

인공폐(산화기) 제작과 실험

김형묵 * · 김주현 ** · 김광택 * · 최영호 * · 채성수 * · 이철세 *

- Abstract -

Design & Animal Experiment of Artificial Oxygenator

Hyoung Mook Kim, M.D.,* Joo Hyun Kim, M.D.,** Kwang Taek Kim, M.D.,*
Young Ho Choi, M.D.,* Sung Soo Chae, M.D.* and Chul Sei Lee, M.D.*

We have designed a new type of bubble oxygenator (KOREA-KIM VENOTHERM OXYGENATOR) made of PVC sheet and deforming mesh incorporated in the heat exchanger, and evaluated in experimental animal for the analysis of it's efficiency.

The Oxygenator has low priming volume with high flow rate up to 6 L/min, and efficiency of heat exchanger was excellent as 1-1.5°C/min on cooling and heating. 8 dogs, average B.W. of 13.25 Kg, were used as test animals for the oxygenator using total cardiopulmonary bypass method under moderate to deep hypothermia.

Average priming volume of 1317 ml with 30% hemodilution method was perfused with an average of 1.1-3.0 L/min.M² of arterial blood and pure oxygen at a rate of 2-3.4 L/min for 49.6 minutes continuously in average.

During total cardiopulmonary bypass, average PaO₂ was 159.8±60 mmHg, PaCO₂ 41.0±3 mmHg respectively under SaO₂ over 96% with systolic arterial pressure of 70 mmHg and CVP of 5-10 cmH₂O. Plasma free Hemoglobin was 7.0±4 mg/dl with 25% drop of hemoglobin and hematocrit at the end of cardiopulmonary bypass.

This KKV Oxygenator was observed to have excellent capability of oxygen and carbondioxide gas transfer with small amount of blood trauma, and the efficiency of heat exchanger was satisfactory during cooling and rewarming of the bubbled blood.

Disadvantages have included the somewhat poor deforming effect due to loose PVC fiber mesh, the extracompact character of Teflon filters, and the rough inner surface of the heat exchanger copper pipes.

I. 서 론

인공폐는 생체의 혈관계에 연결된 체외 순환로에 장치

(본 연구는 산학 협동 재단 연구비로 이루어졌음.)

- * 고려대학교 의과대학 흉부외과학교실
- ** 서울대학교 의과대학 흉부외과학교실
- * Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Korea University Medical College
- ** Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, College of Medicine, Seoul National University

되어 생체가 호흡과 순환을 중지한 상태에서도 폐의 가스 교환 기능을 일시적으로 대신할 수 있도록 만든 장치로서, 정맥혈을 산소부가와 탄산가스 배출로 동맥혈로 만든 다음 인공심장(펌프)을 이용하여 생체의 동맥계에 환류시켜 정상 혈액순환을 대신함으로써 심장내의 수술이 가능하도록 한다.

현재의 기술로는 이러한 체외 순환중에 몇가지 생체기관계통에 다소의 기능 이상을 초래하기는 하지만, 직시하 개심수술(direct vision open heart surgery)에 필수적이며, 때로는 환자의 심폐기능을 보조하는 일시적

인 보조순환 방법으로도 사용된다.

인공 심폐장치는 1934년 DeBakey가 고안한 로라형 펌프를 동맥혈 환류 방법으로 사용하면서 여러 종류의 인공폐가 고안되었고, 실제로 임상에서 개심수술에 사용되어 성공한 것은 1953년 Gibbon이 처음이었다^{1,2)}

그뒤로 실험 동물과 임상사용 경험을 거치는 동안 최근에는 거의 완벽한 인공심폐장치로 발전되어 왔다.

국내의 심장 질환에 대한 개심 수술도 1957년 이래 차츰 수 많은 실패를 밀거름으로 하여, 1970년대에 들어서면서 국제수준에 달하는 수술 성공률을 경험하게 되었다. 최근에는 전국적으로 연간 1,000례 가 넘는 개심 수술례가 시행됨에 따라서 전량 외국에서 수입하여 사용하는 인공폐의 숫자도 그만큼 늘어나고 있다.

