

# 초저체온 순환정지시 $\alpha$ -STAT와 pH-STAT 조절법의 비교분석

—어린돼지를 이용한 실험모델에서—

김 원 곤\*. 임 청\*. 문 현 종\*\*. 원 태 희\*\*\*. 김 용 진\*

=Abstract=

## Comparative Analysis of $\alpha$ -STAT and pH-STAT Strategies During Deep Hypothermic Circulatory Arrest in the Young Pig

Won Gon Kim, M.D. \*, Cheong Lim, M.D. \*, Hyun Jong Moon, M.D. \*\*,  
Tae Hee Won, M.D. \*\*\*, Yong Jin Kim, M.D. \*

**Introduction:** The most dramatic application of hypothermia in cardiac surgery is in deep hypothermic circulatory arrest(DHCA). Because man in natural circumstances is never exposed to this extreme hypothermic condition, one of the controversial aspects of clinical hypothermia is appropriate acid-base management( $\alpha$ -stat versus pH-stat). This study aims to compare  $\alpha$ -stat with pH-stat for: (1) brain cooling and re-warming speed during hypothermia induction and re-warming by cardiopulmonary bypass (CPB); (2) cerebral perfusion, metabolism, and their coupling; and (3) the extent of development of cerebral edema after circulatory arrest, in young pigs. **Materials & Methods:** Fourteen young pigs were assigned to one of two strategies of gas manipulation. Cerebral blood flow was measured with a cerebral venous outflow technique. After a median sternotomy, CPB was established. Core cooling was initiated and continued until nasopharyngeal temperature fell below 20°C. The flow rate was set at 2,500 ml/min. Once their temperatures were below 20°C, the animals were subjected to DHCA for 40 mins. During cooling, acid-base balance was maintained according to either  $\alpha$ -STAT or pH-STAT strategies. After DHCA, the body was re-warmed to normal body temperature. The animals were then sacrificed, and their brains measured for edema. Cerebral perfusion and metabolism were measured before the onset of CPB, before cooling, before DHCA, 15 mins after re-warming, and upon completion of re-warming.

---

\* 서울대학교병원 흉부외과, 서울대학교 의과대학 흉부외과학 교실

Dept. of Thoracic & Cardiovascular Surgery, Seoul National University Hospital, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

\*\* 서울 보라매병원 흉부외과

Dept. of Thoracic & Cardiovascular Surgery, Seoul Municipal Boramae Hospital, Seoul, Korea

\*\*\* 이화여대 흉부외과

Dept. of Thoracic & Cardiovascular Surgery, College of Medicine, Ewha Women's University, Seoul, Korea

† 본 연구과제는 과학재단(KOSEF 95-0403-24-01-1)의 지원에 의한 결과임

논문접수일 : 98년 2월 13일 심사통과일 : 98년 4월 8일

책임저자 : 김원곤, (110-744) 서울특별시 종로구 연건동 28, 서울대병원 흉부외과. (Tel) 02-760-2346, (Fax) 02-764-3664

본 논문의 저작권 및 전자매체의 지적소유권은 대한흉부외과학회에 있다.

**Results & Conclusion:** Cooling time was significantly shorter with  $\alpha$ -stat than with pH-stat strategy, while there were no significant differences in rewarming time between the two groups. Nosignificant differences were found in cerebral blood flow, metabolic rate, or flow/ metabolic rate ratio between two groups. Temperature-related differences were significant in cerebral blood flow, metabolic rate, and flow/metabolic rate ratio within each group. Brain water content showed no significant differences between two groups.

