

캐놀라를 이용한 전기유압식 좌심실 보조기의 개발에 관한 연구

최진욱[○], 이규백, 고영환, 김화룡, 정대영, 김철생, 박재형^{*}, 민병구
서울대학교 의과대학 의공학 교실, ^{*}서울대학교 의과대학 방사선과학 교실

Development of Cannula type Electrohydraulic Left Ventricular Assist Device

Choi Jin Wook, Lee Kyu Bak, Koh Young Hwan, Kim Hwoa Ryoung, Jung Dae Young, Kim Cheol Sang, Park Jae Hyoung*, Min Byoung Goo

Dept. Biomedical Engineering College of Medicine Seoul National University,
^{*} Dept. Radiology College of Medicine Seoul National University

요약

좌심실보조기의 임상응용범위를 넓히기 위해서 개심술을 하지 않고 좌심실보조기를 적용할 수 있도록 캐놀라형 좌심실보조기를 이용한 보조순환 실험을 하였다. 좌심실 보조기는 모터의 회전력이 PVC 벨로우즈를 수축, 팽창시키는 전기유압식으로 구동되며 환자는 양쪽 대퇴동맥을 통하여 보조순환을 받도록 되어 있다. 두차례의 동물실험을 통하여 대퇴동맥을 통한 보조순환방식의 가능성 및 그 효과에 대해서 관찰하였다. 첫 실험은 12kg 개를 이용하여 셀딩거 방법으로 물린형 카테터를 대퇴동맥으로 삽입하여, 캐놀라형 보조순환방법의 가능성을 확인하였고, 두번째 동물실험에서는 내경 4.8 mm의 PVC 카테터를 이용하여 좌심방에 유입카테터를 연결하고 대동맥에 유출카테터를 연결하여 보조순환에 의한 대동맥압의 변화와 혈류량의 변화를 관찰하였다. 보조순환동안 개의 동맥압을 100mmHg로 유지할 수 있었으며, 좌심실내압이 감소하는 것을 관찰할 수 있었다.

1. 서론

좌심실보조기의 경피적 접근 방식은 보조기의 임상응용 범위를 더욱 넓혀 주게 된다. 1) 좌심실보조기의 외국에서의 응용실험을 보면, 수술후 심폐기에서 환자가 독립할 수 없는 경우가 대부분인데, 좌심실보조기가 수술후 환자뿐만 아니라 응급실에서 확장성 심부전(Dilative cardiomyopathy)의 환자의 치료에도 사용될 수 있다면, 그 치료 범위가 늘어 날 수 있을 것으로 생각된다.

좌심실보조기의 또하나의 문제점은 아직까지 적절한 제어 변수가 확립되어 있지 않다는 점이다. 2)-4) 대동맥압이나, 좌심실 압력은 현재 심장이 짊어지고 있는 부하의 정도를 나타낸다. 한편, 좌심실보조기를 쓰고 있는 동안의 심근의 산소 소비량(MVO2)은 좌심실보조기를 달고 있는 동안의 심근이 받고 있는 스트레스의 정도를 나타내주는 변수로 생각할 수 있다. 그러나 두변수 모두 심근의 앞으로 회복 가능성에 관해서는 예견해줄 수 없는 변수이다. 따라서 좌심실보조기의 개발과정에서 두가지 방향에서, 연구가 진행되는 것이 의미 있으리라고 생각한다. 하나는 경피적 접근을 가능하게 하는 주변 기구를 개발하거나, 기구의 변화를 초래하여 경피적 접근에서 문제점을 극소화할 수 있도록 고안하는 일이며, 두번째는, 심근회복을 예견할 수 있는 변수를 찾아내고, 이를 이론화하여 동물실험에서 확인하는 방법이다.

본 실험에서는 사람의 대퇴동맥에 삽입할 수 있는 크기의 캐놀라를 선정하고, 캐놀라 크기에 따른 모의 순환장치에서의 유량의 변화를 측정하였다. 동물실험을 통하여 경피적 접근방식에서 보조순환을 해줄 수 있는 유량을 관찰하여, 경피적 보조순환의 적용가능성을 관찰해보았다.

