

체외순환 시 뇌 대사에 대한 정상 체온 체외순환과 저 체온 체외순환의 임상적 영향에 관한 비교연구

조 광 현* · 박 경 택* · 김 경 현* · 최 석 철**
최 국 렬*** · 황 윤 호*

=Abstract=

Comparison of Effects of Normothermic and Hypothermic Cardiopulmonary Bypass on Cerebral Metabolism During Cardiac Surgery

Kwang-Hyun Cho, M.D.*, Kyung-Taek Park, M.D.*, Keoung-Heoun Kim, M.D.*,
Seok-Cheol Choi, Ph.D.***, Kook-Lyeol Choi, Ph.D.***, Yoon-Ho Hwang, M.D.*,

Background: Moderate hypothermic cardiopulmonary bypass (CPB) has commonly been used in cardiac surgery. Several cardiac centers recently practice normothermic CPB in cardiac surgery. However, the clinical effect and safety of normothermic CPB on cerebral metabolism are not established and not fully understood. This study was prospectively designed to evaluate the clinical influence of normothermic CPB on brain metabolism and to compare it with that of moderate hypothermic CPB. **Material and Method:** Thirty-six adult patients scheduled for elective cardiac surgery were randomized to receive normothermic (nasopharyngeal temperature $>34.5^{\circ}\text{C}$, $n=18$) or hypothermic (nasopharyngeal temperature $29\sim 30^{\circ}\text{C}$, $n=18$) CPB with nonpulsatile pump. Middle cerebral artery blood flow velocity (VMCA), cerebral arteriovenous oxygen content difference (CAVO₂), cerebral oxygen extraction (COE), modified cerebral metabolic rate for oxygen (MCMRO₂), cerebral oxygen transport (TEO₂), cerebral venous desaturation (oxygen saturation in internal jugular bulb blood $\leq 50\%$), and arterial and internal jugular bulb blood gas analysis were measured during six phases of the operation: Pre-CPB (control), CPB-10 min, Rewarm-1 (nasopharyngeal temperature 34°C in the hypothermic group), Rewarm-2 (nasopharyngeal temperature 37°C in the both groups), CPB-off and Post-CPB (skin closure after CPB-off). Postoperative neuropsychologic complications were observed in all patients. All variables were compared between the two groups. **Result:** VMCA at Rewarm-2 was higher in the hypothermic group ($153.11 \pm 8.98\%$) than in the normothermic group ($131.18 \pm 6.94\%$)

*인제대학교 의과대학 부산 백병원 흉부외과학교실

Department of Thoracic & Cardiovascular Surgery, Pusan Paik Hospital, College of Medicine, Inje University

**부산가톨릭대학교 보건과학대학 임상병리학과

Department of Clinical Laboratory Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan

***인제대학교 데이터 정보학과

Department of Data Science, Inje University

논문접수일 : 2002년 5월 21일 심사통과일 : 2002년 7월 2일

책임저자: 조광현(614-735) 부산광역시 부산진구 개금동 633-135번지, 부산 백병원 흉부외과학교실. (Tel) 051-890-6336, (Fax) 051-896-6801

E-mail : ctsckh@ijnc.inje.ac.kr

본 논문의 저작권 및 전자매체의 지적소유권은 대한흉부외과학회에 있다.

($p < 0.05$). $CAVO_2$ (3.47 ± 0.21 vs 4.28 ± 0.29 mL/dL, $p < 0.05$), COE (0.30 ± 0.02 vs 0.39 ± 0.02 , $p < 0.05$) and $MCMRO_2$ (4.71 ± 0.42 vs 5.36 ± 0.45 , $p < 0.05$) at CPB-10 min were lower in the hypothermic group than in the normothermic group. The hypothermic group had higher TEO_2 than the normothermic group at CPB-10 ($1,527.60 \pm 25.84$ vs $1,368.74 \pm 20.03$, $p < 0.05$), Rewarm-2 ($1,757.50 \pm 32.30$ vs $1,478.60 \pm 27.41$, $p < 0.05$) and Post-CPB ($1,734.37 \pm 41.45$ vs $1,597.68 \pm 27.50$, $p < 0.05$). Internal jugular bulb oxygen tension (40.96 ± 1.16 vs 34.79 ± 2.18 mmHg, $p < 0.05$), saturation (72.63 ± 2.68 vs 64.76 ± 2.49 %, $p < 0.05$) and content (8.08 ± 0.34 vs 6.78 ± 0.43 mL/dL, $p < 0.05$) at CPB-10 were higher in the hypothermic group than in the normothermic group. The hypothermic group had less incidence of postoperative neurologic complication (delirium) than the normothermic group (2 vs 4 patients, $p < 0.05$). Lasting periods of postoperative delirium were shorter in the hypothermic group than in the normothermic group (60 vs 160 hrs, $p < 0.01$). **Conclusion:** These results indicate that normothermic CPB should not be routinely applied in all cardiac surgery, especially advanced age or the clinical situations that require prolonged operative time. Moderate hypothermic CPB may have beneficial influences relatively on brain metabolism and postoperative neuropsychologic outcomes when compared with normothermic CPB.

(Korean J Thorac Cardiovasc Surg 2002;35:420-9)

Key words : 1. Cardiopulmonary bypass
2. Hypothermia
3. Cerebral blood flow velocity
4. Cerebral metabolism.

서 론

체외순환을 이용한 심장수술에 따른 신경학적 합병증 발생은 수술 후 환자의 사망률과 유병률의 중요한 원인으로 인식되고 있다. 심장수술로 인한 신경정신과적 합병증은 수술 후 초기시기에 환자의 약 79 %에서 발생된다고 보고됨으로써 매우 높은 발병률을 보이며, 이들 중 약 40~50 %의 환자에서 인지 가능한 신경과적 장애가 나타난다는 사실은 이 합병증의 심각성을 대변해 주고 있다¹⁾. 뇌는 정상 체온 하에서 허혈성 손상에 민감하지만 저 체온 하에서는 허혈 상황에 대해 정상 체온 상태 보다 내성이 더 강하다. 저 체온은 조직의 대사율과 산소 요구도를 감소시켜 주기 때문에 잠재적 허혈 상황에서 심근과 뇌를 보호하기 위한 수단으로 이용되어 왔다. 따라서, 전통적으로 대부분의 심장수술은 중등도 저 체온($27 \sim 30$ °C) 체외순환을 사용하여 행해져 왔었다. 그러나, 최근 정상 체온 체외순환 기법을 선호하는 연구그룹들은 가온 심정지액 사용과 정상 체온 체외순환이 심근기능을 보다 향상시킨다고 보고하고 있다²⁾. 한편 또 다른 연구그룹들은 정상 체온 체외순환을 실시한 환자들이 저 체온 체외순환을 실시한 환자들 보다 높은 뇌산소 대사율 및 요구도를 나타내며 3 배나 높은 뇌졸중, 수술 후 더 높은 신경학적 기능장애, 장시간의 뇌 정맥혈 산소 불포화도, 그리고 허

혈성 뇌손상의 고 위험 상태에 처할 가능성이 더 높을 수 있다고 보고하였다³⁾. 게다가, 최근 정상 체온 체외순환이 생리적으로 뇌에 스트레스 요인이 될 수 있다는 자료와 함께⁴⁾ 수술 후 뇌졸중 발생률에 대해 저 체온 체외순환과 정상 체온 체외순환 사이에 큰 차이가 없다는 연구보고⁵⁾ 역시 제시된 바 있으므로 이 두 가지 체외순환 방법간의 비교 연구가 절실히 요구된다. 오늘날 심장수술 환자의 고령화와 그 병리적 상태의 중증화 추세를 고려하여, 전향적 연구를 통한 적절한 체외순환 기법의 확립과 적용은 향후 안전한 심장수술과 보다 향상된 수술 후 결과를 위한 선결과제로 생각된다.