이에 국내 기술만으로 인공폐를 개발해 사용함으로써 외화 절약과 함께 국내의로 산업을 육성 발전시킬 수 있는 방안을 찾코저 국산 인공폐(KOREA-KIM VENOTHERM OXYGENATOR)를 만들었고, 동물 실험을 통해 그 효능과 문제점을 찾아 충분한 평가를 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 인공폐 제작

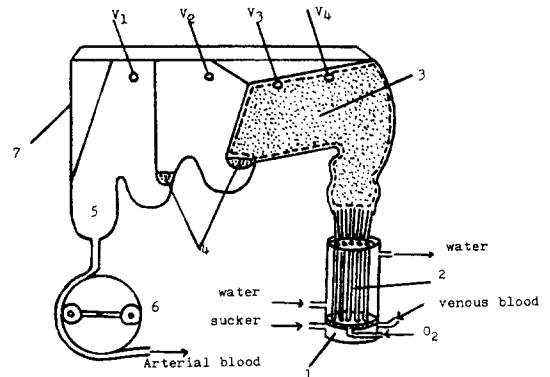
제작한 인공폐(KOREA-KIM VENOTHERM OXYGENATOR)의 열개는 Fig. 1과 같다. 기포형 인공폐의 정맥 회로안에 열 교환기를 장치한 것이다. 이 인공폐의 특징은 생체정맥계에서 탈혈된 정맥혈과 수술 부 흡인혈이 합쳐서 혈류의 2 - 4 배로 증휘되는 산소와 함께 혼합조(Mixing chamber)에 들어가 정맥혈에 산소가 첨기되면서 동맥혈이 된다. 기포와 섞인 동맥혈은 분산공(disperser)을 통해서 열교환기(Heat exchanger)를 거치는 동안 혈액온도를 조절하도록 만들었다. 기포와 함께 산소수송을 하는 동맥혈은 유리 여리엔 세포망이 가옥된 지공실(Deforming chamber)을 거치는 동안 기포는 완전히 제거되고, 잇달아 저장조(Reservoir)로 들어간다.

적혈조는 2 단으로 된 테프론 필터를 거치도록 하여 혈중의 찌꺼기가 생체동맥계에 들어가지 못하도록 만들었다.

혼합조는 8 cm 직경에 높이 4 cm의 아크릴 원통속에 장치되었고 4mm 소공 25 개로 된 분산공을 거쳐서 열교환기로 들어간다. 열교환기는 6mm 구리관 23 개를 23 cm 높이로 병렬로 세웠고, 구리관속은 혈액과 기포

가, 밖은 물이 흐르도록 고안하여 혈액과 물과의 총접촉면적은 1,005 cm² 가 되었다.

인공폐는 모두 20 개를 제작하였고, 그중 합격품만 골라서 8 개를 실험 동물의 체외 순환에 사용할 수 있도록 회로(6mm 내경 PVC 파이프)를 연결하고 Polystan 회사 Rygg-Kyvsgaard 로라형 펌프에 정착하였다(Fig. 1, 2, 3).



1. Mixing chamber of blood and O₂
 2. Heat exchanger
 3. Deforming chamber with polyethylene mesh
 4. Teflon filter
 5. Reservoir
 6. Pump for arterial infusion
 7. Bag of PVC
- V₁, V₃, V₄: Gas outlet V₂: Connector

Fig. 1. Schematic drawing of KOREA-KIM VENOTHERM OXYGENATOR.

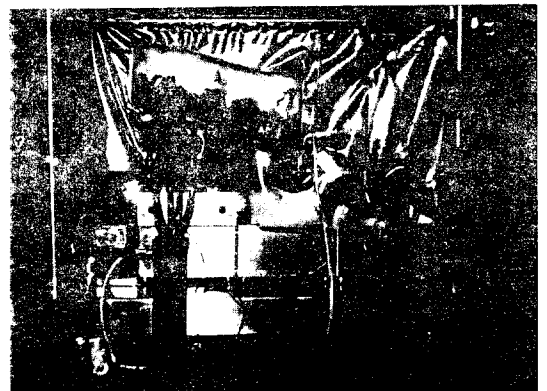


Fig. 2. K-K-V Oxygenator primed with hemodilution method on the Polystan pump

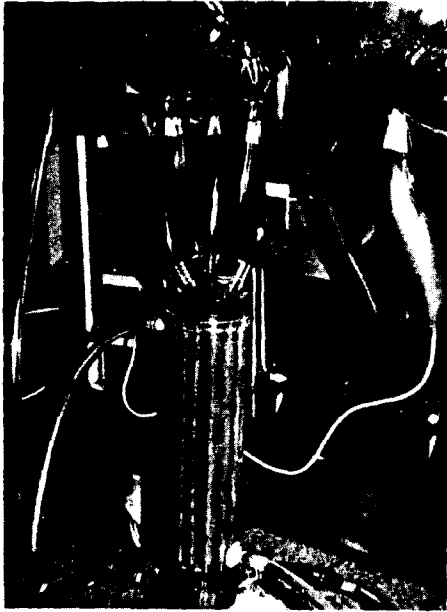


Fig. 3. Close up view of "Heart Exchanger".

