

## 개심술시 대동맥 차단후 반복투여되는 K<sup>-</sup>심정지혈액이 혈중 K<sup>+</sup>치에 미치는 영향

최종범\* · 공국영\* · 이재성\* · 최순호\*

— Abstract —

### The Effect of Potassium Cardioplegia on Serum Potassium Levels during Bypass and after Bypass

Jong Bum Choi\*, Kuk Young Kong\*, Jae Sung Lee\*, Soon Ho Choi\*

In cardiac patients who received multidose cold blood postassium cardioplegia for intracardiac procedures, the intraoperative and the immediate postoperative blood potassium levels were decreased at aortic cross-clamp time below 2 hours and increased at aortic cross-clamp time above 2 hours, but they were within normal limit (not hypokalemia or hyperkalemia).

In spite of increased infusion numbers and amount of cold blood potassium cardioplegia, the postoperative blood potassium levels were similar to the postoperative levels, the immediate postoperative A-V blocks were transient and the postoperative arrhythmia were rare.

### 서 론

냉혈심정지액이 심근보호작용에 우수하다는 보고는 이미 많은 동물실험 및 임상경험으로 알려진 사실이며<sup>1)</sup> 2) 거의 모든 개심술에 널리 이용되고 있다. 그러나 이것은 다른 무혈성심정지액과는 달리 관상동맥을 통해 주입된 모든 양이 우심방에 흘러나와 하공정맥 캐놀라를 통해 산화기에 재충진되어 함유된 고농도의 칼륨이 전신혈류에 들어가게 되므로 장시간의 대동맥차단으로 냉혈심정지액을 반복투여시 혈중 K<sup>+</sup>치의 증가로 인해 과칼륨혈증과 혈류역학 및 심기능에 많은 영향을 줄 것

으로 보인다<sup>3)</sup>.

본 교실은 시간별 대동맥차단시 냉혈심정지액내에 주가된 K<sup>+</sup>투여량에 의한 혈중 K<sup>+</sup>치의 변화를 관찰하였다.

### 관찰대상 및 방법

본 교실에서 시행한 개심술환자 98명중 비교적 검사 성적이 확실한 환자 43명을 무작위 추출하여 조사하였으며 심기능에 관계없이 단지 간기능과 신기능이 정상인 환자를 대상으로 하였다. 대동맥차단시간별 환자분포는 21분에서 236분까지 다양하며 30분이내가 6명(14.0%), 60분이내가 10명(23.3%), 90분이내가 7명(16.3%), 120분이내가 8명(18.6%), 150분이내가 3명(7.0%), 180분이내가 5명(11.6%), 210분이내가 2명(4.7%), 240분이내가 2명(4.7%)으로, 2시간이내의 대동맥차단시간을 가진 환자가 31명(72%)

\* 원광대학교 의과대학 흉부외과학교실

\* Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, College of Medicine, Won Kwang University.  
1986년 11월 29일 접수

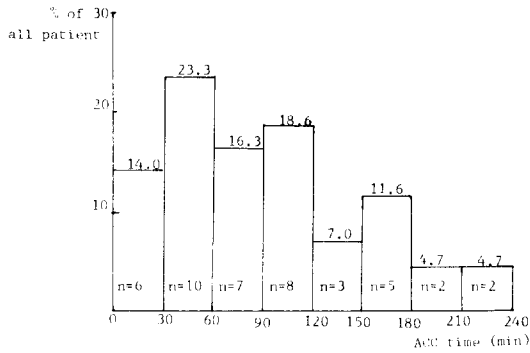


Fig. 1. Cold blood potassium cardioplegia: frequency of distribution of cross-clamp times (N=43)

이고 2시간이상의 장시간 대동맥 차단시간을 가진 환자가 12명 (28%)이었다(Fig. 1).

환자연령별 분포는 3~54세 (평균 25세) 이고 질화별 분포는 선천성 심장질환 환자가 20명, 후천성 심장질환 환자가 23명이었다.

병혈심정지액의 구성성분은 초회 투여의 경우 심폐작동전의 산화기의 충전액을 심정지액의 병에 흐르게 한 뒤 K<sup>+</sup>를 추가하여 K<sup>+</sup> 농도가 30mEq/l 되게 하고 PH는 중탄산나트륨을 추가하여 7.8~8.0으로 하였으며, 반복투여의 경우는 체외순환중 산화기내 혈액을 심정지액 병에 흐르게 한 뒤 K<sup>+</sup> 농도와 PH를 초회와 같게 했다(Table 1).

투여방법은 위의 심정지액을 얻음으로 충전된 회로를 통해 제순화시켜 5~10°C가 되게 한 후 필요시에 투여하되 초회는 10ml/kg, 재투여시 8ml/kg 투여하는 것을 원칙으로 하였다. 동시에 심근의 저체온 유지를 위해 심근 주위에 얼음을 채웠다.

병혈심정지액의 투여시기는 체외순환을 시작하여 체온이 25~28°C가 되게 하고 심실세동이 나타나면 대동맥 차단과 동시에 투여했으며 이때 하공정맥내 캐놀라 주위를 완화하여 관상동맥에서부터 순환해 관상동맥을 통해 나오는 병혈심정지액이 하공정맥의 캐놀라에 흡입되어 산화기에 재충진되도록 하였다(Fig. II).

