

인체에서 저체온 완전 순환 정지 시 뇌파검사의 의의

전 양 빈* · 이 창 하** · 나 찬 영* · 강 정 호***

=Abstract=

The Significance of Electroencephalography in the Hypothermic Circulatory Arrest in Human

Yang-Bin Jeon, M.D.*, Chang-Ha Lee, M.D.**, Chan-Young Nah, M.D.*, Jung Ho Kang, M.D.***

Background: Hypothermia protects the brain by suppressing the cerebral metabolism and it is performed well enough before the total circulatory arrest(TCA) in the operation of aortic disease. Generally, TCA has been performed depending on the rectal or nasopharyngeal temperatures; however, there is no definite range of optimal temperature for TCA or an objective indicator determining the temperature for safe TCA. In this study, we tried to determine the optimal range of temperature for safe hypothermic circulatory arrest by using the intraoperative electroencephalogram(EEG), and studied the role of EEG as an indicator of optimal hypothermia. **Material and Method:** Between March, 1999 and August 31, 2000, 27 patients underwent graft replacement of the part of thoracic aorta using hypothermia and TCA with intraoperative EEG. The rectal and nasopharyngeal temperatures were monitored continuously from the time of anesthetic induction and the EEG was recorded with a ten-channel portable electroencephalography from the time of anesthetic induction to electrocerebral silence(ECS). **Result:** On ECS, the rectal and nasopharyngeal temperatures were not consistent but variable(rectal 11°C -25°C, nasopharynx 7.7°C -23°C). The correlation between two temperatures was not significant(p=0.171). The cooling time from the start of cardiopulmonary bypass to ECS was also variable(25-127min), but correlated with the body surface area(p=0.027). **Conclusion:** We have found that ECS appeared at various body temperatures, and thus, the use of rectal or nasopharyngeal temperature were not useful in identifying ECS. Conclusively, we can not fully assure cerebral protection during hypothermic circulatory arrest in regards to the body temperatures, and therefore, the intraoperative EEG is one of the necessary methods for determining the range of optimal hypothermia for safe circulatory arrest.:

(Korean Thorac Cardiovasc Surg 2001;34:465-71)

Key word : 1. Total circulatory arrest, induced
2. Electroencephalography
3. Hypothermia

*부천 세종병원 흉부외과

Department of thoracic and cardiovascular surgery, Sejong General Hospital, Puchon

**가천 의과대학교 길병원 흉부외과 교실

Department of thoracic and cardiovascular surgery, Gil Medical Center, Gachon Medical School

***한양대학교 의과대학 흉부외과 교실

Department of thoracic and cardiovascular surgery, Medical College, Hanyang University

논문접수일 : 2001년 3월 19일 심사통과일 : 2001년 6월 2일

책임저자 : 강정호(133-792) 서울특별시 성동구 행당동 17번지, 한양대학교병원 흉부외과학교실. (Tel) 02-2290-8464, (Fax) 02-2290-8462

본 논문의 저작권 및 전자매체의 지적소유권은 대한흉부외과학회에 있다.

서 론

대동맥 질환의 수술과 선천성 심질환 교정술을 위해 저체온 순환정지가 폭 넓게 이용됨에도 불구하고 부수적인 뇌의 후유증에 대해서 끊임없이 관심이 집중되고 있다. 순환정지는 깨끗한 수술 시야를 확보하며 저체온 상태의 유지는 비활성 대사상태를 유도하여 뇌와 심장, 콩팥과 다른 장기들을 보호한다¹⁾.

일반적으로 뇌의 대사는 체온이 저하됨에 따라 감소하며, 중심 온도(core temperature) 18℃ 이하의 저체온 순환정지는 정지시간 45분까지 안전하다고 알려져 있다²⁾. 많은 실험 결과들은 순환정지동안 뇌의 비활성화를 유지함으로써 뇌 손상을 최소화할 수 있다고 보고하고 있다

