

간헐적 전방온혈심정지액에서 희석되지 않은 고농도 포타슘의 사용

김정택* · 백완기* · 손국희* · 김영삼* · 윤용한* · 김혜숙* · 임현경* · 이춘수* · 김광호*

Use of Undiluted Potassium Solution in Intermittent Antegrade Warm Blood Cardioplegia (IAWBC)

Joung Taek Kim, M.D.*, Wan Ki Baek, M.D.*, Kuk Hee Son, M.D.*, Young Sam Kim, M.D.*
Yong Han Yoon, M.D.*, Hae Sook Kim, R.N.*, Hyun Kyoung Lim, M.D.*
Choon Soo Lee, M.D.*, Kwang Ho Kim, M.D.*

Background: Dilution of blood cardioplegia is not needed in IAWBC as it is in cold blood cardioplegia because it does not aggregate red blood cells on normal body temperature and does not compromise micro coronary circulation. This study was designed to evaluate the safety and efficacy of undiluted potassium solution in IAWBC. **Material and Method:** Thirty patients who underwent CABG with IAWBC were grouped into dilutedplegia (n=14) and microplegia (n=16). Potassium was delivered conventionally with 4 : 1 delivery kit in the dilutedplegia group. The undiluted potassium was directly connected on the blood of oxygenator in the microplegia group. **Result:** There were no differences in sex, age, left ventricular ejection fraction, number of grafts, aortic cross clamping time, and the value of perioperative myocardial enzyme between the two groups. There were no perioperative myocardial infarction and hospital mortality. The amount of crystalloid cardioplegia was 1346 ± 597 mL in dilutedplegia (mean ± standard deviation, and 28 ± 9 mL in microplegia (p < 0.0001). The hematocrit during cardiopulmonary bypass was 21 ± 4% in dilutedplegia and 24 ± 3% in microplegia (p > 0.05). 11 patients in dilutedplegia received blood transfusion, but 4 patients in microplegia received blood transfusion (p < 0.05). The amount of urine and hemofiltration during the operation were more in dilutedplegia (1250 ± 810 mL, 1689 ± 548 mL) than in microplegia (959 ± 410 mL, 1481 ± 784 mL; p < 0.05). **Conclusion:** The undiluted potassium of IAWBC in CABG operation is a safe, effective technique for myocardial protection to prevent fluid overload, and blood transfusion. There is no need to use the delivery kit.

(Korean J Thorac Cardiovasc Surg 2004;37:660-664)

Key words: 1. Cardioplegia
2. Potassium
3. Heart arrest, induced

서 론

관상동맥우회로 조성수술에서 간헐적전방온혈심정지액 (intermittent antegrade warm blood cardioplegia; IAWBC)은

1990년 중반부터 임상에 도입되어 그 우수한 효과가 입증되었다[1-3]. 냉혈심정지액이 처음 도입되던 때에 저온에서 적혈구의 응집현상을 막고 산화된 혈액의 심근에서의 원활한 미세순환을 위해 혈액과 심정지액을 4 : 1의 비율

*인하대학교 의과대학 흉부외과학교실, 마취과학교실
Department of Thoracic & Cardiovascular Surgery, and Department of Anesthesiology, College of Medicine, Inha University
† 이 논문은 2003년도 추계학회에서 발표된 것임.
논문접수일 : 2004년 4월 21일, 심사통과일 : 2004년 6월 30일
책임저자 : 김정택 (400-103) 인천시 중구 신흥동 3가 7-206, 인하대병원 흉부외과
(Tel) 032-890-2280, (Fax) 032-890-3099, E-mail: jtkim@inha.ac.kr
본 논문의 저작권 및 전자매체의 지적소유권은 대한흉부외과학회에 있다.

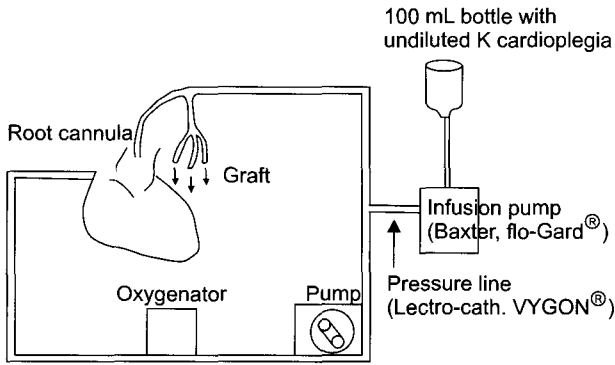


Fig. 1. Microplegia delivery diagram: Blood is taken from oxygenator and injected into aortic root or bypass conduit by a roller pump. The undiluted K⁺ is mixed in the oxygenated blood directly by an infusion pump.