2. 실험재료 및 방법

1) 전기유압형 좌심실보조기의 구성

보조기의 전체구성은 표1과 같이 구성되어 있고, 에너지 변환장치를 이루는 모터는 85 와트의 기어드모터를 사용하였으며, 연결되는 벨로우즈는 내경 50 mm의 PVC 벨로우즈를 사용하였다. 벨로우즈의 내구성을 증가시키기 위하여 Pellethane 을 외면에 코팅하였다.

혈액 펌프는 Pellethane (2363-80AE)로 제작된 용량 100ml의 혈액주머니와 Pellethane과 보강제로 제작된 바깥주머니로 구성되어 있으며, 각 입출구에는 Bjork-Shiley 단엽판막을 연결하였다.

표 1.

전기유압형 좌심실보조기의 구성

구분	구 성
1. 에너지 변환부	모터 주름상자 가이드레일
2. 혈액펌프	바깥주머니 혈액 주머니 판막지대 판 막
3. 연결부	PVC CANNULA

2) 모의 순환장치 구성

모의순환장치는 10 mm 두께의 아크릴로 제작되었으며, 좌심실부와 대동맥부의 두부분으로 나누어져있고, 대동맥의 혈관팽창도를 모방하기 위해 팽창실(compliance chamber)을 두었으며, 압력변화를 주기위해서 저항성분으로된 불형태의 밸브를 가운데 설치하였다.

유체는 좌심실부에서 나와 좌심실보조기의 내부를 지나서, 대동맥부로 들어가게 되며, 다시 대동맥부의 출구로 나와서 불밸브를 지나 플로팅 형태의 유량계(Tokyo flow meter Co, FC-A20-ACNF)를 통과해서 좌심실부로 들어가게 된다. 좌심실부에는 내경 6.4 mm관과 연결되는 부분에 있어, 수압에의해서 좌심실부의 압력을 조절할 수 있도록 하였다.

3) 모의순환장치 실험

동물실험에서 사용될 캐놀라와 같은 크기의 캐놀라를 이용하여, 모의순환장치에서 전부하 (Preload)에 해당하는 좌심실부의 압력을 15.7 mmHg에서 25.7 mmHg로 변화 시키기면서, 펌프의 박동수에 따르는 박출량의 변화를 관찰하였다.

4) 동물실험

내경 4.8mm의 PVC 캐놀라를 이용하여, 좌심실보조기의 보조 유량을 측정하였다. 12Kg의 집종개를 먼저 375 mg의 펜토달을 이용하여 마취로 유도한 다음 할로세인을 이용하여 마취를 유지시키고, 복부를 절개하여 복부대동맥을 박리해내었다. 좌심실로 들어가는 유입부캐놀라를 물린 카테터를 이용하여 셸딩거법으로, 물린 카테터를 좌심실에 넣은후, 물린 카테터를 따라서 PVC캐놀라를 넣었으며, 이를 확인하기 위하여 플루오로스코프(Fluoroscope)로 관찰하였다. 아래쪽으로 향하는 박출부 캐놀라를 대동맥을 약 10 mm 횡절단한후, 직렬형 캡리를 이용하여 집어넣었다. 각 캐놀라의 대동맥 연결부위가 분리되지 않도록 하기위해서 캐놀라의 삽입부를 대동맥과 함께 타이건 또는 실을 이용하여 묶었다. 혈액응고를 방지하기위해서 5000 단위의 헤파린을 정맥 주사하였으며, 캐놀라를 좌심실보조기에 연결하고, 전원을 연결하여 낮은 속도로부터 서서히 보조기를 가동시키면서, 안정된 속도를 유지할때까지 박출속도를 증가시켰다. 동물실험동안 펌프의 박출속도는 분당 85 회였으며, 심실보조기의 유량을 전자자기형 유량계로 측정하고, 대퇴동맥에서 동맥압을 측정하였다.

