

체외순환 전후의 혈청 및 소변 칼륨의 변화

조 창 훈* · 최 세 영* · 박 창 권* · 이 광 숙* · 유 영 선*

—Abstract—

Serum and Urine Potassium Changes during, and after Extracorporeal Circulation in Open Heart Surgery

Chang Hoon Jo, M.D.*, Sae Young Choi, M.D.*, Chang Kwon Park, M.D.*,
Kwang Sook Lee, M.D.*, Young Sun Yoo, M.D.*

The alterations in serum and urine potassium were studied in twenty two patients who underwent open heart surgery using extracorporeal circulation from June 1990 to August 1990 at the Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, School of Medicine, Keimyung University.

There were fifteen cases congenital heart disease and seven acquired heart disease. The serum and urine potassium levels were measured pre-, intra- and postoperatively until seventh postoperative day using ionic selective electrode measuring method.

After general anesthesia, the serum potassium level decreased significantly but slowly increased during cardiopulmonary bypass and returned preoperative level after operation.

The urine potassium level decreased slowly from general anesthesia to cardiopulmonary bypass weaning but returned preoperative level following operation.

During cardiopulmonary bypass, serum and urine potassium levels in diuretic group were lower than that of non diuretic group.

There was no remarkable difference in the serum potassium level between single RA cannulation group and bicaval cannulation group preoperatively, but the serum potassium level in single RA cannulation group was much higher than that of bicaval cannulation group.

There was no significant difference in the urine potassium level between single RA cannulation group and bicaval cannulation group postoperatively.

*본 논문은 1991년도 계명대학교 응급연구비 및 동산의료원 조사연구비 보조로 이루어졌음.

*계명대학교 의과대학 흉부외과학교실

*Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Keimyung University, School of Medicine, Taegu, Korea

서 론

심폐기를 이용한 개심술이 보편화됨에 따라 체외순환과 개심술에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 심폐기를 이용한 체외순환 중에 발생하는 혈액손상 및 전해질의 변화는 술중 및 술후 부정맥의 발생과 각종 합병증을 초래할 수 있으므로 이를 잘 인지하고 적절한 처치를 하는 것이 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 개심술시 혈청과 소변 칼륨치의 변화추이를 알고자 하였으며 줄전 이노제 투여군과 비투여군으로 나누어 비교 관찰하였고 또 bicaval cannulation군과 single RA cannulation군에서 심정지액이 혈청 및 소변 칼륨치에 미치는 영향을 비교 관찰하였다.

관찰대상 및 방법

관찰대상은 본 계명대학교 의과대학 흉부외과학교실에서 1990년 6월부터 1990년 8월까지 2개월간 체외순환을 이용하여 개심술을 시행한 22명의 심장병 환자로 하였다(Table 1).

Table 1. Clinical data 22 patients undergoing open heart surgery

Sex	
Male	10
Female	12
Age(yr.)	20.1(9mo-60yr)
Weight(kg.)	29.5(7.8-60)
Surface area(Sq. M.)	0.99((0.42-1.65)
Congenital heart disease	15
Acquired heart disease	7
Total pump time(min)	92.9(35-147)
Aortic cross clamp time(min)	56.6(20-110)

이중에 15명은 선천성 심장병 환자였으며 7명은 후천성 심장병 환자였다. 환자는 남자가 10명, 여자가 12명이었고 연령분포는 9개월에서 60세까지로 평균연령은 20.1세였다. 관류시간은 최단 35분에서 최장 147분으로 평균 92.9분이었으며 대동맥 차단시간은 최단 20분에서 최장 110분으로 평균 56.6분이었다(Table 2).

심폐기는 Polystan제의 roller pump와 산화기로는 Shiley사의 기포형 산화기나 COBE사의 막형 산화기

Table 2. Operative procedure in 22 patients

Congenital		
VSD	closure	8
ASD	closure	2
TOF	Total repair	2
PAVSD	repair	1
AS	membrane excision	1
MR	MV repair	1
Acquired		
MVR		4
AVR		1
DVR		2

Table 3. Cardiopulmonary bypass

Pump	Polystan Verticlude Blood Pump
Oxygenator	Bubble type(Shiely) Membrane type(COBE)
Hemodilution	Hct 25-30%
Pump flow	2.4L/min/M
Cannulation	
Arterial	Ascending aorta
Venous	Bicaval

Table 4. Composition of priming solution

ACD blood
Heparin
Sodium bicarbonate(5%)
CaCl ₂ (3%)
Vitamine C
50% D/W Solution
Hartmann's solution
Antibiotics

를 사용하였다(Table 3).