현재까지 뇌의 비활성화와 관련된 대뇌 온도는 20~22℃로 알려져 있으며, 직장 온도나 비인두 온도와의 관련은 적은 것으로 보고되고 있다^{3~10)}. 일반적으로 임상에서는 뇌 온도를 직접 측정할 수가 없으므로 직장 또는 비인두 온도를 기준으로 15℃ 내지 18℃에서 완전 순환정지를 한다^{2,12)}. 그러나, 아직도 뇌의 비활성 대사상태를 유도하기 위한 직장 및 비인두 온도의 범위, 순환정지까지 냉각시간의 범위, 완전한 순환정지 시간의 범위와 뇌의 비활성 대사상태를 반영하는 객관적인 지표들이 확립되지 않았다. Griep 등은 뇌 후유증의 위험요소로 60분 이상의 오랜 순환정지 시간, 고령 환자, 20분 이내의 빠른 냉각시간, 순환정지 전이나 재관류 동안의 고혈당, 술 전 청색증이나 적절한 혈액 희석의 부족과 뚜렷한 뇌파 이상이나 지연된 뇌파의 재출현 등을 지적하였고, 순환정지의 안전성을 높이는 전략으로 barbiturate나 steroid 전처치, 수술 중 뇌파검사, 완만하고 적절한 냉각과 경정맥 산소량의 측정 등을 제안하였다¹³⁾. 아직까지 뇌의 비활성 상태를 반영하는 생리적 변수가 명확하지 않기에 여러 주장들이 대두되고 있다^{4,7,14)}. 현재까지 뇌파 검사와 경정맥구의 혼합 정맥혈 산소 포화도 추적검사가 합리적인 것으로 알려져 있다.

연구 목적

뇌파검사상의 뇌 전위 고요상태(electrocerebral silence)의 발생과 대뇌 온도 사이에 연관성이 있으며 저체온에 의한 뇌 전위 고요상태가 뇌 보호에 중요하지만 실제 임상에서 대뇌 온도를 직접 측정할 수 없어 직장이나 비인두 온도의 측정으로 대신하고 있다. 본 연구는 뇌파검사 상 뇌 전위 고요상태의 발생시 직장 및 비인두 온도가 일정한 범주에 속하는 지를 알아 보고자 하였다. 또한 뇌파검사 상 뇌 전위 고요상태가 도달하기까지의 냉각시간의 분포를 살펴보고 환

Table 1. Clinical data in 27 patients. Values are means ± SD. The numbers in parentheses are range.

Age(year)	49.8 ± 17.4(12-79)
Sex(male/female)	15/12
Body weight(kg)	60.9 ± 13.9(36-91)
Body surface area(m ²)	1.6 ± 0.22(1.2-2)

자의 체중 및 체표면적과의 연관성을 알아 보고자 하였다. 마지막으로 수술 후 신경학적 합병증이 발생한 환자에서 직장 및 비인두 온도, 냉각시간, 완전 순환정지 시간 등을 알아 보았다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

1999년 3월부터 2000년 8월 31일까지 대동맥 질환으로 상, 하행 대동맥 및 대동맥 궁의 인조혈관 치환을 위해 완전 순환 정지를 시행했던 성인 환자 중 뇌파 검사를 시행하였던 27명의 환자를 대상으로 후향적으로 연구하였다(Table 1). 전체 환자의 나이는 49.8 ± 17.4세, 체중은 60.9 ± 13.9 kg, 체표면적은 1.6 ± 0.22 m² 였다.

2. 연구 방법 및 재료

1) 마취와 체외 순환

마취는 pentothal sodium(5 mg/kg)과 succinyl choline(1 mg/kg)을 주사한 후 산소와 실내 공기, 산화 질소, isoflurane으로 마취를 유도하고 이 혼합 기체를 양압 호흡기로 유지하면서 간간히 fentanyl(7~10 µg/kg), midazolam(5 mg/kg)과 pipecuronium(0.05 mg/kg)을 정주 하였다. 또한 마취 유도 후 혈압이 높았던 환자에서는 sodium nitroprusside를 계속 정주하여 수축기 혈압을 100 mmHg 전후로 유지하였다. 직장과 비인두 온도를 감시하기 위해 온도계를 삽입하였다. 마취 유도 후 실내 온도와 blanket의 온도를 낮추어 표면 냉각을 시작하였다.

체외 순환은 동맥 캐놀라를 대퇴 동맥에, 정맥 캐놀라를 대퇴 정맥이나 우심방에 삽입하여 시작하였고, 4℃ 물로 채워진 열 교환기를 통하여 신체 냉각을 하였으며(1℃/분), pH 관리는 alpha-stat 전략으로 유지하였다. Polystan[®] 5-head roller pump와 막성 산화기를 이용하여 체외 순환을 하였다. 심근 보호를 위해 냉혈 심정지액을 전향성 혹은 후향성으로 주입하였고, 저 체온 상태에서 순환 정지를 하기 전 머리 주위를 얼음 주머니로 감쌌다. 3명을 제외한 24명은 순환 정지 후 상행 대정맥을 통한 역행성 뇌관류법을 시행하여 뇌 혈류를

유지하였다. 모든 환자에서 순환정지 전에 스테로이드나 수면제는 투여하지 않았다.

