

# 체외순환 시 뇌대사에 대한 정상 탄산분압과 고 탄산분압의 임상적 영향에 관한 비교연구

김 성 룡\* · 최 석 철\*\* · 최 국 렬\*\*\* · 박 상 섭\*\*\*\* · 최 강 주\*  
윤 영 철\* · 전 희 재\* · 이 양 행\* · 황 윤 호\* · 조 광 현\*

=Abstract=

## The Clinical Effects of Normocapnia and Hypercapnia on Cerebral Oxygen Metabolism in Cardiopulmonary Bypass

Sung-Ryong Kim, M.D.\*, Seok-Cheol Choi, Ph.D.\*\*\*, Kook-Lyeol Choi, Ph.D.\*\*\*

Sang-Seop Park, M.D.\*\*\*\*, Kang-Joo Choi, M.D.\*, Young-Chul Yoon, M.D.\*,

Hee-Jae Jun, M.D.\*, Yang-Haeng Lee, M.D.\*, Youn-Ho Haung, M.D.\*, Kwang-Hyun Cho, M.D.\*

**Background:** Substantial alterations in cerebral blood flow(CBF) are known to occur during cardiopulmonary bypass(CPB). Many investigators have speculated that these changes may be responsible for both minor and major cerebral damages after CPB. More recently, these changes in CBF have been observed to be intimately related to the arterial carbon dioxide tension(PaCO<sub>2</sub>) maintained during CPB. The present study was prospectively designed to investigate the clinical effects of normocapnic and hypercapnic CPB on the cerebral oxygen metabolism in cardiac surgery. **Material and Method:** Thirty-six adult patients scheduled for elective cardiac surgery were randomized to either normocapnic group (PaCO<sub>2</sub> 35~40 mmHg, n=18) or hypercapnic group(PaCO<sub>2</sub> 45~55 mmHg, n=18) with moderately hypothermic nonpulsatile CPB(nasopharyngeal temperature of 29~30°C). In each patient, middle cerebral artery blood flow velocity(V<sub>MCA</sub>), cerebral arteriovenous oxygen content difference (C(a-v)O<sub>2</sub>), cerebral oxygen extraction(COE), cerebral metabolic rate for oxygen(CMRO<sub>2</sub>), cerebral oxygen transport(T<sub>E</sub>O<sub>2</sub>), T<sub>E</sub>O<sub>2</sub>/CMRO<sub>2</sub> ratio, cerebral desaturation(internal jugular bulb blood oxygen saturation ≤ 50%), and arterial and jugular bulb blood gas were evaluated throughout the operation. Postoperative neuropsychologic complications were assessed in all patients. All variables were compared between the two groups. **Result:** VMCA(169.13 ± 8.32 vs 153.11 ± 8.98%), TEO<sub>2</sub>(1,911.17 ± 250.14 vs 1,757.40 ± 249.56), T<sub>E</sub>O<sub>2</sub>/CMRO<sub>2</sub> ratio(287.38 ± 28.051 vs 246.77 ± 25.84), O<sub>2</sub> tension in internal jugular bulb (41.66 ± 9.19 vs 31.50 ± 6.09

---

\*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

\*\*\*\*울산광역시 동강병원 흉부외과

Department of Thoracic & Cardiovascular Surgery, Dong Kang General Hospital, Ulsan City

논문접수일 : 2002년 5월 30일 심사통과일 : 2002년 9월 27일

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

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

본 논문의 저작권 및 전자매체의 지적소유권은 대한흉부외과학회에 있다.

mmHg), and O<sub>2</sub> saturation in internal jugular bulb(68.97±10.96 vs 58.12±12.11%) during CPB were significantly lower in normocapnic group(p=0.03), whereas hypercapnic group had lower C(a-v)O<sub>2</sub>(3.9±0.3 vs 4.9±0.3 mL/dL), COE(0.3±0.03 vs 0.4±0.03), CMRO<sub>2</sub>(5.8±0.5 vs 6.8±0.6), and arterial blood pH(7.36±0.09 vs 7.46±0.07, p=0.04) during CPB. Hypercapnic group had lower incidence of cerebral desaturation than normocapnic group(3 vs 9 patients, p=0.03). Duration of the neuropsychologic complication(delirium) were shorter in hypercapnic group than in normocapnic group(36 vs 60 hrs, p=0.009). **Conclusion:** These findings suggest that hypercapnic CPB may have salutary effects on the cerebral oxygen metabolism and postoperative neurologic outcomes in cardiac surgery.

(Korean J Thorac Cardiovasc Surg 2002;35:712-23)

**Key words :** 1. Cardiopulmonary bypass  
2. Carbondioxide  
3. Cerebral perfusion  
4. Metabolism

## 서론

체외순환 중 전신 혈류, 체온, 관류압력, 동맥혈액 가스, 헤마토크리트 등의 현저한 변화는 체외 순환사에 의해 인위적으로 조절되고 통제되므로 결코 생리학적으로 완전한 정상 상태라고 할 수 없다. 그 중 가장 큰 관심의 대상 중 하나는 체외순환 동안 이러한 생리적 변화가 뇌에 미치는 영향일 것이다.

여러 연구들은 체외순환을 이용한 심장수술 후 전체 환자들 중 약 12~79%에서 신경정신과적 문제가 일어나며 이들 중 약 2~5%는 명백한 뇌졸중이 일어날 수 있다고 보고하였다<sup>1)</sup>. 대개의 증상은 가벼우며 주로 주의력, 집중력 그리고 기억력 장애와 같은 인지상의 문제가 발생한다. 이와 같은 신경학적 증세는 수술 후 초기 며칠에서부터 1년까지 지속될 수 있으며 심지어 퇴원 후 수년 뒤에 나타날 수도 있다고 한다<sup>2)</sup>. 심장 수술에 따른 신경학적 합병증 발생의 원인은 다원적이긴 하나, 수술시기, 체외순환 중 공기나 입자성 물질에 의한 뇌색전, 그리고 뇌 혈류 자동 조절 기전의 손상 등이 중요한 요인으로 논의되고 있다<sup>3)</sup>. 특히 보다 나이가 많고 임상적으로 중증인 환자들의 경우 심장수술 후 신경학적 합병증 발생의 위험도가 상대적으로 높기 때문에, 연구자들은 신경정신과적 장애로 인한 수술기주위 이환율을 감소시킬 수 있는 여러 가지 방법에 대해 관심을 가지게 되었다. 그러한 방법들 중 체외순환 시 동맥혈액의 산 염기 평형 및 가스 분압의 조절은 특별히 주목할 만 하다. 체외순환은 뇌 혈류의 변화를 유도하며<sup>3)</sup> 이러한 변화는 체외순환 동안 유지되는 동맥혈액의 이산화탄소 분압과 밀접한 연관이 있는 것으로 보고된 바 있기 때문에<sup>4)</sup> 체외순환 시 동맥혈액의 산 염기 평형 및 이산화탄소 분압 조절 방식은 매우 중요하다. 그러

나 체외순환 시 동맥혈 이산화탄소 분압의 적정 유지 범위는 지금까지 많은 논란의 대상이 되어 왔다. 이와 같이 여러 연구결과들의 결과가 일치하지 않는 이유는 연구 접근 방식의 차이나 각 연구에서 채택된 변수들의 종류나 범위의 상이함 혹은 결과에 대한 해석이 서로 달라서일 가능성이 있다. 따라서 심장 수술시 뇌 대사의 변화를 충분히 이해하기 위해서는 몇몇 변수에 의한 제한된 해석보다는 여러 변수들을 통한 다양한 관점에서의 연구 접근과 분석이 바람직할 것이다.