2. 실험동물

실험동물은 국산 잡견 8마리를 대상으로 하였다. 체중은 12~20 kg(평균 13.25kg)이었고, 암수 구별없이 사용했다.

실험전날 저녁부터 12시간 금식시킨 상태에서 Keta-mine을 1 mg/kg로 전주정맥에 삽입한 수액침을 통해 수액과 동시에 주사하고, 추가로 필요한 마취제를 주사할 수 있도록 하였다.

생체 감시장치로 반대편 전주정맥에 중심 정맥압 측정용 마노메타를, 심전도와 고동맥에 삽입한 동맥카테

타는 GOULD회사 Cardiac output computer(Mo-del No. SP 6010)에 장치하여 실험중 계속 관찰하도록 하였다. 복벽을 통해 주사침을 방광에 삽입하여 노랑을 측정했고, 식도와 직장에 온도계를 삽입하여 체온조절의 기준을 삼았다.

3. 체외순환

인공 심폐 회로에는 다른 잡견 1-2 마리에서 채혈한 신선 혈액 2 pints와 Lactated Ringer액 100-640ml(평균 317ml)를 혼합하여 충전액으로 사용했고, 추가로 Mannitol 1 Gm/kg, Epsilon 12.5 mg/kg, Dexamethasone 1 mg/kg, 12% NaHCO₃, 1.5 mEq/kg, 그리고 KCl과 Calcose 등은 검사 결과에 따라 추가했다.

헤파린을 3mg/kg로 정맥 주사후에 고동맥을 노출하고 동맥 카뉴테를 삽입했고, 흉골 정중 절개로 개흉하여 심장을 노출하고 우심방을 통해 우심실까지 정맥 탈혈관을 삽입하고서 각각 체외순환 회로의 동·정맥 회로에 연결했다.

체외 순환중에는 근육이완제를 주사하여 자발 호흡을 정지시켰고, 폐허탈을 회복시키기 위해 10분에 한번씩 마취액을 가압시켰다. 체외순환은 충전액 온도 37℃ 내외에서 부분 체외순환을 시작했고, 5분 뒤에 폐동맥을 차단하여 완전 체외순환을 평균 49.6분 동안 시행했다. 순환혈류량은 0.55-1.5 L/min(77.36 ml/min/kg)였고, 인공폐에는 순수 산소를 2-3.4 L/min(실온 24℃)로 송취했다(Table 1).

4. 실험방법

체외순환 도중과 전후에 실험 동물에 장치한 감시 장

Table 1. Summary of Extracorporeal Circulation using K-K-V Oxygenator & Rygg-Kyvsgaard roller pump

No.	B.W. (Kg)	Priming Vol. (ml)	Flow rate (L/min)	Rectal temp(°C)	O ₂ flow (L/min)	Prof. time (min)	Remark
1	15	1225	0.6 - 1.44	29-40	2 - 4	60	Bleeding (Disconnection)
2	12	1180	0.5 - 1.2	21-38	2 - 4	76	
3	17	1540	0.6 - 1.8	26-40	2 - 4	57	
4	20	1620	0.6 - 2.0	31-40	2 - 3	52	Thrombosis (Filter)
5	18	1430	0.5 - 1.8	34-39	2 - 3	45	
6	15	1250	0.6 - 1.4	31 39	2 - 3	37	
7	13	1140	0.5 - 1.2	32-38	2 - 3	23	
8	12	1100	0.5 - 1.2	33-39	2 - 3	47	
mean	13.25	1317	0.55 - 1.5	29.7-39.2	2 - 3.4	49.6	

치를 통해 생체의 열역학적인 변화를 15분 마다 기록했고, 동시에 동맥혈을 채취하여 AVL (Automatic Gas check 940)을 이용하여 혈중 가스 분석을, Benzidine 반응법을 이용해서 혈장 유리 헤모그로빈을, Coulter electronic counter (Model ZF)로 혈액상을, Flame photometer (Model 150)를 이용하여 혈청 전해질 검사를 했다. 실험 동물은 체외순환 종료후에 심박, 혈압, 중심 정맥압등이 정상화되고 의식이 회복되는 것을 확인한 다음 다른 실험 동물에 사용할 혈액을 고동맥 천자 방법으로 채혈하고서 도살했다. 채혈된 혈액은 일부 다른 실험 동물의 체외 순환용 충전액으로 사용되었다.

