

공압식 심실보조장치의 개발 및 평가

°이상훈, *박이태, *김삼현, **한동선, **이학중

단국대학교 의과대학 의공학교실, *단국대학교 의과대학 흉부외과학교실

**단국대학교 의과대학 내과학교실

Development and Evaluation of Pneumatic Ventricular Assist Device

°S.H. Lee, *I.T. Park, *S.H. Kim, **D.S. Han, **H.J. Lee

*Dept. of Biomedical Eng, College of Medicine, Dankook University

*Dept. of Thoracic Surgery, College of Medicine, Dankook University

**Dept. of Internal medicine, College of Medicine, Dankook University

Abstract

The purpose of this paper is to develop diaphragm-type pneumatic ventricular assist device(VAD) for clinical application and to evaluate its performance through the mock circulation system. The blood housing and diaphragm are made by coating pellethane on the metallic mold and the back plate is made by machining process. The relations of cardiac output(CO) vs. beat rate and CO vs. systolic-to-diastolic rate was estimated through the mock test and hemodynamic waves are recorded for the evaluation of VAD. As a result, the volume of blood pump is 70 ml, maximum CO is 5 L/min and CO has a close relation to the input resistance of blood pump. The hemodynamic data and waves showed this system can be applicable to the animal experiment.

1. 서론

우리나라의 경제의 발전으로 생활수준이 높아지면서 질병의 패턴도 선진국형으로 변화되고 있음을 최근 통계청에서 발표하였다. 대부분의 선진국에서 국민들의 주된 사망원인중 1,2 위를 차지하고 있는 질병이 심장관련 질병으로 알려져 있으며, 우리나라도 1993년도 심장관련 질병이 사망원인중 4위를 차지하였다. 앞으로 경제 및 생활습관이 선진화 되면서 심장질환으로 사망한 사람의 수가 급속히 증가될 것으로 예상되며, 최근 심장에 관련된 질병의 치료에 관한 연구가 의학의 주된 이슈중의 하나가 되고 있다. 현재 중증(重症)의 심부전증이 있는 환자에게 1차적으로 여러가지 약물치료를 하고 있으며, 대표적인 요법으로는 Furosemide, Ethacrymic acid, Bumetanide 등의

이노제를 사용하여 용적과부하와 울혈을 경감시킴으로 심부전을 치료하는 방법이 있으며, 이외에도 혈관확장제, 수축촉진제, 승압제 등을 이용한 방법이 사용되고 있다⁽¹⁾.

약물에 의한 치료가 불가능할 경우 제 2단계로는 IABP(intra aortic balloon pump)나 바이오 펌프에 의해 심기능을 보조하는 방법이 있으며, 실제 임상에서 많이 사용되고 있다. 그러나 IABP는 중증의 심부전 환자에게 있어서는 충분한 혈액순환을 보장할 수 없고, 혈전현상으로 인하여 장기간 사용할 수 없기 때문에 심부전의 궁극적인 치료방법이 될 수 없다. 2단계 방법으로 환자를 치료할 수 없는 경우 의사는 심장이식과 인공적 심기능 대체장치를 사용하는 것 중 하나를 선택하여야 한다. 그러나 심장이식의 경우에는 반드시 심장을 기증하는 사람이 있어야 하지만, 실제로 심장이식대상 환자에 비해 심장 기증자의 수는 절대적으로 부족하다. 따라서 나머지 대부분의 환자는 후자의 방법에 의지해야 하며, 대표적인 것이 공압식 심실보조장치이다. 이는 외국의 경우 임상에서 가장 많이 사용되고, 환자에게 적용한 결과가 가장 우수한 것으로 알려져 있다.

이러한 공압식 심실보조장치에 관한 연구는 세계 여러나라의 많은 연구기관에서 진행되고 있으며, 미국, 일본, 독일 등에서는 정부의 공인을 얻어 상품화하여 사용하고 있다⁽²⁾. 본 연구의 목적은 이와 같이 중증의 심부전 환자에게 많이 사용되고 있는 공압식 심실보조장치를 개발하는 것이며, iv-vitro 실험을 통하여 그 성능을 평가하는 것이다.