현재 심장 수술 환자의 고령화 추세와 이들 환자군이 뇌혈관 및 신경학적 문제를 함께 내포할 가능성이 높다는 점을 고려해 볼 때, 체외순환 시 이산화탄소 분압이 뇌 대사에 미치는 영향에 관한 전향적 연구가 필요한 실정이다. 본 연구자들은 체외순환 시 이산화탄소 분압의 차이에 따른 뇌 대사의 영향을 규명하기 위해 이 연구를 시행하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구대상

2001년 2월부터 2001년 8월까지 인제대학교 부산백병원 흉부외과에서 체외순환을 이용하여 심장수술을 시행 받은 환자들 중 수술 전 신경 및 뇌혈관 질환, 당뇨병 혹은 내경 동맥 협착이나 폐쇄 등이 합병된 환자를 제외한 36명의 성인 환자들을 연구대상으로 하였다. 연구목적 상 대상환자들을 무작위로 정상 이산화탄소 분압군(이하 정상탄산분압군, n=18)과 고 이산화탄소 분압군(이하 고탄산분압군, n=18)으로 분류하였는데, 기본 변수들은 양 그룹간에 유의한 차이가 없었다(Table 1 & 2).

Table 1. Demographic characteristics in study population

Characteristics	Normocapnic group	Hypercapnic group
No. of patient	18	18
Sex(male / female)	10 / 8	9 / 9
Age(year)	42.72 ± 5.22	44.71 ± 5.64
Weight(kg)	65.40 ± 3.86	64.38 ± 5.18
BSA(m <sup>2</sup> )	1.68 ± 0.10	1.65 ± 0.11
Perfusion rate(L/min/m <sup>2</sup> )	2.40 ± 0.0	2.40 ± 0.0
NT(°C)	29.51 ± 0.16	29.44 ± 0.24
ACT(min)	63.29 ± 7.83	64.47 ± 7.45
TBT(min)	82.64 ± 8.13	79.13 ± 10.73

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

There were no significant difference in the characteristics between the two groups (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	Normocapnic group	Hypercapnic group
CABG	6	7
MVR	4	4
AVR	2	2
DVR	1	0
RA myxoma	0	1
ASD	3	3
ASD + pneumothorax	1	0
VSD	1	1
Total	18	18

CABG, coronary artery bypass graft; MVR, mitral valve replacement; AVR, aortic valve replacement; DVR, double valve replacement; RA, right atrium; ASD, atrial septal defect;; VSD, ventricular septal defect.

## 2. 연구방법

### 1) 체외순환

체외순환 시 인공심폐기는 비박동성 5-head roller pump (Stockert Co., Germany)를 사용하였다. 모든 환자들에게 동일 회사의 막형 산화기(Baxter Healthcare Co., USA), 동맥혈 필

터 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 600초 이상 유지되도록 하였다. 인공심폐기 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. 양 그룹의 모든 환자들에 대해 중등도 저체온(비인두 온도 29~30°C)의 비박동성 체외순환을 적용하였고 혈류는 체온에 관계없이 2.4 L/min/m<sup>2</sup>으로 고정시켰다. 체외순환 시 동맥혈액의 산 염기 평형 및 가스는 정상탄산분압군의 경우 온도 비보정의 a-stat 방식으로 하되 PaCO<sub>2</sub>를 35~40 mmHg 범위로 하였고 고탄산분압군의 경우 온도 비보정 방식으로 하되 산화기로 공급하는 가스 농도(FiO<sub>2</sub>는 약 0.4, 혈류 대 가스비는 약 1대 0.6 정도)를 조절하여 PaCO<sub>2</sub>를 45~55 mmHg 범위로 유지시켰다. 체외순환 중 평균 동맥혈압은 모든 환자에 있어 50~70 mmHg 범위로 가능한 한 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 heparin의 중화를 위해 protamine을 수술 전 투여한 heparin 양의 1.5 배로 투여하여 혈액응고 활성시간이 정상치로 회복되게 하였다.

### 2) 평가변수

전체 대상 환자들에 대해 뇌혈류 속도, 동맥혈 및 내경 정맥혈 산소분압과 농도를 기본적인 변수로 하여 측정 한 후 이와 관련된 평가 가능한 변수들을 함께 구하여 그룹간에 비교하였다.

#### (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 길이로 초음파 빔을 발사시켜 좌측 중대뇌 동맥의 평균 뇌 혈류 속도(cm/sec)를 측정하였다(Fig. 1 & 2). 뇌 혈류 속도는 최소한 세 번을 측정하여 그 평균값을 최종 결과치로 기록하였다. 뇌 혈류 속도 측정시기는 체외순환 시작하기 전(기준치, 이하 Pre-CPB), 체외순환 시작 후 10분(비인두 온도 29~30°C의 안정상태, 이하 CPB-10), 비인두 온도가 34°C된 시점(이하 Rewarm-1), 비인두 온도가 37°C된 시점(이하 Rewarm-2), 체외순환 종료 직후(이하 CPB-off), 그리고 흡부

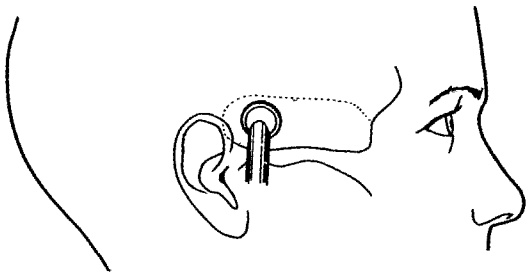


Fig. 1. Diagram of the area(dotted line) where Doppler signals from intercranial arteries were obtained. The zygomatic arch is indicated. The most likely location to obtain signals is shown by the position of the probe.

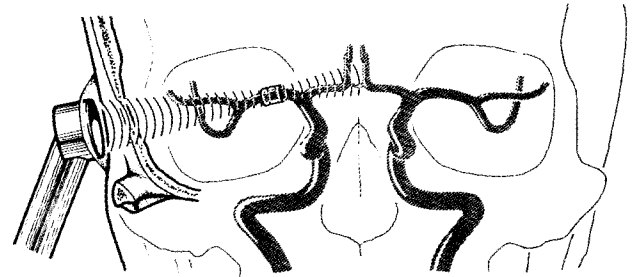


Fig. 2. Frontal view of the ultrasound probe directed toward the middle cerebral artery (MCA). The cylinder around the MCA indicates the observation region (sampling volume) for the Doppler recording. The distance from the middle of the cylinder to the probe corresponds to the depth setting.

피부부합 시점(이하 Post-CPB) 등이었다. 측정된 뇌혈류 속도는 중대뇌 동맥의 단면 직경의 개인차를 고려하여 그 절대치(cm/sec)로 표시하지 않고 기준치(Pre-CPB)를 100%로 하여 상대적 변화 값(%)으로 기록한 뒤 양 그룹간에 측정시기별로 비교하였다<sup>5)</sup>.

(2) 동맥 혈액 및 뇌 정맥 혈액의 가스분석

요골 동맥으로부터 Pre-CPB, CPB-10, Rewarm-1, Rewarm-2, CPB-off, Post-CPB 시기에 각각 채혈하여 가스분석(pH, PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub>, 산소포화도, 산소함량)을 하였다. 뇌정맥 혈액 채취는 내경 정맥구에서 실시하였는데, 마취유도 직후 중심정맥 카테터(길이 16 cm)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

뇌동정맥혈 산소함량 차이는 아래의 공식으로 구한 뒤 각 시기별로 그룹간에 비교하였다.

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

(4) 뇌산소 추출률

뇌산소 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 뇌 혈류를 알아야만 계산 가능하지만 본 연구의 경우 뇌 혈류 속도를 측정된 가답에, Endoh

등<sup>6)</sup>이 제안한 수정된 뇌산소 대사율을 아래 공식으로 구한 후 그룹간에 비교하였다.

수정 뇌산소 대사율=(동맥혈 산소함량-내경정맥구 혈액산소함량)×중대뇌 동맥 혈류 속도

(6) 뇌산소 운반율

뇌산소 운반율은 아래의 공식<sup>7)</sup>으로 구한 뒤 그룹간에 비교하였다.

뇌산소 운반율=동맥혈 산소함량×뇌혈류 속도

(7) 뇌산소운반/뇌산소대사 비율

뇌산소운반/뇌산소대사의 비율을 구하여 그룹간에 비교하였다.

(8) 뇌정맥 혈액 산소 불포화도

검체 측정시기 동안 뇌 정맥 혈액 산소 불포화도(내경정맥구 혈액 산소포화도≤50%)를 조사하여 그룹간에 비교하였다.