III. 실험 결과

잡전 8마리에 대한 계획에 따른 실험 결과는 다음과 같다.

1. 열교환 효능

체외순환시의 승혈 온도는 37℃에서 시작하여 송수 온도와의 차이를 5℃ 정도로 유지하면서 송수온을 11℃까지 낮추었을 때의 실험 동물의 식도 온도는 16.8℃, 직장온도는 19.8℃까지 냉각되었고, 이때 소요 시간은 13분이었다. 다시, 가온할 때는 송수온도를 5℃ 차이로 높이면서 가온 하였더니 식도 온도를 16.8℃에서 37℃로 가온하는데 필요한 소요 시간은 16분이었다. 체외 순환전의 식도와 직장 온도는 39 ± 1.2 ℃였으며, 체외 순환중의 최저 식도온도는 20 ± 3.2 ℃, 직장온도는 23 ± 3.2 ℃였다.

체외 순환중에 체온 냉각에는 1분마다 1.5℃씩, 가온 때는 1분마다 1°씩 평균적으로 조절되는 것으로 보아서 실험용 인공체 (K.K.V. Oxygenator)의 열교환 효능은 훌륭한 것으로 판단된다(Fig.4).

2. 혈압 및 맥박변화

심전도와 고동맥에 삽입된 동맥 카테타를 통해 맥박과 동맥압을 계속해서 체외 순환중에 기록했고, 동시에 전 주정맥을 통해 중심 정맥압의 변동을 추적했다.

체외 순환초에 부분순환을 시작하면서 순간적으로 동맥압이 급격히 낮아 졌다가 혈류량이 증가되는 완전 체외 순환때부터 차츰 높아지는 경과를 보였다. 첫실험에서는 제포실뒤에 2단으로 삽입한 테프론 필타가 너무 촘촘하여 혈액 순환에 오히려 방해가 되었으므로, 이

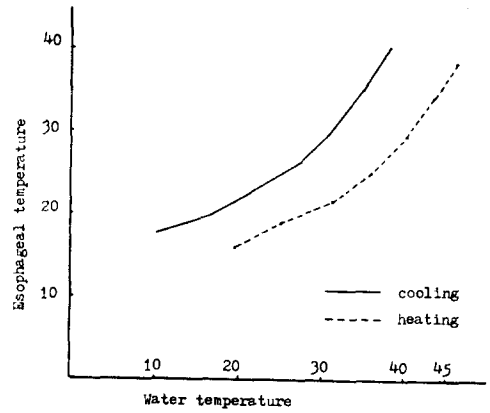


Fig. 4. Effect of heat exchanger of KKV Oxygenator.

후부터는 필타를 절개하여 순조로운 체외순환이 가능했다.

체외 순환 직전의 고혈압은 부적당한 마취 때문에 생겼던 현상으로 보이며, 체외순환중의 저혈압은 수축기 압으로 40-160 mmHg의 변동폭을 보였으나 대체로 일시적인 변동을 제외하고는 순환중의 수축기 혈압은 70 mmHg 이상을 유지할 수 있었다. 중심 정맥압은 5-23 cmH₂O까지 넓은 변동폭을 보였으나, 대체로 5-10 cmH₂O 사이를 유지했다. 심박동수는 체외 순환전 평균 192/min, 직장 온도 30℃에서는 평균 139/min였고, 순환 종료후 직장 온도 38℃에서는 평균 129/min였다 (Fig.5).

3. 혈액상

체외 순환전의 동맥혈 검사에서 헤마토크릿은 평균

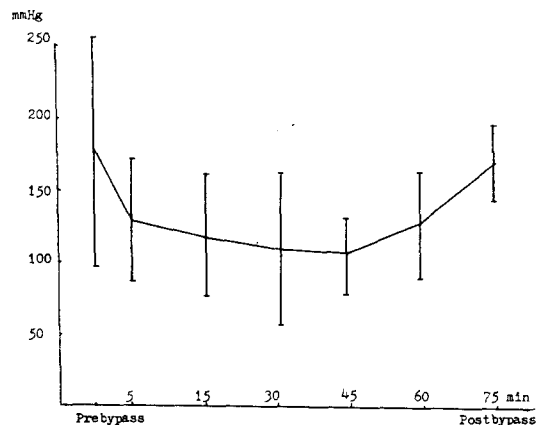


Fig. 5. Changes of Systolic Blood Pressure during Cardiopulmonary Bypass.