(Korean J Thorac Cardiovasc Surg 1998;31:553-9)

**Key word :** 1. Deep hypothermic circulatory arrest  
2. Acid-base management  
3.  $\alpha$ -stat  
4. pH-stat

## 서 론

저체온법은 심장수술의 효과적인 운용 및 효율적인 장기 보호를 위해서 보편적으로 채택되고 있다. 특히 일부 복잡 선천성 심장기형이나 흉부대동맥류 수술에서는 체온을 20°C 이하로 감소시키는 초저체온으로 혈액순환을 일시적으로 중단시키는 완전순환정지법이 국내외를 막론하고 임상적으로 널리 이용되고 있다. 그러나 사람은 정상적인 생리상태에서는 이 정도의 저체온에 노출될 수 없기 때문에 이런 인위적 저체온 상태에서 생체기능의 조절, 특히 적정 산-염기균형 조절은 매우 중요하면서도 이론이 많다<sup>1-3)</sup>. 더구나 초저체온 순환정지시의 산-염기 균형 조절은 무엇보다도 수술 환자들의 뇌생리에 큰 영향을 미칠 수있기 때문에 이들 환자들에서 수술후 신경정신학적 합병증 발병 여부에 중요한 결정요인이 될 수 있다<sup>4-8)</sup>.

한편 자연 상태에서 저체온을 만드는 동물에는 도마뱀과 같이 환경에 따라 체온이 변하는 변온동물들(POIKILO-THERMS)과 곰과 같이 일정 기간 동면을 하는 동면동물들(HIBERNATORS)의 두 종류가 있다. 사람은 이들 어디에도 해당되지 않기 때문에 심장수술시 저체온이 인위적으로 유발되었을때 어느 쪽의 산-염기균형 조절 방법을 택하는 것이 적절한가에 대해서는 아직 정확히 밝혀진 바가 없다<sup>9-12)</sup>. 변온동물들의 산-염기 조절방법을  $\alpha$ -STAT라고 부르는데, 이 방법은 저체온시 세포내 전기 기계적 중립성을 유지시켜주는 한편 뇌대사와 뇌혈류 간의 상호 관계를 보다 더 정상적으로 유지해줄 수있는 이론적인 장점이 있다. 반면 동면동물들의 산-염기조절 방법인 pH-STAT는 수술중 뇌혈류를 충분히 보장해 줌으로서 냉각을 균일하게 해주는 등의 장점과 함께 색전증의 위험성과 뇌혈류 과다로 인한 뇌부종의 발생 가능성이 단점으로 지적되고 있다<sup>13)</sup>.

본 연구는 초저체온 순환정지시 적정 산-염기 균형조절에 관한 규명의 일단을 위해, 어린 돼지에서 관류냉각법에 의한

저체온 순환정지 실험 모델을 확립한 뒤, pH-stat와  $\alpha$ -STAT 간 (1) 심폐바이패스 냉각 및 재가온시 뇌냉각 및 재가온 속도 비교, (2) 뇌혈류, 뇌대사 및 뇌혈류/뇌대사의 변화 양상 분석, 그리고 (3) 심폐바이패스 종료후 뇌부종 정도를 비교 분석하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1) 실험동물

체중 25~30 KG의 어린 돼지를 암수 구별 없이 사용하였다. 실험군은 산-염기 조절 방법에 따라  $\alpha$ -STAT 실험군과 pH-STAT 실험군으로 나누고 각 군마다 7마리씩의 실험동물을 배정하였다.

### 2) 마취 및 수술전 준비

마취전 처치로 아트로핀(0.03 mg/kg)을 투여하였으며 케타민(15~20 mg/kg)과 펜토탈(15~20 mg/kg)로 마취유도를 하였다. 후두경을 이용한 기관내 삽관을 시행한후 할로탄(0.1~1.0%)으로 마취를 지속시켰다. 근육이완을 위해 판큐로니움(0.3 mg/kg)을 일회 정주한후 지속주입(0.25 mg/kg/hour) 하였다.

### 3) 상시상등(superior sagittal sinus) 삽관

시상등 정맥유출량 측정법<sup>14-16)</sup>에 의한 뇌혈류 측정 및 뇌정맥혈 채혈을 위해 시상등 삽관을 시행하였다. 심폐바이패스 시작전 두피 절개후 골막을 제거하고 시상등 상부 두골을 절제하였다. 이때 상시상등으로 두개외(extracranial) 혈류가 흘러 들어오는 것을 최소화하기 위해 노출부 전방에 있는 외피질층(outer cortical layer)과 해면질 부위(spongiosa area)를 약 3 cm 직경의 원 모양으로 절제하였다. 그런 뒤에 시상등내에 24 Fr 카테타를 삽입하였다(Fig. 1). 그리고 시상등 하방에 포가티 카테타를 삽입하고 뇌혈류 측정시 마다