2) 수술 방법

체의 순환을 먼저 시행하거나 정중 흉골 절개나 좌측방개흉술을 한 후 체외 순환을 하면서 체온을 저하시켜 뇌전위 고요상태를 만들고, 뇌전위 고요상태의 온도보다 2~3°C 더 낮춘 후 순환정지를 하여 상행 대동맥 인조 혈관 치환술이나 대동맥 궁 및 하행 대동맥 인조 혈관 치환술을 하였다.

3) 뇌파 검사

뇌파 검사는 32 channel ambulatory EEG(EASY II EEG®, Cadwell, Kennewick, WA)를 이용하였다. 전두부, 측두부, 중앙부와 후두부의 뇌파를 양측으로 반영하기 위하여 10~20 International System for Electrode Placement 원칙에 따라 전극을 Fp1,2, T3,4, C3,4, O1,2, Dummy1,2 위치에 부착하였다. 뇌파 검사는 마취유도 직후부터 3 μV/mm의 감도와 35Hz의 주파로 측정하다가 냉각시간이 지속되면서 뇌파의 크기가 줄어들 때부터는 2 μV/mm의 감도로 측정하였다. 9개 채널은 뇌 전위를, 1개 채널(Dummy)은 심전도나 몸의 움직임, 기계적 인위파와 같은 뇌 외 활동(noncephalic activity)을 반영하게 하였다. 뇌파 검사는 마취유도부터 시행하여 체외 순환 기간과 냉각기를 거쳐 뇌 전위 고요상태(electrocerebral silence)에 도달할 때까지 감시하였다. 뇌파 검사기기의 감도를 2 μV/mm로 기록할 때, 뇌에서 발생하는 전기적 자극이 전혀 없는 상태를 뇌 전위 고요 상태로 정의하였고, 3분 동안 감시 후 온도를 기록하고 뇌파 검사를 중단하였다(Fig. 1).

3. 통계분석 방법

각각의 자료처리는 SPSS 8.0 for Windows를 이용하였다. 모든 연속변수는 평균±표준편차로 표시하였으며, Spearman correlation 검사를 통하여 뇌 전위 고요상태에 도달한 직장 온도와 비인두 온도사이의 연관성과 냉각시간과 체중 및 체표면적 사이의 연관성을 알아보았다. 0.05 미만의 p 값을 통계적으로 유의하다고 간주하였다.

결 과

1. 27명의 뇌파 검사 상 뇌 전위 고요상태에 도달했을 때의 비인두 온도는 14.6±3.7°C, 직장 온도는 17.1±3.9°C 이었다. 뇌 전위 고요상태 시 비인두 온도는 7.7°C에서 23°C까지, 직장 온도는 11°C에서 25°C까지 값을 보였고, 뇌 전위 고요상태 시 비인두 온도와 직장 온도의 25th, 50th, 75th percentile값은 각각 12.6°C, 14.1°C, 15.6°C ; 13.3°C, 16.9°C,

A

B

Fig. 1. Electroencephalogram(EEG) at induction of cardiopulmonary bypass(CPB) and electrocerebral silence (ECS). A. EEG at induction of CPB, which was recorded with sensitivity of 3 μV/mm. The rectal and nasopharyngeal temperatures are 35, 27.3°C each other. Dummy is EKG. B. EEG at ECS, which was recorded with sensitivity of 2 μV/mm. The rectal and nasopharyngeal temperatures are 15, 23°C.

20.0°C 이었다(Fig. 2). 뇌 전위 고요상태에 도달한 직장 온도와 비인두 온도 사이에는 통계적으로 연관이 없었다(p=0.171)(Fig. 3).