(9) 수술 후 섬망증의 발생빈도 및 지속시간

수술 후 섬망증의 발생빈도와 지속시간을 관찰하여 그룹간에 비교하였다.

4. 자료분석 및 통계처리

각 그룹내의 연속 측정 변수들(뇌혈류 속도, 동맥혈액 및 정맥혈액 가스분석 결과, 뇌동정맥 산소함량 차이, 뇌산소 추출률, 뇌산소 대사율, 뇌산소 운반율, 뇌산소운반/뇌산소대사 비율)은 반복 측정 분산분석법으로 분석하였고, 위 모든 변수들의 그룹간 비교는 unpaired t-test를 이용하였다. 뇌정맥 혈액 산소 불포화도와 수술 후 섬망증 발생빈도와 지속시간

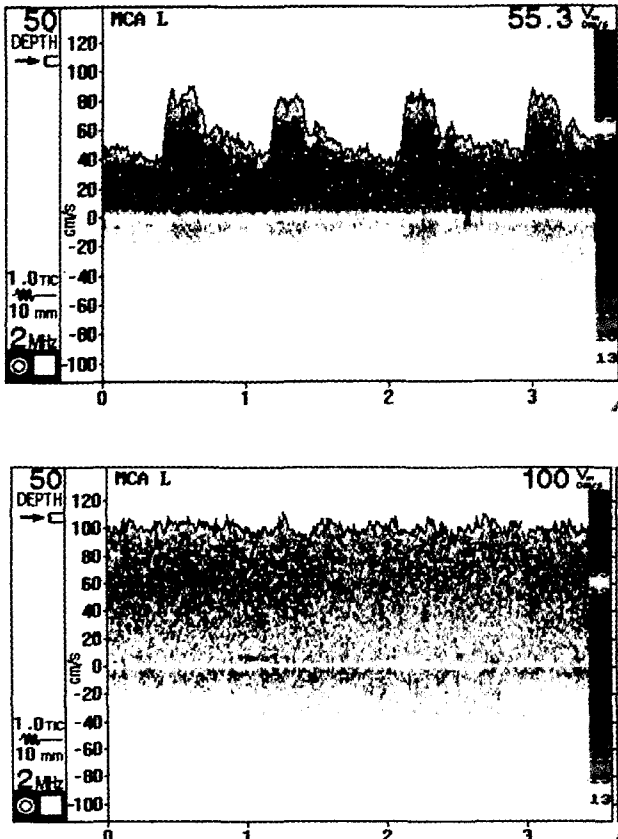


Fig. 3. Spectral display of the Doppler signal records just before start of cardiopulmonary bypass(A) and during steady-state CPB (B). Nonpulsatile CPB altered the shape of the Doppler signal

의 그룹간 비교에는  $X^2$  test를 적용하였다. 자료의 처리는 전문통계 프로그램인 SAS로 하였고  $p \leq 0.05$  일 때 통계적 유의성을 인정하였으며 가능한 모든 자료의 값은 평균±표준 오차로 표시하였다.

## 결 과

### 1. 뇌혈류 속도

체외순환 시작과 함께 뇌혈류 속도의 파형에 변화가 일어났다. 체외순환 시작 전 동맥압 파형의 뇌혈류속도 파형이 비박동성 체외순환 시작과 함께 평탄한 형태로 바뀌었다(Fig. 3). 중대뇌 동맥의 평균 뇌혈류 속도는 두 그룹 모두 체외순환 실시 전체시기(CPB-10~CPB-off)에 걸쳐 Pre-CPB(100%)보다 유의하게 증가되었고( $p=0.009$ ), Post-CPB 때 상대적으로 저하되었긴 하였으나 여전히 Pre-CPB치 보다 높았다( $p=0.009$ ). 그룹간의 비교에 있어 고탄산분압군이 정상탄산분압군 보다 Rewarm-1( $151.06 \pm 9.00$  vs  $125.17 \pm 8.83\%$ ,  $p=0.03$ ),

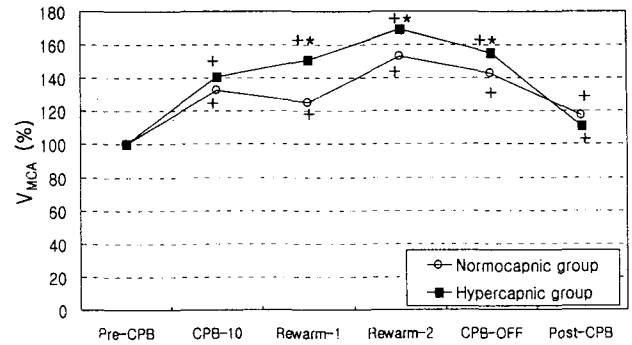


Fig. 4. Relative changes in mean blood flow velocity in the middle cerebral artery (VMCA), expressed as percentage of Pre-CPB values during the operation in the normocapnic and hypercapnic group (+ $p < 0.001$  when compared with the each Pre-CPB value). VMCA at the Rewarm-1, Rewarm-2 and CPB-OFF were significantly higher in the hypercapnic group than in the normocapnic group(+ $p < 0.05$  when compared with the normocapnic group).

CPB-10, 10 minutes after the start of CPB, a steady-state CPB; Rewarm-1, at nasopharyngeal temperature of 34 °C during CPB; Rewarm-2, at nasopharyngeal temperature of 37 °C during CPB; Post-CPB, at the skin closure after CPB-OFF.

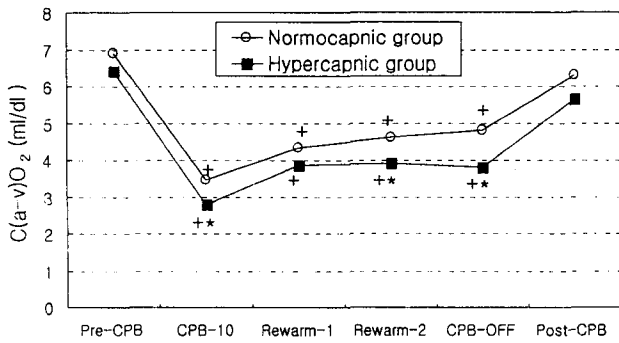
Rewarm-2( $169.13 \pm 8.31$  vs  $153.11 \pm 8.98\%$ ,  $p=0.03$ ), CPB-off ( $155.31 \pm 7.88$  vs  $142.78 \pm 5.21\%$ ,  $p=0.03$ ) 때 유의하게 더 높았다(Fig. 4).

### 2. 뇌동정맥 산소함량 차이

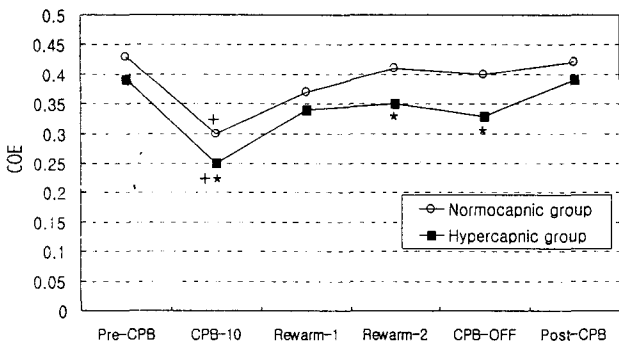
뇌동정맥 산소함량 차이는 두 그룹 모두 체외순환 실시 전체 시기(CPB-10~CPB-off)에 걸쳐 Pre-CPB 보다 유의하게 저하되었으나( $p=0.0008$ ), Post-CPB 시기 때에는 모두 Pre-CPB 수준으로 회복되었다. 그룹간의 비교에 있어 고탄산분압군이 정상탄산분압군 보다 CPB-10( $2.78 \pm 0.22$  vs  $3.47 \pm 0.21$  mL/dL,  $p=0.03$ ), Rewarm-2( $3.92 \pm 0.31$  vs  $4.62 \pm 0.27$  mL/dL,  $p=0.03$ ), CPB-off( $3.80 \pm 0.31$  vs  $4.82 \pm 0.38$  mL/dL,  $p=0.02$ ) 때 유의하게 낮았다(Fig. 5).

