

완전이식형 인공심장의 심방압 균형성능의 개선에 관한 연구

A Study On the Improvement of Atrial Pressures Balancing Performance of Total Artificial Heart

°최 원우*, 박 성근**, 조 영호**, 최 재순*, 이 동준*, 김 희찬**, 민 병구**

*서울대학교 대학원 협동과정 의용생체공학전공

**서울대학교 의과대학 의공학교실

°Won Woo Choi*, Seong Keun Park**, Yung Ho Jo**, Jae Soon Choi*, Dong Joon Lee*,

Hee Chan Kim**, and Byoung Goo Min**

*Department of Biomedical Engineering, College of Engineering, Seoul National University,

**Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Seoul National University

Abstract: A new atrial pressures balancing method for moving actuator total artificial heart(TAH) without an extra compliance chamber is developed. The structural characteristics of the pendulous moving actuator have made it possible to compensate the left and right pump output difference by utilizing the interventricular air space as an internal compliance chamber in a pump housing. Furthermore, the balancing performance is increased through the improvement of the flexibility of part of the polyurathane housing. However, the increase of the flexibility of the housing causes a little loss of the cardiac output due to the reduction of active filling performance. In this paper, a good condition between the balance and pump output performance is evaluated by adjusting the air volume in the interventricular space through a series of *in vitro* experiment.

I. 서론

완전이식형 인공심장에서의 심박출량은 우심방으로의 회귀혈류량에 따라 충분히 공급되어야 할 뿐 아니라 좌,우 심박출량간의 균형을 유지하도록 제어되어야 한다[1]. 심박출량의 균형을 그대로 반영하는 심방압의 균형에 관한 문제를 해결하기 위하여 현재까지 시도되었던 방법들로는 별도의 공기주머니의 사용[2], 폐동맥 판막의 역류량 조절[3], 심방간 혈류이동[4]등이 있었으나 장기간의 시술을 위해서는 아직 확실한 해결책을 제시하지 못하고 있는 실정이다.

본 연구소에서 개발하고 있는 완전이식형 인공심장의 심방압 균형은 별도의 공기보상주머니를 사용하지 않고 이동작동기의 비대칭 제어와 가변체적 공간내의 공기의 팽창과 수축작용에 근거를 두고 있다[5]. 이때, 인공심장의 외부 하우징의 탄력성이 거의 없을 경우에는 공기의 수축과 팽창이 이동작동기에 큰 부하로 작용하며 심방으로의 유입혈류량이 적을 경우에는 심방함몰이 발생하기도 하며 비대칭 제어변수의 조절값에 여유가 작은 등 몇 가지 문제점이 지적되어 왔다.

본 논문에서는 이러한 문제를 극복하는 방안으로 외부 하우징의 일부를 유연하게 만들고 가변체적 내의 공기량을 조절하여 심방압의 균형성능을 개선하고 모의

순환 실험에서의 정량적인 분석을 통하여 그 결과들을 비교하였다.

II. 방법 및 재료

1. 혈액 펌프의 구조

본 연구소에서 개발하고 있는 완전이식형 인공심장의 혈액펌프는 브러쉬없는 직류모터(S/M 566-18, Sierracin/Magnedynе Carsbad, CA)가 내장된 이동작동기, 좌,우 혈액주머니, 딱딱한 외부 하우징에 의해 밀봉된 가변체적 공간으로 이루어져 있다. 그림 1은 이동작동기의 혈액펌프의 구조를 도식적으로 나타내고 있다. 이동작동기의 정역회전으로 좌,우 혈액주머니를 교대로 압박하여 혈액을 박출한다. 인공심장의 각 유입구와 출구에는 판막이 있어 한 방향으로의 혈액의 흐름을 보장한다. 가변공간내의 공기량은 내부와 통하는 가는 관을 통해 조절이 가능하다.

2. 혈액의 능동유입 방식

인공심장의 가변체적의 공간내에는 100cc의 윤활유와 50cc의 공기로 채워져 있다. 이동작동기의 회전운동은 한쪽 혈액주머니의 혈액의 박출과 함께 이 공간내에 음압을 발생시켜 반대쪽 혈액주머니로의 혈액의 유입을

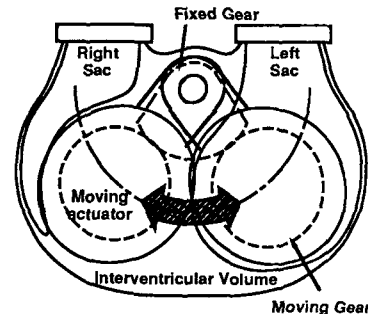


그림 1. 모터구동형 완전이식 인공심장의 구조

능동적으로 유도한다. 이때, 혈액펌프의 외부하우징의 탄력성이 작을수록 능동유입성능은 더 크고, 따라서 심박출량도 이에 비례하여 증가한다.

