

心肺器 體外循環에 의한 血清 電解質 變動에 관한 研究

金 近 鎬

==Abstract==

A Clinical Study of Changes in Serum Electrolyte Concentrations During and After Extracorporeal Circulation with Heart-Lung-Machine

Kun Ho Kim, M.D.

The present study was carried out to develop the better measures for safety of open heart surgery under extracorporeal circulation (ECC) with Heart-Lung-Machine by preventing changes in the concentrations of serum electrolytes during and after ECC. For this purpose, the concentrations of serum electrolytes were measured before, during, and after ECC in 21 patients with congenital and acquired heart diseases who received open heart surgery under ECC using Heart-Lung-Machine. Also considered was the development of safety measured by which changes in serum electrolyte concentrations were prevented during and after open heart surgery under ECC.

1) The mean values for serum sodium levels were observed to be 137.14 ± 0.47 mEq./L. for the samples obtained before ECC, 138.59 ± 0.68 mEq./L. for the samples obtained 10 minutes after ECC and 138.0 ± 0.68 mEq./L. for the samples obtained 24 hours after ECC. These results indicate that serum sodium concentrations were within normal range during and until 24 hours after ECC.

2) The concentrations of serum chloride were found to be 105.38 ± 0.70 mEq./L. for the samples collected before ECC, 105.07 ± 1.01 mEq./L. for the samples collected 10 minutes after ECC and 101.95 ± 1.09 mEq./L. for the samples collected 24 hours after ECC. As was the case with serum sodium levels, no significant changes were observed in serum chloride levels during and 24 hours after ECC.

3) With proper provisions of potassium chloride solution during ECC, the concentrations of serum potassium were found to be 4.22 ± 0.06 mEq./L. for the samples removed before ECC, 4.06 ± 0.14 mEq./L. for the samples removed 10 minutes after ECC and 4.39 ± 0.07 mEq./L. for the samples removed 24 hours after ECC.

4) The concentrations of serum calcium were also maintained within normal during and after ECC; 9.15 ± 0.14 mg/dl for the serum collected before ECC, 8.36 ± 0.21 mg/dl for the serum collected 10 minutes after ECC and 8.47 ± 0.14 mg/dl 24 hours after ECC. The

한양대학교 의과대학 흉부외과학교실

Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, School of Medicine, Hanyang University.

본 연구논문은 1978년도 아산사회복지사업재단의 연구비의 보조로 이루어진 것임.

maintenance of serum calcium level within normal throughout ECC was achieved by parenteral administrations of calcium gluconate as frequent as required.

5) As were the cases with serum potassium and calcium, the concentrations of plasma bicarbonate was regulated within normal range during and after ECC, only when sodium bicarbonate solution was administered parenterally as it was required; 23.7 ± 0.50 mEq./L. for the serum collected before ECC, 22.33 ± 1.09 mEq./L. for the serum collected 10 minutes after ECC and 25.3 ± 0.96 mEq./L. for the serum collected 24 hours after ECC.

The above results indicate that during and after ECC serum sodium and chloride levels remained unchanged without any provision of normal saline, while serum potassium, calcium, and bicarbonate concentrations were kept within normal limits only when these electrolytes were administered through parenteral routes. With these results it can be concluded that serum potassium, calcium, and bicarbonate levels should be determined as often as possible during and after ECC and that in order to maintain serum electrolyte levels within normal these electrolytes in the forms of potassium chloride, calcium gluconate, and sodium bicarbonate should be given parenterally as they were found to be required.

序 論

Gibbon¹⁾(1953), Crafoord²⁾(1954), Kirklin³⁾(1955) 등이 처음으로 心肺器 體外循環을開心術에 이용하여 수술을 성공시킨 이후로 심폐기 체외순환에 관한 많은 연구가 진행되어서 체외순환 기술이 발달하였기 때문에 현재는 선천성 및 후천성 심장질환에 대한開心術이 좋은 성적으로 시술되고 있다.

그러나 심폐기 체외순환에 있어서는 motor pump에 의한 혈액순환 도중과 血酸化器의 산소 공급과정에서 약해지는 기계적인 血液外傷 문제와 심폐기의 모든 廻路와 혈산화기에 充巔한 충전액이 체내혈액과 혼합되므로서 발생하는 문제가 심폐기 체외순환의 성적을 좌우하는 가장 중요한 문제이며 아직도 미해결점이 많다.

심폐기 체외순환 도중에 발생하는 혈액외상과 용혈 문제 때문에 혈액과 접촉되는 심폐기의 모든 구조물 그리고 pump와 혈산화기에 관해서는 많은 연구 끝에 많은 개선술이 이루어졌으나 아직도 혈산화기에 관해서는 미해결점이 많다. 또 한편으로는 체내 신진대사와 전해질 변동문제 때문에 심폐기 충전액에 관하여서도 많은 연구가 진행되었다.

심폐기로서 체외순환을 실시한 초기에는 혈액을 충전액으로 사용하는 것이 가장 생리적이라는 개념하에 실험에 있어서나 임상적 개입술에 있어서 全血充巔法을 사용하였다는 것은 잘 알려진 일이다.⁽⁴⁻¹¹⁾

그러나 전혈충전법에 의한 심폐기 체외순환에 있어

서는 여러가지 不利한 作用이 있다는 사실이 여러 학자의 연구에 의하여 밝혀졌다.⁽¹²⁻²¹⁾

그후 혈액을 사용하지 않는 血稀釋充巔法이 개발되어서 5% dextrose, low molecular weight dextran (LMWD), Ringer's lactate, 기타 iso-osmolar solution 등을 충전액으로 사용한 혈희석충전법에 의한 심폐기 체외순환의 좋은 성적을 발표하게 되어서 현재는 모두 혈희석충전법을 이용하고 있다.⁽²²⁻²⁹⁾

혈희석충전법의 심폐기 체외순환은 이론적으로는 혈액의 산소운반능의 감소, 水分과 전해질대사의 변화, 혈소판과 단백질이 희석된다는 점 등 결함을 생각할 수가 있음에도 불구하고 실지에 있어서는 좋은 결과를 나타내고 있다.

이상과 같이 심폐기의 pump와 혈산화기의 기계적인 혈액외상과 용혈, 그리고 충전액에 의한 혈액 구성 성분과 전해질의 변동에 관해서는 미해결점을 해결하기 위하여 현재도 연구가 진행되고 있는 실정이다.

본 연구는 현재 임상적 개입술에 이용하고 있는 혈희석충전법에 의한 심폐기 체외순환에 있어서 혈장 전해질의 변동을 상세하게 관찰하고 혈희석용 충전액을 재검토하여 앞으로 심폐기 체외순환의 기술을 더욱 향상시키는데 기여하고자 실시한 것이다.

觀察 對象

한양의학대 흉부외과에서 1978년 1월부터 10개월간 심폐기 체외순환을 이용하여 개입술을 시술한 선천성 및 후천성 심장질환 환자 21명을 관찰대상으로 하였다.