### 3. 뇌산소 추출률

뇌산소 추출률은 두 그룹 모두 CPB-10 때만 Pre-CPB치 보다 유의하게 증가되었을 뿐( $p < 0.05$ ), 나머지 측정시기 때에는 Pre-CPB와 유의한 차이가 없었다. 그룹간의 비교에서는 고탄산분압군이 정상탄산분압군 보다 CPB-10( $0.25 \pm 0.02$  vs  $0.30 \pm 0.02$ ,  $p=0.03$ ), Rewarm-2( $0.35 \pm 0.03$  vs  $0.41 \pm 0.03$ ,  $p=0.04$ ), CPB-off( $0.33 \pm 0.02$  vs  $0.40 \pm 0.03$ ,  $p=0.04$ ) 때 유의하게 더 낮았다(Fig. 6).



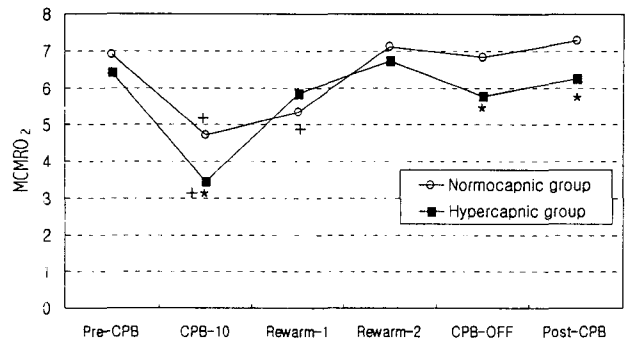
**Fig. 5.** Cerebral arteriovenous oxygen content difference (CAVO<sub>2</sub>) during the six phases of the operation in the normocapnic and hypercapnic group(+p<0.001 when compared with the each Pre-CPB value). CAVO<sub>2</sub> at the CPB-10, Rewarm-2 and CPB-OFF were significantly lower in the hypercapnic group than in the normocapnic group (\*p<0.05 when compared with the normocapnic group). CPB-10, 10 minutes after the start of CPB, a steady-state CPB; Rewarm-1, at nasopharyngeal temperature of 34°C during CPB; Rewarm-2, at nasopharyngeal temperature of 37°C during CPB; Post-CPB, at the skin closure after CPB-OFF.



**Fig. 6.** Cerebral oxygen extraction(COE) during the six phases of the operation in the normocapnic and hypercapnic group(+p<0.05 when compared with the each Pre-CPB value). COE at the CPB-10, Rewarm-2 and CPB-OFF were significantly lower in the hypercapnic group than in the normocapnic group(\*p<0.05 when compared with the normocapnic group). CPB-10, 10 minutes after the start of CPB, a steady-state CPB; Rewarm-1, at nasopharyngeal temperature of 34°C during CPB; Rewarm-2, at nasopharyngeal temperature of 37°C during CPB; Post-CPB, at the skin closure after CPB-OFF.

4. 수정 뇌산소 대사율

수정 뇌산소 대사율은 Pre-CPB에 비해 정상탄산분압군의 경우 CPB-10과 Rewarm-1 때, 고탄산분압군의 경우 CPB-10 때 각각 유의하게 저하되었다(p=0.02). 그룹간의 비교에서 고



**Fig. 7.** Modified cerebral metabolic rate for oxygen (MCMRO<sub>2</sub>) during the six phases of the operation in the normocapnic and hypercapnic group (+ p<0.05 when compared with the each Pre-CPB value). MCMRO<sub>2</sub> at the CPB-10, CPB-OFF and Post-CPB were significantly lower in the hypercapnic group than in the normocapnic group (\*p<0.05 when compared with the normocapnic group). CPB-10, 10 minutes after the start of CPB, a steady-state CPB; Rewarm-1, at nasopharyngeal temperature of 34°C during CPB; Rewarm-2, at nasopharyngeal temperature of 37°C during CPB; Post-CPB, at the skin closure after CPB-OFF.

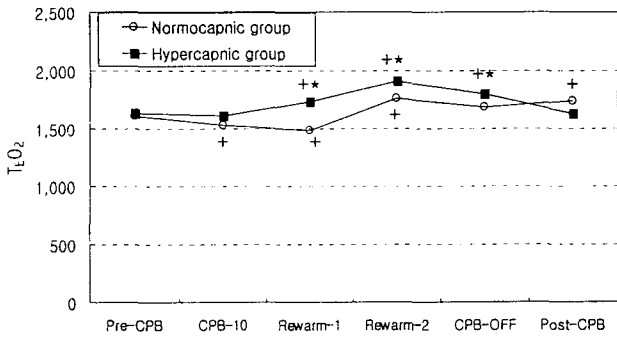
탄산분압군이 정상탄산분압군 보다 CPB-10(3.76±0.38 vs 4.71±0.42, p=0.03), CPB-off(5.78±0.49 vs 6.82±0.58, p=0.03), Post-CPB(6.25±0.48 vs 7.28±0.48, p=0.03) 때 유의하게 더 낮았다(Fig. 7).

5. 뇌산소 운반율

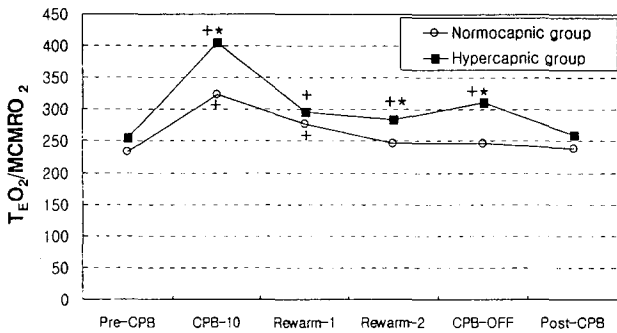
뇌산소 운반율은 Pre-CPB에 비해 정상탄산분압군의 경우 CPB-10과 Rewarm-1 때 저하되었으나(p=0.04), Rewarm-2 와 Post-CPB 때는 유의하게 증가되었다. 고탄산분압군의 경우 Pre-CPB에 비해 Rewarm-1, Rewarm-2, CPB-off 때 모두 유의하게 증가하였다(p=0.03). 그룹간의 비교에서 고탄산분압군이 정상탄산분압군 보다 Rewarm-1(1,729.64±2.37.04 vs 1,481.89±203.75, p=0.03), Rewarm-2(1,911.17±250.14 vs 1,757.40±249.56, p=0.05), CPB-off(1,795.26±251.31 vs 1,687.40±242.53, p=0.05) 때 유의하게 더 높았다(Fig. 8).

6. 뇌산소운반/뇌산소대사 비율

뇌산소운반/뇌산소대사 비율은 정상탄산분압군의 경우 Pre-CPB에 비해 CPB-10과 Rewarm-1 때 유의하게 증가되었고(p=0.02, p=0.04), 고탄산분압군의 경우 Post-CPB를 제외한 나머지 시기(CPB-10~CPB-off) 모두 Pre-CPB보다 유의하게 증가되었다(p=0.03). 그룹간의 비교에서 고탄산분압군이 정상탄산분압군보다 CPB-10(427.13±32.50 vs 324.42±29.73,



**Fig. 8.** Cerebral oxygen transport (TEO<sub>2</sub>) in the normocapnic and hypercapnic group at the six phases of the operation (+ p<0.05 when compared with the each Pre-CPB value). TEO<sub>2</sub> in the hypercapnic group was significantly higher at the Rewarm-1, Rewarm-2 and CPB-OFF than those in the normocapnic group (\*p<0.05 when compared with the normocapnic group). CPB-10, 10 minutes after the start of CPB, a steady-state CPB; Rewarm-1, at nasopharyngeal temperature of 34°C during CPB; Rewarm-2, at of nasopharyngeal temperature of 37°C during CPB; Post-CPB, at the skin closure after CPB-OFF.