본 연구는 심장수술 시 뇌 대사에 대한 저 체온 체외순환과 정상 체온 체외순환의 임상적 영향을 조사하기 위해 전향적으로 실시되었다.

대상 및 방법

1. 연구대상

2001년 1 월부터 2001년 8 월까지 인제대학교 부산백병원 흉부외과에서 체외순환을 이용하여 심장수술을 시행받을 환자들 중 수술 전 신경 및 뇌혈관 질환, 당뇨병 혹은 내경 동맥 협착이나 폐쇄 등의 증세가 있는 환자를 제외한 36 명의 성인 환자들을 연구대상으로 하였다. 연구 목적 상 대상환자들을 무작위로 저 체온 체외순환군(이하 저체온군, $n=18$)과

Table 1. Demographic characteristics in study population

Procedure	Group Normothermic group	Hypothermic group
Patients No.	18	18
Sex(male:female)	8:10	10:8
Age(year)	46.12±4.73	43.34±5.22
Weight(kg)	60.40±3.05	62.26±3.98
BSA(m ²)	1.62±0.05	1.65±0.08
Perfusion rate(L/min/m ²)	2.40±0.0	2.40±0.0
NT(°C)	35.87±0.14	29.18±0.17*
ACT(min)	58.29±8.85	63.94±7.64*
TBT(min)	78.77±10.40	84.44±8.07

Data are expressed as mean ± standard error (SE).

There were no significant difference in the characteristics between the two groups ($p>0.05$) except NC ($*p<0.05$). BSA, body surface area; NT, nasopharyngeal temperature during cardiopulmonary bypass; ACT, aortic cross-clamping time; TBT, total bypass time.

Table 2. Operative procedures of the two groups

Procedure	Group Normothermic group	Hypothermic group
CABG	6	6
MVR	3	4
AVR	1	2
DVR	1	1
LA myxoma	1	0
ASD	3	3
MVR+TVA	1	0
VSD	2	2
Total	18	18

CABG, coronary artery bypass graft; MVR, mitral valve replacement; AVR, aortic valve replacement; DVR, double valve replacement; LA, left atrium; ASD, atrial septal defect; TVA, tricuspid valve annuloplasty; VSD, ventricular septal defect.

정상 체온 체외순환군(이하 정상체온군, n=18)으로 분류하였는데, 기본 변수들은 양 그룹간에 유의한 차이가 없었다 (Table 1, 2).

2. 연구방법

1) 체외순환

체외순환시 인공 심폐기는 비박동성 5-head roller pump (Stockert Co., Germany)를 사용하였다. 모든 환자들에게 동일 회사의 막형 산화기(Baxter Healthcare Co., USA), 동맥혈 필터 그리고 순환회로(GISH Co., USA)를 사용함으로써 연구결과의 오차발생을 최소화 시켰다. 체외순환 회로를 환자의 심장에 연결하기 전 heparin(3 mg/kg)을 투여하여 혈액응고 활성시간이 최소 500초 이상 유지되도록 하였다. 인공 심폐기 충전액으로 Hartmann 용액, 15 % mannitol (6 ml/kg), sodium

bicarbonate (1 meq/kg), calcium chloride (0.6 g), ascorbic acid (1.0 g), 그리고 aprotinin (250 만 IU) 등을 사용하여 적혈구 용적률이 20~25 % 정도 유지되게 하였다. 체외순환 중 적혈구 용적률이 20 %이하로 떨어질 경우 신선 농축 적혈구를 첨가하였다. 체외순환 시작과 함께 저체온군은 비인두 온도가 29~30°C 상태로 되게 하였고 정상체온군은 비인두 온도가 가능한 34.5°C 이하로 떨어지지 않게 열교환 장치로 조절하였다. 양 그룹 모두 비박동성 체외순환을 적용하였고 혈류는 체온에 관계없이 2.4 L/min/m²으로 고정시켰다. 체외순환시 동맥혈액의 산 염기 평형 및 가스는 양 그룹 모두 온도 비보정의 α -stat 방식으로 하되 PaCO₂를 35~40 mmHg 범위로 유지시켰다. 체외순환 중 평균 동맥혈압은 모든 환자에 있어 50~70 mmHg 범위로 가능한 유지하였고, 만일 50 mmHg 이하일 경우 dobutamine을, 그리고 70 mmHg 이상일 경우 sodium-nitroprusside를 각각 투여하여 혈압을 정해진 범위 내로 조절하였다. 체외순환 종료 후 체내 잔여 heparin 중화를 위해 protamine을 수술 전 투여한 heparin 양의 1.5 배로 투여하여 혈액응고 활성시간이 정상치로 회복되게 하였다.

2) 측정변수

(1) 뇌혈류 속도

뇌도플러 장비인 Multi-Dop X4 (DWL Elektronische System GmbH Co., Germany)를 이용하여 2 MHz의 초음파 빔이 발생되는 탐촉자를 좌측 관골궁 위쪽에 장착한 뒤 약 50 mm 깊이로 초음파 빔을 발사시켜 좌측 중대뇌 동맥의 평균 뇌혈류 속도(cm/sec)를 측정하였다(Fig. 1, 2). 뇌혈류 속도는 최소한 세 번을 측정하여 그 평균값을 최종 결과치로 기록하였다. 뇌혈류 속도 측정시기는 체외순환 시작하기 전(기준치, 이하 Pre-CPB), 체외순환 시작 후 10분(비인두 온도 29~30°C 의 안정상태, 이하 CPB-10), 저체온군의 비인두 온도가 34°C 된 시점(이하 Rewarm-1), 양 그룹 모두 비인두 온도가 37°C 된 시점(이하 Rewarm-2), 체외순환 종료 직후(이하 CPB-off), 그리고 흉부 피부부합 시점(이하 Post-CPB) 등이었다. 측정된 뇌혈류 속도는 중대뇌 동맥의 단면 직경의 개인차를 고려하여⁶⁾ 그 절대치(cm/sec)로 표시하지 않고 기준치(Pre-CPB)를 100%로 하여 상대적 변화 값(%)으로 기록한 뒤 양 그룹간에 측정시기별로 비교하였다.