Table 1. Types of Cardioplegic Solutions

	Initial infusion	Subsequent infusion
Volume	10ml/kg	about 8ml/kg
Content	prime solution at prebypass	blood from CPB circuit during bypass (Hct.:20-25%)
Potassium	30mEq/L.	30mEq/L.
PH	7.8-8.0	7.8-8.0

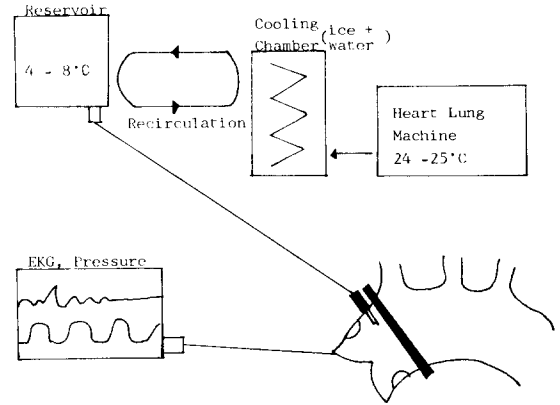


Fig. 2. Apparatus for delivery of cold blood arrest solution

반복투여는 30분마다 또는 심근의 전기적 활동이 나타날 때마다 시행했다.

산화기 충전액으로는 하트만용액, 5%포도당 주사액 (하트만용액 : 5%포도당용액 = 3 : 1), 마니톨용액 등을 이용했으며 총충진량은 체외순환시 수술환자의 최대 혈류(2.5 l/m<sup>2</sup> × BSA m<sup>2</sup>)의 1/2 량과 1회 투여시 필요한 심정지액의 양을 합한 것으로 하였다(Table II).

대상으로 한 모든 환자에서 일정한 계기(microlyte ion selective analyzer)를 이용하여 체외순환전, 대

Table 2. Pump Prime

A. Volume

Maximum flow rate of patient being operated x 1/2 + Amount of cardioplegic solution (including about 300ml in recirculation circuit)

B. Contents

1. Heparinized blood for final hemaocrit of 25%
2. Ringer's lactate : 5% D/W = 3 : 1
3. 0.8gm/kg of mannitol
4. Sodium bicarbonate and calcium chloride

동맥차단해제와 심실세동제거시, 그리고 체외순환 완료 2시간후에 혈중 K<sup>+</sup>치를 측정하고 추가된 K<sup>+</sup> 양에 따라 뇨를 통해 K<sup>+</sup>의 배설정도를 보기 위해 체외순환중과 체외순환 완료후 2시간까지의 뇨량과 그의 K<sup>+</sup>치를 측정하였다.

이와 같은 모든 변화는 Paired t-test 와 상관계수에 의해 관찰되었다.

수술후에 투여되는 수액재료는 5% 포도당액을 사용

하고 K<sup>+</sup> 농도가 40mEq/l 되게 K<sup>+</sup>을 추가했으며 수술후 24시간동안은 체표면(m<sup>2</sup>)당 750ml를 투여하는 것을 원칙으로 했다. 이에 따른 수술후 제 1일째 오전의 혈중 K<sup>+</sup>치를 측정하였다.

## 결 과

### 1. 대동맥차단시간에 따른 혈중 K<sup>+</sup>치의 변화 (Table III)

**Table 3.** Potassium level before CPB, at time of defibrillation and at immediate postoperative time Group I (ACC time<2 hours)

No. of patient	Operated lesions	ACC time (min)	K <sup>+</sup> level before CPB	K <sup>+</sup> level at time of defib	K <sup>+</sup> level 2hours after CPB
1	PS	25	4.6	3.1	3.3
2	VSD	29	3.8	3.1	3.8
3	VSD	58	4.1	3.4	4.2
4	PS	40	3.4	3.1	3.8
5	ASD+PS	60	4.0	4.1	3.7
6	ASI	83	3.3	3.2	3.2
7	MSI+AI	90	4.3	3.6	3.7
8	VSD+PDA	115	4.3	4.0	3.8
9	MI	117	4.1	3.6	4.0
10	AI+MI+TI	118	4.2	3.8	3.6
s;paired t-test,p<0.05			4.01 ±0.41	3.50 ±0.39(s)	3.71 ±0.30(NS)

### Group II (ACC time>2 hours)

No. of patient	Operated lesions	ACC time (min)	K <sup>+</sup> level before CPB	K <sup>+</sup> level at time of defib	K <sup>+</sup> level 2hours after CPB
11	VSD+AI	127	3.8	4.3	4.4
12	MSI+TI	137	3.8	4.2	4.8
13	VSD+AI	160	4.1	4.0	5.1
14	TOF	165	3.5	4.9	4.4
15	AI+MSI+TI + Myxoma	180	4.2	4.5	4.5
16	AI+MSI	180	4.2	4.5	4.5
17	ASI+MI	185	4.1	4.3	4.9
18	AI+MSI+TI	193	3.7	4.8	4.7
19	AI+MI+TI	218	3.9	4.4	4.9
20	ASI+MSI+TI	236	4.3	4.1	4.2
s;paired t-test,p<0.05			3.95 ±0.25(NS)	4.37 +0.29(s)	4.61 ±0.31(s)

관찰대상으로 한 환자중 대동맥차단해제 및 심실세동제거시에 혈중 K<sup>+</sup>치가 정확히 측정되었다고 생각되는 환자를 대상으로 하고 대동맥차단 2시간이내와 2시간 이상의 2군으로 나누어 관찰하였으며 각각 대동맥차단 시간이 시간별로 균등하게 10명씩 무작위 추출하여 각 환자의 수술직전, 대동맥차단해제와 심실세동제거시, 체외순환완료 2시간후에 각각 혈중 K<sup>+</sup>치를 측정하였다.