**Fig. 9.** Ratio of cerebral oxygen transport to modified cerebral metabolic rate for oxygen (TEO<sub>2</sub>/MCMRO<sub>2</sub>) in the normocapnic and hypercapnic group at the six phases of the operation (+ p<0.05 when compared with the each Pre-CPB value). TEO<sub>2</sub> in the hypercapnic group was significantly higher at the CPB-10, Rewarm-2 and CPB-OFF than those in the normocapnic group (\*p<0.05 when compared with the normocapnic group). CPB-10, 10 minutes after the start of CPB, a steady-state CPB; Rewarm-1, at nasopharyngeal temperature of 34°C during CPB; Rewarm-2, at of nasopharyngeal temperature of 37°C during CPB; Post-CPB, at the skin closure after CPB-OFF.

p=0.03), Rewarm-2(284.26±32.12 vs 247.63±29.51, p=0.04), CPB-off(310.55±32.08 vs 247.36±31.60, p=0.03) 때 유의하게 더 높았다(Fig. 9).

## 7. 동맥혈액 및 뇌 정맥혈액 가스분석

동맥혈 pH 는 CPB-10, Rewarm-1, Rewarm-2 때 고탄산분압군이 정상탄산분압군 보다 유의하게 더 낮았으나(p<0.05), 뇌 정맥혈액(내경정맥구)의 산소분압 및 산소포화도, 그리고 동맥혈액의 이산화탄소 분압은 체외순환 동안(CPB-10~CPB-off) 줄곧 고탄산분압군이 정상탄산분압군 보다 유의하게 더 높았다(p=0.05, Table 3).

## 8. 뇌정맥혈액 산소불화도 및 수술 후 섬망증

체외순환 중 뇌정맥 혈액의 산소불포화 현상(산소포화도 ≤50 %)을 보인 환자 수는 고탄산분압군이 정상탄산분압군(3명 vs 9명, p=0.02) 보다 유의하게 적었으며 수술 후 신경학적 합병증(주로 섬망 증세)의 발생 환자 수는 양 그룹 모두 각각 2명씩 동일하였다. 그러나 신경학적 합병증의 지속 시간은 고탄산분압군이 정상탄산분압군(평균 36시간 vs 60시간 p=0.03) 보다 의미있게 짧았다(Table 4).

## 고 찰

혈중 CO<sub>2</sub> 는 강력한 뇌혈관 확장제로서 체외순환 중 뇌 혈류에 영향을 미치는 중요한 인자로 인식되고 있다<sup>4)</sup>. 체외순환 동안 PaCO<sub>2</sub>가 뇌 혈류 및 뇌 대사에 미치는 영향에 관한 여러 연구들은 서로 상이한 결과들을 보고하고 있으며 그것의 임상적 유용성에 대해 여전히 논란의 여지가 있다. 이는 연구 접근 방법의 차이와 결과해석의 한계에 기인할 뿐만 아니라 체외순환 중 적절한 동맥혈 탄산분압의 범위가 분명히 설정되지 않고 있음에 연유한다.

본 연구자들은 중등도 저체온의 비박동성 체외순환 시 뇌 대사에 대한 동맥혈액의 탄산 분압 차이에 따른 영향에 관해 실시한 전향적 연구에서 흥미로운 결과를 관찰할 수 있었다. 체외순환 시작 10분 경에 측정된 뇌 혈류 속도는 양 그룹 모두 기준치(Pre-CPB)에 비해 유의한 증가를 보였는데, 이는 기존의 연구 결과와 다소 차이가 있다. 여러 연구그룹<sup>6,8-10)</sup>은 체외순환 초기 체온의 감소와 함께 α-stat 방식으로 정상 탄산분압을 유지한 실험군의 경우 뇌혈류 속도 및 뇌혈류의 유의한 감소를 보인 반면, pH-stat 방식으로 고 탄산분압을 유지한 실험군의 경우 뇌혈류 속도나 뇌혈류가 기준치 보다 더 증가되었다고 보고하였다. 물론 다른 연구의 고탄산분압군의 경우는 본 연구의 결과와 매우 일치하나 정상탄산분압군의 결과는 본 연구의 경우와 매우 상반된 결과이다. 저지득은 이러한 사바되 여과결과에 대해 서며 기능하 요인들을 고려해 보았다. 첫째, 뇌 혈류 속도의 측정 시점에 있어 관류량의 차이를 들 수 있다. 여타 연구 그룹들은 저

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

Variables Periods	Groups Normocapnic group / Hypercapnic group							
	pH	PaO <sub>2</sub> (mmHg)	PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	SaO <sub>2</sub> (%)	CaO <sub>2</sub> (ml/dL)	PjO <sub>2</sub> (mmHg)	SjO <sub>2</sub> (%)	CjO <sub>2</sub> (mL/dL)
Pre-CPB	7.46/7.45	225.56/216.75	33.32/34.65	99.74/99.77	16.09/16.31	30.95/37.30	62.62/64.87	9.19/9.88
CPB-10	7.44/7.39*	259.06/242.88	38.43/46.72	99.63/99.83	11.55/11.40	40.96/56.75*	72.63/82.74*	8.08/8.62
Rewarm-1	7.45/7.37*	217.39/221.83	35.94/49.60*	98.97/99.44	11.84/11.45	35.18/41.88+	64.43/69.78*	7.49/7.58
Rewarm-2	7.46/7.36*	282.14/290.31	35.87/50.43*	97.41/99.35	11.49/11.30	31.46/41.66*	58.12/68.97*	6.86/7.38
CPB-OFF	7.44/7.43	174.72/182.13	35.81/41.78*	98.57/98.88	11.82/11.56	32.27/36.74+	59.68/67.63*	7.01/7.53
Post-CPB	7.44/7.42	151.94/177.50	38.96/39.11	99.14/99.01	14.79/14.61	31.63/33.70	58.01/61.40	8.49/8.96

+ p<0.05; \* p<0.01 (when compared with the normocapnic group).

PaO<sub>2</sub>, arterial blood oxygen tension; PaCO<sub>2</sub>, arterial blood carbon dioxide tension; SaO<sub>2</sub>, arterial blood oxygen saturation; CaO<sub>2</sub>, arterial blood oxygen content; PjO<sub>2</sub>, jugular bulb blood oxygen tension; SjO<sub>2</sub>, jugular bulb blood oxygen saturation; CjO<sub>2</sub>, jugular bulb blood oxygen content

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

Variables	Normocapnic group	Hypercapnic group
Cerebral desaturation (no. of patient)	9	3*
Postop-neurologic complication (no. of patient)	2	2
Lasting period for delirium(hr)	60	36*

\* p<0.01 (when compared with the normocapnic group).

Cerebral desaturation is defined as jugular bulb blood oxygen saturation ≤50%.

체온이 1.5~1.75 L/min/m<sup>2</sup>의 현저히 낮은 관류지수로 체외순환을 실시한데 비해, 본 연구저자들의 경우 체온에 관계없이 2.4 L/min/m<sup>2</sup>의 관류지수를 일정하게 유지시킴으로써 체외순환 중 관류량의 차이로 인한 측정변수들의 오차발생을 최소화 시켰다. 둘째, 뇌혈류 속도의 기준치에 대한 문제이다. 기존의 연구들은 마취유도 직후나 흉부 절개 전에 측정된 수치를 기준치로 설정한데 비해, 본 저자들은 체외순환 시작 직전에 측정된 결과를 기준치로 선택함으로써 헤파린 투여나 캐놀라 삽관에 따른 영향들을 가능한 한 고려하였다. 셋째, 동맥혈 탄산 분압(PaCO<sub>2</sub>)의 차이를 들 수 있다. Trivedi 등<sup>10)</sup>의 경우 Pre-CPB 때의 PaCO<sub>2</sub>가 37.8 mmHg였으나 체외순환 시작 직후 비인두 온도가 28℃ 때에는 25.8 mmHg의 낮

은 PaCO<sub>2</sub> 수치를 보임으로써 가스 조절에 실패한 듯 보이거나 나머지 다른 연구그룹의 경우 단순히 α-stat로 PaCO<sub>2</sub>를 40 mmHg로 유지한다고만 했을 뿐 뇌혈류 속도의 각 측정시기 때 정확한 PaCO<sub>2</sub> 레벨을 구체적으로 제시하지 않고 있다. 본 저자들의 경우 PaCO<sub>2</sub>는 Pre-CPB 때 33.32 mmHg였고 CPB-10(비인두 온도 29.51℃) 때에는 38.43 mmHg로 가능한 정상수준을 유지하였다. 넷째, 저 체온 범위와 뇌혈류 속도의 측정시기에 관해 고려해 볼 필요가 있다. 다른 연구의 경우 비인두 온도가 20℃ 혹은 25~30℃ 범위였으나 본 연구의 경우 체온 변화를 가능한 한 정밀하게 조절하여 29~30℃(평균 29.51℃)로 유지하려고 하였다. 뇌혈류 속도의 측정시점은 다른 연구자들의 경우 체외순환 시작 후 20 분이나 30 분 경이었으나 본 저자들의 경우 체외순환 시작 후 10 분 경 이었다.