체의순환시간이 60분 이하가 되는 개심술 환자는 본 관찰대상에서 제외 하였다.

대상환자 21명은 남성이 11명 여성이 10명 이며, 연령은 5세부터 54세까지이다. 체중은 13kg 부터 62kg 까지 이나 20kg 이상이 17명으로 대부분이 었다.

선천성 심장환은 16예이며 Tetralogy of Fallot 6 예, Pentalogy of Fallot 4예, VSD와 ASD 4예, 異例의 多發性畸形 2예이다. 후천성 심장환은 승모판 폐쇄부전의 판막대치술 3예이고 左心房 粘液腫과 Valsalva 洞 동맥류파열이 각각 1예이다.

體外循環方法及 開心術

心臓器는 Sarns five head roller pump motor system, Model 5000에다 heat exchanger, bubble trap, disposable bubble bag oxygenator, disposable blood reservoir 등을 3/8 inch tygon tube로 연결하여 組立하였다. Oxygenator와 blood reservoir는 Travenol, Rygg-Kyvsgaard(Polystan), Shiley model 100 A 등을 사용하였다.

心臓器充填은 주로 Hartman's 용액을 이용한 혈리석 충전법을 사용하였다. 체중이 적거나 혈색소치가 낮은 환자에서는 혈액을 첨가하였다. 혈액은 24시간 이내에 채혈한 신선한 ACD 保存血 400ml 당 8.5% calcium gluconate 7ml와 Heparin 15mg을 주입하여 Heparin 血로 전환시켜서 사용하였다. 그의 환자상태에 따라서 신선한 human plasma, albumin을 첨가한 경우도 있었다. 혈액 이외의 충전액은 500ml 당 Heparin 15mg과 Sodium bicarbonate 7.5mEq/L. 첨가하였다. 충전용량은 1300ml 부터 3100ml 까지였는데 체중 20kg 이하에서는 1300ml 부터 1800ml 까지였으며, 체중 20kg 이상 환자는 1800ml 부터 3100ml 까지였다. 충전액에 의한 혈희석은 35.9ml/kg 부터 75.1ml/kg 까지의 범위내 었으며 평균 50.6ml/kg 의 혈희석율이 었다.

血酸化器의 산소주입은 Travenol oxygenator은 평균 7.1L./min., Shiley와 Rygg-Kyvsgaard oxygenator는 평균 4.0L./min.의 산소류량으로 만족스러운 혈산화 상태를 유지 할수있었다.

體外循環狀況은 체외순환 관류량은 2422ml/min 부터 3220ml/min 까지이며 평균 2821ml/min 이었다. 체중에 대한 관류량은 71.3ml/kg/min 부터 98.3ml/kg/min 까지이며 평균 84.8ml/kg/min 의 혈류량을 유지 하였다.

냉却은 체외순환 중에 heat exchanger를 통한 중

등도 냉각으로 적장온도, 식도온도, 인두부온도가 32°C 전후가 되도록 조절하였고 수술진행에 따라서 극히 짧은시간만 25~27°C 까지 달하는 교차냉각을 이용 하였다.

血壓은 이상과 같은 체외순환 조건과 냉각상태에서 수축기혈압이 53.0mmHg 부터 90.0mmHg의 범위내를 유지하였으나 내핵로 70mmHg 이상이 유지되어서 尿管에 지장이 없는 양호한 상태를 유지 할수있었다.

開 心 術

全例에서 骨胸正中切開로 개흉하고 心낭을 절개하면 먼저 심장과 대혈관의 압력을 측정 하였다. 上下窩靜脈의 정맥 catheter는 右心耳를 통하여 삽입하고 동맥 cannula는 上右대동맥에 삽입하고 정맥 catheter는 혈산화기에 연결하고 동맥 cannula는 pump에 연결한다. Sucker line과 좌심실 vent line은 각각 suction pump에 연결하고 吸引血은 blood reservoir을 거쳐서 자연 낙차로 혈산화기에 투입 시킨다. 심폐기 가동 시초에는 부분적 관류량으로 체외순환을 시작하고 5~10분간 체외순환상황을 점검하고 이상이 없으면 즉시 전관류량의 체외순환으로 전환하고 개심수술을 시작한다.

心臓切開는 TOF, POF에서는 원칙적으로 右心室 流出部位를 縱切開하고 개심 한다. 이때 VSD는 teflon patchgraft로 폐쇄 하는것이 보통이다. 폐동맥판막 협착은 개심창을 통하여 판막절개로 협착을 제거한다. 우심실 유출구 협착은 출출心筋을 절제하고 心낭을 이용한 patch graft로 우심실 유출구의 내경을 충분히 확대 시켜준다. 心낭 patch는 내경확대의 효과가 훌륭함을 관찰하였다. POF에 합병한 ASD는 단원공 개방이 보통이므로 삼전관구를 통하여 단순봉합으로 폐쇄 할수있다. VSD 단독인 경우는 우심실을 橫切開하고 단순봉합폐쇄 혹은 teflon patch graft로 폐쇄 한다. Valsalva 洞 동맥류 파열은 우심실 횡절개로 개심하고 단순한 mattress 봉합으로 폐쇄 할수있었다. 승모판 폐쇄부전은 우측 좌심방절개로 개심하고 승모판과 유두근을 절제하고 인조판막을 봉합고정하여 판막을 대치 하였다. 사용한 인조판막은 Starr-Edward, Carpentier, Hancock 하막이 었다.

개심창을 봉합폐쇄 한다음 체외순환을 부분적 관류로 전환하면서 혈압, 중심정맥압에 이상이 없음을 확인하고 체외순환을 중지 한다. Protamin sulfate의 주사후 혈액응고능이 회복되고 출혈이 없음이 확실하

면 종격동과 심낭내에 삽입하고 수술창을 봉합폐쇄하고 수술을 끝마친다. 환자는 등맥압과 정맥압, 심전도를 계속 감시관찰 하기위하여 monitor에 연결하고 마취기 조작으로 호흡조절과 산소공급을 계속하면서 수술후치료실에서 계속 치료할수있게 한다.

電解質의 檢査方法

심폐기 회로에 삽입한 three way valve를 통하여 검사용 혈액을 채혈하였다. 채혈은 심폐기 가동직전, 체외순환 개시 10분, 다음은 매 30분 간격으로 120분까지 채혈하였고 체외순환 중지후는 직후 10분, 60분, 120분, 240분 그리고 24시간까지 채혈 하였다. 채혈액은 즉시 검사실에서 Na^+ , Cl^- , Ca^{++} , K^+ , HCO_3^- 등 5종의 전해질을 정량 측정 하였으며 측정방법은 다음과 같다.

Na^+ 는 혈청 500배 희석, K^+ 는 혈청 50배 희석한것을 Flamephotometry 法에 의하여 측정 하였다. Cl^- 는 Schales and Schales 法에 따라 diphenylcarbazone 指示藥으로 滴定 하였다. Ca^{++} 는 O-cresol-phthalain complexone 法으로 比色定量하였다. Plasma HCO_3^- 는 base excess와 pCO_2 40 mmHg 인 조건으로 Siggaard Anderson의 alignment nomogram에서 구하였다.