대동맥차단 2시간이내군과 2시간이상군에서 수술직전 혈중 K<sup>+</sup>치는 각각 4.01±0.41 mEq/ℓ, 3.95±0.25 mEq/ℓ를 보이며 (NS), 대동맥차단해제와 심실세동제거시 측정된 혈중 K<sup>+</sup>치는 대동맥차단 2시간이내군의 경우 3.5±0.39 mEq/ℓ로 수술전에 비해 저하된 것을 보이나 (P < 0.05) 대동맥차단 2시간이상의 경우에는 4.37±0.29 mEq/ℓ로 수술전에 비해 증가된 것을 보인다 (P < 0.05).

특히 대동맥차단시간이 60분이내인 환자에서 혈중 K<sup>+</sup>치가 현저히 저하되어 (3.1 mEq/ℓ) 수술직후 K<sup>+</sup>를 추가투여해야 하는 경우도 3예 있었다.

또 체외순환완료 2시간후의 혈중 K<sup>+</sup>치는 대동맥차단 2시간이내군의 경우 3.71±0.30 mEq/ℓ로 수술전에 비해 변화를 보이지 아니하나 (P > 0.1) 대동맥차단 2시간이상의 경우 4.61±0.31 mEq/ℓ로 수술전에 비해 증가하는 것을 보였다 (P < 0.05). 따라서 대동맥차단시간이 길수록 대동맥차단해제 및 심실세동제거시와,

수술직후의 혈중 K<sup>+</sup>치가 증가하는 것을 볼 수 있었으나 이와 같은 증가는 모두 정상범위내에서 변화이며 이중 2예에서 혈중 K<sup>+</sup>치가 5.1 mEq/ℓ와 6.1 mEq/ℓ로 가장 높은치를 보였다.

## 2. 낭혈심정지맥의 반복투여시 체중 및 질환에 따른 혈중 K<sup>+</sup>치의 변화 (Table V)

수술전 강심제 및 이뇨제 사용의 차이점과 질환별 심기능의 차이점을 고려하여 수술전 강심제 및 이뇨제를 사용하지 않은 선천성 심장질환을 가진 소아군(체중 30 kg 미만, 13명)과 판막질환에 의한 심부전으로 수술전 강심제 및 이뇨제를 사용한 성인군(체중 30 kg 이상, 19명)을 추출하여 수술직후와 수술후 제 1일째 오전 혈중 K<sup>+</sup>치를 관찰하였다.

모든 환자에서 투여된 수액량이 체표면 (m<sup>2</sup>)당 일정하고 수액의 K<sup>+</sup>농도가 일정 (40 mEq/ℓ) 하기 때문에 수술후 제 1일째 오전의 혈중 K<sup>+</sup>치를 관찰하였다.

소아군에서는 앞에서 보인 결과와 마찬가지로 대동맥차단 2시간이상의 경우 수술직후와 수술후 제 1일째의 혈중 K<sup>+</sup>치가 각각 4.10±0.5 mEq/ℓ, 3.90±0.30 mEq/ℓ로 수술전보다 증가를 보이나 (P < 0.05) 2시간이내의 경우는 변화를 보이지 않았다 (NS).

또 성인군에서는 대동맥차단 3시간이상의 경우 수술직후 혈중 K<sup>+</sup>치가 4.58±0.3 mEq/ℓ로 수술전에 비

**Table 4.** K<sup>+</sup> levels before CPB, at immediate postoperative time and at the 1st postoperative day morning in patients with the variable ACC times Child (congenital) group (BW<30kg)

ACC time (min)	K <sup>+</sup> level before CPB	Immediate postoperative K <sup>+</sup> level	K <sup>+</sup> level at the 1st Postoperative day morning
- 60(n=5)	3.98±0.44	3.68±0.22	3.96±0.57
61 - 120(n=5)	3.76±0.40	3.84±0.11	3.80±0.26
121 - (n=3)	3.47±0.30	4.10±0.50*	3.90±0.30**

NS + P<0.05 + + P<0.001

Adult (Acquired) group (BW>30kg) \* digoxin, diuretics

- 60(n=5)	4.10±0.21	4.44±0.48	4.40±0.26*
61 - 120(n=5)	3.95±0.50	3.61±0.29	4.25±0.44
121 - 180(n=5)	3.98±0.31	4.42±0.43	4.34±0.44
181 - (n=4)	4.0 ±0.26	4.58±0.30*	4.0 ±0.40

NS \*p<0.05

해 증가를 보일 뿐 그의 대동맥차단 3시간이내 경우는 수술직후나 수술후 제 1일째 오전 혈중 K<sup>+</sup>치가 수술전에 비해 변화를 보이지 않았다(NS).