3. 결 과

1) 모의순환 장치 실험

좌심실압력을 달리해서 측정한 보조순환의 유량은 표2,3과 같다. 펌프의 유량의 변화를 보면 박동수에 따라서는 큰차이를 보이고 있지 않으며 단지 후부하에 해당하는 대동맥압의 변화에 더 영향을 받는 것으로 나타났다. 보조유량은 전부하에 관계없이 약 1.4 L/min에서 1.8 L/min의 보조순환 유량을 내는 것으로 나타났다. (표2,3. 그림 1,2)

표 2. LVP 15.4 mmHg 일때 PUMP RATE에 따른 유량의 변화

PUMP/AOP	50	60	70	80	90	100
60	1.5	1.5	1.42	1.4	1.4	1.32
70	1.52	1.57	1.57	1.57	1.5	1.45
80	1.68	1.6	1.6	1.55	1.55	1.48
90	1.7	1.66	1.6	1.6	1.55	1.52
100	1.7	1.6	1.6	1.6	1.56	1.5

MOCK TEST

Preload 15.4 mmHg

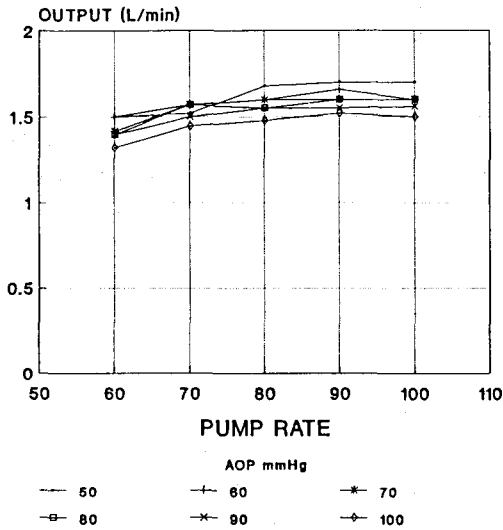


그림 1. LVP 15.4 mmHg 일때 PUMP RATE에 따른 유량의 변화

표 3. LVP 25.7 mmHg 일때 PUMP RATE에 따른 유량의 변화

PUMP/AOP	50	60	70	80	90	100
60	1.58	1.52	1.5	1.47	1.46	1.42
70	1.58	1.57	1.5	1.5	1.52	1.45
80	1.7	1.6	1.5	1.5	1.6	1.5
90	1.68	1.6	1.57	1.55	1.5	1.5
100	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.53

2) 작동범위를 결정하기위한 모의 순환 실험

모의순환장치에서 캐놀라 크기를 달리해서 보조순환기의 유량범위를 관찰하였다. 내경 4.8 mm인 캐놀라를 이용하여 보조순환기를 작동시켰을 때에는 최고 유량이 1.58 L/min 였고, 내경 6.4 mm인 캐놀라를 이용하여 측정하였을 때에는 최고유량이 3.0 L/min 이었다. (그림3,4)