(2) 동맥 혈액 및 뇌 정맥 혈액의 가스분석

요골 동맥으로부터 Pre-CPB, CPB-10, Rewarm-1, Rewarm-2, CPB-off, Post-CPB 시기에 연속적으로 채혈하여 가스분석(pH, PaO₂, PaCO₂, 산소포화도, 산소함량)을 하였다. 뇌정맥 혈액 채취는 내경 정맥구에서 실시하였는데, 마취유도 직후 중심

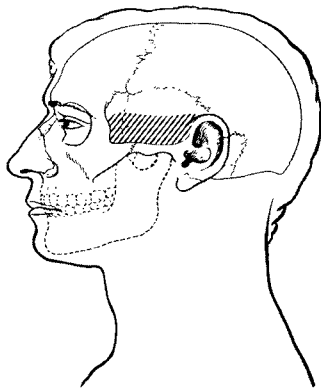


Fig. 1. The transtemporal Doppler windows for insonation of intracranial vessels are located bilaterally above the zygomatic arch.

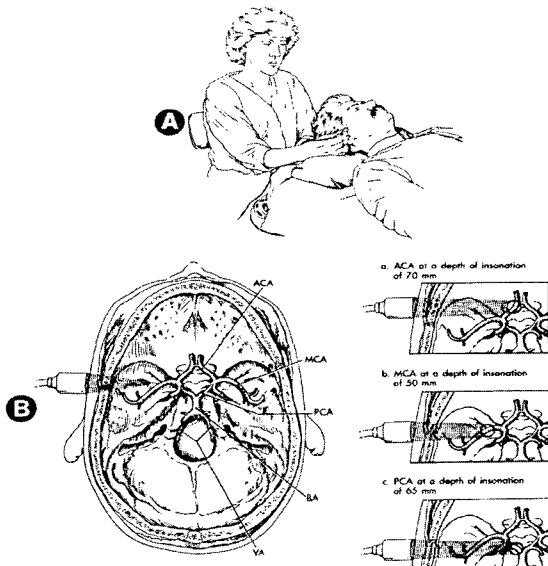


Fig. 2. The transcranial Doppler examination of all vessels except the basilar and vertebral arteries is best conducted in a quiet environment with the patient supine as illustrated in(A). Turning to the lateral position with the head supported on a pillow will permit insonation of the basilar and vertebral arteries. The anatomy of the circle of Willis and direction of the ultrasound beam are shown in(B). ACA, anterior cerebral artery; MCA, middle cerebral artery; PCA, posterior cerebral artery; BA, basilar artery; VA, vertebral artery. Selection of individual vessels for insonation is achieved by changing the depth of insonation through the temporal window(inserts a, b, c).

정맥 카테터(16cm)를 역방향으로 좌측 내경 정맥구까지 약 12~14cm 정도 삽입한 뒤 상기의 여섯 시기 때 채혈하여 가스분석을 하였다. 동맥 및 뇌 정맥 혈액 가스분석결과들을 양 그룹간에 비교하였다.

(3) 뇌동정맥 산소함량 차이

뇌동정맥 혈액 산소함량 차이는 아래의 공식으로 구한 뒤 각 시기별로 그룹간에 비교하였다.

뇌동정맥 산소함량 차이(mL/dL)=동맥혈액 산소함량-내경 정맥구 혈액의 산소함량

(4) 뇌산소 추출률

뇌 산소 추출률은 아래의 공식으로 구한 뒤 각 시기별로 그룹간에 비교하였다.

뇌산소 추출률=뇌동정맥 산소함량 차이 ÷ [(1.39×헤모글로빈×동맥혈 산소포화도)+0.0003×동맥혈산소분압] ×100

(5) 뇌산소 대사율

실제 뇌산소 대사율은 뇌혈류를 알아야 만 계산 가능하지 만 본 연구의 경우 뇌혈류 속도를 측정할 까닭에, Endoh 등⁷⁾이 제안한 수정된 뇌산소 대사율을 아래 공식으로 구한 후 그룹간에 비교하였다.

수정 뇌산소 대사율=(동맥혈 산소함량-내경 정맥구 혈액산소함량) ×%중대뇌 동맥 혈류 속도

(6) 뇌산소 운반율

뇌산소 운반율은 아래의 공식⁸⁾으로 구한 뒤 그룹간에 비교하였다.

뇌산소 운반율=동맥혈 산소함량×뇌혈류 속도

(7) 뇌정맥 혈액 산소 불포화도

검체 측정시기 동안 뇌정맥 혈액 산소 불포화도(내경 정맥구 혈액 산소 포화도≤50%)를 조사하여 그룹간에 비교하였다.

(8) 수술 후 신경학적 합병증

수술 후 신경학적 합병증 발생 정도와 지속 시간을 관찰 하여 그룹간에 비교하였다.

3) 자료분석 및 통계처리

각 그룹내의 연속 측정 변수들(뇌혈류 속도, 동맥혈액 및 정맥혈액 가스분석 결과, 뇌동정맥 산소함량 차이, 뇌산소 추출률, 뇌산소 대사율, 뇌산소 운반율)은 반복 특정 분산분석법으로 분석하였고, 위 모든 변수들의 그룹간 비교는 unpaired t-test를 이용하였다. 뇌정맥 혈액 산소 불포화도와 수술 후 신경학적 합병증 발생정도의 그룹간 비교에는 X2 test를 적용하였다. 자료의 처리는 전문통계 프로그램인 SAS 로 하였고 p≤0.05일 때 통계적 유의성을 인정하였으며 가능한 모든 자료의 값은 평균±표준오차로 표시하였다.

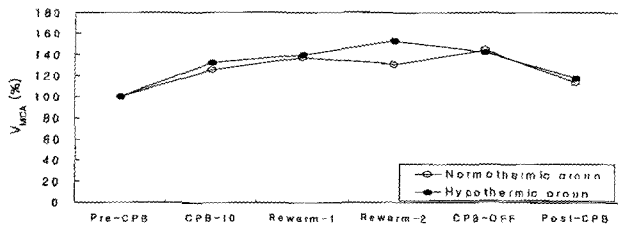


Fig. 3. Relative changes in mean blood flow velocity in the middle cerebral artery (VMCA), expressed as percentage of Pre-CPB values during the operation in the normothermic and hypothermic groups (+ $p < 0.05$ when compared with the each Pre-CPB value). VMCA at the Rewarm-2 was significantly higher in the hypothermic group than in the normothermic group (+ $p < 0.05$ when compared with the normothermic group). CPB-10 = 10 minutes after the start of CPB, a steady-state CPB; Rewarm-1 = at nasopharyngeal temperature of 34°C in the hypothermic group during CPB; Rewarm-2 = at nasopharyngeal temperature of 37°C in the both groups during CPB; Post-CPB = at the skin closure after CPB-OFF.