이런 결과로 장시간 대동맥차단시 수술직후나 수술후 제 1일째 혈중 K<sup>+</sup>치가 성인군보다 소아군에서 더 의의 있는 증가를 보이거나 그 혈중 K<sup>+</sup>치는 모두 정상범위임을 보였다.

### 3. 냉혈심정지액 투여횟수에 의한 혈중 K<sup>+</sup>치의 변화 (Fig. III)

투여방법은 30분마다 또는 심근의 전기적 활동이 나타날 때마다 반복투여했기 때문에 일정한 대동맥차단시간이라고 해도 투여횟수가 일정하지 않으므로 투여횟수에 의한 혈중 K<sup>+</sup>치의 변화를 관찰하였다. 투여횟수는 차단시간에 관계없이 1회부터 7회까지의 분포를 보이고 있으며 투여횟수별로 수술직후 혈중 K<sup>+</sup>치를 본 결과 5회까지는 수술전에 비해 거의 변화를 보이지 않음

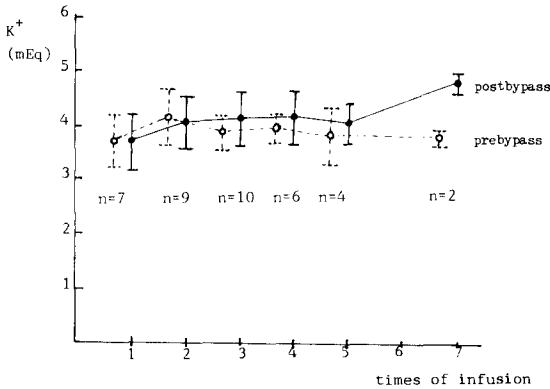


Fig. 3. K<sup>+</sup> levels 2 hours after CPB and infusion times of cardioplegic solution

며 7회인 경우는 단 2예로 수술후 혈중 K<sup>+</sup>치가 4.80 ± 0.14 mEq/l로 증가를 보이거나 정상범위였다.

### 4. 냉혈심정지액내에 함유되어 투여된 K<sup>+</sup>양에 따른 수술후 혈중 K<sup>+</sup>치의 변화 (Table V)

투여횟수 및 체외순환에 관계없이 수술중에 투여된 총 K<sup>+</sup> 양에 따라 수술후 혈중 K<sup>+</sup>치가 어떻게 변화하는가를 관찰하였다.

체중에 따라 냉혈심정지액의 투여량이 달라서 투여된 K<sup>+</sup> 양도 다르므로 체중당 투여된 K<sup>+</sup> 양(mEq/kg)을 기준하여 변화를 관찰하였다. 수술중 투여된 냉혈심정지액내에 추가되었던 K<sup>+</sup>의 전량이 2.5 mEq/kg 될 때까지는 수술후 혈중 K<sup>+</sup>치의 의의있는 변화가 없었으며 단지 2.5 mEq/kg 이상 투여시에만 수술후 혈중 K<sup>+</sup>치가 증가하는 것을 보였다. 이와 같이 증가를 보이는 경우는 단 2예로, 이들은 Fig. III의 7회 투여한 2예와 동일한 경우이며 따라서 투여된 K<sup>+</sup>총량에 의한 변화는 투여횟수에 의한 변화와 동일한 결과를 보이고 있다.

### 5. 냉혈심정지액에 포함되어 투여된 K<sup>+</sup> 양과, 체외순환중과 순환후 2시간까지의 뇨에 배설된 K<sup>+</sup> 양의 관계 (Table VI)

최근 환자들중에서 특히 잔기능 및 신기능이 정상 범위인 소아에서, 냉혈심정지액에 포함되어 투여된 K<sup>+</sup> 양이 체외순환과 그후 2시간까지 뇨로 배설되는 K<sup>+</sup> 양에 어떠한 영향을 미치는가를 관찰하였다.

소아 6예에서 관찰한 결과 추가된 K<sup>+</sup> 양이 증가할수록 뇨로 배설되는 K<sup>+</sup> 양도 증가하는 양(positive)의 상관관계 (r = 0.796)를 보였다.

이 결과로 보아 수술도중에 냉혈심정지액을 통해 투여된 K<sup>+</sup> 양이 증가할지라도 체외순환의 짧은 시간에도

Table 5. Added K<sup>+</sup> amount (mEq/kg) during CPB and K<sup>+</sup> level 2 hours after CPB

Added K <sup>+</sup> amount (mEq/kg)	K <sup>+</sup> level before CPB	K <sup>+</sup> level 2 hours after CPB	
0 - 0.5(n=6)	3.75 ± 0.34	3.75 ± 0.45	NS
0.5 - 1.0(n=16)	4.02 ± 0.47	4.01 ± 0.50	NS
1 - 1.5(n=8)	3.96 ± 0.40	4.10 ± 0.62	NS
1.5 - 2 (n=3)	4.13 ± 0.29	4.20 ± 0.20	NS
2 - 2.5(n=4)	3.73 ± 0.45	4.10 ± 0.50	NS
2.5 - (n=2)	3.70 ± 0.28	4.65 ± 0.35	S (P<0.05)

\* paired t - test

불구하고 뇨중 K<sup>+</sup> 배설을 증가시키므로써 슬후 혈중 K<sup>+</sup> 치를 어느 정도 정상으로 유지할 수 있었다는 것을 알 수 있다.