檢査成績

선천성 및 후천성 심장질환으로 개심술을 시술한 환자 21명을 대상으로 심폐기 체외순환 도중과 체외순환 중지후 24시간까지 검사한 전해질의 측정치를 집계하여 산출한 평균치와 표준오차치로 table과 graph를 작성 하였다. 각 전해질의 검사성적은 다음과 같다.

Table 1. The Sodium levels in Serum During and After Extracorporeal Circulation by Open Heart Surgery

	Befor Bypass	During Extracorporeal Circulation (Time in minute)					After Extracorporeal Circulation (Time in minute)				
		10	30	60	90	120	10	60	120	240	24
Sample size	21	21	21	21	17	10	17	19	13	15	21
Mean, mEq./L.	137.14	137.14	137.43	138.10	138.35	138.00	138.59	137.79	136.62	140.0	138.0
SE(±)	0.47	0.61	0.69	0.45	0.74	1.23	0.68	0.57	1.12	1.55	0.68

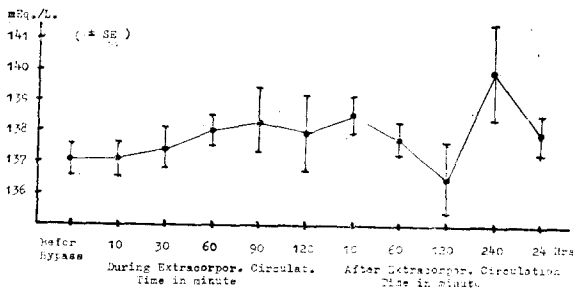


Figure 1. The changes of sodium levels in serum during and after Extracorporeal circulation by open heart surgery in 21 patients. Mean value and standard error.

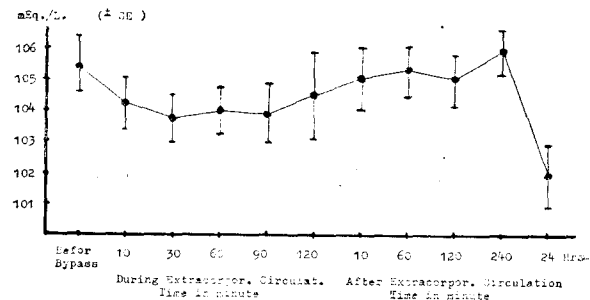


Figure 2. The changes of chloride levels in serum during and after Extracorporeal Circulation by open heart surgery in 21 patients. Mean value and standard error.

(1) 血清 Sodium(Na⁺)

술전, 체외순환 도중, 체외순환 직후부터 24시간까지 경시적인 Na⁺의 변동은 table 1과 figure 1과 같다. Na⁺의 술전치는 132~140 mEq./L.의 범위내로 평균 137.14±0.47 mEq./L.이며 체외순환 120분 간에도 평균치로는 정상범위를 유지하면서 진행하여 체외순환 중지후 10분에는 134~144 mEq./L.의 범위로 평

균 138.59±0.68 mEq./L.이고, 술후도 정상범위를 유지하여 24시간은 134~144 mEq./L.의 범위로 평균 138.0±0.68 mEq./L.이다. 혈청 Na⁺는 체외순환 도중과 술후 24시간까지 전과정에서 미량의 변동은 있었으나 정상범위를 유지 하였기때문에 Na⁺를 추가로 보충할 필요가 없었다. 이 성적으로써 혈회석충전법과 심폐기 체외순환의 운영방법이 양호하였다는 것을 알 수 있다.

Table 2. The Chloride levels in serum During and after Extracorporeal Circulation by Open Heart Surgery.

	Before Bypass	During Extracorporeal Circulation (Time in minute)					After Extracorporeal Circulation (Time in minute)				
		10	30	60	90	120	10	60	120	240	24
Sample size	21	21	21	21	17	10	14	17	12	15	20
Mean mEq./L.	105.38	104.24	103.76	103.90	103.88	104.50	105.07	105.35	105.08	105.93	101.95
SE(±)	0.70	0.81	0.73	0.75	1.05	1.39	1.01	0.83	0.79	0.71	1.09

(2) 血清 Chloride(Cl⁻)

술전, 체외순환 도중, 체외순환후 24시간까지 경시적인 Cl⁻의 변동은 table 2와 figure 2와 같다. Cl⁻의 술전치는 96~109 mEq./L.의 범위내로 평균 105.38±0.70 mEq./L.이며, 체외순환 120분 간에도 평균치로는 정상범위를 유지하면서 진행하여 체외순환 직후 10분에는 97~110 mEq./L.의 범위로 평균 105.07±

1.01 mEq./L.이고 술후도 정상범위를 유지하여 24시간에는 94~110 mEq./L.의 범위로 평균 101.95±1.09 mEq./L.이다. 혈청 Cl⁻는 체외순환 도중과 술후 24시간까지 전과정에서 미량의 변동은 있었으나 정상범위를 유지 하였기때문에 Cl⁻를 추가로 보충할 필요가 없었다. 이 성적으로써 혈회석충전법과 심폐기 체외순환의 운영방법이 양호 하였다는것을 알수있다.

Table 3. The Potassium levels in Serum During and After Extracorporeal Circulation by Open Heart Surgery

	Before Bypass	During Extracorporeal Circulation (Time in minute)					After Extracorporeal Circulation (Time in minute)				
		10	30	60	90	120	10	60	120	240	24
Sample size	21	21	21	21	18	10	18	18	13	18	20
Mean mEq./L.	4.22	3.79	4.01	4.15	4.35	4.55	4.09	4.01	3.98	4.12	3.39
SE(±)	0.06	0.14	0.04	0.11	0.15	0.16	0.14	0.09	0.07	0.07	0.07

(3) 血清 Potassium(K⁺)

술전, 체외순환 도중, 체외순환후 24시간 까지 경시적인 K⁺의 변동은 table 3, figure 3과 같다. K⁺의 술전치는 3.6~4.7 mEq./L.의 범위내로 평균 4.22±0.06 mEq./L.이며, 체외순환 120분 간에도 평균치로는 정상범위를 유지하면서 진행하여 체외순환 직후 10분에는 2.9~5.6 mEq./L.의 범위로 평균 4.09±0.14 mEq./L.이고, 술후도 정상범위를 유지하며 24시간에

는 3.9~5.0 mEq./L.의 범위로 평균 4.39±0.07 mEq./L.이다.

