

# 심실간 공간 압력을 이용한 이동작동기형 완전이식 인공심장에서 좌, 우심방압 추정

조 영호\*, 최 원우\*\*, 박 성근\*, 최 재순\*\*, 이 종진\*\*, 엄 경식\*\*, 김 희찬\*, 민 병구\*

\* 서울대학교 의과대학 의공학 교실

\*\* 서울대학교 대학원 협동과정 의용생체공학 전공

## Relationship between atrial pressures and the interventricular pressure in the moving actuator type total artificial heart

Y. H. Jo\*, W. W. Choi\*\*, S. K. Park\*, J. J. Lee\*\*, K. S. Om\*\*, J. S. Choi\*\*,  
H. C. Kim\* and B. G. Min\*

\* Dept. of biomedical engineering, College of Medicine, Seoul National University

\*\* Dept. of biomedical engineering, College of Engineering, Seoul National University

### ABSTRACT

The right and left atrial pressures are important parameters in automatic control of a total artificial heart (TAH) within normal physiological ranges. Our TAH is composed of a moving actuator, right and left ventricles and the interventricular space enclosed by a semi-rigid housing. During operation of the TAH, the interventricular space's volume is changed dynamically by the difference between the ejection volume of one ventricle and the inflow volume of the other. Therefore, the changes in pressure of the interventricular space is related to both atrial pressures. We measured the interventricular pressure (IVP) waveform using a pressure sensor and attempted to indirectly estimate the changes of atrial pressures. This method has an advantage that the sensor does not contact the blood directly. Furthermore, the IVP waveforms have its zero baseline in each pump cycle, thus the pressure measurements are free from the transducer drift problems by measuring the peak pressure from these baseline values. From the *In vitro* experiments, we found that the IVP waveform contained several useful parameters such as negative peak,  $dP/dT$  on the initial break, the area enclosed by the profile in each stroke, which are associated with atrial pressures and the filling conditions of the ventricles. The measured atrial pressures were linearly related to the negative peak of the interventricular pressure.

### 서론

좌심방 압력은 정상인에서 약 7 mmHg인데 20 mmHg가 넘게되면 폐에 조직액이 축적되는 폐부종이 발생하여 호흡곤란을 일으킬 수 있고 우심방 압력이 낮아지면 심방 함몰현상(atrial collapse)이 일어나서 심실로의 유입혈류가 차단되므로 자연 심장은 심장의 자체 조절, 신경계에 의한 조절, 호르몬에 의한 조절 등으로 정교하게 심방압을 일정수준으로 유지시키고 있다. 따라서 인공심장의 제어관점에서 볼 경우 정확한 좌, 우 심방압의 추정과 이에 따른 심방압의 조절은 중요한 제어목표중의 하나이다. 이에 직접적으로 혈액과 접촉하지 않는 심실간 공간에 압력센서를 부착하여 이로부터 측정되는 압력을 이용하여 좌, 우심방압을 추정하고자 한다.

본 연구에서 사용한 이동작동기형 인공심장의 혈액펌프는 모터를 포함한 이동작동기와 두 개의 혈액주머니로 이루어져 있으며 모터의 정역회전운동으로 이동작동기가 좌, 우 혈액주머니를 교대로 짜 준다. 이들은 폴리우레탄 외부케이스로 밀봉되어 있고 지나친 음압 발생을 방지하기 위한 창이 달려 있다. 여기에서 창은 혈액펌프 내부의 압력에 따라 수동적으로 움직여서 압력변화를 줄이는 역할을 담당한다. 심실간 공간이란 혈액펌프 내부의 공간중 혈액주머니와 작동기가 차지하는 부분을 제외한 공간을 일컫는데, 이동작동기의 원활한 동작과 열 발산에 필요한 100 cc의 윤활유와 좌,우 심박출량 차이를 보상하기 위한 50 cc의 공기가 채워져 있다.