후천성 심장병환자 7명에서는 술전에 디곡신과 라식스를 사용하였으며 수술 24-48시간 전에 투약을 중지하였고 이노제 사용군에서 특별히 술전에 칼륨을 보충하지는 않았다.

심폐기 충전은 하트만 용액을 이용한 혈액희석 충전법을 사용하였다(Table 4).

심근보호법으로는 중등도 저체온법과 국소냉각을 병용하였으며 대동맥 차단시에는 심정지액(중외제약 심정지액 1호)을 처음에는 20ml/kg, 이후 매 20분마다 10ml/kg로 주입하였다(Table 5).

관찰방법은 수술전날 혈청 칼륨치와 소변 칼륨치를 측정하였고, 또 24시간 뇨량을 측정하였다. 수술당일

에는 마취유도후, 체외순환 시작후 10분, 40분, 70분, 체외순환 종료후 10분 그리고 수술직후에 혈청 칼륨치와 소변 칼륨치를 측정하였다. 다음은 수술후 1일, 2일, 3일, 7일째 혈청 칼륨치와 소변 칼륨치를 측정하였으며, 24시간 뇨량도 동시에 측정하였다. 측정방법은 BECKMAN사의 ASTRA-8기종을 이용한 ionic selective electrode measuring method를 이용하였다(Table 6).

Table 5. Cardioplegic solution

Sodium chloride	109.95mEq /L
Potassium chloride	16.01mEq /L
Calcium chloride	1.93mEq /L
Magnesium chloride	39.19mEq /L

Initial dose : 20ml /kg

Additional dose(every 20min) : 10ml /kg

Table 6. Measurement

ASTRA-8(BECKMAN)
Ionic selective electrode measuring method

결 과

체외순환을 이용한 개심술 환자에서 술전, 체외순환 중 그리고 술후의 혈청 및 소변 칼륨치의 변화를 관찰한 성적은 다음과 같다.

1) 혈청 칼륨치의 변화

술전 혈청 칼륨치는 $4.19 \pm 0.3 \text{mEq/L}$ 로 정상범위였으며 마취유도 후에는 $3.37 \pm 0.63 \text{mEq/L}$ 로 현저하게 감소됨을 보여주었다. 체외순환중 10분, 40분, 70분치가 각각 $3.30 \pm 0.69 \text{mEq/L}$ 로 다시 감소되었으며 수술종료시에는 $3.67 \pm 0.62 \text{mEq/L}$ 였다. 이후 차츰 증가하여 수술후 7일째에는 정상범위인 $4.15 \pm 0.36 \text{mEq/L}$ 로 되돌아왔다(Fig 1).

수술중 첨가한 칼륨의 양은 평균 11.84mEq/M^2 였으며 사용한 심정지액의 칼륨의 농도는 16mEq/L 로 이 심정지액을 평균 777.1ml/M^2 사용하였다.

2) 소변 칼륨치의 변화

수술전날 소변칼륨치는 $35.08 \pm 28.3 \text{mEq/L}$ 였으며 마취유도후 체외순환 전에는 $30.99 \pm 23.50 \text{mEq/L}$ 였

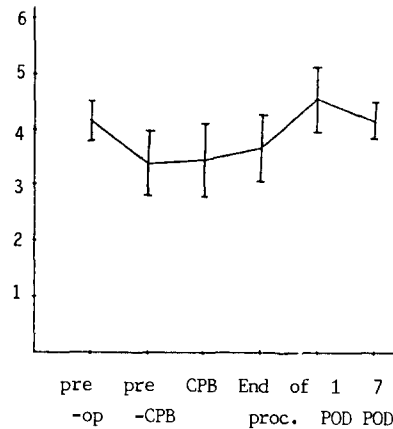


Fig. 1. Mean serum potassium levels at various intervals.