35%였는데, 체외순환 5분뒤로부터 15분 간격으로 검사한 결과 32, 25, 20, 18%로 체외 순환 개시후 45분경에 가장 낮아졌으나 체외 순환 종료후 동맥 카뮈페로 순환 혈액을 추가로 주입하고 혈량 바란스를 조절한 뒤의 검사치는 27%로 상승하였다.

헤모그로빈도 체외 순환전의 평균 12Gm%에서 체외 순환중에 최저 7.0 Gm%까지 낮아졌다가 체외 순환 종료후의 검사에서는 9.0Gm%로 상승되었다. 혈장 유리 헤모그로빈은 체외 순환중의 혈구 파괴 정도를 판정할 목적으로 측정했다. 수술전의 대조군 평균치는 2.6mg%였는데, 체외 순환중 15분 마다 측정된 결과로는 3.0, 4.2, 7.2, 9.0으로 차츰 증가되는 경향이었고 체외 순환 종료후에는 최고 11.0mg%로 까지 증가된 경우도 있었다. 이렇게 많이 혈구가 파괴되는 것은 체외 순환 시간이 연장될수록 증가될것으로 예상되었지만, 일부 실험견에서 체외 순환 충진액에다 한번 사용했던 혈액을 다시 채혈하여 사용했기 때문에 더욱 증가되었을 것으로 생각된다(Fig. 6).

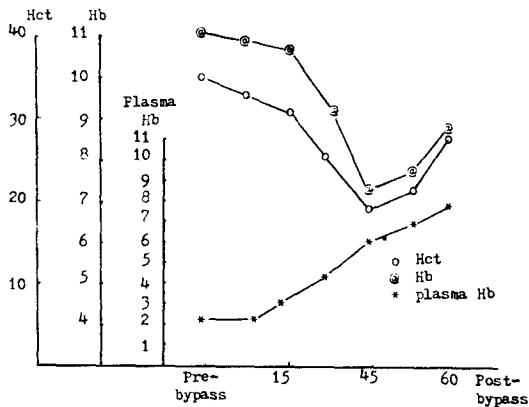


Fig. 6. Hematocrit, Hemoglobin and Plasma free Hemoglobin during extracorporeal circulation.

4. 혈액 가스의 변화

체외 순환중의 혈액 가스 변화는 Automatic Gas Check(AVL, Model 940)로 대조치와 순환후 15분 마다 혈액상과 함께 측정하였다.

pH는 체외 순환전 평균 7.325에서 순환중에 7.186까지 낮아졌다가 순환 종료후에 7.261로 상승되었다. 가스교환능력은 동맥혈 산소 포화도가 96%이상 유지된 상태에서 PaO₂는 체외 순환전 평균 159.8 mmHg에서 순환중에 최고 227 mmHg에서 최하 100 mmHg까지 변동 되었다가 순환 종료후에 다시 125 mmHg로 측정

되었고, PaCO₂는 체외 순환전 평균 32 mmHg에서 순환중에 44.5 mmHg로 상승되었다가 순환 종료후에 38 mmHg로 다시 하강되었다. Base Excess는 체외 순환전의 평균 -8.2 mEq/L, 순환중에 -12 mEq/L로 심해졌다가 순환 종료후에 -9.0 mEq/L로 회복되는 모습을 보였다(Fig. 7).

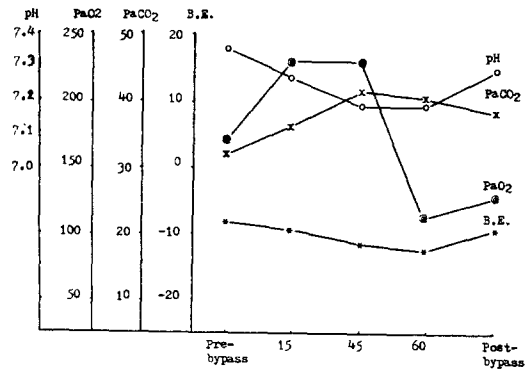


Fig. 7. Blood Gas Analysis during Extracorporeal Circulation.