3. 심박출량의 비대칭 제어방식

생체순환계의 해부학적 구조, 폐동맥판막에 비해 더 큰 대동맥판막에서의 역류량등의 원인으로 인해 인공심장에서의 좌심박출량은 우심박출량에 비해 상대적으로 작으므로 인공심장의 박출거리를 좌심실쪽으로 더 확장함으로써 이러한 박출량의 차이를 보상하는 제어방식이 필요하다. 그림 2는 심박출량의 비대칭 제어방식과 비대칭 정도에 따른 좌,우심방압의 변화를 나타내고 있다. 개발된 인공심장은 좌,우 심박출량의 차이에 기인한 체적의 보상을 별도의 체적보상 주머니를 사용하지 않고 가변공간내의 공기를 수축 또는 팽창함으로써 실현하고 있다.

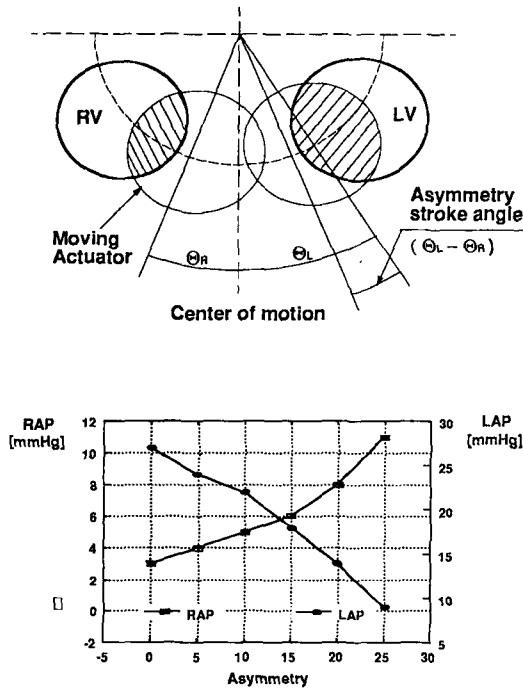


그림 2. 비대칭 제어방식과 좌,우 심방압의 변화

4. 심방압 균형성능의 개선

전술한 가변공간에 의한 체적보상은 혈액펌프의 외부 하우징이 유연할수록, 그리고 공기량이 많을수록 용이하게 이루어진다. 본 연구에서는 그림 3에서와 같이 혈액펌프의 일부를 유연하게 만들고 가변공간내의 공기량을 적절히 조절함으로써 심방압의 균형성능을 개선하였다.

그런데, 가변공간내에 공기를 더 주입할수록 체적보상성은 향상되지만 능동유입성은 감소되어 심박출량이 감소하게 되어 이들간에 적절한 타협이 필요하다.

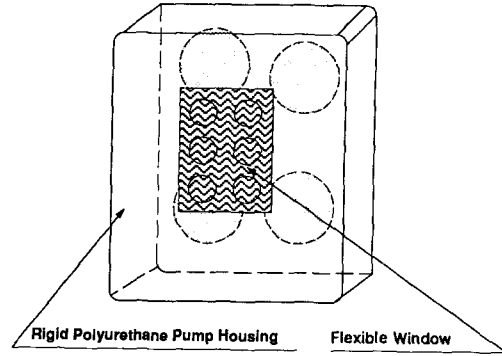


그림 3. 외부하우징이 개선된 혈액펌프

본 연구에서는 모의순환 실험을 통해 심박출량의 감소한계치를 기준 공기량에서의 심박출량의 10% 이내로 설정하고 비대칭 변수값을 0으로 했을 때의 좌심방압이 15 mmHg 이하로 유지시키는 공기량을 가장 적절한 공기량으로 정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

모의 순환실험을 통해 가변공간내의 공기량을 기준 공기량에 각각 5, 10, 15, 20cc 를 주입했을 때 좌,우 심방압의 변화양상이 그림 4에 나타나있다. 공기량이 작을 때는 비대칭 변수에 대한 제어효과가 뛰어나지만 좌심방압을 15 mmHg 이하로 유지시키기 위한 변수값 조절의 여유가 작은 반면, 공기량의 증가에 따라 비대칭 제어효과는 둔하지만 거의 전 변수값 영역에서 적합한 좌심방압을 유지하고 있어 비대칭 변수값 조절의 여유가 커짐을 확인할 수 있다.