2. 연구방법

공압식 심실보조장치는 혈액펌프와 구동장치로 나누어 진다. 혈액펌프는 압축공기를 에너지

원으로 하여 혈액을 박출하는 기능을 하며, 구동장치는 혈액펌프에 공급되는 공기의 흐름을 조절하는 기능을 수행한다. 개발된 심실보조장치는 모의순환장치를 통해 평가되었으며, 각각은 다음과 같이 제작 및 구성되었다.

1) 혈액펌프

제작된 혈액펌프는 다이어프램 방식으로 그림 1)과 같은 원리에 의해 혈액을 박출하며, blood housing, diaphragm 및 back plate로 구성되어 있다. Blood housing은 금속몰드에 pellethane(20%) 용액을 40번 이상 코팅하여 제작하는 방법을 사용하였으며, 다이어프램은 negative mold에 pellethane(15%)을 5번 코팅하여 제작하였다. 사용된 금속몰드의 재료로는 가공성이 비교적 우수한 황동을 사용하였으며, 기계적인 가공과 수작업을 통하여 제작하였다. Blood housing과 다이어프램은 클린벤치내에서 제작되었으며, 건조등과 오븐을 사용하여 건조시켰다. 한편 back plate는 테프론을 선반에서 가공하여 제작하였으며, 압축공기를 유입하는 연결부는 금속 재료를 기계적으로 가공하여 제작하였다. 그림 2)는 시제품으로 제작한 혈액펌프에 관한 사진이며, 유출 및 유입구는 실리콘 튜브를 통하여 모의순환장치에 연결될 수 있도록 하였다.

2) 구동장치

제작한 공압식 VAD의 구동장치는 공기의 흐름을 제어하는 기능을 하며, 공압밸브와 밸브를 동작시키기 위한 회로로 구성되어 있다. 한편 공기의 흐름을 여러가지 조건으로 변환시켜 가면서 제어하기 위하여, 제어장치가 필요하며, 현재는 스위치와 가변저항을 이용하여 수동으로 beat rate 과 systole-to-diastole rate(SDR)이 조작할 수 있도록 제작되었다.

3) 모의순환장치

모의순환장치는 아크릴로 제작하였으며, 유량조절밸브에 의해 혈액펌프에 가해지는 부하를 조절할 수 있도록 하였다. 그리고 polygraph, 혈류계, 계기식 혈압계 등이 쉽게 열결될 수 있도록 제작하였다. 그림 3)은 제작한 모의순환장치에 혈액펌프를 연결한 것이다.

3. 실험 및 결과

제작된 시스템의 용량(volume)은 약 70 ml였으며, 그림 4)와 같은 측정환경하에서 다음과 같은 사항에 대한 평가를 하였다.

1) Beat rate(BR) 과 Cardiac output(CO)의 관계

BR을 1분에 약 50 회에서 120회 까지 10씩 변화시키면서, CO의 변화를 flow meter를 사용하여 측정하였으며, 그림 5)는 그 결과를 나타낸 그래프이다. 이때 SDR 은 30 %로 고정하였으며, wall unit에서의 음압은 -80 mmHg로 조절하였다. 그러나 실제 diaphragm과 back plate 사이의 음압을 측정한 결과는 약 - 20 mmHg를 유지하고 있었다.

2) Systolic-to-diastolic rate(SDR) 과 CO의 관계

수축기와 이완기의 비를 19% 에서 120% 까지 변화시키고, 저항 조절용 밸브를 고정시킨 상태에서 CO을 측정하였다. Wall unit에서 음압을 -80 mmHg로 설정하였으며, 측정한 결과는 그림 6)과 같으며, SDR이 56% 전후일 때가 박출량이 가장 많음을 관찰할 수 있었다.

3) 각종 파형의 측정

그림 7)은 시제품으로 제작한 공압식 VAD를 구동시키면서 측정한 여러 파형을 나타낸 것이다. 평균 대동맥압은 100mmHg이고 최대와 최소혈압은 각각 123mmHg와 80mmHg였다. BR은 1분에 89 회였으며, 평균 혈류속도는 3.8 L/min으로 측정되었다. 혈류속도의 순간 최대치는 약 15 L/min이었으며, valve의 역류에 의한 파형도 제시된 그림에서 확인할 수 있었다. 한편 back plate와 diaphragm사이에서의 압력도 측정하였으며, wall unit에서 제공되는 압력은 약 820mmHg(약 16 psi)였으나 VAD내에서 측정된 공기압의 최대치는 약 140mmHg였으며, wall unit에서 약 -80 mmHg의 음압을 걸었으나 VAD내에서는 약 -20 mmHg의 음압이 실제 인가되었음을 측정된 그래프를 통하여 관찰할 수 있었다.