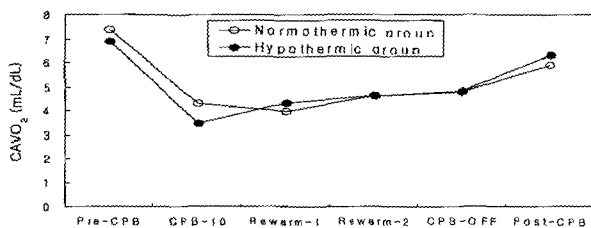


Fig. 4. Cerebral arteriovenous oxygen content difference (CAVO₂) during the six phases of the operation in the normothermic and hypothermic groups (+ $p < 0.001$ when compared with the each Pre-CPB value). CAVO₂ at the CPB-10 was significantly lower in the hypothermic group than in the normothermic group (+ $p < 0.05$ when compared with the normothermic group). CPB-10 = 10 minutes after the start of CPB, a steady-state CPB; Rewarm-1 = at nasopharyngeal temperature of 34°C in the hypothermic group during CPB; Rewarm-2 = at nasopharyngeal temperature of 37°C in the both groups during CPB; Post-CPB = at the skin closure after CPB-OFF.

결 과

1. 뇌혈류 속도

중대뇌 동맥의 평균 뇌혈류 속도는 두 그룹 모두 체외순환 실시 전체시기(CPB-10~CPB-off)에 걸쳐 Pre-CPB(100%)보다 유의하게 증가되었고($p < 0.01$), Post-CPB 때 상대적으로 저하되었긴 하나 여전히 Pre-CPB치 보다 높았다($p < 0.05$). 그룹간의 비교에 있어 저체온군이 정상체온군 보다 Rewarm-2

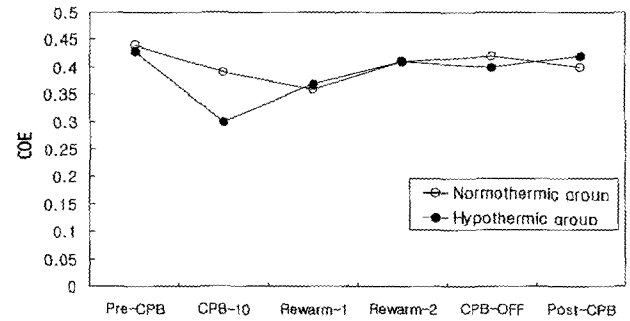


Fig. 5. Cerebral oxygen extraction (COE) during the six phases of the operation in the normothermic and hypothermic groups (+ $p < 0.05$ when compared with the each Pre-CPB value). COE at the CPB-10 was significantly lower in the hypothermic group than in the normothermic group (+ $p < 0.01$ when compared with the normothermic group). CPB-10 = 10 minutes after the start of CPB, a steady-state CPB; Rewarm-1 = at nasopharyngeal temperature of 34°C in the hypothermic group during CPB; Rewarm-2 = at nasopharyngeal temperature of 37°C in the both groups during CPB; Post-CPB = at the skin closure after CPB-OFF.

때(153.11 ± 8.98 vs 131.18 ± 6.94 %, $p < 0.05$) 유의하게 더 높았다(Fig. 3).

2. 뇌동정맥 산소함량 차이

뇌동정맥 산소농도 차이는 두 그룹 모두 체외순환 실시 전체 시기(CPB-10~CPB-off)에 걸쳐 Pre-CPB 보다 유의하게 저하되었다($p < 0.001$ 혹은 0.01). Post-CPB 시기 때에 저체온군은 기준치로 회복되었으나 정상체온군은 여전히 기준치보다 낮았다($p < 0.05$). 그룹간의 비교에 있어 저체온군이 정상체온군 보다 CPB-10 때(3.47 ± 0.21 vs 4.28 ± 0.29 mL/dL, $p < 0.05$) 유의하게 더 낮았다(Fig. 4).

3. 뇌산소 추출률

뇌산소 추출률은 두 그룹 모두 CPB-10과 Rewarm-1 때, Pre-CPB치 보다 유의하게 증가되었을 뿐($p < 0.05$), 나머지 측정시기 때에는 Pre-CPB와 유의한 차이가 없었다. 그룹간의 비교에서는 저체온군이 정상체온군 보다 CPB-10 때(0.30 ± 0.02 vs 0.39 ± 0.02 , $p < 0.05$) 유의하게 더 낮았다(Fig. 5).

4. 수정 뇌대사율

수정 뇌대사율은 Pre-CPB에 비해 저체온군의 경우 CPB-10, Rewarm-1, Rewarm-2 때, 정상체온군의 경우 CPB-10, Rewarm-1, Rewarm-2, Post-CPB 때 각각 유의하게 저하되었다($p < 0.05$). 그룹간의 비교에서 저체온군이 정상체온군 보다 CPB-10 때(4.71 ± 0.42 vs 5.36 ± 0.45 , $p < 0.05$) 유의하게 더 낮았다(Fig. 6).

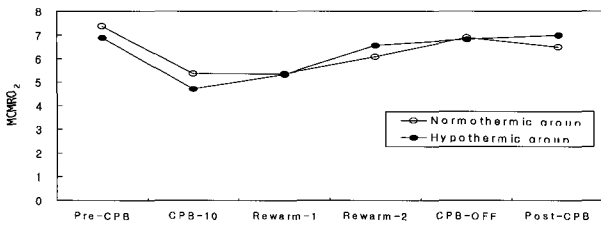


Fig. 6. Modified cerebral metabolic rate for oxygen (MCMRO₂) during the six phases of the operation in the normothermic and hypothermic groups (+ p<0.05 when compared with the each Pre-CPB value). MCMRO₂ at the CPB-10 was significantly lower in the hypothermic group than in the normothermic group (*p<0.05 when compared with the normothermic group). CPB-10 = 10 minutes after the start of CPB, a steady-state CPB; Rewarm-1 = at nasopharyngeal temperature of 34°C in the hypothermic group during CPB; Rewarm-2 = at of nasopharyngeal temperature of 37°C in the both groups during CPB; Post-CPB = at the skin closure after CPB-OFF

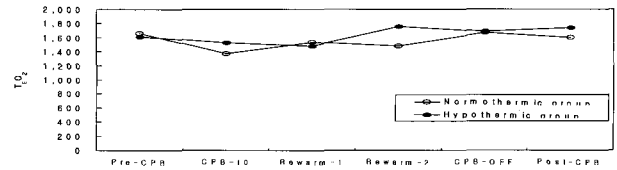


Fig. 7. Cerebral oxygen transport (TEO₂) in the normothermic and hypothermic groups at the six phases of the operation (+ p<0.05 when compared with the each Pre-CPB value). TEO₂ in the hypothermic group were significantly higher at the CPB-10, Rewarm-2 and Post-CPB than those in the normothermic group (*p<0.05 when compared with the normothermic group). CPB-10 = 10 minutes after the start of CPB, a steady-state CPB; Rewarm-1 = at of nasopharyngeal temperature of 34°C in the hypothermic group during CPB; Rewarm-2 = at nasopharyngeal temperature of 37°C in the both groups during CPB; Post-CPB = at the skin closure after CPB-OFF.