로 희석하도록 하였으며 이를 위한 kit가 개발되어 널리 사용되고 있다. 그러나 온혈심정지술에서는 심폐기에서 정상체온의 산화된 혈액을 직접 이용하기 때문에 심정지액을 냉각하거나 희석할 필요가 없게 되었다. 본 교실에서는 2년 전부터 IAWBC를 적용함으로써 관상동맥우회로 조성수술에서 심폐기 운용이 과거보다 간편하게 되었고 심근보호효과도 만족스러운 결과를 보였다. 이 연구에서는 간헐적 전방온혈심정지술에서 delivery kit와 가온기 없이 희석되지 않은 고농도 포타슘을 직접 산화된 혈액에 연결하여 심정지액을 주입함으로써 심근보호효과를 비교해 보려고 한다.

대상 및 방법

2002년 1월부터 약 1년 6개월 동안 관상동맥우회로 조성수술을 받은 환자 중 간헐적 전방온혈심정지술(IAWBC)을 이용한 환자 30명을 대상으로 하였다. 1 : 4로 희석된 온혈심정지액을 사용한 군을 dilutedplegia군으로 하고 희석되지 않은 포타슘을 사용한 군을 microplegia군으로 하였다. IAWBC를 운용하는 방법은 전에 언급한 방법과 동일하게 하였다[3]. dilutedplegia군의 고농도 심정지액은 plasmalyte 1 L에 KCl 100 mEq, Mg 8 mEq, 5%포도당 25 mL, Nitroglycerin 7.5 mL를 섞었고, 저농도포타슘은 KCl만 30 mEq로 줄이고 4 : 1 delivery kit를 이용하여 상행대동맥 뿌리로 주입하였다. Microplegia군의 고농도 포타슘은 일반적인 고농도 KCl (2 mEq/mL) 원액용액 30 mL (60 mEq)에 Mg 5mL (20 mEq), Nitroglycerin 0.25 mL를 혼합하였으며, 저농도 포타슘은 KCl 40 mL (80 mEq)에 Mg 20 mL

Table 1. Potassium delivery protocol in microplegia

Pump flow (mL/min)	High-potassium cardioplegia infusion rate (mL/hour)	Low-potassium cardioplegia infusion rate (mL/hour)
300	273	48
280	255	45
250	228	40
230	209	37
200	182	32
180	164	29
150	136	24
130	118	21
100	91	16
80	73	13
50	46	8
30	27	4.8

(80 mEq), Nitroglycerin 1 mL를 혼합하여 두 개의 infusion pump (Flo-Gard 6301, Volumetric infusion pump, Baxter, IL, USA)를 이용하여 산소 포화된 혈액에 연결하여 대동맥뿌리로 직접 주입하였다(Fig. 1). 이 경우 관상동맥 협착의 정도에 따라 주입되는 양이 다르기 때문에 최종적으로 적절한 포타슘 농도(고포타슘심정지액; 30 mEq/L, 저포타슘심정지액; 7.5 mEq/L)를 얻기 위해서는 Table 1에서와 같이 산소 포화된 혈액의 pump flow에 따라 infusion pump의 양을 각각 다르게 조절하였다.

결과 분석은 student's t-test와 Mann-Whitney 검정법을 이용하였다.

결 과

Microplegia군이 16명, 대조군인 dilutedplegia군이 14명이었다. Table 2에서 나타난 바와 같이 나이, 성별, 좌심실 구획률에서는 두 군에서 차이가 없었다($p > 0.05$). 이식혈관 수, 대동맥차단시간, 수술 후 심근효소치에서 두 군에서 차이가 없었다($p > 0.05$). 모든 환자에서 수술 후 심근경색과 수술사망은 없었다. dilutedplegia군에서 사용된 crystalloid용액의 양은 1346 ± 597 mL (평균 \pm 표준편차)이었고 microplegia군에서는 28 ± 9 mL이었다. 체외순환 중 적혈구 구획률은 microplegia군에서 $24 \pm 3\%$ 로 dilutedplegia군의 $21 \pm 4\%$ 에 비해 약간 높았으나 통계학적 의미는 없었다($p > 0.05$). 체외순환 중에 수혈을 받은 환자는 microplegia군에