4. 결론 및 고찰

제작된 혈액펌프는 in-vitro 시험을 통하여 최대 5 L/min의 혈액을 박출하였고, 측정된 여러 혈류역학적 파형을 분석한 결과 혈액펌프를 동물실험 등에 적용하였을 때 혈류역학적으로 별 문제가 없음을 알수 있었다. 모의순환실험 결과 VAD의 박출량은 혈액펌프내로 유입되는 혈류량에 큰 영향을 받았고, 따라서 공기압력 및 음압의 적합한 인가조건을 찾는 것이 앞으로 중요한 연구과제를 알 수 있었다.

5. 참고문헌

- 1) D.G. Pennington, M.T. Swartz: "Patient Selection for Mechanical Circulatory Support", Cardiac Surgery : State of Art Review, Vol. 7, No. 2, pp229-239, 1993
- 2) 민병구, 이상훈 외, "인공장기", 서울대학교 출판부, 1994
- 3) H. Takano, Y. Taenaka, et al., "Multi-Institutional Studies of the National Cardiovascular Center Ventricular Assist System : Use in 92 Patients", Vol. 35, No. 3, Trans Am Soc Artif Intern Organs, pp541-544, 1989
- 4) R.A. Ott, et al: "The Role of Pneumatic VADs in Reversible Myocardial Injury", State of Art Review, Vol. 7, No. 2, pp287-308, 1993

