

고분자판막의 동물실험 및 생체내 혈액적합성 연구

김상현·홍유선*·박영환*·조범구*·장병철*·강면식*

=Abstract=

Animal Experiment and Blood Biocompatibility Study of Polymer Valve

Sang Hyun Kim, Ph.D., Yoo Sun Hong, M.D.*, Young Hwan Park, M.D.*, Bum Koo Cho, M.D.*,
Byung-Chul Chang, M.D.*, Meyun Shick Kang, M.D.*

In vivo testings of the monoleaflet polymer valve were performed in seven dogs to prove its blood biocompatibility. The monoleaflet polymer valve used in this study was developed for short-term usage in the ventricular assist device. The frame and leaflet of the polymer valve were made of polyurethane. The inter-aortic valved conduit were implanted in four dogs and the ventriculo-atrial valved conduit was implanted in one dog. The ventricular assist devices with polymer valve were implanted in two dogs. The longest survival was 20 days. Main causes of death were bleeding and infection. To examine the blood compatibility, each blood sample was collected and RBC, WBC, hematocrit, hemoglobin, platelet and lactic acid dehydrogenase were analyzed. These studies thus far demonstrated that, with further development, a reliable and inexpensive polymer valve will be used in the ventricular assist device as short term usage.

(Korean J Thorac Cardiovasc Surg 1997; 30: 357-62)

Key words: heart valve, polymer, biocompatibility

서론

현재 임상에서 사용하고 있는 기계판막은 내구성이 뛰어나서 반영구적으로 사용할 수 있으나 판막의 혈전색전증의 위험성 때문에 이식 후 항응고제 투여가 필수적이다. 조직판막은 기계판막의 단점인 혈전발생이 적고 중심혈류가 유지되어 혈액학적으로도 우수하나 내구성이 떨어져서 일정기간 사용한 후에는 재치환하여야 하는 문제가 있다. 이에 반해 고분자재료를 이용하여 만든 고분자판막은 항혈전성이 기계판막보다 우수하고 제작이 용이

하여 여러 가지 모양이 가능하고 대량생산을 할 수 있는 장점이 있어서 최근에 많이 연구되고 있다. 고분자판막은 Akustu 등¹⁾에 의해 처음 삼엽식 고분자판막 연구가 시도된 이후 현재 삼엽식이나 이엽식, 단엽식 등 여러 가지 모양으로 연구되고 있다²⁻⁷⁾. 특히 Imach 등⁵⁾은 단엽식의 일종인 Jellyfish valve를 오래 전부터 연구하여 동물실험에서 항응고제를 사용하지 않고도 혈전이 생기지 않는 결과를 얻었다. 단엽식은 모양이 단순하여 가공이 가장 쉽고 제작비가 적게 들어 경제성이 뛰어난 장점이 있다. 김상현 등⁸⁾은 단엽식 고분자판막을 설계하여 연구하고 있는데 주로

연세대학교 의과대학 심혈관연구소

Cardiovascular Research Institute, Yonsei University College of Medicine

* 연세대학교 의과대학 흉부외과학교실

* Dept. of Thoracic & Cardiovascular Surgery, Yonsei University College of Medicine

† 이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비 및 1995년도 연세대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

논문접수일: 96년 7월 10일 심사통과일: 96년 10월 9일

책임저자: 김상현, (120-752) 서울 서대문구 신촌동 134. Tel. (02) 361-7352, Fax. (02) 393-2041

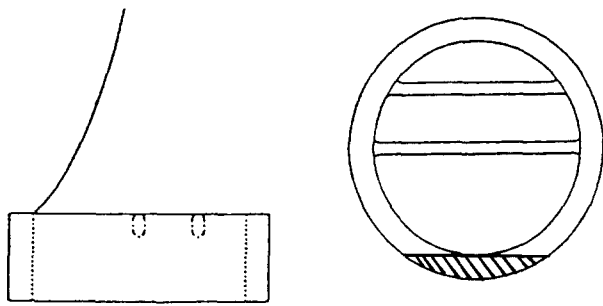


Fig. 1. Schematic diagram of the monoleaflet polymer valve.