Table 2. Patients profile and clinical results

	Microplegia	Dilutedplegia
No. of patients	16	14
Age (year ± SD*)	59 ± 5	64 ± 9
Male/Female	13/3	5/9
Ejection fraction (%)	57 ± 11	53 ± 13
No. of grafts per patients	3.1 ± 1.1	3.4 ± 0.9
ACC [†] time (min.)	93 ± 38	105 ± 24
CK-MB [‡] peaks (IU/L)	28 ± 12	23 ± 10
Perioperative MI [§]	0	0
Amount of crystallloid cardioplegia (mL)	28 ± 9	1346 ± 597
Hematocrit on bypass (%)	24 ± 3	21 ± 4
Amount of hemofiltration (mL)	959 ± 410	1250 ± 810
Amount of urine (mL)	1481 ± 784	1689 ± 548 [¶]
No. of patients given packed red cells	4	11 [¶]

*Standard deviation; [†]ACC=Aorta cross clamping; [‡]CK-MB=Myocardial specific isoenzyme of creatine kinase; [§]MI=Myocardial infarction; ^{||}=p<0.0001; [¶]=p<0.05.

서 4명인데 비해 dilutedplegia군에서는 11명으로 높았다(p<0.05). 수술 중 환자의 소변량과 hemofiltration한 양에서 microplegia군이 959±410 mL와 1481±784 mL로 dilutedplegia군의 1250±810 mL와 1689±548 mL에 비해 통계학적으로 유의 있게 적었다(p<0.05). 수술 직후 두 군에서 중심정맥압(CVP), 폐동맥쇄기압(PCWP), 전신혈관저항(SVR)을 측정하여 비교하였는데 CVP와 PCWP에서는 두 군에서 차이가 없었으나 수술 직후 6시간대에 microplegia군의 SVR이 dilutedplegia군에 비해 높게 나타났다(Table 3).

고 찰

1991년 Lichtenstein 등[4]이 온혈심장수술을 처음 소개한 이래 우수한 심근보호효과가 보고되었다[1-4]. 온혈 수술의 도입 초기에는 심정지액주입방법으로 과거 Buckberg[5]가 냉혈심정지액을 사용할 때 제안한 방법을 준용하였는데 냉각가열기가 부착된 4 : 1 delivery kit가 이용되었다. 순환계에서 혈류속도를 결정하는 요인으로 혈관의 크기, 압력차, 그리고 혈액의 점도를 들 수 있다[6]. 이 중 혈액의 점도는 온도에 민감한데 온도가 떨어짐에 따라 증가한다[6]. Sakai 등[7]은 낮은 온도에서 관상동맥의 미세순환 중 적혈구의 응집현상을 관찰하였다. 따라서 일반적

Table 3. Postoperative hemodynamic data

	Microplegia	Dilutedplegia	p
CVP 12 h (mmHg)*	9.41 ± 2.54	10.07 ± 0.39	>0.05
CVP 24 h (mmHg) [†]	10.83 ± 2.52	9.42 ± 4.11	>0.05
PCWP 12 h (mmHg) [‡]	12.06 ± 2.27	10.46 ± 2.54	>0.05
PCWP 24 h (mmHg) [§]	14.89 ± 3.66	10.82 ± 3.25	<0.05
SVR 6 h (dynes/sec/cm ⁵)	1582 ± 497	989 ± 247	<0.005
SVR 12 h (dynes/sec/cm ⁵) [¶]	1272 ± 345	980 ± 270	>0.05

*=Central venous pressure after 12 hours postoperatively; [†]=Central venous pressure after 24 hours postoperatively; [‡]=Pulmonary capillary wedge pressure after 12 hours postoperatively; [§]=Pulmonary capillary wedge pressure after 24 hours postoperatively; ^{||}=Systemic vascular resistance after 6 hours postoperatively; [¶]=Systemic vascular resistance after 12 hours postoperatively.

으로 낮은 온도에서는 적혈구의 응집현상을 방지하고 미세순환을 좋게 하기 위해 점도를 낮추어야 하는데 이를 위해 혈액소치를 낮추게 된다. 즉 이러한 이론적 배경 때문에 냉혈 또는 온혈액심정지액에서 혈액과 심정지액을 4 : 1로 희석하여 사용하도록 권장하고 있다. 그리고 냉혈 심정지액에서는 냉각기능도 필수적이기 때문에 별도의 냉각기가 부착된 delivery kit가 필요하였다. 그런데 온혈수술에서는 정상체온으로 심정지액이 공급되기 때문에 혈성심정지액이 희석될 필요도, 냉각할 필요도 없게 된 것이다.