심장에 있어서는 특히 심질환이 있는 심근에 있어서는 K⁺ 감소의 hypokaliemia의 영향은 digitalis와 더불어 심각한 문제를 야기시킬수있기 때문에 혈청 K⁺의 변동은 중요한 사항이다. 충전액의 종류에 상관없이 체외순환 도중과 후에 혈청 K⁺는 상당히 감소한다는 보고가 있다. Neville와 Talso³⁰⁾는 체외순환 도중에는 혈청 K⁺는 주로 배설 되는것과 細胞內로 이동하는

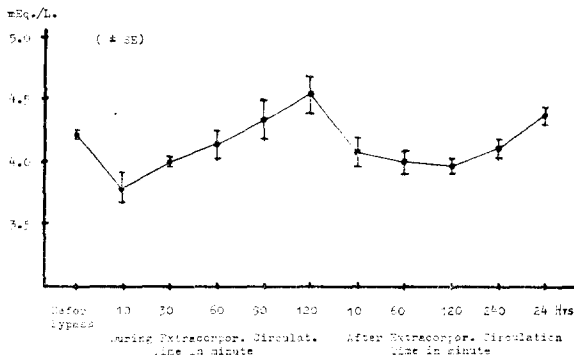


Figure 3. The changes of potassium levels in serum during and after Extracorporeal Circulation by open heart surgery in 21 patients. Mean value and standard error.

Table 4. The Calcium levels in Serum During and After Extracorporeal Circulation by Open Heart Surgery

	Before Bypass	During Extracorporeal Circulation (Time in minute)					After Extracorporeal Circulation (Time in minute)				
		10	30	60	90	120	10	60	120	240	24
Sample size	21	21	21	21	17	10	18	16	15	16	20
Mean mg./dl.	9.15	8.80	8.79	8.60	8.76	8.44	8.36	8.71	8.53	8.77	8.17
SE(±)	0.14	0.29	0.20	0.20	0.32	0.47	0.21	0.33	0.25	0.10	0.13

(4) 血清 Calcium (Ca⁺⁺)

술전, 체외순환 도중, 체외순환후 24시간 까지 경시적인 Ca⁺⁺의 변동은 Table 4, figure 4와 같다. Ca⁺⁺의 술전치는 7.3~10.3 mg/dl의 범위내로 평균 9.15 ± 0.14 mg/dl로 정상치의 하한선을 나타냈으며 체외순환 도중에는 약간 감소한 상태로 진행하여서 체외순환 직후 10분에는 5.6~9.8 mg/dl의 범위로 평균 8.36 ± 0.21 mg/dl 이고 술후에도 약간 감소한 상태를 유지하여 술후 24시간에는 7.0~9.3 mg/dl의 범위로 평균 8.47 ± 0.13 mg/dl 이다.

혈청 Ca⁺⁺는 心筋 수축력과 혈액응고기에 작용하는 영향력이 크기때문에 체외순환 후반과 술후에 혈청 Ca⁺⁺를 측정하여 측정치에 따라서 적당량의 calcium gluconate 주사로 추가보충 하였기 때문에 이상 성적과 같이 정상범위에 가까운 Ca⁺⁺의 혈중농도를 유지할수가 있었다. 혈청 Ca⁺⁺를 정상범위로 유지시키는

것 때문에 감소한다는 사실을 증명하였다. Dieter et al³¹⁾는 체외순환 중에 많은 K⁺가 배설 되지않았다 하더라도 尿中の K⁺는 평균 38 mEq./L. (4.3~106 mEq./L. 범위)였으므로 사용한 총전액의 K⁺함량 (10 mEq.)으로 보아서 K⁺부족을 면치 못할것을 고려하여 potassium chloride의 주사로 보충하여줄 필요가 있었다고 말하였다.

이러한 사실로 미루어보면 저자가 총전액으로 선택한 Hartman's 용액은 4 mEq./L.의 K⁺를 함유하고 있기때문에 체외순환 도중이나 후에 혈청 K⁺가 감소할것을 고려하여 경시적으로 혈청 K⁺를 측정하고 측정치에 따라서 적당량의 potassium chloride 주사로 추가보충 하였다. 이렇게 보충 하였기때문에 혈청 K⁺를 체외순환 도중과 술후 24시간까지 정상범위로 유지시킬수가 있었다. 따라서 혈청 K⁺가 정상범위를 벗어나는 변동을 방지하는 방법은 경시적으로 혈청 K⁺를 측정하여 감소가 나타나면 적절하게 보충하는 것이다.

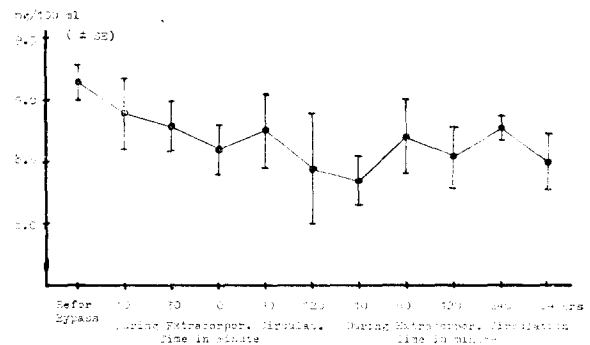


Figure 4. The changes of calcium levels in serum during and after Extracorporeal Circulation by open heart surgery in 21 patients. Mean value and standard error.

Table 5. The Bicarbonate levels in Plasma During and After Extracorporeal Circulation by Open Heart Surgery

	Befor Bypass	During Extracorporeal Circulation (Time in minute)					After Extracorporeal Circulation (Time in minute)				
		10	30	60	90	120	10	60	120	240	24
Sample size	21	21	21	21	17	10	16	15	13	8	10
Mean mEq./L.	23.70	19.25	20.44	22.20	21.98	22.83	22.83	21.70	22.40	23.33	24.26
SE(±)	0.50	0.64	0.79	0.77	0.66	1.17	1.09	0.50	0.49	0.73	0.73

방법은 사전예방책은 없고 혈청 Ca^{++} 검사치에 따라서 감소가 위험치에 달하면 추가로 보충 하는것이 상책이라는 것을 알수있다.

(5) 血漿 Bicarbonate (HCO_3^-)

술전, 체외순환 도중, 체외순환후 24시간 까지 경시적인 HCO_3^- 의 변동은 Table 5, figure 5와 같다. HCO_3^- 의 술전치는 19.8~27.0 mEq./L.의 범위내로 평균 23.7 ± 0.50 mEq./L.이며, 체외순환 시작초기에는 대체로 상당한 감소를 나타내므로 sodium bicarbonate를 주사하여 보충하면 Table에서 보는바와 같은 평균치로는 거의 정상범위를 유지하면서 진행하며 체외순환 직후 10분에는 18.7~36.0 mEq./L.의 폭넓은 범위로 평균 22.33 ± 1.09 mEq./L.였으나 절대다수가 21.0 mEq./L. 이상을 유지하였고, 술후에도 sodium bicarbonate의 보충으로 회복하여 24시간에는 21.3~27.2 mEq./L.의 범위로 평균 24.26 ± 0.73 mEq./L.

이다.

심폐기 체외순환에 있어서는 metabolic acidosis는 가장 염려되는 합병증의 하나이다. 체외순환중 혈액의 pH와 buffer base는 체외순환 혈류량 특히 말초혈관의 혈순환, 체온, 혈산화 등의 영양을 받아서 변동하기때문에 metabolic acidosis는 혈중의 buffer base의 평형저하 특히 혈장 HCO_3^- 의 감소에 의하여 좌우된다.