심실보조장치에서 일시적으로 사용할 수 있는 저렴하고 혈액역적으로도 우수한 인공판막을 제작하는데 그 목적을 두고 있다. 고분자판막은 충분한 강도를 갖고 있으면서 얇고 유연한 특성을 유지할 수 있는 판엽을 만드는 것이 중요하다. 따라서 한근조 등⁹⁾은 단엽식 판막을 모델링하여 유한요소법에 의한 응력해석으로 판엽의 응력과 변이 등을 계산하여 보고하였다. 이 연구에서는 판막지지대의 적절한 위치를 계산하여 응력집중을 방지하였다. 김상현 등¹⁰⁾은 고분자판막의 혈액역학적 특성연구를 위하여 모의순환장치에 판막을 장착하여 압력강하, 역류량, 순간압력변화 등을 측정하여 기계판막과 비교하였다. 생체의 실험이나 수치해석으로 분석한 결과 고분자판막의 혈액역학적 운동이 만족할만하다는 결과를 얻을 수 있었다. 그 동안의 연구는 생체내 실험을 위한 준비단계라고 할 수 있다. 판막을 임상에서 실제로 사용하기 위해서는 생체의 결과보다는 생체내 (in vivo) 실험결과가 매우 중요하다. 인공판막의 생체내 실험에서 항혈전성과 생체안전성을 시험하여 안전성을 입증할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 개발 중인 단엽식 고분자판막의 동물실험을 통하여 혈전색전증과 용혈현상 및 생체혈역학 등의 검사를 하여 문제점을 찾아내고 개선하여 판막의 생체적합성을 검증하고자 하였다.

실험방법

1. 고분자 판막의 제작

본 연구소에서 개발 중인 단엽식 판막은 항시 열린 모양이고 프레임에 얇은 판막이 결합한 형태를 하고 있다. Fig. 1은 단엽식 판막의 구조도로서 완전 개방시의 모양을 나타내고 있다. 프레임에서 사선은 열림판과 프레임의 접촉 면적을 나타낸다. 판막이 닫히는 순간 열림판이 가장 큰 압력을 받게 되는데 이때 열림판이 탈구되는 현상을 방지하기 위해서 두 개의 지지대를 만들었다. 지지대는 가는

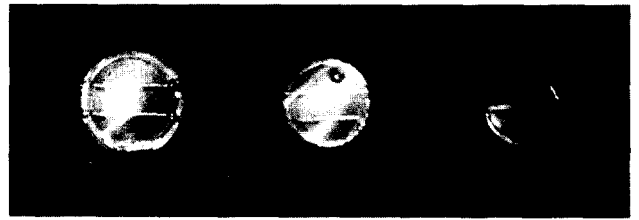


Fig. 2. Photograph of polymer valve with outer diameters of 22 mm, 18 mm and 16 mm, respectively.

스테인레스 철선을 이용하여 혈류저항을 최소화하고 하였다. 경질 폴리우레탄인 Isoplast[®] (Dow Chem., U.S.A)를 기계가공 하였으며 두께는 2mm와 높이는 7.5 mm이다. 열림판은 연질 폴리우레탄인 Pellethane[®] (Dow Chem., U.S.A)을 dipping 제작법을 이용하여 제작하였다. 최종적으로 제작된 열림판의 두께는 0.10~0.35 mm의 범위를 갖는다. 프레임과 열림판의 접합은 양쪽 재질이 모두 폴리우레탄계이므로 DMAC (dimethylacetamide)로 프레임을 약간 녹인 후 열림판에 힘을 가하면서 접착하면 완전한 접합이 된다. Fig. 2는 시험 제작된 외경이 각각 22mm, 18mm, 16mm 인 단엽식 판막의 사진 그림이다. 16mm 단엽식 판막은 열림판의 두께에 비해 외경이 작아서 지지대를 한 개만 하여도 탈구현상이 일어나지 않았다. 제작된 판막은 생체외에서 우선 혈액역학적인 성능과 내구성 시험을 하였다. 생체의 실험은 모의순환장치를 이용하였는데 공압식 펌프를 이용하여 유체를 순환시키고 순환계내에 혈류저항과 컴플라이언스를 구성하여 생체 혈액순환계를 기계적으로 조합한 장치이다. 이 장치와 혈액역학 시험에 관해서는 김상현 등¹⁰⁾에 자세히 설명되어 있다. 생체의 실험에서 혈액역 및 한 달 동안의 내구성 시험에서 이상이 없는 판막을 선택하여 동물실험을 시행하였다. 외경이 작은 판막은 혈전발생 위험이 현저히 증가하기 때문에 실험동물의 크기에 비해서 비교적 큰 외경의 판막을 실험하였는데 인조혈관을 이용한 연결 관을 이용하여 수술이 가능하도록 하였다. Fig. 3에 나타낸 바와 같이 인조혈관의 크기는 혈관의 크기에 맞게 Dacron 12 mm를 사용하고 판막과의 연결은 깔데기 모양의 투명관을 이용하여 연결하였다. 투명관의 재료는 열림판과 동일한 재료인 연질 폴리우레탄을 이용하여 Dacron과 쉽게 접착이 되도록 하였다. 폴리우레탄은 투명하여 이식 후 고분자판막의 열림판 움직임을 눈으로 확인할 수 있는 장점이 있었다.