한편, 이때의 심박출량의 감소정도가 그림 5에 표시되어 있다. 각 비대칭 변수값에 대해 추가 공기량이 약 10 cc 일 때를 경계로 심박출량이 급격한 감소를 보이고 있다.

실험을 거쳐 가장 최적의 공기량을 결정하기란 쉽지 않고, 다만 전술한 실험결과를 토대로 전술한 공기량 결정을 위한 목적요건에 부합되는 상태로는 추가 공기량이 약 10cc 일때라 할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 인공심장의 심박출량의 제어에서 중요한 요건인 좌,우 심방압의 균형을 유지시키는 방안을 검토하고 그 성능을 개선할 수 있는 새로운 방식을 제시하였다. 혈액펌프의 외부하우징의 일부를 유연하게 만들어 이동작동기의 비대칭 제어에 따른 체적보상을 용이하게 하였으며, 모의 순환실험을 통해 가변공간내의 공기량을 조절함으로써 심방압 균형성을 향상시켜 비대칭 변수에 대한 조절범위의 여유를 증가시켰다.

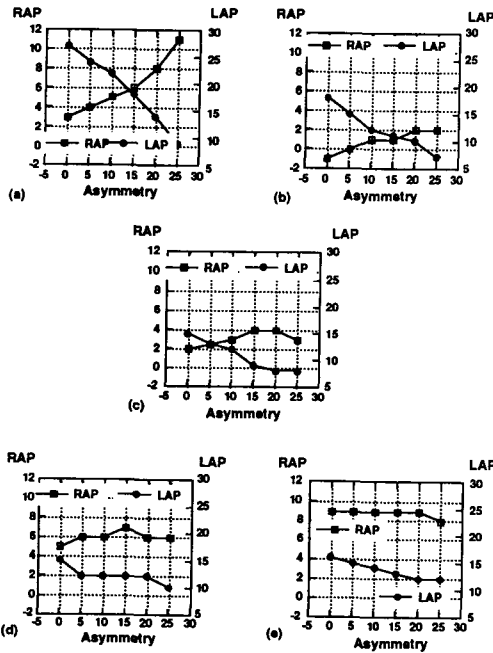


그림 4. 주입된 공기량이 각각 (a) 0 cc, (b) 5 cc, (c) 10 cc, (d) 15 cc, (e) 20 cc 일때의 심방압 변화양상.

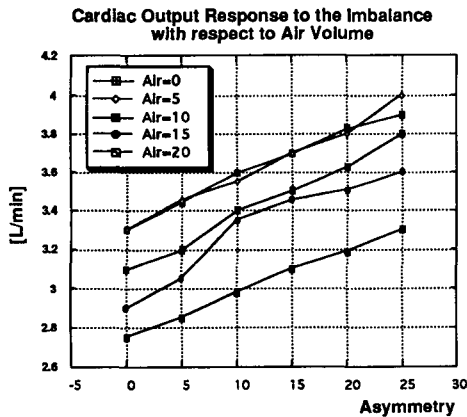


그림 5. 공기량의 증가에 따른 심박출량의 변화양상

참고 문헌

[1] Soomyung Lee, Gerson Rosenberg, James H. Donachy, Craig B. Wisman, and William S. Pierce, "The Compliance Problem: A Major Obstacle in the Development of Implantable Blood Pumps", *Artificial Organs*, Vol. 8, Num.1, pp.82-90, 1984.
 [2] A.P. Lioi, J.L.Orth, K.R.Crump, G. Diffie, P.A. Dew, S.D. Nielson, and D.B. Olsen, "In vitro development of automatic control for the actively filled electrohydraulic heart", *Artificial Organs*, Vol.12, no.2, pp.152-162, 1988.

[3] R.T.V. Kung, B. Ochs, P.I. Singh, "A unique left-right flow imbalance compensation scheme for an implantable total artificial heart", *Trans Am Soc Artif Intern Organs*, Vol.35, M468-470, 1989.
 [4] D.B.Olsen, R.K. White, P.S. Khanwilkar, "Right-left ventricular output balance in the totally implantable artificial heart", *Int. J. Artif. Organs*, Vol.14, pp359-364, 1991.
 [5] B.Min, I.Kim, H.Kim, "Different stroke volumes for the left and right ventricles in the moving-actuator type total artificial heart", *Int. J. of Artif. Organs*, Vol.16, No.1, pp.45-50, 1993.