MOCK TEST

Preload 25.7 mmHg

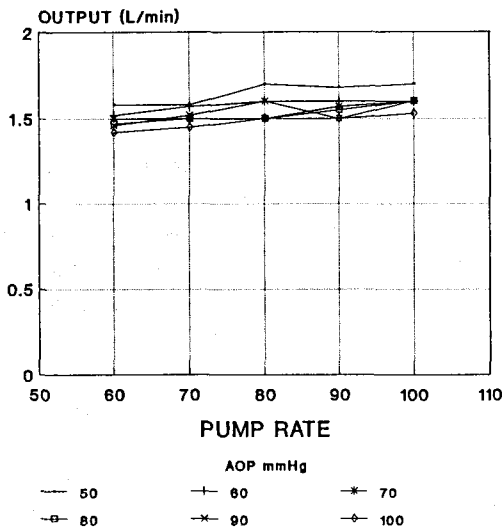


그림 2. LVP 25.7 mmHg 일때 PUMP RATE에 따른 유량의 변화

MOCK TEST

ID 4.8 mm

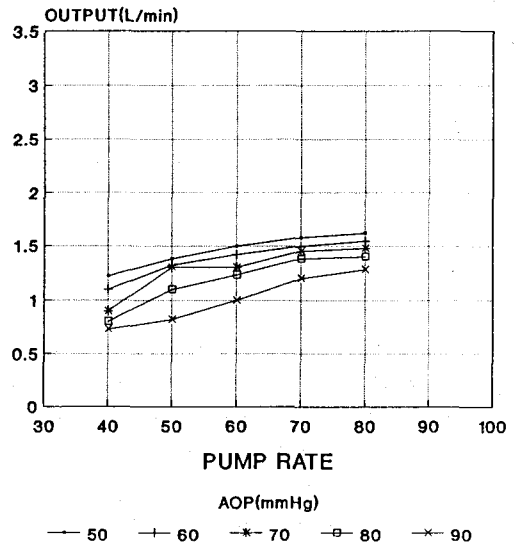


그림 3. 내경 4.8mm 일때 PUMP RATE에 따른 유량변화

MOCK TEST

ID 6.4 mm

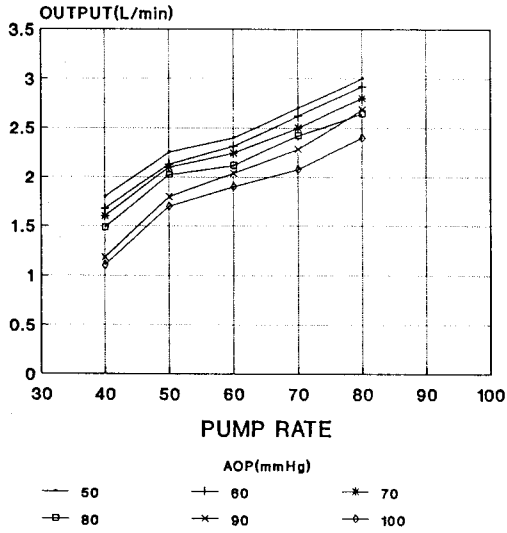


그림 4. 내경 6.4mm 일때 PUMP RATE에 따른 유량변화

3) 동물실험

캐놀라를 이용하여 개의 복부대동맥에 좌심실보조기를 연결한후 대퇴동맥에서 동맥압을 측정하고, 좌심실보조기의 박출부 캐놀라에서 유량을 측정하여 좌심실보조기의 작동시와 작동하지 않을 때의 박출량과 압력변화를 관찰하였다. 약 2 시간 동안 좌심실보조기를 작동 시키면서 여러 순환 변수들을 측정하였다. 대퇴동맥에서 혈압을 측정한결과 동맥압을 100 mmHg로 유지할 수 있었으며, 보조순환동안 좌심실 내압을 현저하게 떨어뜨릴 수 있었다. (그림 5)

동물실험후 보조기를 분해하여 혈전 형성여부를 관찰 하였으나, 판막주위및 혈액주머니내부에서 혈전을 발견할 수 없었다.