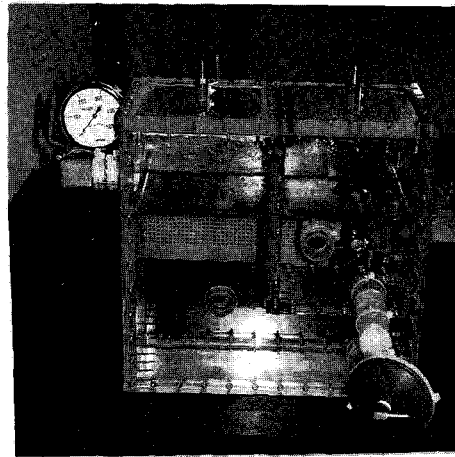


그림 3) 모의순환장치와 연결된 혈액펌프

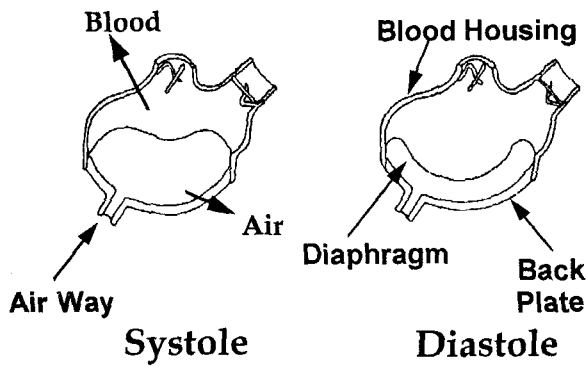


그림 1) 공압식 심실보조장치의 원리도

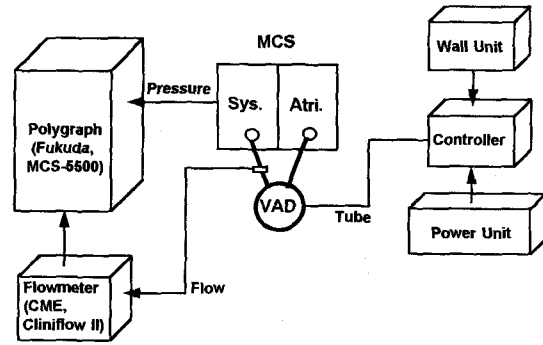


그림 4) In-vitro 시험을 위한 장치들의 블록도

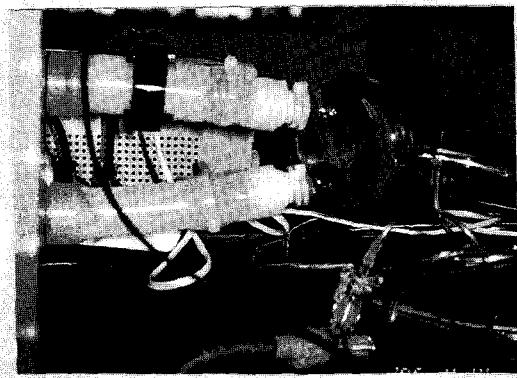


그림 2) 시제품으로 제작한 혈액펌프의 사진

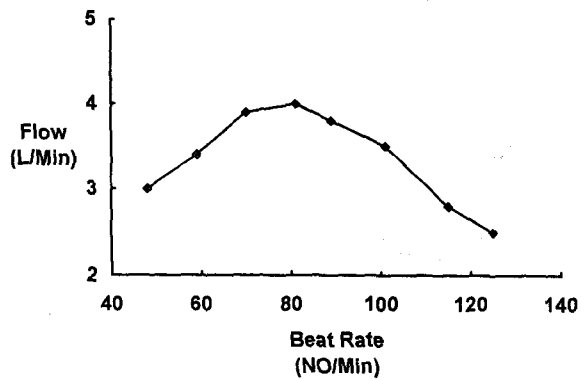


그림 5) BR 과 CO의 관계 그래프

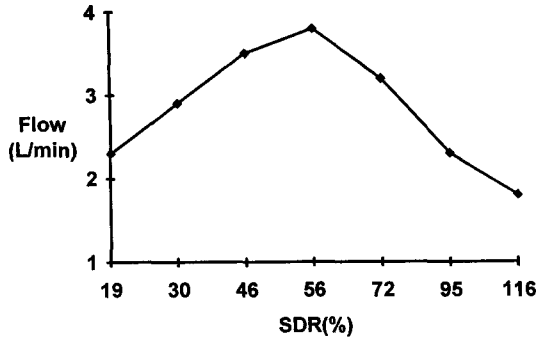


그림 6) SDR과 CO의 관계 그래프

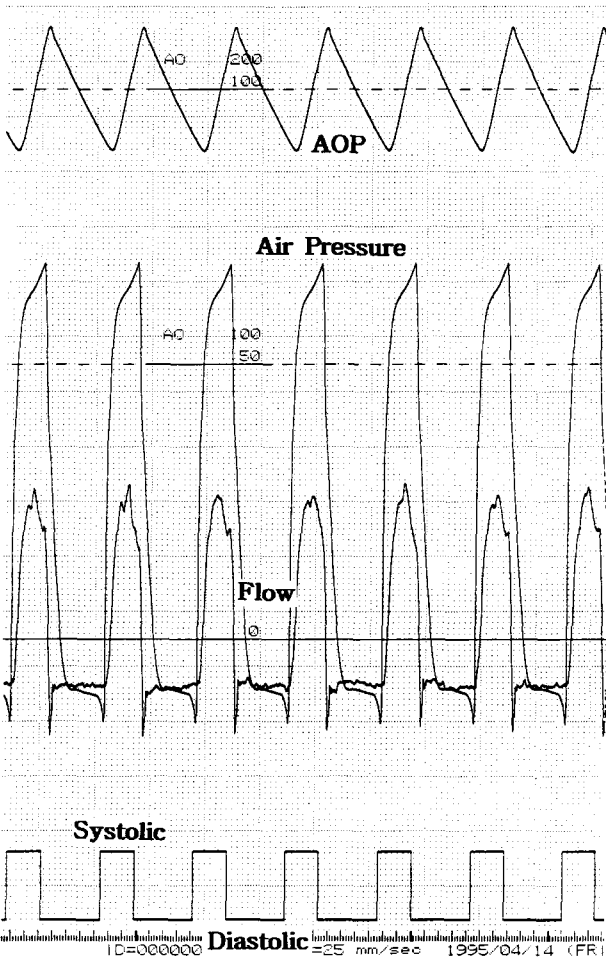


그림 7) In-vitro 실험으로 부터 얻어진 파형