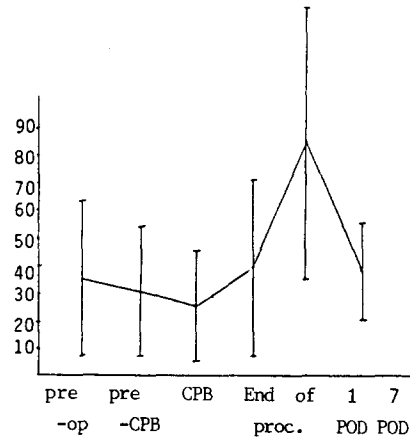


Fig. 2. Mean urine potassium levels at various intervals.

다. 체외순환중 10분, 40분, 70분치가 각각 $37.1 \pm 35.6 \text{mEq/L}$, $24.58 \pm 18.03 \text{mEq/L}$, $12.48 \pm 7.0 \text{mEq/L}$ 로 점차 감소하는 경향을 보였으며 수술종료시에는 $39.15 \pm 32 \text{mEq/L}$ 로 수술전과 유사한 농도를 보이다가 수술후 1일째 $85.45 \pm 49.28 \text{mEq/L}$ 로 가장 높은 수치를 보였으며 수술후 7일째 $38.66 \pm 17.44 \text{mEq/L}$ 로 되었다(Fig. 2).

3) 이노제 투여군과 비투여군의 비교

이노제 투여군에서의 술전 혈청 칼륨치는 $4.08 \pm 0.36 \text{mEq/L}$ 로 비투여군에서의 $4.23 \pm 0.27 \text{mEq/L}$ 보다 낮았으며 체외순환 중에도 이노제 투여군에서 비투여군보다 전반적으로 낮았다. 수술종료시 측정된 혈청

칼륨치는 이노제 투여군에서 $3.17 \pm 0.41 \text{mEq/L}$ 로 비투여군의 $3.86 \pm 0.56 \text{mEq/L}$ 보다 유의하게 낮은 수치를 보여주었다($p < 0.05$).

술후 1일, 2일, 3일, 7일째에는 양군에서 혈청 칼륨치의 유의한 차이는 없었다(Fig. 3).

이노제 투여군과 비투여군의 소변 칼륨치를 비교해 보면 이노제 투여군에서 비투여군보다 전반적으로 낮은 수치를 보였으나 통계학적 유의성은 없었다(Fig. 4).

이노제 투여군과 비투여군 사이의 소변양을 비교하여 보면 비투여군에서 술전, 체외순환중, 술후 1일, 2

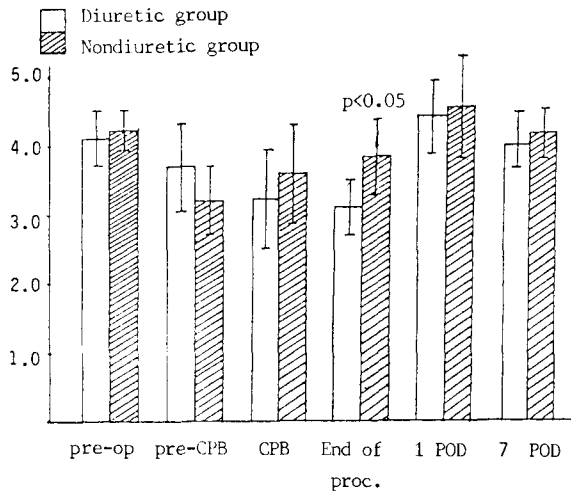


Fig. 3. Serum potassium levels (mean ± standard deviation)

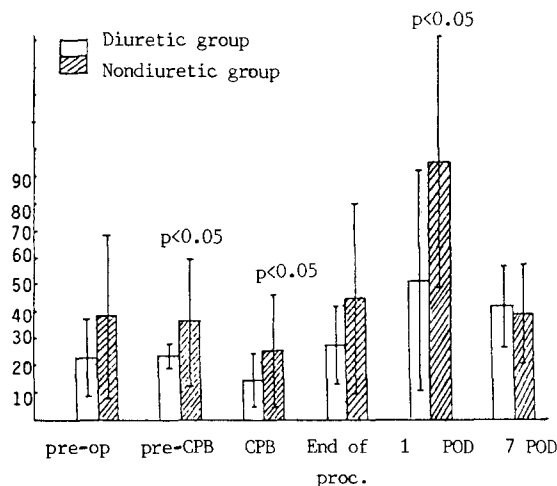


Fig. 4. Urine potassium levels (mean ± standard deviation)