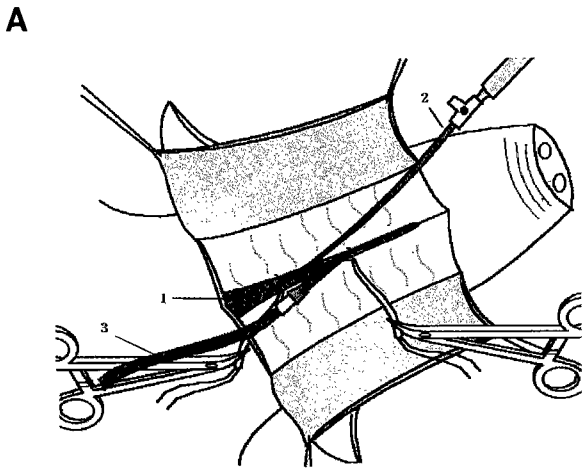


Fig. 1. Superior sagittal sinus outflow measurement (A) operative view (B) schematic drawing  
1. superior sagittal sinus, 2. Fogarty catheter, 3. sampling catheter

팽창시킴으로서 아래쪽 혈류 유출을 차단시켰다.

4) 수술절개 및 심폐바이패스 준비

정중흉골절개술로 심장을 노출시킨후 동정맥 캐놀라 삽관 장소에 5-0 Prolene 심혈관봉합사로 씌지봉합을 시행하였다. 헤파린(300 IU/kg) 주입후 상행대동맥 캐놀라(5.3 mm) 및 우심방 캐놀라(24 Fr)를 삽관하였다.

5) 심폐바이패스 운용

소아용 막형 산화기 Univox-IC(Univox-IC, Bentley Laboratories Inc., Baxter Healthcare Corporation, Irvine, CA, USA)와 롤러펌프(American Optical Corporation, Greenwich, CT, USA)를 사용하였다. 충전액은 펜타스판용액 500 ml, 만니톨 160 ml, 하트만용액 700 ml와 함께 중탄산나트륨 54 mEq을 첨가하였다. 전체 충전액량은 약 1360 ml로, 충전으로 인한 헤마토크리트 변화가 18~20% 범위가 되도록 조절하였다. 관류

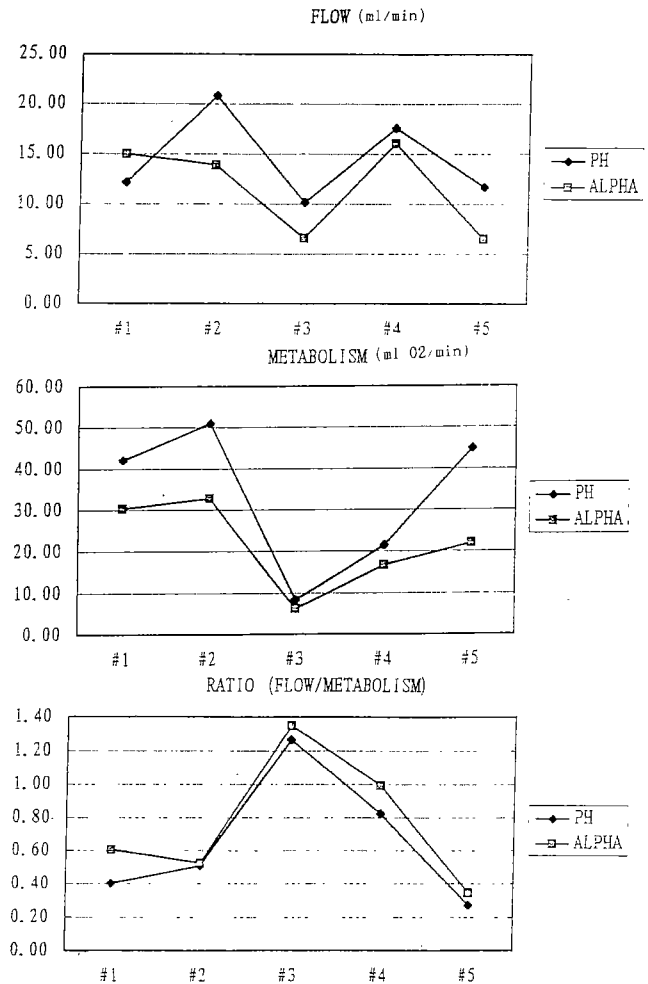


Fig. 2. Cerebral blood flow(top panel), cerebral metabolism (middle panel), and cerebral blood flow/metabolism (bottom panel).