2. 동물실험

고분자판막의 동물실험은 체중 약 20 kg 되는 국산 잠견

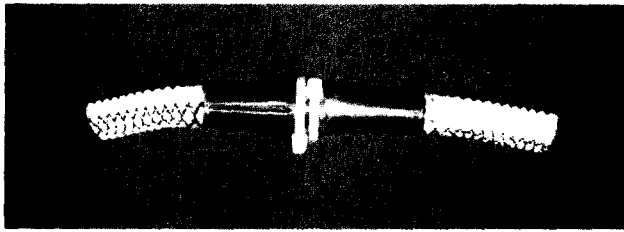


Fig. 3. Valve conduit made out of polyurethane and Dacron graft. Diameters of valve and graft are 16 mm and 12 mm, respectively.

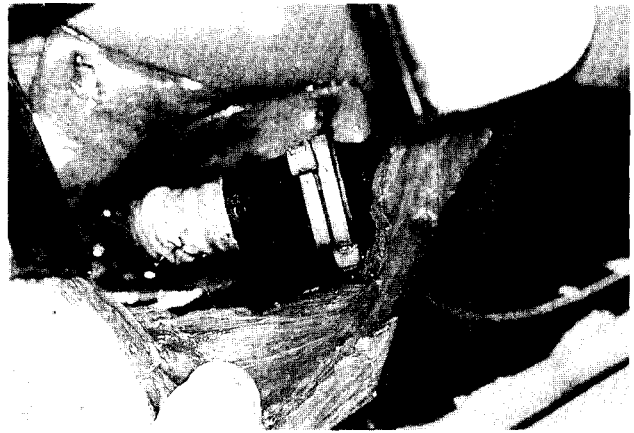


Fig. 4. Operative view showing valve conduit implanted in the descending aorta.

을 사용하였다. 실험동물은 실험 1 주전에 동물실험실에서 사육시켜 환경에 익숙하게 하고 고단백 사료로 사육시켜 건강한 상태를 유지시켰다. 실험동물의 마취는 약 10 mg/kg의 Pentobarbital을 사용하였으며 마취 유도 후에는 기관 삽입 하에 인공호흡을 시키고 Pentobarbital과 myoblock을 정맥주사 하여 마취를 유지하였다. 심전도 및 압력모니터를 이용하여 실험동물의 심전도, 동맥압, 중심정맥압 등을 연속적으로 관찰하였다. 고분자판막은 이식 전에 증류수로 깨끗이 세척한 후에 ethylene oxide gas로 소독하여 사용하였다. 실험동물은 고분자판막의 이식위치에 따라 세 가지로 분류하였다. 첫 번째는 김상현 등¹¹⁾이 개발 중인 심실보조장치의 유입구에 고분자판막을 삽입 후 동물의 심장에 심실보조장치를 이식하였다. 심실보조장치의 이식방법은 박영환 등¹²⁾에 자세히 설명하였다. 두 번째는 대동맥에 판막부착 인조혈관을 이용해서 판막을 이식하였다. Fig. 4는 대동맥에 판막부착 인조혈관을 이용하여 이식한 수술 후 모습이다. 세 번째는 우심실에서 우심방으로 판막부착 인조혈관을 이용해서 판막을 이식하였다. 이 때 심폐기를 사용하여 우심실의 혈액을 폐동맥으로 우회시켰다. 수술 후에는 일정 시간 동안 인공호흡기로 호흡보조를 시행하고 상태가 안정이 되면 인공호흡기를 제거하였다. 수술이 끝나면 1 주일 정도 항생제를 투여하고 항혈소판제를 매일 투여하였다. Fig. 5는 판막 이식수술 후 동물의 생존 모습이다. 판막치환 후에 용혈현상과 혈전발생에 대해 검사하였다. 혈액학적 기능관찰은 생체의 혈액학시험에서 정확하고 다양한 관찰을 하여 이미 보고하였기 때문에 동물실험에서는 생략하였다¹⁰⁾. 용혈정도의 측정 은 수술전과 수술 후 1주, 2주 후에 정맥혈에서 혈색소, 헤마토크리트, 적혈구수, Lactic acid dehydrogenase (LDH), 혈소판, 백혈구 등을 측정하여 관찰하였다.