일, 3일, 7일 각각 $469.26 \pm 183.21 \text{ml/M}^2$, $451.49 \pm 281.30 \text{ml/M}^2$, $1216.98 \pm 327.31 \text{ml/M}^2$, $963.31 \pm 228.38 \text{ml/M}^2$, $767.29 \pm 158.31 \text{ml/M}^2$, $722.91 \pm 133.38 \text{ml/M}^2$ 의 평균 소변량을 보였으며 이노제 투여군에서는 $732.81 \pm 223.45 \text{ml/M}^2$, $725.03 \pm 272.01 \text{ml/M}^2$, $725.03 \pm 196.28 \text{ml/M}^2$, $1,231.30 \pm 93.27 \text{ml/M}^2$, $1,455.58 \pm 408.32 \text{ml/M}^2$, $1,297.98 \pm 318.82 \text{ml/M}^2$, $854.30 \pm 252.23 \text{ml/M}^2$ 로 비투여군보다 많은 소변량을 보였다.

4) 심장지역이 혈청 및 소변 칼륨치에 미치는 영향

심장지역을 순환에 유입시킨 single RA cannulation군과 우심방 절개를 통해 심장지역을 제거한 bicaval cannulation군 사이에 술전 혈청 칼륨치의 유의한 차이는 없었으나 체외순환후 측정된 혈청 칼륨치는 single RA cannulation군에서의 $3.15 \pm 0.72 \text{mEq/L}$ 로 bicaval cannulation군에서의 $3.00 \pm 0.72 \text{mEq/L}$ 보다 유의하게 높은 수치를 보여주었으나($p < 0.05$) 수술종료후에는 오히려 single RA cannulation군에서 bicaval cannulation보다 유의하게 낮은 수치를 보여 주었다($p < 0.05$) (Fig. 5).

또한 single RA cannulation군과 bicaval cannulation군 사이에 소변 칼륨치를 보면 전반적으로 bicaval cannulation군에서 single RA cannulation군보다 높은 수치를 보여주었다(Fig. 6).

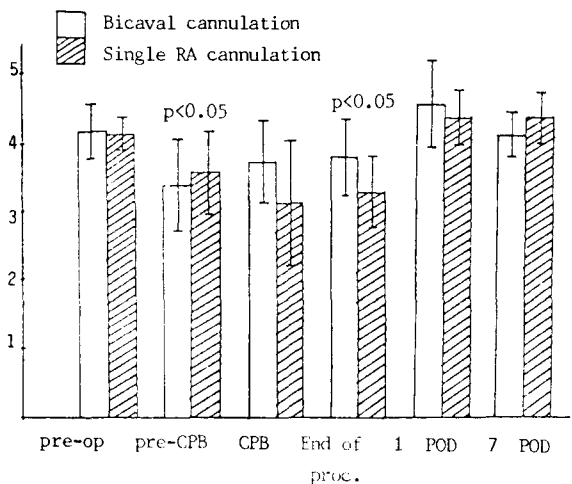


Fig. 5. Serum potassium levels (mean ± standard deviation)

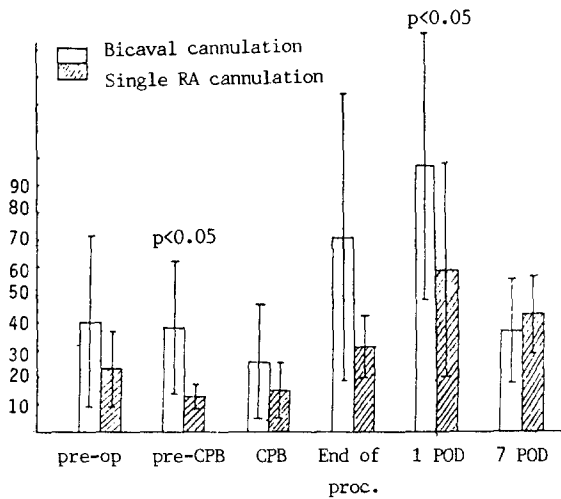


Fig. 6. Urine potassium levels(mean ± standard deviation)

고찰

1954년 Gibbon¹⁾에 의해 처음으로 심폐기를 이용한 개심술이 성공된 이래 체외순환시 발생할 수 있는 저칼륨혈증은 중독한 부정맥을 유발할 수 있으므로 널리 연구되어져 왔고 이를 방지하기 위해 술중, 술후 적정량의 칼륨 보충이 필수적이 되었다.