5. 혈청 전해질 변화

실험 잠견의 체외 순환 직전의 Na와 K의 혈청치는 각각 평균 133.7 mEq/L와 3.26 mEq/L였다. 체외 순환중에 각각 128.6 mEq/L, 6.06 mEq/L로 변동되었다가 체외 순환 종료후 15분만에 측정된 검사치로는 평균 131.7 mEq/L와 5.3 mEq/L로 변동된 수치를 보였다. 혈청 Na치의 변동은 거의 없으나 혈청 K치의 상승은 Plasma free hemoglobin 상승과 함께 적혈구의 파괴 때문에 다소 상승된 것으로 생각된다.

기타 체외 순환중의 뇨량 측정은 실험 동물의 방광안에 카테타를 삽입할 수가 없어서 직접 복벽을 통해 방광안에 주사침을 삽입하여 흘러나오게 하여서 측정했다. 모든 실험 동물은 12시간 이상 금식 상태에서 시행되었던바, 체외 순환중의 뇨량은 0.5-1.0 ml/kg/Hr 정도는 유지되었다.

IV. 고 안

인공폐는 인공 심폐장치 가운데 가장 중요한 부분이며, 오래전부터 수많은 연구 업적이 발표 되었다¹⁻⁹⁾.

임상에서 요구되는 인공폐의 가장 이상적인 조건은 기초 심박출량으로 보아 매분 5 L 이상의 혈액 가스 교환 능력의 있어야 하며, 충전량이 많지 않고, 또한 가스 교환에 동반되는 혈구파괴와 단백 변성같은 혈액에 대

한 침습이 적고 값이 비싸지 않아야 한다⁹⁾.

혈액에 산소를 부가하는 연구는 1869년 Ludwig 와 Schmidt 가 혈액과 공기를 공속에 넣고 흔들어서 혈산화에 성공했고, 1882년 Schröder 는 기관장기관류 실험에서 정맥회로에 직접 공기를 송취하여 동맥혈로 만드는 방법을 시도했는데, 이것이 오늘날 가장 보편적으로 사용되고 있는 기포형 인공폐의 원형이다¹⁰⁾.

1954년 Gibbon 은 8개의 Stainless net를 수직으로 세운 스크린형 인공폐를 사용하여 18세의 여자의 심방 중격결손을 근치 수술하는데 성공한 이래로, Kay의 디스크형 인공폐를 이용한 수술 성공등이 보고되었다¹¹⁾.

1955년 Lillehei는 교차 수술 방법으로 일시적으로 환자 심장속의 혈류를 차단한 상태에서 심장 수술을 성공한 다음해에, 잇달아 완전 체외 순환에 기포형 인공폐를 사용하여 심장 수술을 성공했다^{4,5)}.

1960년대에 들어서서 Dewall-Lillehei 기포형 인공폐가 여러가지로 개량되면서 DeBakey의 로라 펌프에 장치하여 완전한 체외 순환 인공 심폐기로서 오늘날에도 널리 사용되고 있다^{6,9)}.

기포형 인공폐는 혼합실(Mixing chamber), 체포실(deforming chamber) 및 저혈조(Reservoir)로 구성되며, 플라스틱이나 비닐 제품으로 만들어서 1회용으로 사용된다. 최근에 외국에서는 인공폐가 여러가지로 개량을 거듭하여, 가스 교환 능력이 좋아지고 용혈(Hemolysis)이나 단백질성 등 혈액 침습이 적어졌고, 열 교환기(Heat exchanger)가 부착되어 관류 혈액온도를 조절할 수 있도록 하고 있다⁸⁾.

본 실험에 사용하기 위해 제작된 인공폐(KOREA-KIM VENOTHERM OXYGENATOR)는 인공폐의 세가지 구성 부분에다 혼합실과 체포실 사이에 열 교환기를 장치하여 체온 조절과 가스 교환을 동시에 할 수 있도록 만들었다.

체외 순환을 위한 회로를 충전하는데는 전혈이 가장 이상적이지만, 순환중에 일어나는 비박동성 관류, 온도 변화, 좁은 동맥 카뉴레, 펌프 압착, 그리고 가스 및 혈액의 직접 접촉 등 환경변화에서 오는 혈액 침습을 최소한으로 줄이고 순환중에 뇨량 배출을 충분히 유지하기 위하여 헤마토크릴을 30% 전후로 유지하는 것이 가장 이상적이다^{8,9,10,11,13,14)}.