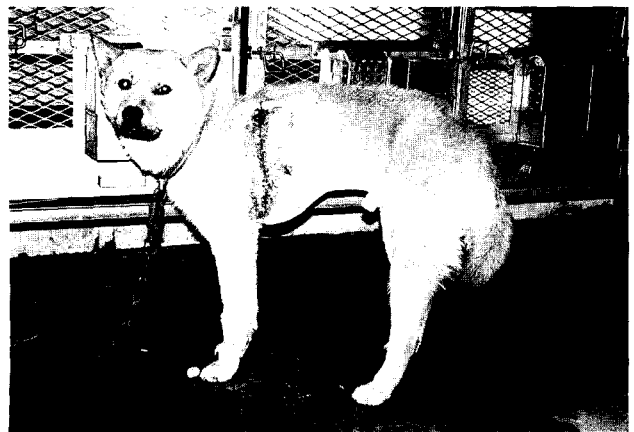


Fig. 5. Photograph showing the animal on the 10th day of survival.

실험결과 및 관찰

판막의 내구성 시험은 각 판막마다 약 한 달 동안 실시하였는데 처음 설계한 판막은 열림판 접합부가 다소 두껍고 접합부위가 완만하지 못해서 3주만에 파열현상이 일어났다. 따라서 접합부의 열림판 두께를 얇게 하여 유연성을 증가시키고 접합부위를 완만하게 깎아서 제작하여 내구성 시험을 하였다. 한 달 동안의 내구성시험에서 열림판의 파열이 없었기 때문에 같은 디자인의 판막을 여러 개 제작하여 동물실험을 실시하였다. 총 일곱 건의 동물실험을 시행하였는데 최고 생존기간은 20일 이었다(Table 1). 1일 이상 생존한 동물은 초기에 모두 움직임이 좋았고 음식물 섭취도 원활하였다. 첫 번째 수술은 본 연구소에서 개발 중인 심실보조장치(VAD)의 유입구에 장치하여 실험하였다. 두 번에 걸친 수술 모두 심실보조장치를 이식하는 과정에

Table 1. Results of animal study of polymer valve

| No. | Weight (kg) | Valve size (mm) | Position | Survival (days) | Cause of Death |
|-----|-------------|-----------------|-------------|-----------------|----------------|
| 1 | 12 | 22 | VAD | 1 | bleeding |
| 2 | 14 | 22 | VAD | 1 | bleeding |
| 3 | 19 | 16 | desc. aorta | 6 | bleeding |
| 4 | 19 | 16 | desc. aorta | 0 | arrest |
| 5 | 16 | 16 | desc. aorta | 10 | bleeding |
| 6 | 17 | 16 | RV to RA | 8 | infection |
| 7 | 18 | 16 | desc. aorta | 20 | infection |

Table 2. Laboratory results of No. 5 dog

| | Pre-operation | Post-op., 1 week |
|---------------------------------|---------------|------------------|
| RBC ($10^6/\text{mm}^3$) | 5.73 | 5.43 |
| WBC ($10^3/\text{mm}^3$) | 8.0 | 28.3 |
| Platelet ($10^3/\text{mm}^3$) | 176 | 117 |
| Hemoglobin (g/dL) | 12.5 | 11.2 |
| Hematocrit (%) | 38.2 | 31.9 |
| LDH (U/L) | 638 | 1,614 |

