Trans. V57(3):M451-453, 1991.

Kim, S.H., Chandran, K.B. and Chen, C.J., Numerical simulation of steady flow in a two-dimensional total artificial heart model. J. of Biomechanical Engineering. 114:497-503, 1992.

Yu, L.S., Yuan, B., Bishop, D., Topaz, S., Griensven, J.V., Hofma, S., Swier, P., Klinkmann, J., Kolff, J. and Kolff, W.J., New polyurethane valves in new soft artificial hearts. ASAIO Trans. 35:301-04, 1989.

Wijmuller, E.G., Yu, L.S., Yuan, B., Bishop, N.D. and Kolff, W.J., Development of a new inflow valve for a 20cc semisoft ventricle:preliminary results. The Int. J. of Art. Organ. 13:503-508, 1990.

Williams, W.G., Bellhouse, B.J., Bellhouse, F.H., Haworth, W.S., Kent, G. and Lewis, R.W.H., A single-leaflet mitral valve:its design, development and evaluation in long-term animal trials. ASAIO Trans. 24:542-548, 1978.

Wisman, C.B., Pierce, W.S., Donachy, J.H., Pae, W.E., Myers, J.L. and Prophet, G.A., A polyurethane trileaflet cardiac valve prosthesis: in vitro and in vivo studies. ASAIO Trans. 28:164-68, 1982.

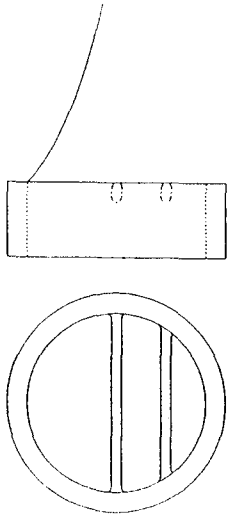


그림 1 단엽식 고분자 판막의 구조도

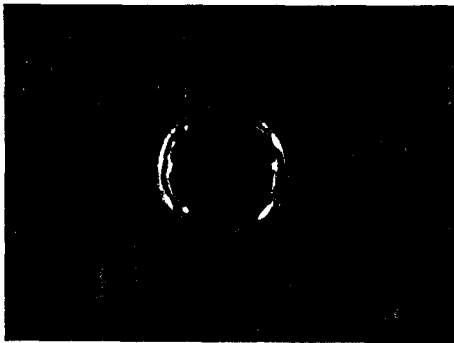


그림 2 제작된 단엽식 고분자 판막

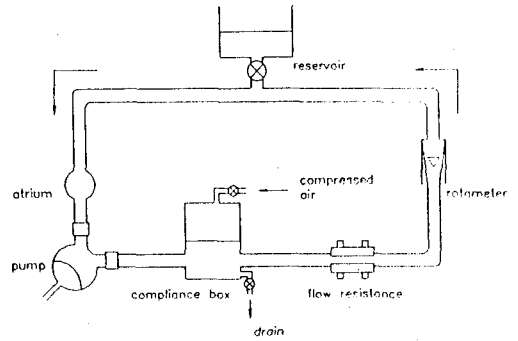


그림 3 모의순환장치의 모식도

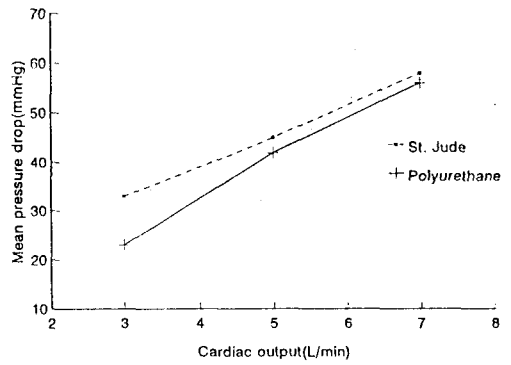


그림 4 기계판막과 고분자판막의 압력강하 비교