### 본론

#### 1. 심실간 공간의 압력 형성 원리

혈액펌프 내부의 체적은 그림 1에 나타난 바와

심실간 공간 압력을 이용한 이동작동기형 완전이식 인공심장에서의 좌, 우심방압 추정  
과음압 방지용창

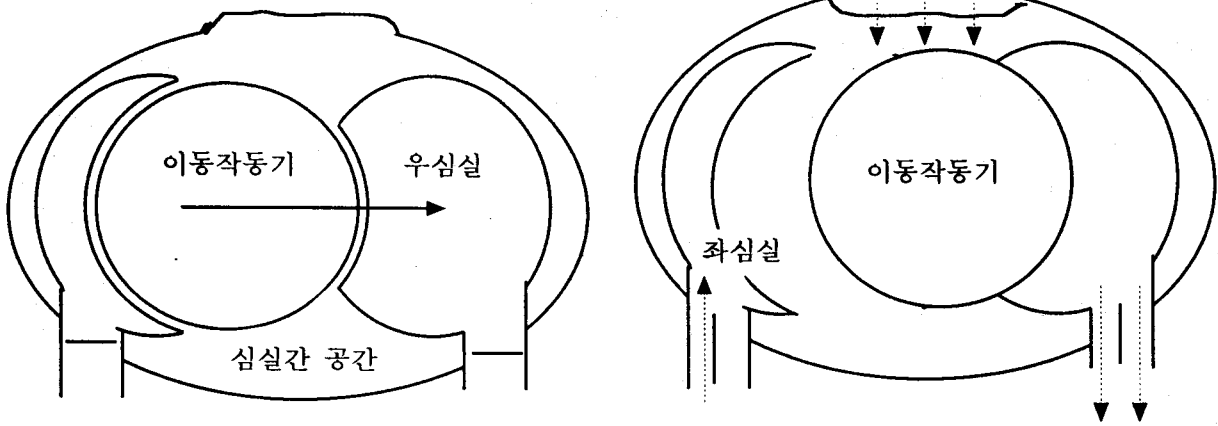


그림 1. 심실간 공간의 음압 형성 원리  
Fig 1. The principle of generating IVP

같이 두 혈액주머니와 이동작동기의 체적 및 과음압 방지용 창과 심실간 공간의 4부분으로 구성된다.

이동작동기의 체적은 항상 일정하므로 심실간 공간은 두 심실체적의 변화와 과음압 방지용 창의 체적보상 정도에 따라 변화한다. 예를 들어 우심실 수축기의 경우, 초기에는 좌심실의 유입량이 우심실의 박출량보다 작으므로 그 차이는 과음압 방지용 창에 의해 일부가 보상되고 나머지는 심실간 공간의 증가로 나타난다. 이 때 음압이 발생되며 심실로의 혈액 유입량이 반대쪽 심실의 혈액 구출량보다 많아지는 시점에서 심실간 공간 음압 첨점이 형성되게 된다.

2. 심실간 공간 음압 크기와 좌, 우심방압의 관계

심실로의 혈류유입량은 심방압과 심실간 공간의 압력차에 의해서 결정되므로 음압 첨점의 절대값은 혈류유입량에 관계되는 심방압력을 반영하게 된다.

그림 2는 Polygraph로 심실간공간 압력파형을 측정할 것이다. 이동작동기의 위치신호인 모터의 회전방향신호와 정지신호등을 Polygraph에 입력하여 시간에 대하여 동기시킴으로써 인공심장의 구동에 따른 혈류역학적 정보의 해석이 가능하도록 하였다. 표 1은 좌, 우심방압의 변화에 따른 심실간 공간의 압력을 상기의 방식으로 측정한 자료로서 동일한 심방압에서는 구동상태가 다르더라도 심실간 공간 음압의 크기가 일정한 구간내에 있음을 보여주고 있다.