#1 : before the onset of cardiopulmonary bypass

#2 : before cooling

#3 : before deep hypothermic circulatory arrest

#4 : 15 minutes after re-warming

#5 : on completion of re-warming.

속도는 2500 ml/min로 유지시켰다. 심폐바이패스 시작후 첫 10~15분 동안은 정상체온 관류를 시행하면서 기초 검사를 시행하였다. 이후 비인두체온 기준으로 20℃까지 관류냉각을 시행하였다.

6) 완전순환정지 및 재가온

관류냉각으로 실험동물의 비인두체온이 20℃로 감소하면 곧 40분 동안 순환정지를 시행하였다. 냉각기간 동안의 산-염기 조절은 실험군에 따라  $\alpha$ -STAT 또는 pH-STAT에 따른 산-염기 조절을 시행하였다. 즉  $\alpha$ -STAT에서는 이산화탄소 투여 없이 운용을 하였으나 pH-STAT에서는 냉각기간중

5.0~5.5%의 이산화탄소를 그리고 20°C로 부터 재가온 시에는 4.5~3.0%의 이산화탄소를 투여하였다. 순환정지후에는 정상 체온까지 재가온하였다. 재가온 종료후 실험동물을 희생시키고 뇌부종(수분함유량) 검사를 위해 뇌를 추출하였다.

### 7) 실험분석

뇌혈류 및 뇌대사 측정은 심폐바이패스전, 관류냉각전, 순환정지전, 재가온후 15분, 재가온 종료시 각각 시행하였다. 뇌대사는 다음과 같은 공식에 의해 측정하였다;

$$\text{뇌대사} = \text{뇌혈류} \times (\text{동맥 산소함유량} - \text{시상동 산소함유량}) / 100$$
$$\text{산소함유량}(\text{O}_2 \text{ content}) =$$

$$1.34 \times \text{헤모글로빈} \times \text{산소포화도} + 0.003 \times \text{산소분압}$$

동맥혈가스분석은 필요에 따라 수시 측정하였다. 체온은 비인두 및 직장 온도 두 곳을 측정하였다. 뇌부종 정도를 검사하기 위해 실험동물을 희생시킨후 뇌의 습윤중량(wet weight)에서 건조중량(dry weight)를 뺀 뒤 이를 습윤중량으로 나누어 계산하였다. 이때 건조중량은 섭씨 60도로 유지된 건조기에서 72시간 동안 건조시킨후 측정하였다.

### 8) 통계분석

두 실험군간 측정치의 비교 분석은 Wilcoxon rank sum test로 하고 각 군내 시간에 따른 측정치의 유의성 검정은 Repeated measure ANOVA를 사용하였다. P-VALUE 0.05 이하일 때를 유의성이 있는 것으로 하였다.

## 결 과

### 1) 심폐바이패스 및 순환정지시 $\alpha$ -STAT 및 pH-STAT 운용

$\alpha$ -STAT 및 pH-STAT 실험군 모두에서 조절 기준의 15% 범주내에서 조정이 가능하였다.

### 2) 심폐바이패스 냉각시간과 재가온시간

심폐바이패스 냉각 시작후 순환정지 직전 비인두체온이 20°C까지 하강하기 까지의 시간을 냉각시간으로 하고, 40분간의 순환정지후 심폐바이패스 재가온을 시작하여 비인두체온이 38°C까지 상승하기 까지 시간을 재가온 시간으로 하였다.  $\alpha$ -STAT군의 냉각시간은 16.57±5.13분으로 pH-STAT 군의 22.83±2.14분 보다 유의하게 짧았으며(P<0.05), 재가온 시간에서는  $\alpha$ -STAT군(40.0±5.07분)과 pH-STAT군(46.5±6.32) 사이에 유의한 차이가 없었다.