LDH : Lactic acid dehydrogenase

서 출혈이 너무 많아서 동물이 사망하였다. 이후 수술은 대동맥에 판막을 부착한 인조혈관을 이용하여 이식하였다. 세 번째 수술은 수술 후 6일에 사망하였다. 간밤에 사망하여 발생한 혈전이 사망 전에 생겼는지 사망 후에 생겼는데 확인할 수 없었다. 사망원인은 수술부위의 과다출혈에 의한 사망으로 추정된다. 네 번째 수술은 판막이식 중에 출혈이 심해 심장마비를 일으키고 사망하였다. 다섯 번째 수술동물은 10일 동안 생존하였으며 부검결과 수술부위의 출혈이 발견되었다. 여섯 번째 수술은 우심실과 우심방 사이에 판막을 인조혈관을 이용하여 연결한 수술을 1회 실시하였는데 8일 동안 생존하였으며 수술 후 감염으로 사망하였다. 마지막 수술은 20일 동안 생존하여 비교적 가장 오래 생존하였는데 부검 결과 수술부위의 감염으로 출혈이 심하여 사망한 것으로 보인다. 각 실험동물마다 용혈정도와 혈전색전 유무를 확인하기 위해서 수술전과 수술 1주 및 2주 후에 각각 정맥혈에서 혈색소, 헤마토크리트, 적혈구수, LDH, 혈소판, 백혈구 등을 측정하여 기록하였는데 그 중에서 가장 오래 생존한 실험동물 (No. 5 & No. 7)에 대한 결과를 Table 2와 Table 3에 나타냈다. 혈액검사에서 알 수 있듯이 두 동물 모두 수술 직후

Table 3. Laboratory results of No. 7 dog

| | Pre-operation | Post-op., 1week | Post-op., 2week |
|---------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| RBC ($10^6/\text{mm}^3$) | 5.10 | 3.58 | 4.78 |
| WBC ($10^3/\text{mm}^3$) | 9.1 | 61.6 | 28.8 |
| Platelet ($10^3/\text{mm}^3$) | 243 | 154 | 398 |
| Hemoglobin (g/dL) | 10.5 | 7.4 | 9.8 |
| Hematocrit (%) | 32.4 | 26.3 | 30.0 |
| LDH (U/L) | 1,321 | 1,205 | 1,316 |

LDH : Lactic acid dehydrogenase

감염과 출혈이 심하게 나타났다가 2주 후부터 점차로 회복되는 것을 알 수 있다. 또한 수술 직후 용혈현상이 심하고 혈소판감소에 따른 결과로 응고기전도 상당히 감소되다가 역시 2주 후 회복기미를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 부검결과 판막주위에 심한 혈전이 생겼는데 사망 후 혈액저류 때문인지 판막에 의한 것인지 확인할 수가 없었다.

고 찰

판막의 재료로는 대부분이 폴리우레탄을 주 재료로 쓰고 있는데 폴리우레탄은 항혈전성이 우수한 장점이 있으나 기계강도가 약하여 판엽과 판막프레임의 접착부에서 파열현상이 일어나서 내구성이 짧고 칼슘화 등이 일어나는 단점이 있다. 본 연구에서는 판엽과 판막프레임을 같은 폴리우레탄으로 제작하여 접착력을 현저히 증가시켰으며 접착부위를 매끄럽게 처리할 수 있어 파열위험을 줄일 수 있었다. 고분자판막은 제작비가 저렴하여 일시적으로 사용하는 심실보조장치의 단기간용 판막으로 많이 연구되고 있다. 심실보조장치의 경우 내구성보다는 경제성이 중요시되고 있기 때문이다. 미국 ABIOMED사에서 생산하여 임상에서 사용하고 있는 심실보조장치는 네 개의 삼엽식 고분자판막을 사용하여 기계판막이나 조직판막을 사용하고 있는 타사의 제품보다 저렴한 가격에 공급하고 있다. 인공판막의 개발에서 중요한 사항은 혈액학적 기능이 생체판막과 대등하여야 하고 생체적합성과 내구성이 우수하여 이식 후 합병증을 일으키지 않아야 한다. 인공판막 이식 후 실패의 원인을 제공하고 있는 혈전발생, 용혈현상, 판막의 변성에 따른 파열 등을 방지하기 위해서는 충분한 실험을 통하여 부족한 면은 개선하여야 한다. 본 연구자들이 실험한 단엽식 고분자판막은 생체의 실험에서 혈액학적 실험을 거쳐서 혈액학적인 면에서