5. 뇌산소 운반율

뇌산소 운반율은 Pre-CPB에 비해 정상체온군의 경우 CPB-10, Rewarm-1, 그리고 Rewarm-2 때 저하되었다(p<0.05) 저체온군의 경우 Rewarm-1 때는 Pre-CPB 보다 유의하게 낮았으나, Rewarm-2, CPB-off, 그리고 Post-CPB 때에는 오히려 더 높았다(p<0.05). 그룹간의 비교에서 저체온군이 정상체온군 보다 CPB-10(1,527.60±25.84 vs 1,368.74±20.03, p<0.05), Rewarm-2(1,757.50±32.30 vs 1,478.60±27.41, p<0.05), Post-CPB 때(1,734.37±41.45 vs 1,597.68±27.50, p<0.05) 유의하게 더 높았다(Fig. 7).

6. 동맥혈액 및 뇌 정맥혈액 가스분석

동맥혈의 pH, 산소분압, 이산화탄소 분압, 산소포화도, 그리고 산소함량 등은 그룹간에 유의한 차이가 없었으나 (p>0.05), 내경 정맥구 혈액의 산소분압(40.96±1.16 vs 34.73±8.98 mmHg, p<0.05), 산소포화도(72.63±2.68 vs 64.76±2.49%, p<0.05), 그리고 산소함량(8.08±0.34 vs 6.78±0.43 mL/dL, p<0.05)은 CPB-10 때 저체온군이 정상체온군 보다 유의하게 더 높았다(Table 3).

7. 뇌정맥 혈액 산소불포화도 및 수술 후 섬망 빈도

체외순환 중 뇌정맥 혈액의 산소불포화 현상(산소포화도 ≤50%)을 보인 환자 수는 저체온군과 정상체온군(7명 vs 6명, p>0.05) 사이에 유의한 차이가 없었다. 그러나 수술 후 섬망 증세의 발생 환자 수(2명 vs 4명, p<0.05)와 지속시간

(60 시간 vs 160 시간, p<0.01) 둘 다 저체온군이 정상체온군 보다 유의하게 적거나 짧았다(Table 4).

고찰

심장수술시 전통적으로 많이 이용되고 있는 중등도 저체온(27~30°C) 체외순환은 심장의 저온화를 촉진시키며 잠재적 저관류 및 뇌 허혈 시기 동안 뇌 보호 효과를 함께 제공해 준다. 뇌대사는 전기 생리적 기능과 관련된 부분(60%)과 세포 온전성(cellular integrity) 유지를 위한 부분(40%)으로 나눌 수 있으며 저체온은 이러한 뇌대사 부분 둘 다와 관련된 에너지 사용률을 비례적으로 감소시킨다⁹⁾. 저체온은 체온 1°C 저하 당 뇌산소 대사율을 약 7~10% 감소시켜 허혈에 대한 뇌의 저항성을 연장시켜 주기 때문에 체외순환 동안 뇌 보호의 수단으로 이용되어 왔다. 그러나 1989년, Lichtenstein 등¹⁰⁾은 저체온 심장수술의 대안으로 거의 정상체온에 가까운 체외순환과 37°C의 potassium 심장지액의 사용 기법을 최초로 임상에 적용하였다. 그들은 이 방법이 저체온 기법에 비해 심근 효소치와 저심박출증이 유의하게 낮았고, 자연 심박동 회복률은 보다 높았으며, 30일 동안의 사망률은 두 방법 사이에 유의한 차이가 없었다고 보고하였다. 한편, Martin 등³⁾은 유사한 규모의 임상 연구에서 가온 혈액 심정지 기법이 심근에는 유익함을 제공하나 수술 후 뇌졸중 발생률이 저체온 기법보다 3배나 더 높았다고 보고함으로써 정상체온 심장수술 기법의 안전성에 대한 우려와 논란이 제기되었다.

본 연구자들 역시 이러한 두 가지의 상이한 체외순환 기

Table 3. Comparison of data in blood gas analysis between the two groups

Variable	Normothermic group vs Hypothermic group							
	pH	PaO ₂ (mmHg)	PaCO ₂ (mmHg)	SaO ₂ (%)	CaO ₂ (mL/dL)	PjO ₂ (mmHg)	SjO ₂ (%)	CjO ₂ (mL/dL)
Pre-CPB	7.48 vs 7.46	209.15 vs 225.56	32.21 vs 33.32	99.44 vs 99.74	16.57 vs 16.09	29.92 vs 30.95	57.74 vs 57.62	9.18 vs 9.19
CPB-10	7.47 vs 7.44	214.73 vs 259.06	36.87 vs 38.44	99.28 vs 99.63	10.92 vs 11.55	34.73 vs 40.96*	64.76 vs 72.63*	6.78 vs 8.08*
Rewarm-1	7.45 vs 7.45	192.86 vs 217.39	37.90 vs 35.94	99.41 vs 98.97	11.17 vs 11.84	34.51 vs 35.18	64.33 vs 64.43	7.41 vs 7.49
Rewarm-2	7.46 vs 7.46	170.04 vs 182.14	36.06 vs 35.87	98.99 vs 97.41	11.28 vs 11.48	31.89 vs 31.46	60.18 vs 60.12	6.69 vs 6.86
CPB-OFF	7.48 vs 7.44	182.44 vs 174.72	35.52 vs 35.81	97.57 vs 98.57	11.52 vs 11.82	30.80 vs 32.27	58.58 vs 59.68	6.98 vs 7.01
Post-CPB	7.47 vs 7.44	181.00 vs 151.94	34.48 vs 35.96	98.79 vs 99.14	14.11 vs 14.79	31.24 vs 31.63	59.01 vs 58.01	8.51 vs 8.49

* p<0.05 (when compared with the normothermic group).

PaO₂, arterial blood oxygen tension; PaCO₂, arterial blood carbon dioxide tension; SaO₂, arterial blood oxygen saturation; CaO₂, arterial blood oxygen content; PjO₂, jugular bulb blood oxygen tension; SjO₂, jugular bulb blood oxygen saturation; CjO₂, jugular bulb blood oxygen content.

Table 4. Comparison of cerebral venous blood desaturation and postoperative neurologic complications between the two groups

Variable	Nomothermic group	Hypothermic group
Cerebral desaturation(no)	7	6
Postop-Neurologic Complication(no)	4	2*
Lasting period of PNC(hr)	160	60+

*, p<0.05; +,p<0.05(when compared with the normothermic group). Cerebral desaturation is defined as jugular bulb blood oxygen saturation ≤50%. PNC, postop-neurologic complication.