아무튼 이와 같은 몇 가지 요인들이 연구결과들 간의 차이에 어느 정도 영향을 미쳤는지 현재로서는 단정지을 수 없으며, 향후 이에 대한 연구가 좀더 필요하리라 사료된다.

본 연구에서 뇌 대사를 이해하기 위한 중요한 변수 중 하나로 채택한 뇌도플러 초음파 장치에 의한 뇌혈류 속도의 측정은 임상적으로 매우 유용한 수단으로 인식되어 그 이용 범위가 확대되고 있다. 뇌도플러 초음파는 1982년 Aaslid 등<sup>5)</sup>에 의해 임상적 유용성이 증명됨으로써 많은 의학적 연구와 이용이 뒤따랐다. 뇌도플러 초음파는 체외순환 동안 뇌 관류에 관한 연구뿐만 아니라 지주막하 출혈, 폐쇄성 뇌동맥 질환, 그리고 뇌 동정맥 기형 등이 있는 환자들의 진단 및 치료판정에도 가치있는 것으로 증명되었다<sup>11-13)</sup>. 뇌도플러 초음파 장치의 장점은 비침습적이고 안전하며, 측정방법이 용이



하고 연속적으로 실제시간대(real-time)의 뇌 혈류 속도의 측정이 가능하다는 점이다<sup>9)</sup>. 이에 비해 동위원소(Xenon-133 법)나 고방사선(high radiation; Kety-Schmidt 법)을 이용한 기존의 방법들은 뇌혈류의 절대량을 측정할 수 있다는 장점이 있긴 하나, 측정 방법이 매우 까다롭고 번거로우며, 노동집약 및 시간 소모적이고 고가이며 침습적이고 반복측정이 제한되어 있으며 무엇보다도 실제시간대의 뇌혈류 측정값이 아니라는 단점들을 가지고 있다<sup>1)</sup>. 여러 연구들은 사람이나 동물에 있어 도플러 초음파에 의해 측정된 뇌혈류 속도 변화와 기존 방법에 의한 뇌 혈류량의 변화 사이에 밀접한 상관관계가 있음을 설명하였다<sup>14,15)</sup>. 도플러 초음파에 의한 뇌혈류 속도의 측정 원리는 관공굴 바로 위쪽에 탐촉자를 부착하고 2MHz의 초음파 빔을 약 5 cm 깊이에 발사하면 중대뇌동맥 속을 흐르는 적혈구에 반사되어 돌아오는 파가 그래프 및 수치로 나타나며, 측정시기 동안 중대뇌 동맥의 단면적은 유의한 변화없이 일정하게 유지된다는 이론에 근거하고 있다<sup>16)</sup>. 중대뇌 동맥은 대뇌 반구로 공급하는 혈액량의 약 80%를 운반해주는 큰 동맥인 까닭에 일반적으로 중대뇌 동맥의 혈류 속도를 뇌혈류 속도로 인정한다.

한편, 뇌동정맥 산소함량 차이, 뇌산소 추출률, 그리고 뇌 산소 대사율에 대한 그룹간의 비교에서 기준치를 제외한 대부분의 측정시기 때 고탄산분압군이 정상탄산분압군 보다 이러한 변수들의 결과치가 유의하게 낮음으로써 고탄산분압이 체외순환 동안 뇌 대사를 감소시키는 경향을 보였으나 이것이 수술 후 임상적으로 어떤 효과를 가져다줄지 현재의 결과만 가지고 언급하기에는 한계가 있을 것 같다. 여러 연구자들<sup>17,18)</sup>은 고탄산분압 체외순환이 뇌혈류를 증가시키고 뇌산소 대사율을 감소시킨다고 보고함으로써 본 연구의 결과와 상당히 일치된 소견을 보였다. 특히 Prough 등<sup>17)</sup>은 중등도 저체온 상태에서 고 탄산분압이 뇌산소 대사율을 약 50% 감소시켰다고 하였으며, 본 저자들 역시 CPB-10분 때(비인두 온도 29.51℃) 약 50%의 뇌산소 대사율 감소를 관찰하였다. 정상탄산분압군의 경우 뇌 동정맥 산소함량 차이, 뇌산소 추출률, 그리고 뇌산소 대사율 등이 고탄산분압군 보다 더 높았다는 사실은 뇌의 생리학적 측면에서 중요하게 인식된다. 이 세가지 변수들은 뇌 생리에 있어 상호 밀접한 연관 관계에 놓여 있다. 뇌산소 대사율이 커질 경우 뇌산소 추출률은 증가하고 그로 인해 뇌 동정맥 산소 함량 차이가 커지며 이것은 결국 뇌 정맥혈의 산소 불포화도를 초래하게 된다. 체외순환 동안 뇌혈류가 뇌산소 소모율(뇌산소 대사율)을 충족시키지 못할 때, 뇌 대사 자동조절 기전이 손상된 당뇨병 환자에서 관찰되는 경우 처럼 뇌산소 추출률이 증가되는 보상적 반응이 일어난다. Croughwell 등<sup>19)</sup>은 뇌 동정맥 산소함량 차이의 증가가 수술 후 신경학적 합병증 발생과 유의한 상관