체외순환 도중과 후에 발생하는 metabolic acidosis를 방지 하기위해서는 여러 학자들의 많은 연구가 있다. Hirsch et al²⁹⁾는 술중 buffer base의 감소를 방지하기 위하여 임상적 개입술에서 Ringer's lactate 용액에 sodium bicarbonate 44.6 mEq./L.를 전예에서 첨가 하였고 동물실험에서도 sodium bicarbonate 혹은 tromethamine을 총전액에 첨가 하였다. Neville et al²¹⁾, Dieter et al³¹⁾들은 임상적 개입술에서 Ringer's lactate 총전액에 sodium bicarbonate 44.6 mEq./L.를 첨가하여 pH 7.8로 만들어서 체외순환을 실시하고 검사치에 따라서 체외순환 도중에 sodium bicarbonate를 추가 하였다. Hepps et al²⁷⁾은 동물 실험의 체외순환에서 sodium bicarbonate 88 mEq를 경시적으로 分注 하였다. Roe et al²⁸⁾는 pH 6.9가 되는 low molecular weight dextran의 평형성 전해질 용액으로 실시한 체외순환에서는 acidosis가 발생하는 경향이 있었으나 pH 7.4~7.5가 되는 용액을 사용하였을때는 acidosis의 염려가 없었다고 말하였다.

이러한 여러 문헌의 실험성적과 임상적성적을 참작하여 저자는 Hartman's 용액을 주로한 총전액 전체에 대하여 500ml당 sodium bicarbonate 7.5 mEq.을 첨가하고 체외순환을 실시하였으나 체외순환 10분에는 평균 4.45 mEq./L.의 혈장 HCO_3^- 의 감소를 나타내어 sodium bicarbonate를 주사로 보충 하여야하는 결과였으므로 총전액에 첨가한 500 ml당 sodium bicarbonate 7.5 mEq.는 부족 하다는것을 알수있다. 따라서 총전액에 첨가하는 sodium bicarbonate는 증량

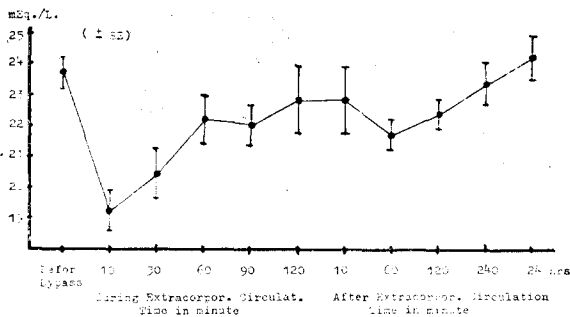


Figure 5. The changes of bicarbonate levels in plasma during and after Extracorporeal Circulation by open heart surgery in 21 patients. Mean value and standard error.

하는것이 좋다는 사실을 아울러 알수있다. 그러나 체외순환 도중과 후 24시간까지 경시적으로 혈장 HCO_3^- 를 검사하여 검사치에 따라서 적당량을 수시로 추가보충 하는것이 acidosis를 방지하는 좋은 방법이다.

考 察

心肺器 體外循環에 있어서는 기계적인 血液外傷과 瘻血, 血清 및 血漿의 電解質變動, 代謝性血酸症 등을 위시하여 여러가지 미허결문제 때문에 체외순환시간은 아직도 적지않는 제한을 받고있다. 체외순환시간이 2~3시간을 초과하면 장시간이 소요되는 수술친숙 자체 혹은 체외순환이 원인이 되어서 발생하는 여러가지 변화와 합병증 때문에 술후 여러가지 어려운 문제가 발생하여 사망율이 높아진다.

본 임상적연구는 실제 임상에서 심폐기 체외순환을 이용하여 開心術을 시술한 환자를 대상으로 특히 전해질변동에 관하여 상세히 관찰 하였다. 그리고 실험성적을 분석평가 하여 심폐기 체외순환의 운영을 더욱 합리화시키고 동시에 체외순환시간을 더욱 안전하게 연장 시킬수있도록 체외순환의 기술적문제를 발전시키는데 기여하고자 실시한 연구이다.

심폐기 체외순환에 있어서 혈청 전해질을 변동시키는 原因의要素는 체외순환에 대한 體內反應의 內因性도 생각하여야하지만 기계적 체외순환, 血酸化, 冷却, 充臍液 등의 外因性이 더욱 중요한 역할이 있다. 그 중에서도 다량의 충전액이 체내혈액과 혼합되기 때문에 중요한 外因性要素의 하나로 주목되었다. 따라서 충전액에 관해서는 많은 연구가 있었다는 사실은 서론에서도 언급하였다.

심폐기로서 체외순환을 시작한 초기에는 全血을 충전액으로 사용하는것이 가장 生理的이라는 개념하여 여러 학자들이 실험에 있어서나 임상적개심술에 있어서 全血充臍法을 이용하여 왔다는 것은 주지하는 사실이다.

그러나 혈액을 이용하지않는 血稀釋充臍法을 임상에 처음으로 소개한 것은 Panico와 Neptune⁽²¹⁾(1959)이였으며 그후 Zuhdi et al^(22,23)(1961)이 처음으로 5% dextrose 용액으로 충전하고 중등도 冷却下에 심폐기를 가동시키고 低血流量으로 체외순환을 실시한바 실험적으로나 임상적 개심술에 있어서 성적이 좋다는것을 발표하므로써 全血充臍法이 반드시 생리적이 아니라는것이 인정 받기 시작하여 혈회석충전법의 체외순환의 새로운 개념이 세워지게 되었다.

다음에 Greer et al⁽²³⁾, Long et al⁽²⁴⁾, De Wall et

al⁽²⁵⁾, 둘은 5% dextrose 용액을 충전액으로 이용한 혈회석충전법의 체외순환은 중등도저온하에 실시하여 실험적으로나 임상적으로 좋은 성적을 얻었고, Cooley et al⁽²⁶⁾도 5% dextrose 용액을 사용하였으나 정상체온하에 체외순환을 실시하여 좋은 성적을 얻었다고 발표하였다. 이러한 많은 발표가 혈회석충전법의 체외순환의 우수성을 입증하게 된 것이다.

혈액을 대용하는 충전액은 5% dextrose 뿐만이 아니라 다른 용액으로도 시도되었다. Hepps et al⁽²⁷⁾, Roe et al⁽²⁸⁾, 등은 low molecular weight dextran 용액, Neville et al⁽²¹⁾, Hirsch et al⁽²⁹⁾ 등은 Ringer's lactate 용액, Roe et al⁽²⁸⁾은 자기들의 처방에 의한 iso-osmolar 용액 등을 충전액으로 사용한 혈회석충전법의 체외순환에서 얻은 실험적 및 임상적성적을 발표하였다. 그의 Lillehei et al⁽³⁰⁾, Burbank et al⁽³⁰⁾, Dieter et al⁽³¹⁾들도 혈회석 체외순환에서 좋은 성적을 얻었다고 발표하였다.