법이 심장수술시 뇌대사에 과연 어떤 영향을 미치는가를 조사하기 위해 전향적 연구를 시행하게 되었다. 뇌도플러에 의해 측정된 뇌혈류 속도는 재가온-2기 때(양 그룹의 비인두 온도가 37°C되는 시점) 저체온군이 정상체온군 보다 유의하게 더 높음으로써 체온상승에 따른 뇌혈류의 동반적 증가를 잘 보여 주었다. 본 연구에서 뇌 대사를 이해하기 위해 중요한 변수 중 하나로 채택한 뇌도플러 초음파 장치에 의한 뇌혈류 속도의 측정은 임상적으로 매우 유용한 수단으로 인식되어 그 이용이 증가하고 있다. 뇌도플러 초음파는 Aaslid 등¹¹⁾에 의해 임상적 유용성이 증명됨으로써 많은 의학적 연구와 이용이 뒤따랐다. 뇌도플러 초음파 장치의 장점은 비침습적이고 안전하며, 측정방법이 용이하고 연속적으로 실시간대(real-time)의 뇌혈류 속도의 측정이 가능하다는 점이다¹¹⁾. 이에 비해 방사성 동위원소(Xenon-133법)나 고방사선(high radiation; Kety-Schmidt법)을 이용한 기존의 방법들은 뇌혈류의 절대량을 측정할 수 있다는 장점이 있긴 하나, 측정방법이 매우 까다롭고 번거로우며, 노동집약 및 시간 소모적이고

고가이며 침습적 이어서 반복측정이 어렵고 무엇보다도 실시간대의 뇌혈류 측정값이 아니라는 단점들을 가지고 있다. 여러 연구들은 사람이나 동물에 있어 도플러 초음파에 의해 측정된 뇌혈류 속도 변화와 기존방법에 의한 뇌혈류량의 변화 사이에 밀접한 상관관계가 있음을 설명하였다^{12,13)}. 도플러 초음파에 의한 뇌혈류 속도의 측정원리는 관골궁 바로 윗쪽에 탐촉자를 부착하고 2 MHz의 초음파 빔을 약 5cm 깊이 발사하면 중대뇌 동맥 속을 흐르는 적혈구에 반사되어 돌아오는 파가 그래프 및 수치로 나타나며, 측정시기 동안 중대뇌 동맥의 단면적은 유의한 변화없이 일정하게 유지된다는 이론에 근거하고 있다¹⁴⁾. 중대뇌 동맥은 대뇌 반구로 공급하는 혈액량의 약 80 %를 운반해 주는 큰 동맥인 까닭에 일반적으로 중대뇌 동맥의 혈류 속도를 뇌혈류 속도로 인정한다.

본 연구에 있어 체외순환 10분 때 저체온군이 정상체온군보다 뇌동정맥 산소함량차, 뇌산소 추출률, 그리고 뇌산소 대사율이 더 낮았다는 사실은 임상적으로 중요하다. 체외순환은 시작 초기에 전신혈관 저항의 유의한 감소를 일으켜 동반적인 혈압하강을 흔히 초래한다. 이 시기에 있어 이 세 가지 변수들의 상대적으로 낮은 결과는 뇌 생리 관점에서 보다 유리할 것이다. Cook 등⁴⁾은 체외순환 동안 정상체온군이 저체온군보다 뇌동정맥 산소함량차가 더 컸으며 이는 보다 높은 산소소모율을 의미한다고 하였다. 뇌산소 운반율의 경우 저체온군은 재가온-1기 때에만 기준치(Pre-CPB) 보다 유의하게 약간 낮았을 뿐 나머지 시기동안에는 기준치와 비슷하거나 대부분 높았다. 그러나 정상체온군의 경우 CPB-off와 흉부 피부부합기를 제외한 나머지 체외순환 시기 동안 줄곧 기준치 보다 유의하게 낮았으며 그룹간의 비교에서는 체외순환 10 분, 재가온-2기 그리고 흉부 피부부합기의 세 시기 때 저체온군보다 유의하게 더 낮았다. 정상체온군에 있

어 체외순환 동안의 불충분한 뇌산소 운반율은 뇌대사 및 수술 후 신경학적 결과에 부정적 영향을 미칠 수도 있음을 시사하는 바이다. 한편 체외순환 중 뇌 정맥혈(내경 정맥구 혈액)의 산소 불포화 현상을 보인 환자 수는 그룹간에 유의한 차이가 없었으므로 Cook 등⁴⁾이 보고한 연구결과와 차이를 보였다. Cook 등은 체외순환 동안 정상체온군(전체 환자 중 14명)이 저체온군(전체 환자 중 3명) 보다 뇌정맥혈 산소 불포화 현상이 더 많이 일어났다고 보고한 바 있다. 이와 같이 두 연구간의 상이함은 정상 체온 체외순환 실시 방법의 차이에 기인한 듯 하다. 본 연구의 경우 정상체온 체외순환 그룹의 비인두 온도가 34.5°C였으나, Cook 등의 경우 37°C로 지속적인 재가온을 실시한 것으로 보인다. 따라서 체온을 37°C를 유지하기 위한 지속적인 가온이 뇌정맥혈 산소불포화 현상을 더욱 심화시킨 것으로 판단된다. 본 연구자들이 이와 같이 정상 체온군의 체온을 37°C로 고정시키지 않은 까닭은 지속적 재가온으로 인해 혹시 발생할 수 있는 임상적 유해 효과를 염려했기 때문이었다. 만일 저자들 역시 정상 체온 체외순환시 지속적으로 재가온을 했다면 어쩌면 Cook 등과 비슷한 결과를 관찰할 수 있었을런지도 모른다. 체외순환 중 재가온은 뇌 정맥혈액의 산소불포화 현상을 일으키며 이 현상은 뇌산소 공급과 요구도 사이의 불균형을 반영하고 일시적 뇌허혈 상태를 의미할 수도 있다. 체외순환 동안 내경 정맥구 산소불포화 현상을 보인 환자들일수록 수술 후 신경학적 합병증 발생의 가능성이 높다고 한다¹⁵⁾. 심장수술에 따른 수술 후 신경학적 장애의 중요한 요인으로 뇌기포색전증과 부적절한 뇌관류를 들고 있는데, 대부분의 뇌기포색전증은 체외순환의 시작 초기에 발생하는 것으로 알려져 있다¹⁶⁾. 저체온은 조직의 산소 요구도를 낮추어 준다는 장점 외에 가스 기포의 크기를 감소시켜주고 가스의 용해도를 증가시켜 준다는 장점 역시 가지고 있다. Cook 등¹⁷⁾의 최근 연구보고에 의하면 정상체온이 저체온 보다 뇌 및 안구의 공기색전증을 더 높은 비율로 발생시켰다고 한다. 이와 같은 사실들은 저 체온 체외순환의 임상적 유용성을 뒷받침하는 근거가 될 것이다.