### 3) 뇌혈류 및 뇌대사율

시상동정맥 유출량 측정법에 의한 뇌혈류 측정 및 뇌대사율에서는 전체적으로 pH-STAT군이  $\alpha$ -STAT군에 비하여 높은 경향을 보였지만 통계학적으로 유의한 차이는 없었고, 뇌혈류량/뇌대사율의 비에서도 두군간 차이가 없었다(Fig. 2). 그러나 두 실험군내에 시간 변화에 따른 뇌혈류량 및 뇌대사의 차이는 유의한 것으로 분석되었다. 특히 비인두 체온 20°C에서는 뇌대사율 감소가 뇌혈류 감소 보다 더욱 커서 결과적으로 뇌혈류량/뇌 대사율 비는 1 보다 높은 수치로 기록되었다.

### 4) 뇌수분양

뇌수분양에서 두 실험군간 유의한 차이는 없었다(pH-STAT군 78.4±5.56%,  $\alpha$ -STAT군 81.93 ± 3.70 %).

## 고 찰

우리 몸에서 혈액이나 세포의 수분의 온도가 감소할 때의 주된 완충제는 히스티딘의 이미다졸 성분으로서 이는 다른 완충제와는 달리 체온변화에 따라 물의 해리 상수와 평행하여 PK가 변한다. 따라서 이미다졸은 어떤 체온에서든 완충능력을 지니며 전체 이산화탄소가 일정할때 혈액의 온도당 pH 변화를 책임진다. 그런데 해리시 전하를 잃는 히스티딘 이미다졸 부분을  $\alpha$  imidazole 이라고 부른다.  $\alpha$  imidazole의 전하는 온도 변화에도 불구하고 일정하기 때문에 전체 단백질의 전하 상태도 일정하고 따라서 전하 상태에 의존하는 단백질의 기능(특히 효소 기능)들도 일정하게 유지된다. 그러므로 조직이 냉각될 때는 전체 이산화탄소 만 일정하면 생물학적 중성도가 유지되게 된다. 이에 따라  $\alpha$  imidazole에 대한 안정된 단백질 전하라는 뜻에서  $\alpha$ -stat 라는 이름이 붙게 되었다. Histidine imidazole 의 이온화 상태는 신체의 많은 중요 기능 단백질들의 전하 상태와 pH 의존 기능에 대한 가장 중요한 결정 요인으로 알려져 있다. 따라서 저체온시  $\alpha$ -stat에 의한 관리를 하면 체온이 변하더라도 pN이나 Histidine ionization은 변화시키지 않기 때문에 결과적으로 신체 단백질의 전하 상태, 구조, 기능등은 정상에 가깝게 유지되어 냉혈동물은 다양한 체온에서 활동을 유지할 수 있게 된다는 것이다. 냉혈동물이 혈액이 냉각될때는 전술한대로 pH가 올라가면서 가스 용해도는 증가하기 때문에 이산화탄소의 전체 혈중 양에는 변화가 없지만 분압은 감소하게 되어 호흡성 알칼리증 같은 양상을 보이게 된다.  $\alpha$ -stat의 주창자들은  $\alpha$ -stat에 의한 호흡성 알칼리증 양상이 세포내 전기 기계적 중성도를 보다 잘 유지해 주고 정상 세포 기능과 구조

를 유지시켜 준다는 점에서 생리적으로 적절하다고 주장한다. 다만 이 논리는 Histidine Imidazole이 뇌를 포함한 우리 몸의 전 조직에서 가장 중요한 기능 단백질의 역할을 한다는 전체하에서 이루어진다. 그러나 실제 그렇지 않을 가능성도 있다. 그리고  $\alpha$ -stat의 또 다른 이론적인 장점은 보다 정상적인 Cerebral flow/metabolism 관계 유지하여 이른바 뇌에 과분한 관류(luxuriant flow)를 방지해 줄 수 있다는 것이다<sup>11,13</sup>.