6. 냉혈심정지액을 사용한 경우 심근에 미치는 문제점등 (Table VI)

관찰대상으로 한 43명중 4예에서 대동맥차단해제후

심실세동제거의 지연현상(대동맥차단해제후 약 10분)을 보였으며 이때 체온은 35℃ 이상이었고 혈액가스분석 소견은 정상이었다. 또한 혈중 K<sup>+</sup> 치는 각각 3.8, 4.9, 4.5, 4.2mEq/l로 과칼륨혈증이 아닌 것으로 보아 심실세동제거의 지연은 혈중 K<sup>+</sup> 치와는 무관한 것으로 보이며, 심실세동제거의 지연상태에서 심방박동은 정상인 것으로 보아 고농도 K<sup>+</sup> 양을 함유한 냉혈심정

**Table 6.** Relationship between added K<sup>+</sup> amount(mEq) during CPB, and K<sup>+</sup> loss in Urine(mEq) during CPB and for 2hours after CPB.

No. of patient (BW<30kg)	Body weight (kg)	CPB time ACC time (min)	Prebypass K <sup>+</sup> (mEq)	Postbypass K <sup>+</sup> (mEq)	Added K <sup>+</sup> amount (mEq)	K <sup>+</sup> loss in urine(mEq) during CPB and for 2hrs after CPB
1	11	120/105	4.0	4.0	24	22
2	30	68/29	3.8	3.8	12	16
3	21	34/25	4.6	3.3	9	7
4	29	65/47	4.3	6.1	24	24
5	20	43/37	4.0	4.7	9	11
6	26.5	66/50	3.5	2.8	18	8.7
NS					r(Coefficient of correlation) = 0.796	

**Table 7.** Cardiac — related problems in patients with cold blood cardioplegia

Problems	No. of patients	Postoperative or bypass and K <sup>+</sup> level (mEq)	Acc time (min)
Delayed resuming of contractile cardiac rhythm (n = 43)	4	3.8	105
		4.9	218
		4.5	180
		4.2	73
Arrhythmia related to K <sup>+</sup> level(n = 43)	2	3.2(A)	83
		3.5(c)	70
Acute myocardial infarction (n = 98) (appearance of Q wave on EKG)	2		160
			236

지역의 반복투여가 심전도의 일시적인 전도장애를 가져왔을 것이라고 생각된다.

이 4예 모두가 심실세동제거후 방실블록현상을 보였으나 체외순환 완료시에는 모두 정상 심전도로 회복되었다.

또 수술후 회복실에서 나타나는 부정맥증 심실조기박동을 주로 관찰하였고 심실조기박동이 나타나는 환자에서 일차적으로 리도카인을 투여하여 소실되지 않은 환자중에서  $K^+$  투여로 소실된 경우를  $K^+$  치와 관계된 부정맥으로 판단하였으며 2예에서 그러한 상황을 보였다.

이 2예는 수술후 혈중  $K^+$  치가 3.2와 3.5mEq/ℓ로 낮은 혈중  $K^+$  치를 보이며 비교적 대동맥차단시간이 짧은 소아환자들 이었다.

본 교실에서 냉혈심정지액을 투여해 개심술을 시행한 환자 98예에서 수술후 심전도상 Q파를 보이는 심근경색증은 2예에서 나타났고 이는 대동맥차단시간이 160분과 236분으로 장시간의 수술을 요하는 다발성 관막 질환 환자들이었으며 그 원인을 규명할 수 없었다.

이중 전자의 1예는 수술전 우심실의 부전이 강심제 및 이노제에 반응하지 않았던 환자로 수술후 우심실부전이 악화되어 술후 21일째 사망했으며 후자 1예는 강심제 및 이노제 투여로 현재까지 별 문제없이 생활하고 있다.

## 고 찰

개심술시 심근보호방법에 있어서 저체온법은 이미 20년이상동안 이용되고 있는 방법이며  $K^+$  을 이용한 심정지액은 그 이전에 사용을 시도했으나 심근손상이 심해 사용이 중지됐다<sup>4)</sup>. Gay와 Ebert 등<sup>5)</sup>은  $K^+$  농도를 저농도로 사용시 안전하고 우수함을 알고  $K^+$  을 함유한 심정지액 사용에 대해 다시 활기를 찾기 시작했다. 동시에 유럽에서는  $K^+$  대신  $Mg^{++}$  과 프로카인을 함유한 심정지액에 대한 연구가 시작되었고 2종류의 심근보호정도를 관찰했으나 비슷한 심근보호력을 나타냈다.<sup>6)</sup> 그러나  $Mg^{++}$  -프로카인은 많은 양이 혈중에 흡수될 때 독성효과를 가져오므로<sup>7)</sup> 전신혈류에 흡수될 경우에 그 부작용을 피하기 위해  $K^+$  을 함유한 심정지액을 사용할 수 있다.<sup>8)</sup> 따라서 심정지 목적으로 사용후 산화기에 재충진되는 냉혈심정지액의 성분으로써 다른 성분보다 고농도의  $K^+$  을 이용함으로써 전신에 미치는 부작용이 적을 것으로 생각된다.