한편, 정상 체온 체외순환을 주장하는 McLean 등¹⁾, Singh 등²⁾, Warm Heart Investigators³⁾의 그룹들은 신경학적 결과에 대해 정상 체온 체외순환과 저 체온 체외순환 사이에 유의한 차이가 없었다고 보고하고 있다. 그러나 본 연구의 경우 수술 후 신경학적 합병증(섬망증세)을 보인 환자 수는 정상 체온군(4명)이 저체온군(2명)보다 유의하게 많았으며 그 지속시간 역시 훨씬 길었다(160시간 vs 60시간). 따라서 본 저자들의 연구결과는 Martin 등³⁾의 결과와 일치되는 면이 있었다. McLean 등¹⁾은 그들 연구와 Martin 등³⁾의 연구 사이에 몇 가지 차이점이 있었음을 지적하였다: ① Martin 등의 연구에

있어 가온 심정지액 사용군이 냉각 심정지액 사용군 보다 글루코스 농도가 높은 점 ② 정상 체온 체외순환 동안 관류 온도가 자신들과 차이가 있었다는 점 ③ 가온 심정지액의 주입방법에 차이가 있었다는 점.

본 연구의 경우 전체 대상환자들에 대해 동일하게 냉각 혈액 심정지액을 사용하였다. 그리고 체외순환 중 관류지수는 그룹에 관계없이 2.4 L/min/m²로 고정하였고 동맥혈의 이산화탄소 분압(35~38 mmHg)과 산소분압(200 mmHg 전후) 역시 그룹간에 차이가 없도록 신중하게 조절해 주었으며, 혈압은 50~70 mmHg 범위로 유지되도록 하였다. 또한 산화기 총전액 역시 냉동 혈장 이나 포도당 용액과 같은 글루코스 함량이 높은 용액은 사용하지 않았다. 그러나, McLean 등³⁾을 포함한 여러 연구그룹들의 경우 체외순환시 관류량은 정상 온도에서 2.4 L/min/m², 저 체온에서 1.8 L/min/m²로 유지하였고 동맥혈의 산소 분압과 이산화탄소 분압은 단지 α -stat로만 조절한다고 했을 뿐 정확한 범위를 제시하지 않았고 혈압 역시 50~90 mmHg의 넓은 범위로 유지하였다. 여러 변수들에 있어 이러한 차이들이 연구결과간의 상이함을 가져다 주었을런지 모른다. 특히 체외순환 중 동맥 혈액의 이산화탄소 분압 레벨은 뇌 대사에 영향을 미치는 대단히 중요한 변수이다.

과거의 여러 연구들은 저체온 기법이 허혈상태 동안 세포 외액의 glutamate 농도 증가를 억제하고 도파민의 방출을 감소시키며 calcium/calmodulin-dependent protein kinase II 및 protein kinase C의 활성화를 억제시키고 ubiquitin 합성을 보전해 준다고 보고하였다¹⁸⁻²⁰⁾. Glutamate는 신경세포 독성을 가진 세포 외액성 아미노산 물질이고 도파민 역시 신경세포 외액성 카테콜아민으로서 허혈성 뇌손상과 관련된 중요한 인자이다. Calcium/calmodulin-dependent protein kinase II, protein kinase C, 그리고 ubiquitin 등은 신경세포 내 매개체들이다. 결국 저체온 기법은 뇌대사의 억제뿐만 아니라 세포 외 및 세포내적 기전들을 통해 뇌의 허혈 저항성을 가져다 주는 것으로 생각된다¹⁾. 게다가, 보체 활성화에 대한 온도의 영향은 체외순환 동안 일어나는 뇌미세색전증에 영향을 줄 수 있다²¹⁾. 보체 활성화의 산물인 C5a-desArg는 과립 백혈구의 활성화 및 응집을 유도하며, 이렇게 활성화된 백혈구는 뇌, 폐, 간, 췌장 등의 혈관계에 축적되어 수술 후 중추 장기 기능장애를 유발한다^{22,23)}. 체외순환 동안 보편적으로 이용되는 저체온(25~30°C)은 보체 활성화와 호중구의 세포성 반응을 감소시켜 준다²⁴⁾. 심장질환과 함께 뇌 혈관 문제나 당뇨병이 있을 경우, 정상체온 체외순환의 적용은 잠재적 위험이 뒤따를런지 모른다. 특히 뇌허혈 상황에 있어 고혈당증의 유해한 효과가 보고된 바 있으며²⁵⁾ 체외순환 동안 뇌 온도의 지속적인 정상 상태 유지는 더 많은 젖산의 생성을 초래해서 뇌 대

사 및 수술 후 신경학적 결과에 유해한 영향을 미칠 수도 있다.

이상의 연구결과와 저 체온 체외순환에 대한 기존의 축적된 연구자료들을 종합해 볼 때 뇌대사 및 수술 후 신경학적 결과에 경도 혹은 중등도 저 체온 체외순환이 보다 유리할 것 같으며 정상 체온 체외순환을 보편적 임상기법으로 채택하기에는 다소 문제가 있을 것 같다. 따라서 심장수술시 가온 심장지액을 사용하더라도 체외순환은 저 체온 기법을 이용하는 것이 보다 바람직할 것으로 판단된다.

결론

저자들은 심장수술시 뇌 대사에 대한 저 체온 체외순환과 정상 체온 체외순환의 임상적 효과를 조사하기 위해 실시한 전향적 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 저 체온 체외순환은 정상 체온 체외순환 보다 체외순환 초기에 뇌동정맥 산소함량차, 뇌산소 추출률, 그리고 뇌대사율을 더 감소시켜 주었다.

둘째, 저 체온 체외순환이 정상 체온 체외순환 보다 심장수술 동안 뇌 산소 운반율이 더 높았다.

셋째, 저 체온 체외순환은 정상 체온 체외순환 보다 수술 후 신경학적 합병증 발생 환자 수와 합병증 지속시간을 상대적으로 감소시켜 주었다.