관계가 있었고 증가된 뇌산소 추출률은 뇌 정맥혈 산소 불포화와 깊은 상관성이 있었다고 보고하였다. 체외순환 시 뇌 동정맥 산소함량 차이, 뇌산소 추출율, 그리고 뇌산소 대사율에 대한 고 탄산분압의 억제효과는 수술 후 신경학적 결과에 유의한 영향을 가져다 줄 것으로 기대된다. 뇌산소 운반율의 경우 정상탄산분압군은 CPB-10 분과 재가온-1기 때 기준치 보다 유의한 감소를 보인 반면 고탄산분압군은 재가온 1기에서 체외순환 종료 직후까지 줄곧 기준치 보다 높았을 뿐만 아니라 정상탄산분압군에 비해서도 유의하게 높았다. 이는 고탄산분압이 뇌혈류 속도의 증가와 뇌로의 산소 운반능 향상을 가져왔음을 의미하는 결과이다. 뇌산소운반/뇌산소대사 비율 역시 뇌산소 운반율과 마찬가지로 고탄산분압군이 정상탄산분압군 보다 전반적으로 의미있게 높았다. 이러한 결과들로 미루어 볼 때 고탄산분압은 체외순환 중의 뇌 대사에 유의하게 작용함으로써 수술 후 신경학적 결과에도 보다 바람직한 효과가 있을 것으로 생각된다. 뇌혈류가 충분치 못해 뇌신경 세포의 산소 및 글루코스 요구를 충족시키지 못할 경우 뇌 허혈이 일어나며, 전반적인 뇌 산소화의 이상은 수술 후 신경정신과적 합병증 발생의 원인이 될 수 있다<sup>1)</sup>. 특히 체외순환의 재가온 시기 동안에는 뇌의 산소 요구량 및 대사율이 증가되므로 그에 부합되는 충분한 산소 공급은 생리학적 관점에서 매우 중요하며, 본 연구의 결과에서 나타난 바와 같이 보다 높은 뇌 혈류 속도, 뇌산소 운반율, 그리고 뇌산소운반/뇌산소대사 비율을 유도하는 고 탄산분압이 이러한 뇌의 생리적 요구도를 충족시켜 줄 것으로 생각된다. 뇌 대사를 이해하기 위한 또 하나의 변수인 뇌정맥 혈액, 즉 내경 정맥구 혈액의 가스분석 역시 고탄산분압군이 정상탄산분압군 보다 여러 측면에서 향상된 결과를 나타내었다. 내경 정맥구 혈액의 산소 포화도와 산소 분압은 체외순환 시작에서 종료 시까지 고탄산분압군이 정상탄산분압군보다 더 높음으로써 체외순환 중 고탄산 분압이 상대적으로 더 충분한 뇌혈류를 공급해주었음이 시사되었다. 그러나 동맥혈 pH는 체외순환 동안 줄곧 정상탄산군 보다 고탄산군이 더 낮았었는데(pH 7.36~7.43) 임상적으로 크게 우려할 수준은 아니었다. 생리학적으로 뇌정맥 혈액(즉, 내경 정맥구 혈액)의 정상 산소 포화도는 약 60%로 간주되고 있는데, 이는 뇌혈류가 뇌산소 대사율에 대하여 적절하며 뇌산소 대사율은 정상적으로 유지되고 있다는 의미로 해석된다. 본 연구의 경우 정상 뇌 온도 상태인 재가온-2기, 체외순환 종료직후, 그리고 흉부 피부 봉합시기 때 고탄산분압군은 내경 정맥 산소포화도가 60%이상으로 잘 유지되었으나 정상탄산분압군의 경우 60%가 채 안됨으로써 뇌산소 대사에 대한 뇌혈류 공급이 불충분했음이 시사되었다. 만일 동맥혈 산소 분압이 적정하다면 내경 정맥구 산소 포화도는 뇌혈류/뇌산소

대사율 간의 전반적 균형을 의미하며 이것은 수술기주위와 중환자실에서 뇌혈류/뇌대사 균형의 적정성을 평가하기 위한 지표로 널리 이용되어 왔다. 내경 정맥구의 산소 포화도가 50% 혹은 그 이하일 경우 뇌 정맥혈 산소 불포화라 하며 임상적으로 중요한 의미를 갖는다. 체외순환 중 내경 정맥구 산소 불포화 현상은 뇌산소 공급/요구 비율의 불균형과 뇌의 일시적 허혈 상태를 의미할 수도 있다. 내경 정맥구 산소 불포화는 뇌의 국소적 혹은 전반적 산소 추출률 증가의 지표이며 이는 역으로 뇌 혈류 공급의 부족 현상으로 이해되며 결국 뇌 동맥맥 산소함량 차이의 증가를 가져오게 된다. 즉 뇌 조직 세포로의 산소 공급이 불충분할 경우 뇌의 보상기전으로 뇌산소 추출률의 증가가 일어난다. Croughwell 등<sup>19)</sup>은 체외순환의 재가온 시기동안 내경 정맥구 산소 불포화를 보인 환자들일수록 수술 후 신경학적 합병증 발생의 가능성이 있음을 제시하였다. 또 다른 연구보고에 의하면 내경 동맥 수술 동안 내경 정맥구 산소 포화도가 50%인 환자들은 일시적인 신경학적 증세를 일으켰으나 60%이상인 환자들은 신경학적 합병증이 발생되지 않았다고 한다<sup>20)</sup>. Meyer 등<sup>20)</sup>은 19명의 건강한 지원자를 대상으로 한 연구에서 내경 정맥구 산소 포화도와 뇌파 변화 사이에 중요한 상관성이 있다고 했으며 내경 정맥 산소 분압이 19 mmHg(약 40%의 산소 포화도에 해당)까지 떨어졌을 때 뇌파가 일정하게 느려짐을 관찰하였다. 본 연구에서 체외순환 동안 내경 정맥 산소불포화도 현상을 보인 환자 수는 고탄산분압군(3명)이 정상탄산분압군(9명) 보다 훨씬 적었다. 이러한 결과는 고 탄산분압의 뇌혈관 확장효과와 그에 따른 뇌 혈류량의 증가에 기인한 것으로 보이며 고탄산분압 체외순환의 임상적 유용성을 뒷받침하는 근거가 될 것으로 사료된다.

한편, 고탄산분압 체외순환에 대해 부정적 견해를 밝히고 있는 연구그룹들<sup>12)</sup>은 고 탄산분압이 체외순환 동안 뇌혈류의 지나친 증가를 유도하여 뇌로의 더 많은 미세 기포나 입자성 물질의 유입과 그로 인한 수술 후 신경학적 합병증 발생의 가능성을 증가시키고, 체외순환 중 뇌 자동조절 기전을 붕괴시키며 체온 재가온 시기동안 보다 많은 산성물질을 생성시켜 혈액을 지나치게 산성화시킬 수 있음을 지적하고 있다. 이러한 기존의 연구보고와 본 연구의 연구결과들을 수평적으로 비교한다는 것은 다소 어려움이 있을 것 같다. 이는 그들의 연구방법과 본 연구의 방법에 차이가 있기 때문이다. 그러나 과거 연구들이 지적한 바처럼 분명히 고탄산분압의 유효효과도 있을 것으로 생각되므로 향후 이 부분에 대해 좀 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

수술 후 섬망증세를 보인 환자수가 양 그룹 모두 동일하게 2명씩이었으나, 그 지속시간은 고탄산분압군이 정상탄산분압군 보다 훨씬 짧았으며, 섬망증세를 보인 환자들의 평균

나이는 정상탄산분압군이 47세인데 반해 고탄산분압군의 경우 57.5세로 고탄산분압군이 훨씬 높았다. 뿐만 아니라, 흥미로운 사실은 섬망증세를 보인 고탄산분압군의 환자 2명은 모두 관상동맥 우회수술 환자들이었고 나머지 여러 명의 관막시술 환자들(대동맥 치환술 2명과 승모판막 치환술 4명)의 경우 좌심장 내부를 노출시켰는데도 불구하고 수술 후 인지될 만한 신경학적 합병증세를 전혀 보이지 않았다는 점이다. 그러나 이 결과만을 가지고 수술 후 신경학적 문제에 대한 고탄산 분압의 유용성을 대변하기에는 매우 어려움이 있을 것 같다. 그 이유는 우선 전체 연구 대상자 수가 너무 적으며, 둘째 본 연구에서 채택한 변수인 섬망증이 수술 후 신경학적 측면을 평가하기에는 많은 한계가 있다는 점이다. 따라서 향후 충분한 시간을 두고 좀더 많은 환자를 대상으로 한 지속적 연구와 수술 후 신경학적 합병증 평가를 위한 엄격하고 다양한 변수선택이 필요할 것으로 사료된다.

이상의 연구결과와 함께 현재 국내 심장수술 환자들의 고령화 추세 및 수술 전 잠재적인 뇌혈관 문제의 내포 가능성을 고려해 볼 때, 보다 정선되고 잘 관리된 체외순환의 적용 문제와 뇌 대사에 대한 체외순환의 생리적 영향에 관해 향후 더 많은 연구의 필요성을 느낀다.

## 결 론

본 연구자들은 체외순환 시 뇌 대사에 대한 동맥혈 탄산분압의 차이에 따른 임상적 영향을 규명하기 위해 실시한 전향적 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 뇌도플러 초음파를 이용한 뇌혈류 속도 측정은 체외순환 중 전반적인 뇌혈류 변화 양상을 이해하는데 도움이 되었다.

둘째, 체외순환 시 고 탄산분압은 정상 탄산 분압 보다 뇌혈류 속도는 증가시켰고 뇌 대사는 감소시켜 주었다.

셋째, 고 탄산분압은 정상 탄산분압보다 체외순환 동안 뇌산소 불포화 현상을 덜 일으켰다.

넷째, 고 탄산분압은 체외순환의 재가온 시기동안 뇌산소 공급률을 증가시켜 주었다.