본 실험에서도 체외 순환을 위한 회로 내의 충전액으로는 다른 잡견에서 채혈한 전혈 2파인트에다 Lactated Ringer액 100-640ml(평균 317ml)를 혼합 충전하여 평균 30%정도의 헤마토크릴을 유지하도록 했다.

체외 순환 실험중의 열 교환기에 의한 실험견의 체온 조절은 냉각 과정에서 평균 1분에 1.5℃씩, 가온 과정에서 평균 1분에 1℃씩 조절될 정도로 훌륭한 열교환 조절 능력을 보여 주었다. 이는 충분한 접촉 면적(1,005 cm²)과 구리관을 사용한 결과 열 전도율이 높았던 때문인 것으로 생각된다.

체외 순환중의 혈압 변동은 순환 직전의 수축기 혈압이 170-250mmHg에서 순환 직후 갑자기 내려 갔다가 차츰 인정 되면서 실험 동물의 체온이 하강함에 따라 30분쯤 경과될때는 40-160mmHg 까지 유지 되었다¹²⁾. 체온을 다시 상승시켜 거의 정상에 가까웠을때 순환하던 인공심폐기를 정지 시키자 120-200mmHg의 혈압이 회복 되었다. 체외 순환중의 혈압 조절은 관류량을 조절하여 얻어지는데 초기의 쇼크상태에서 말초 혈관 수축에 관류량이 늘어나면서 통상 관류량 2.0-2.4L/min·M²로 평균 동맥압을 70mmHg 정도로 유지하는 것이 좋으며, 중등도의 저체온 이하로 내려가면 1.6l/min·M²로 혈류량을 낮추는 것이 좋다고 하였다^{8,9)}.

본 실험에서도 일시적인 변동은 있었으나 순환중의 수축기 혈압은 70mmHg를 유지할 수 있었고, 온도에 따라 평균 혈류량을 0.55-1.5L/min로 유지했기 때문에 평균 체표면적 0.5M²로 환산하면 1.10-3.0L/min·M²의 고속 혈류량을 유지할 수 있었다.

체외 순환중의 헤모글로빈과 헤마토크릴의 변동은 순환직전의 평균 12Gm%와 35%에서 최저 7.0Gm%와 18%로 낮아졌다가 순환 종료후 안정기에 9.0Gm%와 27%로 상승되었다. 이와 같이 혈액상이 수술전상태로 완전히 정상화되지 못한 것은 수술때의 출혈과 일부 실험동물에서 충전액에 사용된 전혈이 일단 시험이 끝난 동물에서 채혈한 혈액을 다시 사용했기 때문인 것으로 생각된다. 또한 혈액 침습 정도를 판단하기 위하여 검사한 Plasma free Hemoglobin의 양도 순환전의 평균 2.6mg%에서 7.2mg%으로 상승되었으나, 최고 76분동안 체외 순환을 실시한 동물례에서는 11mg%까지 상승된 검사 소견을 보인것도 인공폐안의 열 교환기와 체포기의 문젯점과 함께 재 사용된 전혈도 충분한 원인이 됐을 것으로 생각한다.

체외 순환 중에 발생 되는 Metabolic acidosis 는 충분히 주의하고 예방해야 한다¹⁶⁾. 충전액에 12% NaHCO₃ 용액을 1.5ml/kg로 주입하여 중화 용액을 만들었고, 순환중에도 혈액의 가스 검사 결과에 따라서 추가하여 순환전의 pH 7.325의 상태로 회복시키려고 노력했다. 보통 평균으로 순환 종료후 15분에 측정된 혈

액 pH는 7.261로 완전히 회복되지는 못했다.

가스 교환 능력은 동맥혈의 산소 포화도가 96% 이상 유지되었고, 동맥혈의 산소 분압(PaO_2)은 순환중에 평균 125mmHg 이상 유지되었고, 동맥혈의 탄산가스분압(PaCO_2)은 32-46mmHg를 유지하여 가스 교환 능력은 Jacobsen의 실험 결과와 비슷하였다⁷⁾.

전해질의 변동은 Na와 K에 대해서만 조사한 바, Na는 정상 범위 안에서 변동이 없었고, K만은 순환전의 3.26mEq/L에서 순환 종료후에 5.3mEq/L 정도로 상승되었으나 역시 정상 범위 안에 속해 있다.

이상의 인공폐를 제작하여 동물 실험으로 성능을 검사해본 결과 문제가 되는 것은 세포실 다음에 2 단으로 삽입한 테프론 필타가 너무 촘촘하여 순환에 방해가 되어 질개를 하게 되었고, 혈액 침습이 심한 것으로 반영된 것은 세포실의 세포망 부족, 열교환기의 내면 평활화 부족등이 원인이 된다고 판단 되었다.