개심술시 체외순환후 혈중  $K^+$  치가 저하한다는 것은

이미 다 아는 사실이며 그 이유로써 Dieter 등<sup>8,9)</sup>은 수술전 강심제 및 이노제 사용, 마취시 과잉환기, 뇨를 통해  $K^+$  배설증가, 산화기내 낮은  $K^+$  의 농도를 들어 말하고 있다.

Pifarré 등<sup>10)</sup>은 체외순환전에 수술실에 있는 동안에도 시간이 흐름에 따라 혈중  $K^+$  치가 저하하는 것을 보았으며 이는 앞에서 말한<sup>8,9)</sup> 기계적 호흡에 의한 과잉환기 때문이라고 설명했다. 또 이들은 개심술후 혈중  $K^+$  치가 저하하는 것을 보고 체외순환도중 평균 106mEq의  $K^+$  을 추가해야만 수술중 부족된  $K^+$  양을 보충할 수 있으며 자연적인 심실세동제거도 혈중  $K^+$  치가 5.5~6.0mEq/ℓ의 높은 치에서 잘 되는 것으로 보아 체외순환중  $K^+$  양을 충분히 추가해야 한다고 주장했다.

근래들어 고농도의  $K^+$  을 함유한 심정지액을 사용하면서부터 심근보호에 우수한 결과<sup>11,12)</sup>를 가져오며 장시간의 대동맥차단시 특히 무혈성 심정지액보다  $K^+$  을 함유한 냉혈심정지액이 더 우수한 결과를 가져온다고 한다<sup>13)</sup>. 이 심정지액에 함유된 고농도의  $K^+$  이 반복투여되는 경우 체외순환후 혈중  $K^+$  치가 증가하게 되고<sup>14)</sup> 부정맥<sup>15)</sup>이 발생할 수 있는 문제점이 있다. 그러나 이 혈중  $K^+$  치의 증가에 대해서 Azar 등<sup>16)</sup>은 투여된 심정지액내 총  $K^+$  양이 50mEq를 넘지 않고 정상신기능을 가진 환자라면 과칼륨혈증을 유발하지 않고 혈중  $K^+$  치를 정상으로 유지할 수 있다고 했다. 또 고농도의  $K^+$  양을 함유한 심정지액의 반복투여로 심한 방실해리부정맥(A-V dissociation arrhythmia)을 가져올 수 있다고 하며 이것에 대해 Ellis<sup>15)</sup> 등은 이런 부정맥의 발생을 줄이기 위해 초회만 20mEq/ℓ로 투여하고 2회부터는 5mEq/ℓ를 사용하여 방실해리부정맥을 훨씬 줄일 수 있었으며 수술중 심근온도가 20℃ 이하일 때는  $K^+$  자체가 고에너지 인산염의 보존에 거의 영향을 미치지 않는다고 했다. 또 냉혈심정지액의 반복투여로 야기되는 과칼륨혈증이나 부정맥을 줄이기 위해 Hartz<sup>14)</sup> 등은 심정지액내  $K^+$  치를 초회는 20mEq/ℓ, 2회는 10mEq/ℓ, 3회는  $K^+$  을 전혀 추가하지 않는 방법을 이용하기도 한다. 본 교실의 경우 일정한  $K^+$  농도를 가진 냉혈심정지액을 반복투여하여 4예에서 방실블록현상과 심실세동제거의 지연이 보였으나 체외순환 완료시에는 심박동 및 심기능에 영향을 주지 않는 일시적 현상으로 나타났다.

심정지액내 적정  $K^+$  농도에 대해서 논란이 많으나 Buckberg 등<sup>17)</sup>은 40mEq/ℓ 이상의  $K^+$  치는 세포내로  $Ca^{++}$ 의 유입을 초래하고 에너지 소비를 증가시키므로

18) 40mEq/l 이상으로 하지 말아야 하며 Gharagozi-oo 등<sup>19)</sup>은 본래 체온의 쥐심근에서 여러 K<sup>+</sup>치로 실험한 결과 25mEq/l가 가장 적합하다고 했다. 또 Jellineck 등<sup>20)</sup>은 초저체온법(deep hypothermia)만 이용된다면 240mEq/l의 K<sup>+</sup>치까지는 심근보호를 위해 부작용없이 안전하게 사용할 수 있으며 정상체온(normalthermia) 상태의 경우는 심정지액내 고농도의 K<sup>+</sup>에 의해 심근손상이 더 크므로 K<sup>+</sup>치가 30mEq/l 이상 넘지 않도록 했다.

심정지액의 기초제로 산화기내 혈액의 이용은 1978년 Follette 등<sup>2,21)</sup>에 의해 제안되었으며 그후 알칼리화되고 K<sup>+</sup>을 함유한 냉혈이 심정지액으로 사용되었다<sup>22)</sup>.