다섯째, 고탄산분압 체외순환이 수술 후 신경학적 부분에 미치는 영향에 관해 좀 더 많은 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- Schell RM, Kern FH, Greeley WJ, et al. *Cerebral blood flow and metabolism during cardiopulmonary bypass.* Anesth Anal 1993;76:849-65.
- Sotaniemi KA, Mononen H, Hokkanen TE. *Long-term cerebral outcome after open-heart surgery: a five-year*

- neuropsychological follow-up study.* Stroke 1986;17:410-6.
3. Venn GE, Sherry K, Klinger L. *Cerebral blood flow during cardiopulmonary bypass.* Eur J Cardiothorac Surg 1988;2:360-3.
  4. Murkin JM, Farrar JK, Tweed WA, Mckenzie FN, Guiraudon G. *Cerebral autoregulation and flow/metabolism coupling during cardiopulmonary bypass: the influence of PaCO<sub>2</sub>.* Anesth Analg 1987;66:825-32.
  5. Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. *Noninvasive Transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries.* J Neurosurg 1982;57:769-74.
  6. Endoh H, Shimoji K. *Changes in blood flow velocity in the middle cerebral artery during nonpulsatile hypothermic cardiopulmonary bypass.* Stroke 1994;25:403-7.
  7. Bruder N, Cohen B, Pellissier D, Francois G. *The effect of hemodilution on cerebral blood flow velocity in anesthetized patients.* Anesth Analg 1998;86:320-4.
  8. Cheng W, Hartmann JF, Cameron DE, Griffiths EM, Kirsch JR, Traystman RJ. *Cerebral blood flow during cardiopulmonary bypass: Influence of temperature and pH management strategy.* Ann Thorac Surg 1995;59:880-6.
  9. Patel RL, Turtle MR, Chambers DJ, James DN, Newman S, Venn GE. *Alpha-stat acid-base regulation during cardiopulmonary bypass improves neuropsychologic outcome in patients undergoing coronary artery bypass grafting.* J Thorac Cardiovasc Surg 1996;111:1267-79.
  10. Trivedi UH, Patel RL, Turtle MR, Venn GE, Chambers DJ. *Relative changes in cerebral blood flow during cardiac operations using xenon-133 clearance versus transcranial Doppler sonography.* Ann Thorac Surg 1997;63:167-74.
  11. Lundar T, Lindegaard KF, Froysaker T, Aaslid R, Wiberg J, Nornes H. *Cerebral perfusion during nonpulsatile cardiopulmonary bypass.* Ann Thorac Surg 1985;40:144-50.
  12. Aaslid R, Huber P, Nornes H. *Evaluation of cerebrovascular spasm with transcranial Doppler ultrasound.* J Neurosurg 1984;60:37-41.
  13. Lindegaard KF, Bakke SJ, Aaslid R, Nornes H. *Doppler diagnosis of intracranial artery occlusive disorders.* J Neurol Neurosurg Psychiatr 1986;49:510-8.
  14. Lindengarrd KF, Lundar T, Wiberg J, Sjoberg D, Aaslid R, Nornes H. *Variations in middle cerebral artery blood flow investigated with noninvasive transcranial blood velocity measurements.* Stroke 1987;18:1025-30.
  15. 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.
  16. Kontos HA. *Validity of cerebral arterial blood flow calculations from velocity measurements.* Stroke 1989;20:1-3.
  17. Prough DS, Rogers AT, Stump DA, Mills SA, Gravlee GP, Taylor C. *Hypercarbia depresses cerebral oxygen consumption during cardiopulmonary bypass.* Stroke 1990;21:1162-6.
  18. Artu AA, Michenfelder JD. *Effects of hypercarbia on canine cerebral metabolism and blood flow with simultaneous direct and indirect measurement of blood flow.* Anesthesiology 1980;52:466-9.
  19. Croughwell ND, Newman MF, Blumenthal JA, et al. *Jugular bulb desaturation and cognitive dysfunction after cardiopulmonary bypass.* Ann Thorac Surg 1994;58:1702-8.
  20. Meyer JS, Gotoh F, Ebihara S, Tomita M. *Effects of anoxia on cerebral metabolism and electrolytes in man.* Neurology 1965;15:892-901.
  21. Plochl W, Cook DJ. *Quantification and distribution of cerebral emboli during cardiopulmonary bypass in the swine: the impact of PaCO<sub>2</sub>.* Anesthesiology 1999;90:183-90.

**=국문초록=**

**배경:** 체외순환은 뇌 혈류의 변화를 유도하며 이러한 변화가 수술 후 직 간접적인 뇌 손상의 원인이 될 수도 있다. 최근, 체외순환 중 뇌 혈류 변화는 동맥혈액의 이산화탄소 분압과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되고 있다. 본 연구는 체외순환을 이용한 심장수술시 뇌 대사에 대한 정상 탄산분압과 고 탄산분압의 임상적 영향을 비교 조사하기 위해 전향적으로 계획되었다. 대상 및 방법: 심장수술이 계획된 36명의 성인 환자들을 연구목적에 따라 무작위적으로 정상탄산분압군( $\text{PaCO}_2$  35~40mmHg, n=18) 혹은 고탄산분압군( $\text{PaCO}_2$  45~55 mmHg, n=18)으로 나눈 뒤 중등도 저체온(비인두 온도 29~30°C)의 비박동성 체외순환을 실시하였다. 수술 중, 각 환자들의 중대뇌동맥 혈류속도(뇌혈류 속도), 뇌동정맥 산소함량 차, 뇌산소 추출률, 뇌산소 대사율, 뇌산소 운반율, 뇌산소운반/뇌산소대사 비율, 뇌정맥 산소 불포화도(내경 정맥구 혈액 산소포화도 $\leq 50\%$ ), 동맥혈액 및 내경정맥 혈액 가스분석 등을 평가하였고, 수술 후 신경학적 합병증(섬망증세) 발생 정도 역시 관찰하여 양 그룹간에 비교하였다. **결과:** 체외순환 동안 고탄산분압군이 정상탄산분압군에 비해 뇌혈류 속도( $169.13 \pm 8.32$  vs  $153.11 \pm 8.98\%$ ), 뇌산소 운반율( $1,911.17 \pm 250.14$  vs  $1,757.40 \pm 249.56$ ), 뇌산소운반/뇌산소대사 비율( $287.38 \pm 28.051$  vs  $246.77 \pm 25.84$ ), 내경 정맥구 산소분압( $41.66 \pm 9.19$  vs  $31.50 \pm 6.09$  mmHg), 그리고 내경 정맥구 산소포화도( $68.97 \pm 10.96$  vs  $58.12 \pm 12.11\%$ ) 등이 유의하게 더 높았으나 ( $p=0.03$ ), 뇌동정맥 산소함량차( $3.9 \pm 0.3$  vs  $4.9 \pm 0.3$  mL/dL), 뇌산소 추출률( $0.3 \pm 0.03$  vs  $0.4 \pm 0.03$ ), 뇌산소 대사율( $5.8 \pm 0.5$  vs  $6.8 \pm 0.6$ ), 동맥혈 pH는 고탄산분압군이 더 낮았다( $7.36 \pm 0.09$  vs  $7.46 \pm 0.07$ ,  $p=0.04$ ). 체외순환 동안 뇌정맥혈 불포화를 보인 환자 수는 고탄산분압군이 정상탄산분압군 보다 유의하게 더 적었다(3명 vs 9명,  $p=0.03$ ). 수술 후 신경학적 합병증(섬망)의 지속시간 역시 고탄산분압군이 정상탄산분압군 보다 더 짧았다(36시간 vs 60시간,  $p=0.009$ ). **결론:** 이상의 연구결과들은 심장수술 동안 고탄산분압 체외순환이 뇌 대사 및 수술 후 신경학적 결과에 보다 유익한 효과를 제공해 줄 수 있음을 시사하고 있다.

- 중심 단어:** 1. 체외순환  
2. 동맥혈 이산화탄소 분압  
3. 뇌 혈류 속도  
4. 뇌산소 대사