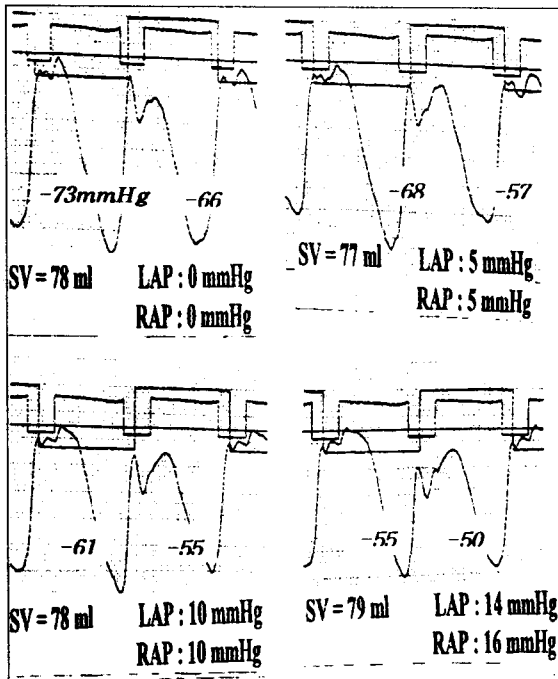


그림 2. 실제 측정한 심실간공간 음압파형.  
Fig 2. Atrial pressures and measured IVP waveform

S_len	LAP	RAP	IVP1	IVP2
110	0	0	-60	-70
	5	5	-52	-63
	11	15	-47	-52
120	0	0	-60	-66
	7	8	-55	-57
	11	12	-49	-55
130	0	0	-60	-72
	5	5	-56	-64
	10	10	-53	-58
	15	15	-48	-55
140	0	0	-66	-73
	5	5	-57	-68
	10	10	-55	-61
	14	16	-50	-55

표 1. 심방압과 심실간 공간압력  
Table 1. Atrial pressure and IVP negative peak

그림 3은 좌, 우심방 압력과 심실간 공간 음압의 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 좌, 우심방압이 0 mmHg에서 15 mmHg까지 증가함에 따라 심실간 공간 압력은 구동거리가 변하고 심박동수가 달라지더라도 일정하게 유지되면서 비례적으로 상승하고 있음을 알 수 있다.

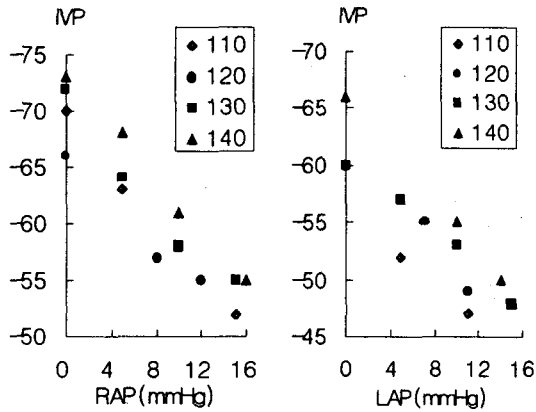


그림 3. 좌, 우심방압과 심실간 공간 음압의 관계  
Fig 3. The relationship of both atrial pressures and IVP negative peak

상기의 결과는 인공 심장을 이식해야 하는 환자의 경우 심방압이 20 mmHg 이상으로 상승해 있으며, 또한 인공 심장의 능동적 흡인력에 의하여 심방압이 0 mmHg 이하로 떨어질 수 있음을 감안할 때 심방압을 3 mmHg 에서 10 mmHg 사이로 유지하려는 현실적 제어목표를 충족시키는데 유용한 파라미터로서 심실간 공간 음압 침점값이 이용될 수 있음을 제시하고 있다.

이 방식은 압력 센서가 직접적으로 혈액과 접촉하지 않기 때문에 이에 따른 혈전 형성이나 세균의 서식처 제공의 문제가 없고 센서의 장기적 신뢰도를 높일 수 있는 장점이 있다.

### 결 론

본 연구에서는 많은 장점이 있는 간접 측정 방식을 이용한 심실간 공간 압력파형의 음압 크기로 인공심장의 제어에 필요한 좌·우 심방압을 추정할 수 있음을 제시하였다.

### 참고 문헌

김 인영 : "컴퓨터 시뮬레이션에 의한 완전 이식형 전기 기계식 인공심장의 분석", 서울대학교 대학원 의학과 박사학위 논문, 1994

천 길정 : "모터 구동형 인공심장의 기계적 설계에 관한 연구", 서울대학교 대학원 기계설계학과 박사 학위 논문, 1988

최 원우 : "전류파형분석에 의한 완전 이식 인공심장의 심박출량 자동제어 알고리즘", 서울대학교 대학원 의용생체공학과 석사학위 논문, 1993

Schmidt RF, Thews G, Human Physiology, Springer Verlag, New York, 1989