심정지액을 희석하는 또 다른 이유는 희석되는 정질액을 통해 다양한 영양분이나 제제를 공급할 수 있다는 데 있다. 심정지액의 성분 가운데 가장 중요한 것이 전기역학적으로 심근을 이완된 상태로 정지시키는 포타슘이다. 그런데 저자들의 microplegia 기법에서 보듯이 포타슘과 그 외 중요한 마그네슘 등을 희석하지 않고 사용함으로써 심정지액에 필수적인 요소를 공급하는 데에는 큰 지장이 없었다.

1993년 Menasche 등[8]이 처음으로 포타슘 원액을 온혈에 직접 연결하여 사용한 것을 보고하였고 국내에서는 2001년 송현 등[2]에 의해 포타슘만을 이용한 간헐적 온혈액심정지술에 대한 보고가 있었다. 위 두 논문에서는 냉혈심정지액과 온혈심정지액을 비교하여 간헐적전방온혈 심정지술의 우수성을 나타내 보이고자 하였다. 저자들은 냉 온혈에 따른 온도차이라는 변수를 배제하고 간헐적 전방온혈심정지액을 이용할 때 희석된 것과 희석되지 않은

두 군을 비교함으로써 심정지액의 희석이 심근보호나 수술 후 결과에 미치는 영향을 알아보려고 시도하였다.

혈성심정지액의 적절한 혈액소치를 분석한 보고에 따르면 높은 혈액소치(8 gm/dL) 심정지액에서 보다 낮은 혈액소치(5 gm/dL)의 심정지액에서 심근의 산소소모량이 증가됨을 관찰하였다[9]. 이는 IAWBC와 같이 제한적인 산소공급에서 희석되지 않은 산화된 혈성심정지액이 희석된 혈성심정지액에 비해 보다 큰 안전범위를 가짐을 의미한다. 저자들의 결과에서는 혈액소치는 희석하지 않은 군에서 3% 높게 나왔지만 증례가 많지 않았던 영향으로 통계학적인 의의는 없었다고 생각된다. 심근보호효과에서도 두 군이 비슷한 결과를 보여 주었는데 이는 희석을 하고 안 하고가 일반적인 관상동맥 우회로 조성수술의 심근보호에는 큰 영향을 주지 않았기 때문인 것으로 보인다. 그러나 dilutedplegia군에서 평균 1,350 mL의 수액이 더 주입됨으로써 소변양과 혈액여과한 양에서는 차이가 있었다. 수혈을 받은 환자수가 microplegia군에 비해 dilutedplegia군에서 통계학적으로 의의 있게 많았는데 이 또한 혈액희석과 혈액여과한 양과 관련이 있을 것으로 보인다.

희석되지 않은 심정지액의 또 다른 장점으로 Menasche 등[10]은 희석되지 않은 심정지액을 써서 1 L의 수액 과다공급을 하지 않음으로써 수술 후 혈관확장을 방지할 수 있다고 하였다. 저자들의 결과에서는 수술 후 중심정맥압(CVP)과 폐동맥쇄기압(PCWP)에는 차이가 없었으나 수술 6시간 후에 측정된 전신혈관저항(SVR)은 dilutedplegia군에서 떨어지는 양상을 보여 수액과다 공급과 수술 후 혈관저항 사이에 상관관계가 있을 가능성을 보여 주었다.

최근 Off-Pump CABG (OPCAB)의 보급으로 On-Pump CABG는 숫자도 줄고 체외순환에 대한 관심도도 멀어져 가는 느낌이다. 그러나 최근의 보고[10]에서 보듯이 OPCAB과 On-Pump CABG의 비교는 좀더 시간을 두고 지켜보아야 할 것으로 어느 쪽이 우수하다고 하기에는 이른 것 같다. 저자들의 연구가 On-Pump CABG를 함에 있어 심폐기운용을 보다 간편하게 하는 데 기여하기를 바란다.

결 론

관상동맥우회로 조성수술에서 간헐적전방온혈심정지액을

을 사용할 때 희석되지 않은 고농도 포타슘은 fluid overload와 수혈을 줄이고 delivery kit를 사용하지 않음으로써 효과적이고 만족할 만한 심근보호 효과를 보였다.