는 이미 기계판막과 대등한 성능을 갖는다는 것을 증명하였다. 또한 단엽식 판막은 혈류방해를 최소화 할 수 있고 열림판의 접합부분을 심실벽변으로 향하게 할 경우 심실내의 정체영역을 감소 시켜서 혈전발생 위험을 줄일 수 있다는 보고가 있었다¹³⁾. 임상실용화를 위해서는 동물실험을 통하여 생체안전성을 확인하고 문제점이 있을 경우 즉시 보완하여 완벽한 인공판막이 되도록 할 필요가 있다. 본 연구에서는 3가지 위치에 판막을 이식하여 판막의 항혈전성 및 용혈현상, 감염증, 합병증을 관찰하고 비교하여 판막 성능평가의 기준으로 삼았다. 판막의 항혈전성 및 용혈현상은 헤모글로빈, 헤마토크리트, 적혈구수, 백혈구수, LDH, 혈색소 등을 검사하여 판단하였다. 판막의 이식방법은 심실보조장치에 장치하여 이식하거나 판막이식용 인조혈관을 이용하여 우회수술을 하였다. 심장의 수축기에 고분자판막의 최대개방면적은 혈액학실험에서 기계판막에 비해 다소 적은 것으로 나타났다. 이 경우 혈전발생위험이 높아질 것이 우려된다. 따라서 생체실험에서 판막의 크기는 실험동물의 크기에 비해 상당히 큰 외경을 이식하여 혈전발생 위험을 줄였다. 본 실험에서는 외경이 16 mm와 22 mm인 판막을 이용하여 실험하였는데 동물의 대동맥지름이 10~12 mm인 것에 비하면 상당히 큰 크기였다. 판막과 대동맥의 외경불일치는 깔때기 모양의 연결관과 인조혈관을 이용하여 해결하였다. 연결관을 투명한 폴리우레탄으로 제작하여 수술 후 열림판의 움직임이 육안으로 확인이 되었는데 대동맥의 압력 차이에 비해 판막의 크기가 커서 열림판의 열림이 제대로 개방되지는 못하였다. 열림판의 움직임이 적어서 용혈현상보다는 혈전발생위험이 있었다. 실험동물들은 비교적 생존기간이 짧았는데 고분자판막 자체 문제에 의한 사망보다는 수술 중 또는 수술 후 관리가 철저하지 못하여 사망하였다. 특히 출혈에 의한 사망이 많았는데 그 이유는 상대적인 과용량의 헤파린문제로 생각된다. 1 mg/1 kg의 헤파린으로 대동맥 수술부위의 지혈이 안되는 경우가 많았다. 대부분 수술 중에 출혈이 심해서 심장마비로 사망하거나 수술 후 감염되어 오래 생존하지 못하였다. 또한 갑자기 사망하여서 판막주위의 혈전발생이 사망시 혈액저류에 의한 것인지 판막에 의한 것인지 확인할 수 없었다. 고분자판막은 심실보조장치용 소모성 판막으로서 개발가치가 있으므로 최소 6개월 정도의 단기 실험 결과가 필요한데 본 실험에서는 너무 조기에 사망하여 그 성적을 판가름하기가 어렵다. 그러나 고분자판막이 생체내에서 혈액학 관점에서 정상적으로 기능을 한다는 사실을 확인하였고 좀 더 수술을 신중히 하고 술후 관리를 철저히 한다면 동물의 생존을 연장시킬 수 있어서

장기간 고분자판막의 용혈 및 혈전발생현상을 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

결 론

본 연구에서는 개발중인 고분자판막의 동물실험을 수행하여 생체에서의 안전성과 적합성을 시험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 생체내에서 고분자판막은 정상적으로 운동하는 것을 육안으로 확인할 수 있었다. 대동맥에서의 압력 차이가 크지 않고 혈관의 지름보다 판막의 크기가 상대적으로 커서 열림판이 완전히 닫히지는 않았다.
2. 동물의 생존기간이 짧았는데 판막자체의 문제보다는 수술 중 출혈이나 수술 후 감염 등 관리의 문제점으로 사망한 경우가 많았다.
3. 동물의 혈액검사 소견상 용혈현상이 관찰되었고 혈전검사는 실험동물이 대부분 갑자기 사망하여 장기 적출이 제때에 이루어지지 않아서 시행되지 못했다.