한편 저체온시에 환자의 체온에 따라 측정된 즉 교정된 동맥혈가스분석을 pH=7.4, PCO<sub>2</sub>=40mmHg로 맞추어 주는 방법을 pH-stat라고 한다. 혈액의 무산소 냉각시에는 pH가 알칼리 쪽으로 이동하고 이산화탄소 수준의 감소를 동반하기 때문에 온도 교정된 동맥혈가스분석에서 교정된 pH와 PCO<sub>2</sub> 값을 얻으려면 H+(CO<sub>2</sub>)를 첨가해 주어야 한다. 따라서 pH-stat 에서는 체온 감소에 따라서 혈중 이산화탄소의 전체 용량을 증가 시켜 주는 것이 필요하다. 따라서 보통의 동맥혈가스분석 보고서에서는 과탄산혈증(hypercarbia) 및 산성 pH를 보이게 된다. pH-stat는 산혈증을 보이기 때문에 이에 반대하는 사람들은 효소 기능 따라서 대사 기능을 감소시키는 단점이 있다고 하고 다른 측면에서는 동면동물들이 바로 이 대사율을 가능한 한 최대로 낮추는 목적으로 pH-stat를 택한다고 주장하고 있다. pH-stat의 이론적인 장점은 과분한 뇌 관류로 냉각작용이 향상된다는 점이다. 반면 뇌색전증의 가능성이 높아지고 혈류 과다로 인한 뇌부종의 가능성이 높은 것은 단점으로 지적되고 있다<sup>11,13</sup>.

$\alpha$ -stat와 pH-stat 간의 이러한 이론적인 장단점들에도 불구하고 현재까지의 연구에 의하면 성인에서 중등도 저체온을 시행할 경우에는 수술후 정신신경적 합병증에 큰 차이가 없는 것으로 알려져 있다<sup>13</sup>. 그러나 이 결과를 초저체온법을 시행하는 소아에서 그대로 적용할 수는 없기 때문에 본 연구는 어린 동물을 실험모델로 하여 초저체온 상태에서  $\alpha$ -stat 군과 pH-stat 군간의 차이의 일단을 규명해 보고자 시행되었다. 현재까지 사람에서 초저체온법시 대사율에 관해 두 방법을 비교한 논문은 없으나 일반적으로 초저체온시에는 pH와 이산화탄소도 그 만큼 많이 변화하기 때문에 대사율에 차이가 있을 것으로 추정하고 있다. 그러나 본 실험의 결과만을 놓고 볼때는 초저체온(20도) 상태에서 두 실험군간에 뇌대사율의 차이는 없는 것으로 분석되었다. 저체온시에는 대사율 뿐만 아니라 뇌혈류도 감소한다. 그럼에도 불구하고 이산화탄소분압에 대한 뇌혈관의 반응성은 유지하고 있다. 따라서 pH-stat 시의 상대적인 과탄산혈증은 뇌혈관 확장을 일으켜 알파 스타트에 비해 뇌혈류 증가를 일으키는 것으로 알려져 있다. 본 실험 결과에서도 pH-STAT군이  $\alpha$ -STAT군에 비해 전반적으로 뇌혈류가 높은 경향을 보였으나 통계학적인 차이는 입증하지 못하였다. 한편 의식이 있는 건강한