혈회석충전법에 의한 체외순환은 이론적으로는 혈액의 산소운반능의 감소, 水分과 전해질대사의 변화, 혈소판과 단백질이 회석된다는 결함을 생각할수가 있음에도 불구하고 실지에 있어서는 좋은 결과를 나타내고 있는 것이다.

혈회석충전의 체외순환법은 혈액을 적게 사용하기 때문에 얻어지는 여러가지 이점이 있는데 그 중에서도 혈액은행에 대한 부담감소도 크지만 더욱 중요한 것은 homologous blood syndrome⁽³²⁾, pulmonary postperfusion syndrome⁽²⁷⁾을 예방 할수있다는 문제이다. 그 외에도 혈액의 粘稠度감소는 특히 저온에서도 말소 혈액순환이 양호하고, 혈산화에 있어서도 bubble thickness가 감소하기 때문에 능률이 증가하고, disposable bubble oxygenator와 더불어 심폐기충전이 간편하기 때문에 응급수술에도 사용 할수있다는 점등 여러가지 이점이 있다.

저자는 이상문헌에 나타난 각종 충전액에 대한 실험적 및 임상적성적을 참작하여 충전액으로 Hartman's 용액을 선택 하였다. Hartman's 용액에 함유된 전해질은 mEq./L. 단위로 Na^+ -130, K^+ -4, Ca^{++} -4, Cl^- -111, lactate-27 이므로 buffer로서 lactate가 함유된 생리적 전해질용액이라는 점에서 사용하고있다. 본 연구에서 체외순환 120분간과 술후 24시간까지 經時的으로 혈청 Na^+ 와 Cl^- 을 검사한 성적은 전과정에서 미량의 변동은 있었으나 정상범위를 유지 하였다는 결과를 나타낸것을 보아도 혈회석충전법의 충전액으로는 Hartman's 용액이 좋다는것을 알수있다.

心臓에 대하여서는 특히 心결환을 가진 心장에 있어

는 血清 K^+ 의 감소는 digitalis와 더불어 심각한 문제를 야기시킬수가 있어서 중요시 된다. Digitalis glycoside의 작용은 心筋細胞의 K^+ 농도에 변화를 가져오며 digitalization은 心室축후에 K^+ 가 心筋細胞內로 되돌아가는 것을 방해하여서 心기능에 장애를 일으킬수 있다. 따라서 보통 사용하는 안전량의 digitalis라 할지라도 혈청 K^+ 가 부족한 상태에서는 毒性作用을 나타낼 수가 있다. Atrial and ventricular ectopic thym도 혈청 K^+ 의 감소와 digitalis의 독성이 합병하여 발생 하는 것이다.

충진액의 종류에 상관없이 체외순환도중과 후에 혈청 K^+ 가 상당히 감소한다는 보고가 있다. Neville와 Talso³⁰⁾는 체외순환 중에는 혈청 K^+ 는 尿中에 배설되는 것과 세포내로 이동하는 것으로 감소된다고 말하였다. Dieter et al³¹⁾은 체외순환 중에는 尿中の K^+ 는 4.3~106 mEq./L. 범위로 평균 38 mEq./L.였으므로 혈청 K^+ 의 감소 때문에 KCl의 주사가 필요한 환자들 이 있었다고 말하였다.

Neville와 Talso³⁰⁾는 체외순환이 끝난 직후에는 혈청과 조직의 K^+ 는 감소하고 세포내 K^+ 는 증가하여있음을 관찰 하였는데 그 이유는 저산소성 acidosis 때문인지, 체외순환중 HCO_3^- 가 감소하기 때문인지, 혹은 세포에서 K^+ 가 세포외로 이동하기 때문인지 불명하지 않다고 말하였다. 그러나 체외순환 후에 K^+ 감소로 hypokalemia가 발생하는 요인으로는 술전에 thiazide 이뇨제 사용으로 K^+ 의 총량이 부족한 상태³⁶⁾, 외과적 친습에 대한 腎臟皮質의 反應³⁷⁾, 호흡기 사용으로 발생하는 호흡성 alkalosis³⁾, 충진액에 다량의 식염을 함유하는것³¹⁾등이 지적되어 있는데 이런 요소들이 상호 작용하여 혈청 K^+ 를 감소시킨다는 것은 사실이다. 외과적친습으로 인한 반응으로 aldosteron 분비가 항진하고 이 hyperaldosteron 작용은 결과적으로 hypokalemic metabolic alkalosis를 동반하면서 K^+ 의 배설을 상승시킨다. 이것은 遠位細尿管의 ion 교환차에서 H^+ 와 K^+ 에 대한 Na^+ 의 교환기전이 자극되어서 촉진하기 때문이다.

Dieter et al³¹⁾에 의하면 체외순환하에 시술한 개심술 후에는 2개의 서로다른 요소가 혈청 K^+ 를 감소시키도록 작용한다는 것이며 충진액에 함유된 많은 량의 Na^+ 는 K^+ 의 배설을 증가시킬수가 있다고 하였다. 腎細尿管에서 絲球體 여과액으로부터 再吸收되는 능력에 따라서 배설율이 결정되는 서로 다른 Na^+ 와 Cl^- 는 모든 K^+ 를 Na^+ 와 교환하는 기전에 의하여 遠位側 細尿管에서 尿中으로 분비되어서 배설된다. 즉 재흡수에 의하여 얻어지는 많은 Na^+ 는 신체노관 내에서 많은

K^+ 와 교환한 것이다. 그리고 術後에 혈청 K^+ 가 감소하는 중요한 원인은 술후 24시간 내에 이용하는 補助呼吸으로 발생하는 호흡성 alkalosis라고 말하였다. 호흡성과 대사성 alkalosis의 두 가지에 의하여 세포의 K^+ 가 감소한다는 사실은 Flemma와 Young,³⁹⁾ Krohn et al⁴⁰⁾들도 지적하였다. 급성 호흡성 alkalosis가 야기하면 혈청내로 H^+ 가 이동하는것에 대하여 평형을 맞추기 위하여 K^+ 가 세포내로 이동하여서 細胞外液의 K^+ 농도가 저하하게 된다. 이런 경우에 일어나는 K^+ 의 변동은 진속하며 腎을 통하는 K^+ 의 배설과는 관계없이 일어나는 것이다.

이상과 같은 기전에 의하여 체외순환 도중과 후에 혈청 K^+ 가 감소하는데 이러한 K^+ 의 감소는 사전에 방지할수있는 방법은 아직 없으며 본 연구에서도 찾을수가 없었으므로 반드시 감소하는 K^+ 감소를 방지하기 위하여서는 經時的으로 혈청 K^+ 를 측정하여 측정치에 따라서 적당량의 KCl 주사로 추가보충하는것이 상책임을 알았다.