참 고 문 헌

1. Calafiore AM, Teodori G, Mezzetti A, et al. *Intermittent antegrade blood cardioplegia*. Ann Thorac Surg 1995;59:398-402.
2. Song H, Lim HJ, Yu YG, et al. *The clinical analysis of the intermittent warm blood cardioplegia by admixing potassium only*. Korean J Thorac Cardiovasc Surg 2001;34:224-30.
3. Kim JT, Baek WK, Kim YS, et al. *Use of intermittent antegrade warm blood cardioplegia in CABG*. Korean J Thorac Cardiovasc Surg 2003;36:828-33.
4. Lichtenstein SM, Ashe KA, Dalati HE, et al. *Warm heart surgery*. J Thorac Cardiovasc Surg 1991;101:269-74.
5. Buckberg GD. *Oxygenated cardioplegia: blood is a many splendored thing*. Ann Thorac Surg 1990;50:175-7.
6. Rand WP, Lacombe E, Hunt HE, Austin WH. *Viscosity of normal human blood under normothermic and hypothermic conditions*. J Appl Physiol 1964;19(1):117-22.
7. Sakai A, Miya J, Sohara Y, Maeta H, Oshima N, Hori M. *Role of red blood cells in the coronary microcirculation during cold blood cardioplegia*. Cardiovasc Res 1988;22:62-6.
8. Menasche P, Touchot B, Pradier F, Bloch G, Piwnica A. *Simplified method for delivering normothermic blood cardioplegia*. Ann Thorac Surg 1993;55:177-8.
9. Yau TM, Weisel R, Mickle D, et al. *Optimal delivery of blood cardioplegia*. Circulation 1991;84[suppl III]:380-8.
10. Menasche P, Fleury J, Veyssie L, et al. *Limitation of vasodilation associated with warm heart operation by a mini-cardioplegia delivery technique*. Ann Thorac Surg 1993;56:1148-53.
11. Gerola LR, Buffalo E, Jaskik W, et al. *Off-pump vs. On-pump myocardial revascularization in low-risk patients with one or two vessel disease: perioperative results in a multi-center randomized controlled study*. Ann Thorac Surg 2004;77:569-73.

=국문 초록=

배경: 냉혈심정지액은 저온에서 적혈구응집현상을 방지하고 미세순환을 좋게 하기 위해 심정지액을 4 : 1로 희석하여 사용하도록 권장되었는데 간헐적전방온혈심정액(IAWBC)에서는 심정지액을 냉각하지 않기 때문에 희석할 필요가 없이 고농도 포타슘을 바로 사용할 수 있게 되었다. 본 연구는 IAWBC에서 희석되지 않은 고농도 포타슘 사용의 안전성과 유용성을 알아보려고 한다. **대상 및 방법:** 관상동맥우회로 조성수술을 받은 환자 중 IAWBC를 이용한 환자 30명을 대상으로 하였다. 1 : 4로 희석된 온혈심정지액을 사용한 군을 dilutedplegia군으로 하고 희석되지 않은 포타슘을 사용한 군을 microplegia군으로 하였다. dilutedplegia군의 심정지액은 1 : 4 delivery kit를 이용하여 상행대동맥뿌리에 주입되었고 microplegia군에서는 희석되지 않은 포타슘을 infusion pump를 이용하여 산소포화된 혈액에 직접 연결하여 대동맥뿌리에 주입하였다. **결과:** microplegia군이 16명, 대조군인 dilutedplegia군이 14명으로 나이, 성별, 좌심실 구획률, 이식혈관 수, 대동맥차단시간, 수술 후 심근효소치에서는 두 군에서 차이가 없었다($p > 0.05$). 모든 환자에서 수술 후 심근경색과 수술사망은 없었다. dilutedplegia군에서 사용된 crystalloid심정지액의 양은 1346 ± 597 mL (평균 \pm 표준편차)이었고 microplegia군에서는 28 ± 9 mL이었다. 체외순환 중 적혈구 구획률은 microplegia군에서 $24 \pm 3\%$ 로 dilutedplegia군의 $21 \pm 4\%$ 에 비해 약간 높았으나 통계학적 의의는 없었다. 체외순환 중에 수혈을 받은 환자는 microplegia군에서 4명인데 비해 dilutedplegia군에서는 11명으로 높았다($p < 0.05$). 수술 중 환자의 소변량과 혈액여과한 양에서 microplegia군이 959 ± 410 mL와 1481 ± 784 mL로 dilutedplegia군의 1250 ± 810 mL와 1689 ± 548 mL에 비해 통계학적으로 의의 있게 적었다($p < 0.05$). **결론:** 관상동맥우회로 조성수술에서 전방온혈심정지액을 사용할 때 희석되지 않은 고농도 포타슘은 fluid overload와 수혈을 피하고 delivery kit를 사용하지 않음으로써 효과적이고 만족할 만한 심근보호 효과를 보였다.

중심 단어 : 1. 심정지액
2. 포타슘
3. 심정지