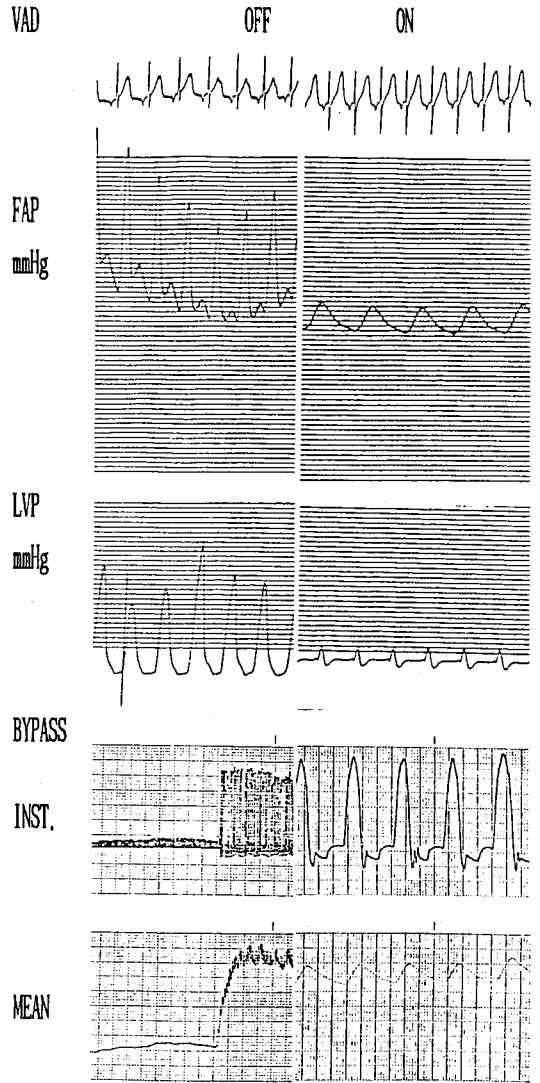


그림 5 좌심실보조기를 사용했을때의 압력과 유량변화

4. 고찰

캐놀라형 좌심실보조기는 임상적응범위를 넓힐 수 있는 장점을 지니고 있지만, 임상적으로볼때 적용을 어렵게하는 문제점들이 있다. 첫째는 캐놀라형 심실보조기의 혈전발생에 관한 부분이다. 기타 좌심실보조기의 성능평가도 혈전현상을 극복하는데 주력되어졌을 정도로 혈전현상은 매우 중요한 문제라고 할 수 있겠다. 특히 캐놀라형 심실보조기의 경우 내경이 작은 관으로 혈액이 흐르기 때문에 혈전현상이 더쉽게 생길 수 있고, 혈전현상을 어떻게 해결할 수 있는가하는 문제가 임상 응용가능성을 판가름해주는 지표가 된다고 하겠다.

첫 동물실험에서 약 2 시간동안 보조순환기를 작동시켰고, 그 결과 개의 대퇴동맥압이 71 - 100 mmHg로 유지되는 것을 관찰하였다. 실험후 혈전현상은 캐놀라및 혈액주머니 모두에서 발견할 수 없었는데, 이는 좌심실보조기의 사용시간이 짧은 이유와 헤파린의 사용에 의한 것 두가지로 그 이유를 들 수 있겠다. 특히 기존논문에서 보조순환양이 2.0 L/min 만 되면 헤파린을 사용하지 않는다고 보고하고 있기때문에, 동물 실험에서 헤파린의 사용을 과다하게 하지않는 것이 출혈의 위험을 줄일 수 있다. 다음 실험에서는 헤파린의 사용량을 줄인후 오랜 시간동안 작동시킨후 혈전현상을 관찰할 예정이다.

좌심실보조기에서 또하나 중요한 것은 내경이 작은 캐놀라로 혈액을 충분한 양만큼 보낼 수 있는가 하는 문제이다.⁵⁾ 본 실험에서는 이를 알아보기위해서 내경이 작은 캐놀라를 이용하여 개에서 보조순환의 가능성을 판단해 보았다. 모의 순환 결과와 비교해볼때 혈류흐름에 특별한 장애가 없는한 보조순환의 양은 심계수 (Cardiac Index) 2.0 L/min/cm² 로 유할 수 있는 것을 관찰할 수 있었고, 추후 남은 동물실험을 통하여 보조순환의 적절한 양과 제어 방식에 대해서 실험할 예정이다.

5. 결 론

캐놀라를 이용하여 좌심실보조순환기의 경피적 적용에 대해서 실험하였다. 모의순환실험결과 캐놀라의 내경크기가 순환혈류량에 가장 영향을 많이 주는 것으로 나타났으며, 동물실험에서 캐놀라를 이용하여 경피적 적용을 한 결과 대퇴동맥에서 동맥압이 적합한 유지되고 있음을 관찰 할 수있었다. 앞으로 동물실험을 통하여 좌심실보조기의 혈전문제에 대한 평가및 제어방식에 대한 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. E. Sasaki, H. Takano, Y. Taenaka et al
"Left Ventricula Assist system with a Simplified Cannulaiton Technique" ASAIO Transactions 1989:35: 609-611
2. T. Asou, M Oe, R. Tominga et al
"Optiaml Timing for Application of Ventricular Assist Devices in Patients Who cannot be Weaned from Cardiopulmonary Bypass":ASAIO Transactions 1988:34:466-469
3. P. Davis, W. Pae, C. Miller et al
"Myocardial Oxygen Consumption: comparison between Left Atrial pulsatile synchronous and Asychnous Bypass": ASAIO Transactions 1989:35: 461-463
4. A. Kamiya, T. Togawa, T. Kobayashi et al
"Effect of unphysiological Factors on Cardiac Output Regulation During Artificial Heart Pumping": IEEE BME: 1975:22: 238-245
5. R. Paulis, H.Engelhard, I. Chiariello et al
"In vitro evasulation of left ventricular asistance by cannulation of both femoral arteries": Int J Artif Organs 1990:13:237-246