참고 문헌

- McLean RF, Wong B. Normothermic vs hypothermic cardiopulmonary bypass: Central nervous system outcomes. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1996;10:45-53.
- Singh AK, Feng WC, Bert AA, Rotenberg FA. Warm body, cold heart surgery: clinical experience in 2817 patients. *Eur J Cardiothorac Surg* 1993;7:225-30.
- Martin TD, Craver JM, Gott JP. Prospective, randomized trial of retrograde warm blood cardioplegia: myocardial benefit and neurological threat. *Ann Thorac Surg* 1994;107:1020-9.
- Cook DJ, Oliver WC Jr, Orszulak TA, Daly RC. A prospective, randomized comparison of cerebral venous oxygen saturation during normothermic and hypothermic cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994;107:1020-9.
- The Warm Heart Investigators. Randomized trial of normothermic versus hypothermic coronary bypass surgery. *Lancet* 1994;343:559-63.
- Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. Noninvasive Transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 1982;57:769-74.
- Endoh H, Shimoji K. Changes in blood flow velocity in the middle cerebral artery during nonpulsatile hypothermic cardiopulmonary bypass. *Stroke* 1994;25:403-7.
- Bruder N, Cohen B, Pellissier D and Francois G., The effect of hemodilution on cerebral blood flow velocity in anesthetized patients. *Anesth Analg* 1998;86:320-4.
- Schell RM, Kern FH, Greeley WJ, et al. Cerebral blood flow and metabolism during cardiopulmonary bypass. *Anesth Analg* 1993;76:849-865.
- Lichtenstein SV, EL Dalati H, Panos A. Long cross-clamp time with warm heart surgery. *Lancet* 1989;1:1443.
- Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. Noninvasive Transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 1982;57:769-74.
- Stump DA, Bowton DL, Prough DS, Newman SP, Tegeler CH. Correlation of transcranial Doppler and cerebral blood flow in patients with postdural headaches. *Anesthesiology* 1990;73: A480.
- Van der Linden J, Wesslen O, Ekroth R, Tyden H, von Ahn H. Transcranial Doppler-estimated versus thermodilution-estimated cerebral blood flow during cardiac operations. Influence of temperature and arterial carbon dioxide tension. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1991;102:95-102.
- Toole JF. *Cerebrovascular Disorders*, ed 3. New York, Raven press, 1984, pp 1-18.
- Croughwell ND, Newman MF, Blumenthal JA, et al. Jugular bulb desaturation and cognitive dysfunction after cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg* 1994;58:1702-8.
- Mills SA. Cerebral injury and cardiac operations. *Ann Thorac Surg* 1993;56:S86-91.
- Cook DJ, Plochl W, Orszulak TA. Effect of temperature and PaCO₂ on cerebral embolization during cardiopulmonary bypass in swine. *Ann Thorac Surg* 2000;69:415-20.
- Nachasima K, Todd MM. The effect of hypothermia on the rate of excitatory amino acids release after cerebral ischemia. *Anesthesiology* 1994;81:A815.
- Ishikawa T, Setoyama K, Kawata R. Neuronal protection by mild hypothermia is mediated by inhibition of protein kinase C activation. *Anesthesiology* 1994;81:A855.
- Yamashita K, Eguchi Y, Kajiwara K. Mild hypothermia ameliorates ubiquitin synthase and prevents delayed neuronal death in the gerbil hippocampus. *Stroke* 1991;22:1574-81.
- Uitley JR. Pathophysiology of cardiopulmonary bypass: Current issues. *J Cardiac Surg* 1990;5:177-89.
- Solis RT, Noon GP, Beall AC. Particulate microembolism during cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 1974;17:332-44.
- Patterson RH, Rosenfeld PR, Porro RS. Transitory cerebral microvascular blockade after cardiopulmonary bypass. *Thorax* 1976;31:735-41.
- Moor FD Jr, Warner KG, Assousa S. The effects of complement activation during cardiopulmonary bypass. Attenuation by hypothermia, heparin, hemodilution. *Ann Surg* 1988;208:95-103.
- Toni D, De Michelle M, Fiorelli M. Influence of hyperglycemia on infarct size and clinical outcome of acute ischemic stroke patients with intracranial arterial occlusion. *J Neurol Sci* 1994;123:129-33.

=국문초록=

목적: 심장수술시 체외순환은 저체온 기법으로 실시되지만 최근의 동향은 정상체온 체외순환 기법을 사용하려는 경향이 늘고 있다. 그러나 심장수술 동안 뇌 대사에 대한 정상 체온 체외순환의 임상적 유용성이나 안전성은 아직 완전히 이해되거나 확립되지 않은 상태이다. 저자들은 심장수술 동안 뇌 대사에 대한 정상 체온 체외순환 기법과 중등도 저체온 체외순환 기법의 영향을 비교 평가하기 위해 전향적 연구를 시행하게 되었다. **대상 및 방법:** 36명의 성인 심장수술 환자들은 연구목적에 따라 정상 체온 체외순환군(이하 정상체온군, 비인두 온도>34.5℃, n=18)과 중등도 저 체온 체외순환군(이하 저체온군, 비인두 온도 29~30℃, n=18)으로 한 뒤 비박동성 체외순환을 실시하였다. 전체 환자들에 대해 중대뇌 동맥 뇌혈류 속도(뇌혈류 속도), 뇌동정맥 산소 함량차, 뇌산소 추출률, 수정 뇌산소 대사율, 뇌산소 운반율, 뇌정맥 산소 불포화도(내경 정맥구 혈액 산소포화도≤50%), 기타 동맥 및 내경 정맥구 혈액의 가스분석 등을 체외순환 전(기준치), 체외순환-10분, 재가온-1기(저체온군의 비인두 온도 34℃때), 재가온-2기(양 그룹의 비인두 온도 37℃때), 체외순환 종료 직후, 흉부 피부 봉합기 때 측정하였다. 수술 후 신경학적 합병증 역시 관찰하였으며, 전술한 모든 변수들을 양 그룹간에 비교 분석하였다. **결과:** 뇌혈류 속도는 재가온-2기 때 저체온군(153.11±8.98 %)이 정상체온군(131.18±6.94 %) 보다 유의하게 높았다(p<0.05). 체외순환 10분 때의 뇌동정맥 산소함량차(3.47±0.21 vs 4.28±0.29 mL/dL, p<0.05), 뇌산소 추출률(0.30±0.02 vs 0.39±0.02, p<0.05), 그리고 뇌산소 대사율(4.71±0.42 vs 5.36±0.45, p<0.05)은 저체온군이 정상체온군 보다 유의하게 낮았다. 뇌산소 운반율은 저체온군이 정상체온군 보다 체외순환 10분(1,527.60±25.84 vs 1,368.74±20.03, p<0.05), 재가온-2기(1,757.50±32.30 vs 1,478.60±27.41, p<0.05), 흉부 피부봉합기 때(1,734.37±41.45 vs 1,597.68±27.50, p<0.05) 유의하게 더 높았다. 체외순환 10분 때 내경 정맥구의 산소분압(40.96±1.16 vs 34.79±2.18 mmHg, p<0.05), 산소포화도(72.63±2.68 vs 64.76±2.49 %, p<0.05), 그리고 산소함량(8.08±0.34 vs 6.78±0.43 mL/dL, p<0.05)은 저체온군이 정상체온군 보다 유의하게 더 높았다. 수술 후 신경학적 합병증(섬망) 발생 환자 수는 저체온군이 정상체온군 보다 유의하게 적었고(2명 vs 4명, p<0.05) 섬망중세의 지속시간 역시 저체온군이 정상체온군 보다 훨씬 짧았다(60시간 vs 160시간, p<0.01). **결론:** 이상의 연구 결과들을 볼 때 정상 체온 체외순환 기법은 고령환자나 장시간 수술 환자에 있어 임상적 방법으로 적용하기에 문제가 있을 것 같으며 중등도 저체온 체외순환이 정상 체온 체외순환보다 뇌대사 및 수술 후 신경학적 결과에 더 바람직 할 것으로 판단된다.

- 중심 단어 :**
1. 체외순환
 2. 저체온
 3. 뇌혈류 속도
 4. 뇌대사