Dieter²⁾등이 제시한 술후 저칼륨혈증의 원인들을 살펴보면 첫째 술전에 이미 이노제를 장기간 복용한 환자에서는 혈청 칼륨치가 감소되어져 있고, 둘째 술중 aldosterone의 증가로 칼륨의 배설이 촉진되며 셋째 술중 술후 기계호흡으로 인한 호흡성 알칼리혈증으로 칼륨이 세포내로 이동됨으로써 저칼륨혈증을 유발할 수 있으며, 넷째 총진액내 나트륨을 첨가시킴으로써 신장에서 나트륨 재흡수기능이 항진되어 칼륨의 배설을 촉진한다는 것이다.

Lockey등³⁾에 의하면 체외순환중 혈청 칼륨치가 감소하여 칼륨용액을 첨가하더라도 칼륨치가 감소하는 경우가 있다고 하였는데 본 관찰에서는 체외순환시간이 길어질수록 혈청 칼륨의 농도는 증가하는 추세를 보였다.

Babka등⁴⁾에 의하면 체외순환 직전에 칼륨치가 감소하였다가 체외순환 중에는 서서히 증가하며 체외순환 직후에 다시 감소하였다가 술후 24시간이 지나면서 정상으로 환원된다고 하였는데 본 관찰의 결과 술전

혈청 칼륨치는 4.19mEq/L로 정상범위였고 마취유도 후 3.37mEq/L로 감소되었으며 체외순환 중에는 3.30mEq/L, 3.40mEq/L, 3.37mEq/L로 증가하였고 체외순환 직후에 3.04mEq/L로 감소하였다가 수술후 24시간째 4.53mEq/L로 정상으로 환원되었다. 이 결과는 국내 이등⁵⁾의 보고와도 유사하였다.

소변 칼륨의 배설에 영향을 미치는 인자로서는 tubular cell의 칼륨의 양, 소변 나트륨의 배설량, tubular cell의 산성도, mineralocorticoid등의 endocrine facto, phosphate, sulfate, ferrocyanide등의 kaliuretic effect를 가진 anion, 과칼륨 흡수에 따른 신장조절 기능 등이다.

Lockey등³⁾에 의하면 수술시작부터 체외순환이 끝날때까지 소변 칼륨배설은 최저 4mEq/L에서 최고 53mEq/L라고 하였으며 김등⁶⁾은 18.5mEq/L에서 100mEq/L라고 하였는데 본 관찰에서는 최저 6 mEq/L에서 최고 158mEq/L까지 다양한 수치를 나타내었으며 평균 35.4mEq/L였다. Lockey등³⁾에 의하면 또한 소변 칼륨배설은 수술당일 105mEq/L이고 평균 소변량은 1.190ml였고 김등⁶⁾은 수술당일 51.3mEq/L의 소변 칼륨배설과 1.790ml의 소변양을 보고하였는데 본 관찰에서는 수술당일 85.5mEq/L의 소변 칼륨배설과 1.880ml의 소변양을 보였다.

김등⁶⁾은 하트만 용액을 이용한 혈회석법에 의한 체외순환중 소변 칼륨치가 감소하였다가 체외순환 종료시부터 증가하기 시작한다고 하였으며 Moore등⁷⁾은 개심술후 2일에서 5일 사이에 소변 칼륨치가 증가한다고 하였는데 이는 본 관찰에서도 유사한 양상을 보였다.

Davidson등⁸⁾의 보고에 의하면 furosemide를 사용한 심장병 환자에서 total body exchangeable potassium이 5%정도 감소하였으며 심장병 환자들의 체내 칼륨치의 감소는 body cell mass의 감소에 의한 것이지 세포내 칼륨의 감소는 없다고 주장하였고 Dieter 등²⁾에 의하면 이노제 투여군에서 혈청 칼륨치가 더 낮은 값을 나타내었으며 소변 칼륨치의 배설량은 많았다고 하였다.