소아에서는 뇌혈류와 대사의 정도는 국소 지역의 대사 요구에 따라 조절된다. 이를 cerebral coupling ratio 라 부르고 뇌항상성(cerebral homeostasis)의 중요한 조절 기능이 된다. 사람에서는 평균 뇌대사량이 3.0~4.0 ml/100 gm/min이고 혈류량은 45~80 ml/100 gram/min 이기 때문에 13~20%의 coupling ratio를 보인다. 신생아에서는 큰 소아나 성인에 비해 혈류, 대사 그리고 coupling ratio가 일반적으로 높는데 이는 뉴론(neuron) 성장 및 광화(mineralization)에 따른 증가된 대사 요구 때문인 것으로 알려져 있다. 저체온시에는 뇌혈류는 선상으로(linear) 떨어지지만 뇌대사는 지수곡선으로(exponentially) 떨어진다. 따라서 혈류/대사는 저체온시 증가하게 된다. 본 실험결과에서도 두 실험군 공히 20도 저체온시에 가장 높은 혈류/대사 비를 보였다. 그러나 두군간의 비에서는 유의한 차이가 없었다. 뇌부종의 정도를 나타내는 뇌수분량에서도 두군간 유의한 차이는 발견되지 않았다. 그리고 pH-STAT군에서 뇌냉각이 향상된다는 점에서 심폐바이패스 냉각 및 재가온시 pH-STAT가  $\alpha$ -STAT보다 뇌냉각이 빨리 일어날 수 있을 것이라는 추론하에 두군간 냉각시간과 재가온시간 간의 차이를 분석하였으나 오히려  $\alpha$ -STAT군에서 통계학적으로 유의한 냉각시간 단축을 보였으며 재가온시간에서도 다소간 빠른 경향을 보였다. 이러한 결과가 실제 의미있는 결과인지 아니면 비인두체온이 뇌온도를 충실히 반영하지 못하는데서 오는 결과인지에 대해서는 추가 연구가 필요하다 하겠다.

## 결론

1. 초저체온 순환정지에 대한 본 실험모델에서 실험전 추론과는 달리 오히려  $\alpha$ -STAT 군에서 pH-STAT 군에 비해 냉각시간의 유의한 단축 및 재가온 시간에서 빠른 경향을 보였다.
2. 두군간 뇌혈류, 뇌대사, 뇌혈류/대사 비에서 유의한 차이는 발견되지 않았다. 두 실험군내에서는 기존의 이론대로 저체온에 따른 뇌혈류/대사 비의 증가가 관찰되었다.
3. 두군간 순환정지후 뇌수분량의 차이는 관찰되지 않았다.

## 참고문헌

1. White FN. A comparative pPhysiological approach to hypothermia. J Thorac Cardiovasc Surg 1981;82:821-831.
2. Malan A, Wilson TL, Reeves RB. Intracellular pH in coldblooded vertebrates as a function of body temperature. Respir Physiol 1976;28:29-47.
3. Swan H. The importance of acid-base management for cardiac and cerebral preservation during open heart operations. Surg Gynecol Obstet 1984;158:391-414.

4. Dickinson D, Sambrooks J. *Intellectual performance in children after circulatory arrest with profound hypothermia in infancy.* Arch Dis Child 1979;54:1-6.
5. Jonas RA, Wernovsky G, Ware J. *The Boston circulatory arrest study: perioperative neurologic outcome after the arterial switch operation.* Circulation 1992;86(suppl I): 360A.
6. Grote CL, Shanahan PT, Salmon P, Meyer RG, Barrett C, Lansing A. *Cognitive outcome after cardiac operations.* J Thorac Cardiovasc Surg 1992;104:1405-9.
7. Ferry PC. *neurologic sequelae of open-heart surgery in children.* An irritating question. Am J Dis Child 1990; 144:369-73.
8. Wright J, Hicks R. *Deep hypothermic arrest. Observation on later development in children.* J Thorac Cardiovasc Surg 1979;86:466-8.
9. Nattie EE. *The alpha stat hypothesis in respiratory control and acid-base balance.* J Appl pHygiol 1990;69: 1201-7.
10. Treasure T, Naftel DC, Conger KA, Garcia JH, Kirklin JW, Blackstone EH. *The effect of hypothermic circulatory arrest time on cerebral function, morphology, and biochemistry. An experimental study.* J Thorac Cardiovasc Surg 1983;86:761-70.
11. Watanabe T, Miura M, Inui K, et al. *Blood and brain tissue gaseous strategy for profoundly hypothermic total circulatory arrest.* J Thorac Cardiovasc Surg 1991;102: 497-504.
12. Lunder T, Lindegaard KF, Froysaker T, et al. *Cerebral carbon dioxide reactivity during nonpulsatile cardiopulmonary bypass.* Ann Thorac Surg 1986;41:525-30.
13. Hindman BJ. *Cerebral physiology of hypothermia and hypothermic acid-base management during cardiopulmonary bypass.* Cardiol Young 1993; 3:273-80.
14. Upton R, Grant C, Ludbrook G. *An ultrasonic Doppler venous outflow method for the continuous measurement of cerebral blood flow in conscious sheep.* J Cereb Blood Flow Metab 1994;14:680-8.
15. Takeshita H, Michenfelder JD, Theye R. *The effects of morphine and N-allylnormorphine on canine cerebral metabolism and circulation.* Anesthesiology 1972;37:605-12.
16. Stange K, Lagerkranser M, Sollevi A. *Effect of adenosine-induced hypotension on the cerebral autoregulation in the anesthetized pig.* Acta Anesthesiol Scand 1989;33:450-7.