V. 결 론

국산 시험용 인공폐(KOREA-KIM VENOTHERM OXYGENATOR)를 제작하여 그 효능을 검증하기 위해 갑종성견 8마리를 사용한 실험 동물 완전 체외순환을 시행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인공폐의 제작은 국내 기술로 충분히 가능하다. 시험용 인공폐는 세포망부족, 필터개량, 열교환기내면의 평활화 코-팅 등 몇가지 보완되어야 한다.

2. 혈액 회색체의 순환 방법으로 실험한 평균 체중 13.25kg 갑종성견 8두에 대한 실험 결과 동맥압은 순환중 70mmHg 이상, 중심 정맥압은 5-10cm H_2O 를 유지할 정도의 혈류량 1.10-3.0 L/min· M^2 를 충분히 감당했다.

3. 체외 순환중의 혈액상은 순환전의 헤모그로빈이 평균 12Gm%에서 7Gm%로 낮아졌다가 9.0Gm%로 회복되었고, 헤마토크릿도 35%에서 18%로 낮아졌다가 다시 27%로 충분치는 못하지만 차츰 회복되는 모습을 보였다. 다만, 혈장 유리 헤모그로빈치의 체외 순환 시간경과에 따른 상승은 혈구파괴 정도가 상당히 있다는 점을 보이는 것으로 개선되어야 할 점이다.

4. 체외 순환중의 가스 교환 능력은 동맥혈 산소 포화도 96% 이상, PaO_2 는 평균 159.8mmHg 정도, PaCO_2 는 32-46mmHg의 정상 범위 안에서 변동에 그쳤다.

REFERENCES

1. Hewitt, R.C. & Creech, D. Jr. : *History of pump*

oxygenator. Arch. Surg. 93:680, 1966.

- Gibbon, J.H. Jr. : *Application of heart and lung apparatus to cardiac surgery. Minnesota Med.* 37: 171, 1954.
- Kay, E.B., & Cross, F.S. : *Direct vision repair of Intra-cardiac defects utilizing disc reservoir oxygenator. S.G.O.* 104:701, 1957.
- Lillehei, C.W. : *Controlled cross circulation for direct vision intracardiac surgery, Post Grad. Med.* 17:388, 1955.
- DeWall, R.A., Warden, H.E., Goll, V.L., Read, R.C., Varco, R.L., & Lillehei, C.W. : *Total body perfusion for open heart cardiectomy utilizing the bubble oxygenator. J. Thoracic & Cardiovasc. Surg.* 32:591, 1956.
- DeBakey, M. : *A simple continuous flow blood transfusion Instrument. New Orleans Med. Science J.* 78:386, 1934. (cited from 9.)
- Jacobsen, E. : *Continuous measurement of PO_2 , PCO_2 and pH during total body perfusion in dogs. Scand. J. Thorac. & Cardiovasc. Surg.* 6:184, 1972.
- Rygg, R.H., and Valentin, N. : *The Rygg - Kyvs-gaard pump-oxygenator. In current Techniques in Extracorporeal Circulation, p. 139 Ed. by Ionescu, M.I., and Wooler, G.H. Butterworths, 1976.*
- 藤倉一郎 : 開心術のための人工心肺, 形成社, p. 43, 1976
- 森駿一郎, 深澤弘道, 長谷川博, 門前孝志 之他 : ホローファイブ型人工心肺の開発, 人工臓器 8:602 1979
- 辻隆之, 須磨幸藏, 竹内靖夫 之他 : ホローファイブ型人工肺の動物實驗ならびに臨床使用, 人工臓器 9:551, 1980
- 김종환, 이진범, 서경필, 이영균 : 한국산 잠견의 정상생리학적 기준치, 대한흉부외과학회지 2:115, 1969
- Beall, A.C., Solis, T., Kakvan, M., Morris, G.C., Noon, G.P., and DeBakey, M.E. : *Clinical experience with the Teflo Disposable Membrane Oxygenator, Ann. Thoracic Surg.* 21:146, 1976. 640, 1962.
- Neville, W.E., Colby, C., Peacock, H. and Kronkowsky, T.C. : *Superiority of buffered Ringer's lactate to heparinized blood as total prime of the large volume disc oxygenator. Ann. Surg.,* 165:206, 1967.