참 고 문 헌

1. Akutsu T, Dreyer B, Kolff WJ. *Polyurethane artificial heart valves in animals.* J Appl Physiol 1959; 14:1045-8
2. Wisman CB, Pierce WS, Donachy JH, Pac WE, Myers JL, Prophet GA. *A polyurethane trileaflet cardiac valve prosthesis: In vitro and in vivo studies.* ASAIO Trans 1982; 28: 164-8
3. Yu LS, Yuan B, Bishop D, et al. *New polyurethane valves in new soft artificial hearts.* ASAIO Trans 1989; 35: 301-4
4. Jansen J, Willeke S, Reiners B, et al. *Advances in design principle and fluid dynamics of a flexible polymeric heart valve.* ASAIO Trans 1991; V57: M451-3
5. Imachi K, Fujimasa I, Mabuchi K, et al. *A newly designed jellyfish valve for an artificial heart blood pump.* ASAIO Trans 1988; 34: 726-8
6. Wijmuller EG, Yu LS, Yuan B, Bishop ND, Kolff WJ. *Development of a new inflow valve for a 20cc semisoft ventricle: preliminary results.* The Int J of Art Organ 1990; 13: 503-8
7. 김철생, 박복춘, 서수원, 한동근, 이규백, 최진욱 등. 이엽식 고분자판막의 수력학적 특성평가 및 동물실험. 의공학회지. 1992; 13: 225-34
8. 김상현, 김원기, 장병철, 조범구. 단엽식 고분자판막의 모의순환 실험. 1993. 의용생체공학회 춘계학술대회논문집: 51-3
9. 한근조, 안성찬, 김상현, 신정욱. 응력 및 변위를 최소화하기 위한 단엽식 고분자 판막의 유한 요소 해석. 의공학회지 1996; 17: 85-92
10. 김상현, 장병철, 박영환, 강면식, 조범구, 한근조, 이종선. 단엽식 고분자판막의 혈액학적 성능평가. 의공학회지 1995; 16: 9-14
11. 김상현, 장병철, 김원기, 김남현, 조범구. 성인용 공기구동식 심

- 실보조장치의 모의순환실험. 의공학회지 1993;14:163-7
12. 박영환, 김상현, 홍유선, 조범구, 장병철, 강면식. 공압식 심실 보조장치의 개발 및 동물실험. 대흉외지 1997; 30(3):247-52
13. Kim, SH, Chandran KB, Chen CJ. Numerical simulation of steady flow in a two-dimensional total artificial heart model. J Biomechanical Engineering 1992;114:497-503

=국문초록=

심실보조장치 등의 단기간 사용을 위하여 경제적이고 항혈전성이 높은 판막을 개발하기 위해 고분자 판막을 연구 중인데 판막의 혈액적합성을 시험하기 위해 동물실험을 시행하였다. 고분자판막은 외경이 각각 22 mm, 18 mm, 16 mm인 단엽식 판막이다. 열립판과 프레임 모두 재질을 폴리우레탄 계로 제작하여 유연하고 완전한 접착이 되도록 하였다. 총 7 마리의 황견에 이식하였는데 이식 위치에 따라 3가지로 분류하였다. 첫 번째는 심실보조장치의 유입구에 삽입하였고, 두 번째는 대동맥에, 세 번째는 우심실과 우심방사이에 인조혈관을 이용하여 이식하였다. 가장 긴 생존 기간은 20일 이었다. 판막의 항혈전성 및 용혈현상을 입증하기 위해 헤모글로빈, 헤마토크리트, 적혈구수, 백혈구수, LDH, 혈색소 등을 검사하였다. 본 연구는 좀 더 개선하면 고분자판막이 심실보조장치에 단기간 사용 가능한 판막이 될 수 있는 가능성을 보여주었다.