**=국문초록=**

**서론:** 초저체온 순환정지법은 일부 심장수술에서 매우 유용하게 사용되고 있다. 그러나 사람은 정상 생리상태에서 이 정도 저체온에 노출되는 적이 없기 때문에 초저체온 상태에서  $\alpha$ -STAT와 pH-STAT 산-염기 조절법 중 어느 쪽을 택하는 것이 좋으나에는 여전히 이론이 많다. 본실험에서는 어린 돼지에서 초저체온 순환정지 실험모델을 확립한뒤 pH-STAT와  $\alpha$ -STAT 간에 (1) 심폐바이패스 냉각 및 재가온시 뇌냉각 및 재가온 속도 비교, (2) 뇌혈류, 뇌대사 및 뇌혈류/뇌대사 비의 변화 양상 분석, 그리고 (3) 초저체온 순환정지후 뇌부종 정도를 비교 분석하였다. **대상 및 방법:** 25~30 KG의 어린 돼지를 실험군마다 7마리씩 사용하였다. 마취 후 두개골을 절제하고 상시상동 삼관을 통해 뇌혈류를 측정하였다. 그리고 정중흉골절개술 및 캐놀라 삼관 후 심폐바이패스를 시행하였다. 막형 산화기와 롤러펌프를 사용하였고, 관류속도는 2500 ml/min로 유지시켰다. 심폐바이패스 시작후 첫 10~15분 동안 정상체온 관류를 시행한 뒤 이어 20°C(비인두체온) 까지 관류냉각을 시행하였다. 20°C에서 40분 동안 완전순환정지를 시행하였다. 냉각기간 동안 실험군에 따라  $\alpha$ -STAT 또는 pH-STAT에 따른 산-염기 조절을 시행하였다. 순환정지후에는 정상 체온까지 재가온하였다. 재가온 종료후 실험동물을 희생시키고 뇌를 추출하였다. 뇌혈류 및 뇌대사 측정은 바이패스전, 냉각전, 순환정지전, 재가온후 15분, 재가온 종료시, 재가온 종료후 1시간에 각각 시행하였다. **결과:** 양군간 냉각시간은  $\alpha$ -STAT군이  $16.57 \pm 5.13$ 분으로 pH-STAT군의  $22.83 \pm 2.14$ 분 보다 유의하게 짧았으나( $P < 0.05$ ), 재가온시간에서는  $\alpha$ -STAT군( $40.0 \pm 5.07$ 분)과 pH-STAT군( $46.5 \pm 6.32$ ) 사이에 유의한 차이는 없었다. 뇌혈류 및 뇌대사에서는 pH-STAT군이  $\alpha$ -STAT군에 비하여 높은 경향을 보였지만 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 뇌혈류량/뇌대사율의 비에서도 두군간에 차이가 없었다. 그러나 두 실험군내에서 체온변화에 따른 뇌혈류량 및 뇌대사의 차이는 유의하였다. 특히 비인두체온 20도에서는 뇌대사율의 감소가 뇌혈류의 감소 보다 더욱 커서 결과적으로 뇌혈류량/뇌대사율의 비는 1 보다 높은 수치로 기록되었다. 뇌수분양은 두 실험군간에 유의한 차이는 없었다. **결론:** 본 실험에서  $\alpha$ -stat와 pH-STAT 산염기 조절법간에 냉각시간 이외에는 유의한 차이가 없음을 알 수 있었다.

- 중심단어:**
1. 저체온 순환정지
  2. 산-염기조절
  3.  $\alpha$ -STAT, pH-STAT