냉혈심정지액의 성분 이용방법도 Cunningham 등<sup>23)</sup>은 체외순환중인 산화기 혈액(Hct = 30%)만을 이용하여 여기에 단지 K<sup>+</sup>농도만 30mEq/l 되게 추가한 다음 온도를 10°C로 하여 사용하는 반면, Buckberg<sup>24)</sup>등은 산화기혈액에 일반심정지액을 추가하여 K<sup>+</sup> 22mEq/l, Hct 10%, Ca<sup>++</sup> free가 되게 한 희석 냉혈 심정지액(Hemodilution Blood Cardioplegia)의 이점을 들어 사용하고 있다.

냉혈심정지액의 사용량도 다양하여 초회 1~1.5 l를 투여하며 30분마다 또는 전기적 활동이 나타날 때마다 500ml 씩 투여하고 심근 주위에 얼음을 채우므로써 심근온도를 20°C 이하로 유지하는 방법<sup>22)</sup>이 있는가 하면, 초회는 400ml, 재투여시는 300ml 만을 투여하고 심근주위에 얼음을 채우면 심근온도를 10~15°C로 유지할 수 있다는 방법<sup>25)</sup>도 제시되고 있다. 본 교실에서는 체중(kg)당 초회는 10ml, 2회부터는 약 8ml를 투여하므로써 심전도상 심근의 전기적 활동을 충분히 소실시킬 수 있었다.

혈중 K<sup>+</sup>치의 변화에 대해서도 많은 학자들<sup>10,13,26,27)</sup>은 반복 투여된 많은 K<sup>+</sup>양은 체외순환중 안전하며 과칼륨혈증 상태를 일으키지 않는다고 말하고 있다. 또 그들은 K<sup>+</sup>배설은 뇨의 양 및 그의 K<sup>+</sup>농도에 직접 관계되며 수술후 대량 K<sup>+</sup>투여가 수술후 첫 24시간에 필요하고 술후 72시간까지도 지속해서 필요하다고 했다. 본 교실의 관찰결과 대동맥차단시간이 2시간 이내에서 술중 및 술후 혈중 K<sup>+</sup>치가 약간 저하하는 것을 볼 수 있었으며 이런 현상은 산화기내 충진액의 낮은 K<sup>+</sup>치와 뇨에 의한 K<sup>+</sup>배설에 비해 심정지액에 의해 추가되는 K<sup>+</sup>양이 적었던 이유이고 대동맥차단 2시간이상의 경우에는 냉혈심정지액에 함유된 총 K<sup>+</sup>양이 증가할지라도 뇨에 의한 K<sup>+</sup>배설이 어느정도 혈중 K<sup>+</sup>치를 정상범

위로 유지할 수 있었다고 본다.

냉혈심정지액 사용시 술전 강심제 및 이노제 사용에 영향없이 수술중이나 후에 혈중 K<sup>+</sup>치를 정상범위로 유지할 수 있었으며 수술후에도 뇨로 배설되는 K<sup>+</sup>양을 감안하여 수액에 일정한 농도의 K<sup>+</sup>(40mEq/l)이 계속 되므로 수술후 제 1일째 혈중 K<sup>+</sup>치를 정상범위로 유지할 수 있었다. 수술중 냉혈심정지액을 통해 투여되는 K<sup>+</sup>양에 의해 수술중이나 수술후 일정시간(2시간)동안 뇨로 배설되는 K<sup>+</sup>양을 측정할 결과, 특히 정상 신기능을 가진 소아에서 비례되는 상관관계를 보이며 이런 점에서 수술중이나 수술후 혈중 K<sup>+</sup>치는 뇨의 K<sup>+</sup>배설기능에 의해 어느 정도 정상범위를 유지할 수 있다고 본다.

## 결 론

개심술을 위해 고농도 K<sup>+</sup>을 함유한 냉혈심정지액을 반복투여받는 환자에서 ① 수술중 또는 수술후 혈중 K<sup>+</sup>치는 수술전에 비해 대동맥차단 2시간 이내 경우 약간 저하되는 것을 보이며 대동맥차단 2시간 이상의 경우 약간 증가되는 것을 보이나 모두 정상 범위임을 보였고 ② 고농도 K<sup>+</sup>을 함유한 냉혈심정지액의 투여 횟수나 투여량에 관계없이 수술후 혈중 K<sup>+</sup>치를 정상으로 유지할 수 있었으며 반복투여로 인해 수술후 심기능에 영향을 줄만한 부정맥의 발생은 거의 없었다.