본 관찰에서도 이노제 투여군에서 비투여군보다 혈청 칼륨치가 낮았으며 소변 칼륨치도 이노제 투여군에서 비투여군보다 낮게 나타났다.

냉각칼륨 심정지액은 저체온법과 더불어 심정지동안 심근보호의 필수적인 요건이다.

Tucker 등⁴⁾에 의하면 심정지액내 칼륨의 농도가 20mEq/L의 고칼륨군과 5mEq/L의 저칼륨군으로 나누어 비교하였을 때 고칼륨군에서 체외순환 종료시 고칼륨혈증 소견을 보일 수 있다고 하였다. 본 관찰에서는 칼륨이 16mEq/L 포함된 심정지액을 사용하였으며 체외순환 종료후 측정된 혈청 칼륨치가 single RA cannulation군에서 bicaval cannulation군보다 유의하게 높은 수치를 보였으나 ($p < 0.05$) 술후에는 유의한 차이는 없었다.

심정지액의 순환유입 여부가 소변 칼륨치에는 영향을 미치지 않았다.

결 론

1) 수술전 혈청 칼륨치는 정상범위였고 마취유도후에는 급격히 감소하였다가 서서히 증가하여 술후 1일째 최고치를 보였으며 술후 7일째 술전과 유사한 수치로 되돌아왔다.

2) 소변 칼륨치는 마취유도후부터 체외순환 종료시까지 점차 감소하는 추세를 보였으며 수술종료시에는 술전과 유사한 수치를 보이다가 술후 1일째 최고치를 보였으며 술후 7일째 술전과 유사한 수치로 되돌아왔다.

3) 술전 이뇨제 투여군에서는 혈청 칼륨치가 비투여군에서 보다 전반적으로 낮은 수치를 보였으나 통계학적 유의성은 없었으며 소변 칼륨치도 이뇨제 투여군에서 비투여군보다 전반적으로 낮은 수치를 보였으나 유의성은 없었다.

4) 술전 single RA cannulation군과 bicaval cannulation군에서 혈청 칼륨치의 차이는 없었으나 체외순환후 측정된 혈청 칼륨치는 single RA cannulation군에서 bicaval cannulation군보다 유의하게 높은 수치를 보였으며 술후에는 유의한 차이가 없었다.

REFERENCES

1. Kirklin, B. Boyes : *Historical aspect of cardiopulmonary bypass*, *Cardiac Surgery* 1:44, 1986
2. Dieter RA, Nevill WE, piffare R : *serum electrolyte change after cardiopulmonary bypass with Ringer's lactate solution used for hemodilution*. *J Thorac Cardiovasc Surg* 59 : 168-177, 1970
3. Eunice Lockey, Longmore DB, Ross ON, Sturridge MF : *potassium and open heart surgery*. *Lancet* 7439 : 671-675, 1966
4. 이홍섭, 김종환, 유희성 : 개심술시의 포타시움 변화. 대한 흉부외과학회잡지 1978 ; 11 : 296-302.
5. 김 윤, 조범구, 홍승록 : 체외순환 전후의 혈중 및 소변에서의 potassium 변화에 관한 관찰, 대한흉부외과학잡지 11 : 296-302, 1978
6. Moore FD, Boiling EA, Ditmore HB, Sicular JE, Tetrick AE, Ellison SJ, Ball MR : *body sodium and, V. the relationship of alkalosis, potassium deficiency and surgical stress to acute hypokalemia in man*. *Metabolism* 4 : 379-390, 1955
7. Vasko KA, Kewall RA, Reily AM : *Hypokalemia*. *The annals of Thoracic Surgery* 15 : 847, 1973
8. Davidson C, Burkinshaw L, Mclachlan MSF, Morgan DB : *Effect of long term diuretic treatment on body potassium in heart disease*. *Lancet* 1044, 1976
9. William Y. Tucker, Robert J. Ellis, Dennis T. Mangano : *Questionable importance of high potassium concentrations in cardioplegic solutions*. *J Thorac Cardiovasc Surg* 77 : 183-190, 1979
10. Robert JF, W. Glenn Young : *The metabolic effect of mechanical ventilation and respiratory alkalosis in postoperative patient*. *Surgery* 56 : 36-43. 1964