체외순환에 있어서 발생 할수있는 metabolic acidosis는 가장 염려되는 합병증의 하나이기 때문에 여러 학자들이 이것을 예방하기 위하여 많은 노력을 기울여왔다. 이러한 문제로 보아서도 全血充巔法보다 혈회석 충전법이 더욱 좋다는것이 밝혀지고있다. 체외순환중 혈액의 pH와 buffer base는 perfusion rate, 체온, 혈산화 등의 영향을 받어서 변동하기 때문에 metabolic acidosis은 血中 buffer base의 평형감소 즉 혈장 HCO_3^- 의 감소에 의하여 좌우된다.

Hirsch et al²⁹⁾는 임상적 개심술에서는 Ringer's lactate 용액에 sodium bicarbonate 44.6 mEq./L.를 液體에서 첨가 하였고 동물실험에서도 전부 sodium bicarbonate 혹은 tromethamine을 충진액에 첨가 하였다. Neville et al²¹⁾, Dieter et al²¹⁾도 임상예에서 Ringer's lactate 충진액에 sodium bicarbonate 44.6 mEq.를 첨가하여 pH 7.8로 만드려서 체외순환을 실시하고 체외순환 도중에 필요에 따라서 sodium bicarbonate를 더 추가한 사례도 있다고 말하였다. Hepps et al²⁷⁾는 동물실험에서 체외순환중 sodium bicarbonate 88 mEq.를 分注 하였다. Roe et al²⁵⁾은 pH가 6.9인 LMWD의 평형성 전해질용액으로 실시한 체외순환에서는 acidosis가 발생하는 경향이 있었으나 pH 7.4~7.5가되는 용액을 사용 하였을때는 acidosis의 염려가 없었다고 말하였다.

저자는 Hartman's 용액 이외의 충진액도 포함시켜서 全血充巔液 500ml 당 sodium bicarbonate 7.5 mEq.를 첨가하고 심폐기를 가동시키고 체외순환을 실시하

였는데 체외순환 실시 10분에 벌써 평균 4.45 mEq./L.의 혈장 HCO_3^- 의 감소를 나타내어 sodium bicarbonate 주사로 보충하였으며 체외순환 도중과 후에도 혈장 HCO_3^- 을 경시적으로 측정하여 측정치에 따라서 적당량의 sodium bicarbonate 주사로 추가보충 하므로서 비로서 정상범위의 혈장 HCO_3^- 을 유지할 수가 있었다. 또 그렇게 하는 것이 가장 좋은 acidosis의 방지책 이라는 것을 알았다.

結 論

한양의대 흉부외과에서 심폐기 체외순환하에 開心手術을 시술한 선천성 및 후천성 心질환 환자 24명을 대상으로 체외순환 도중과 후 24시간까지 혈청 전해질을 검사한 검사상적은 다음과 같고, 정상범위를 벗어나는 혈청 전해질의 변동을 방지하는 방법을 모색한바 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 血清 sodium는 술전치는 평균 137.14 ± 0.47 mEq./L.였으며 체외순환 중지 10분은 평균 138.59 ± 0.68 mEq./L.였고 체외순환 후 24시간은 138.0 ± 0.68 mEq./L.로서 체외순환 도중과 술후 24시간까지 정상범위 이내인 미량의 변동으로 경과하였다.

(2) 血清 chloride는 술전치는 평균 105.38 ± 0.70 mEq./L.였으며 체외순환 중지 10분은 105.07 ± 1.01 mEq./L.였고 체외순환 후 24시간은 101.95 ± 1.09 mEq./L.로서 체외순환 도중과 술후 24시간까지 정상범위 이내인 미량의 변동으로 경과 하였다.

(3) 血清 sodium과 chloride는 저자가 사용한 혈액석출법과 체외순환 운영법에 있어서는 체외순환 도중과 술후 24시간까지 정상범위를 벗어나는 변동에 대한 방지책이 필요없다.

(4) 血清 potassium는 술전치는 평균 4.22 ± 0.06 mEq./L., 체외순환 직후는 4.09 ± 0.14 mEq./L., 술후 24시간은 4.39 ± 0.07 mEq./L.로서 전과정을 정상범위로 유지할 수 있었던 것은 혈청 potassium의 측정치에 따라서 적당량의 potassium chloride 주사로 보충한 결과이다.

(5) 血清 calcium는 술전치는 평균 9.15 ± 0.14 mg/dl, 체외순환 직후는 8.36 ± 0.21 mg/L., 술후 24시간은 8.47 ± 0.14 mg/dl로서 전과정을 정상범위로 유지할 수 있었던 것은 혈청 calcium의 측정치에 따라서 calcium gluconate 주사로 보충한 결과이다.

(6) 血漿 bicarbonate는 술전치는 평균 23.7 ± 0.5 mEq./L., 체외순환 직후는 22.33 ± 1.09 mEq./L.로서 전과정을 정상범위로 유지할 수 있었던 것은 혈장

bicarbonate의 측정치에 따라서 sodium bicarbonate 주사로 보충한 결과이다.

(7) 血清 calcium과 potassium, 血漿 bicarbonate는 체외순환 도중과 술후 24시간까지는 상당한 감소가 있으므로 경시적 측정치에 따라서 적당량의 calcium gluconate, potassium chloride 혹은 sodium bicarbonate를 주사하여 보충하는 것이 정상범위를 벗어나는 변동을 방지하는 방법이다.

REFERENCES

- Gibbon J.H., Miller B.J., and Feinberg C. : *An improved mechanical heart and lung apparatus*, *Med. Clin. N. Amer.*, 37:1603, 1953.
- Crafoord C. : *Operationen offenen Herzen mit Herz-Lungen-Maschine (Stockholmer Modell)*, *Langenbecks Arch.*, 289:257, 1958.
- Kirklin J.W., Du Shane J.W., Patrick R.T., Donald D.D., Hetzel P.S. Harshbarger H.G., and Wood E.H. : *Intracardiac surgery with the aid of a mechanical pump-oxygenator system (Gibbon-type); Report of eight cases*, *Mayo Clin. Proc.*, 30:201, 1955.
- Kirklin J.W., Donald C.E., Harshbarger H.G., Hetzel P.S., Patrick R.T., Swan H.J.C., and Wood E.H. : *Studies in extracorporeal circulation. I. Applicability of Gibbon-type pump-oxygenator to human intracardiac surgery; 40 cases*, *Ann. Surg.*, 144:2, 1956.
- Lillehei C.W. and Varco R.L. : *Cardiopulmonary bypass in surgical treatment of congenital or acquired cardiac diseases. Use in 305 patients*, *Arch. Surg.*, 75:928, 1957.
- Lillehei C.W. : *Contribution of open cardiotomy to the correction of congenital and acquired cardiac diseases*, *New Eng. J. Med.*, 22:1044, 1958.
- Cooley D.A., Latson J.R., and Keats A.S. : *Surgical consideration in repair of ventricular and atrial septal defects utilizing cardiopulmonary bypass*, *Surgery*, 43:214, 1958.
- Senning A. : *Surgical treatment of right ventricular outflow tract stenosis combined with ventricular septal defect and rightleft shunt (Fallot's tetralogy)*, *Acta. Chir. Scandinav.*, 11:

9. Zonker R., Blömer H., Borst H.G., Klinner W.; Gehl H., and Schmidt-Mende M. : *Zur Klinik und operativen Korrektur des Ventrikelseptumdefektes*, *Munch. med. Wschr.*, 101:1541, 1959.
10. Derra E., Grölking H., Löhr B., Loogen F., and Sykosch J. : *Zur Klinik und operativen Behandlung des Ventrkelseptumdefektes*, *Dtsch. Med. Wschr.*, 85:634, 1960.
11. Löhr B., Febers E., und Sykosch J. : *Über Prinzip und Anwendung des extracorporalen Kreislaufes einschliesslich der Kombination mit Hypothermie*; Herausgeb. K. Kremer: *Die chirurgische Behandlung der angeborenen Fehlbildungen*, p.206, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1961.
12. Dammann J.F. Jr., Thung N., Christlieb I.I., Littlefield J.B. and Muller W.H.Jr. : *The management of the severely ill patient after open heart surgery*, *J. Thorac. Surg.*, 45:80, 1963.
13. Dodrill F.D. : *The effects of total body perfusion upon the lungs, in extracorporeal circulation*, Allen J.G. edit.: *Springfield Charles C. Thomas*, p.327, 1958.
14. Wheeler E.O., Turner J.D., and Scannell J.G. : *Fever, splenomegaly and atypical lymphocytes; Syndrome observed after cardiac surgery utilizing pump-oxygenator*, *New Eng. J. Med.*, 266:454, 1962.
15. Gelin L.E. : *Studies in anemia of injury*, *Acta. Chir. Scandinav.*, (Suppl.) p.210, 1956.
16. Lee W.H.Jr., Krumhaar D., Fonkalsrud E.W., Schjeide O.A., and Maloney J.A.Jr. : *Denaturation of plasma proteins as a cause of morbidity and death after intracardiac operation*, *Surgery*, 50:29, 1961.
17. Long D.M., Folkman M.J. and Mc Clenathan J.E. : *The use of low molecular dextran, in extracorporeal circulation, hypothermia and hypercapnea, presented before the International Society of Cardiovascular Surgeon, Stockholm, Sweden, July 1962*.
18. Kottmeier P.K., Adamsons J., Stuckey J.H., Newman M.M., and Dennis C. : *Pathological changes after partial and total cardiopulmonary bypass in human and animals*, *Surg. Forum.*, 9:184, 1959.
19. Gadboys H.L., Slomin R., and Litwak R.S. : *Homologous blood syndrome; Preliminary observations on its relationship to clinical cardiopulmonary bypass*, *Ann. Surg.*, 156:793, 1962.
20. Schmidt P.J., Peden J.C.Jr., Brechner G., and Baranovsky A. : *Thrombocytopenia and bleeding after extracorporeal circulation* *New Eng. J. Med.*, 265:1181, 1961.
21. Neville W.E., Colby C., Peacock H., and Kronkowsky T.C. : *Superiority of buffered Ringier's lactate to heparinized blood as total prime of the larg volume disc oxygenator*, *Ann. Surg.*, 165:206, 1967.
22. Zuhdi N., MC Collough B., Carey J., and Greer A. : *Doublehelical reservoir heart-lung-machine for hypothermic perfusion; primed with 5 percent glucose in water including hemodilution* *Arch Surg.*, 82:320, 1961.
23. Greer A.E., Carey J.M., and Zuhdi N. : *Hemodilution principle of hypothermic perfusion, A concept of obviation blood priming*, *J. Thorac. Surg.*, 43:640, 1962.
24. Long D.M. Jr., Sanchez L., Varco R.L., and Lillehei C.W. : *The use of low molecular weight dextran and serum albumin as plasma expanders in extracorporeal circulation*, *Surgery*, 50:12, 1961.
25. De Wall R.A., Lillehei R.C., and Sellers R.D. : *Hemodilution perfusion for open heart surgery, Use of five percent dextrose in water for priming volume*, *New Eng. J. Med.*, 266:1078, 1962.
26. Cooley D.A., Beall A.C.Ir., and Grondin P. : *Open-heart operation with disposable oxygenators, 5 percent dextrose prime, and normothermia*, *Surgery*, 52:713, 1962.
27. Hepps S.A., Roe B.B., Wright R.R., and Gradner R.E. : *Amelioration of the pulmonary postperfusion syndrome with hemodilution and low molecular weight dextran*, *Surgery*, 54:232, 1963.
28. Roe B.B., Swenson E.E., Hepps S.A., and Bruns D.L. : *Total body perfusion in cardiac*

- operation, Use of perfusate of balanced electrolytes and low molecularweight dextran, *Arch. Surg.*, 88:128, 1964.
29. Hirsch D.M., Hadidian C., and Neville W.E.: Oxygen consumption during cardiopulmonary bypass with large volume hemodilution *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 56:197, 1968.
 30. Neville W.E. and Talso P.J.: Postperfusion compartment fluid alterations, *Surgery*, 63:220, 1968.
 31. Dieter R.A.Jr., Neville W.E., and Pifarre R.: Serum electrolyte changes after cardiopulmonary bypass with Ringer's lactate solution used for hemodilution, *Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 59:168, 1970.
 32. Panico F.G. and Neptune W.B.: Mechanism to eliminate the donor blood prime from the pump oxygenators, *Surg. Forum.*, 10:605, 1959.
 33. Zuhdi, N., Carey J., Sheldon W., and Greer A.: Comparative merits and results of blood and 5 percent dextrose in water for heart-lung machines; Analysis of 250 patients. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 47:66, 1964.
 34. Lillehei C.W., Lalke B.R., and Castaneda A.: A clinical evaluation of the new temptol disposable blood oxygenator; Experience in 150 consecutive undergoing cardiopulmonary bypass, *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 57:697, 1969.
 35. Burbank A., Ferguson T.B., and Burford T.H.: Disposable bubble oxygenator; Experimental studies of its performance, *Arch. Surg.*, 93:660, 1966.
 36. Lockey E., Ross D.N., Longmore D.B., and Sturridge M.F.: Potassium and open heart surgery, *Lancet*, 1:671, 1966.
 37. Moore F.D., Boling E.A., Ditmore H.B.Jr., Sricula J.E., Teterick A.E., Ellison S.J., and Ball M.R.: Body sodium and potassium deficiency and surgical stress to acute hypokaliemia in man, *Metabolism*, 4:379, 1955.
 38. Neville W.E.: Extracorporeal circulation, *Current problems in surgery*, Year book publishers Inc., Chicago, p. 64, 1967.
 39. Flemma R.J. and Young W.G.Jr.: The metabolic effects of mechanical ventilation and respiratory alkalosis in postoperative patients, *Surgery*, 56:36, 1964.
 40. Krohn B.G., Urghart R.R., Magidson O., Tsuji H.K., Redington J.V., and Kay J.H.: Metabolic alkalosis following heart surgery, *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 56:732, 1968.