## REFERENCES

- Engelman RM, Rousou JH, Dobbs W, Pells MA, Longo F: *The superiority of blood cardioplegia in myocardial preservation. Circulation 62:Suppl 1:62-66, 1980.*
- Follette DM, Mulder DG, Maloney JV Jr, Buckberg GD: *Advantage of blood cardioplegia over continuous coronary perfusion or intermittent ischemia. Experimental and clinical study. J Thorac Cardiovasc Sur 76:604-619, 1978.*
- Tucker WY, Ellis RJ, Mangano DT, Ryan CJM, Ebert PA: *Questionable importance of high potassium concentrations in cardioplegic solutions. J Thorac. Cardiovasc Sur 77:183-190, 1979.*
- Helmsworth JA, Kaplan S, Clark LC, McAdams AJ, Matthews EC, Edwards FK: *Myocardial injury associated with potassium citrate. Ann Sur 149:200-206, 1959.*
- Gay WA Jr, Ebert PA: *Functional, metabolic, and morphologic effects of potassium induced cardioplegia.*



- Surgery* 74:284-290, 1973.
6. Engelman RM, Levitsky S: *The significance of multidose cardioplegia and hypothermia in myocardial preservation during ischemic arrest.* *J Thorac Cardiovasc Surg* 75:555-563, 1978.
  7. Foldes FF, Molloy R, McNall PG, Kouhal LR: *Comparison of toxicity of intravenously given local anesthetic agents in man.* *JAMA* 172:1493-1498, 1960.
  8. Doeter RA, Neville WE, Pifarre R: *Hypokalemia following hemodilution cardiopulmonary bypass.* *Ann Surg* 171, 1970.
  9. Dieter RA, Neville WE, Pifarre R: *Serum electrolytes changes after cardiopulmonary bypass with Ringers lactate solution used for hemodilution.* *J Thorac Cardiovasc Surg* 59:168, 1979.
  10. Babka R, Pifarre R: *Potassium replacement during cardiopulmonary bypass.* *J Thorac Cardiovasc Surg* 73:212-215.
  11. Adams PX, Cunningham JN Jr, Trehan NK, Brazier JR, Reed GE, Spencer FC: *Clinical experience using potassium-induced cardioplegia with hypothermia in aortic valve replacement.* *J Thorac Cardiovasc Surg* 75:564-567, 1978.
  12. Balderman SC, Joginder NB, Binette P, Chan A, Gage A, Adler RH: *Perioperative preservation of high-energy phosphates in man.* *J Thorac Cardiovasc Surg* 82:860-869, 1981.
  13. Catinella FP, Cunningham JN Jr, Spencer FC: *Myocardial protection during prolonged aortic cross-clamping.* *J Thorac Cardiovasc Surg* 88:411-423, 1984.
  14. Hartz RS, Michaelis LL: *intraoperative protection of the myocardium. Perioperative cardiac dysfunction.* *Williams and Wilkins* 97-106, 1985.
  15. Ellis RJ, Mavroudis C, Turley K, Ulllyot D, Ebert PA: *Relationship between atrioventricular arrhythmias and the concentration of potassium ion in cardioplegic solution.* *J Thorac Cardiovasc Surg* 80:517-526, 1980.
  16. Azar I, Satyanarayana T, Turndorf H: *Urine and serum potassium levels after potassium cardioplegia.* *J Thorac Cardiovasc Surg* 81:516-518, 1981.
  17. Buckberg GD: *A proposed "solution to the cardioplegic controversy.* *J Thorac Cardiovasc Surg* 77:803-815, 1975.
  18. Rich TL, Brady AJ: *Potassium contracture and utilization of highenergy phosphates in rabbit heart.* *Am J Physiol* 226:105-113, 1974.
  19. Charagozloo F, Bulkley BH, Hutchins GM, Bixler TJ, Schaff HV, Flaherty JT, Gardner TJ: *Potassium-induced cardioplegia during normothermic cardiac arrest.* *J Thorac Cardiovasc Surg* 77:602-607, 1979.
  20. Jellinek M, Standeven JW, Menz LJ, Barner HB: *Cold blood potassium cardioplegia, effects of increasing concentrations of potassium.* *J Thorac Cardiovasc Surg* 82:26-37, 1981.
  21. Barner HB, Laks H, Codd JE, et al: *Cold blood as the vehicle for potassium cardioplegia.* *Ann Thorac Surg* 28:509-521, 1979.
  22. Catinella FP, Cunningham JN Jr, Adams PX, Snively SL, Gross RI, Spencer FC: *Myocardial protection with cold blood potassium cardioplegia during prolonged aortic cross-clamping.* *Ann Thorac Surg* 33:228-233, 1982.
  23. Cunningham JN, Catinella FP, Spencer FC: *Blood cardioplegia-experience with prolonged cross-clamping. A textbook of clinical cardioplegia.* *Futura Publishing Co.* 241-264, 1982.
  24. Buckberg GD, Dyson CW, Emerson RC: *Techniques for administering clinical cardioplegia-Blood cardioplegia. A textbook of clinical cardioplegia.* *Futura publishing Co* 305-316, 1982.
  25. Codd JE, Barner HB, Pennington DG, Merjavay JP, Kaiser GC, Devine JE, Willman VL: *Intraoperative myocardial protection-A comparison of blood and asanguinous cardioplegia.* *Ann Thorac Surg* 39:125-133, 1985.
  26. Mammana RB, Levitsky S, Beckmann CB, Vasu A, Sernaque D: *systemic effects of multidose hypothermic potassium cardioplegia.* *Ann Thorac Surg* 31:347-349, 1981.
  27. Breckenridge IM, Deverall PB, Kirklin JW, Digerness SB: *Potassium intake and balance after open intracardiac operations.* *J Thorac Cardiovasc Surg* 63:305-310, 1972.