2. 체외순환 후 체온을 낮추기 시작하여 뇌파 검사 상 뇌 전위 고요 상태에 이르기까지의 냉각시간은 56.9±23.3 분(25~127분)이었다. 냉각시간의 25th, 50th, 75th percentile의 값은 42, 50, 64분 이었다. 이러한 냉각 시간은 환자의 체중과는 무관하였으나(p=0.111, r=0.314), 체표면적이 커짐에 따라 길어져 통계적으로 유의한 관계를 보였다(p=0.027, r=0.425)(Fig. 4).
3. 사망환자는 1명(3.7%)이었으며 다발성 장기 기능부전으로 수술 후 18일에 사망하였다. 27명 중 4명의 환자(14.8%)에서 신경학적 합병증이 발생했으며 2명은 일시적인 혼미

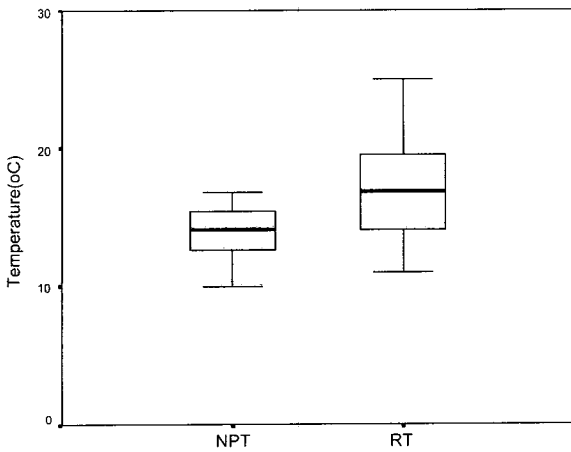


Fig. 2. Distribution of the rectal and nasopharyngeal temperatures at ECS in 27patients. RT=rectal temperature, NPT=nasopharyngeal temperature

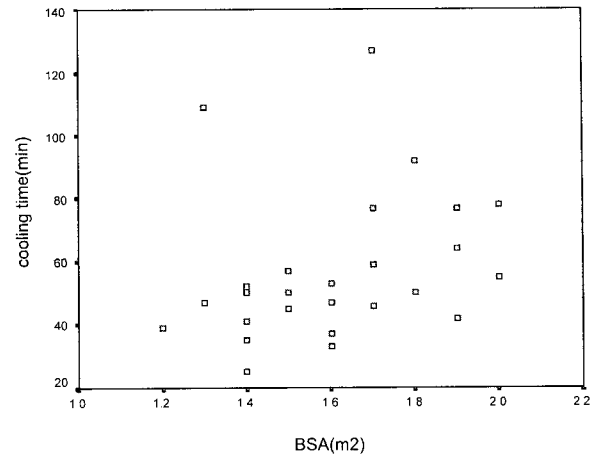


Fig. 4. Correlations between BSA and cooling time, which was significant statistically($p=0.027, r=0.425$). BSA = . body surface area

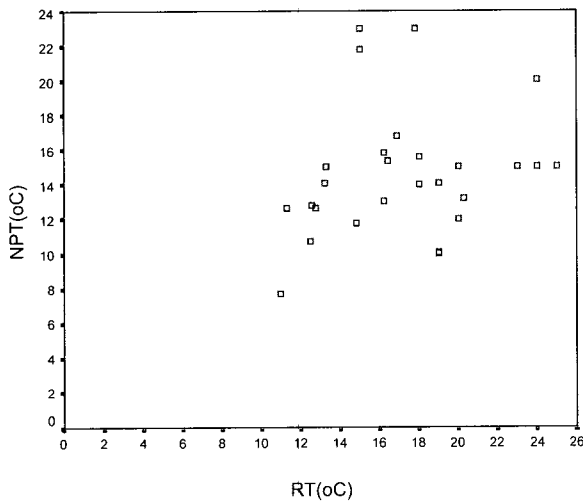


Fig. 3. Correlations between RT and NPT, which was not significant statistically ($p=0.171, r=0.271$). RT= rectal temperature, NPT= nasopharyngeal temperature

상태(confusion)를 보였고, 좌측 중뇌동맥 경색증과 뇌교 경색증이 각각 1명이었다(Table 2). 신경학적 후유증이 발생한 두 환자의 나이는 각각 12세와 56세였으며, 뇌 전위 고요상태 시 직장 온도는 각각 11℃와 24℃였고, 비인두 온도는 7.7℃와 20℃였다. 순환정지 시간은 각각 42분과 27분이었다.

고찰

저체온 동안 뇌활성 저하의 생리적 현상은 뇌대사기능의 억제와 뇌혈류의 감소 등으로 설명된다. 일반적으로 뇌보호

Table 2. Age, temperatures at electrocerebral silence, cooling time, RCP and circulatory arrest time in patients developing neurologic complications.

Patient	Neuro. Cx	Age	RT	NPT	RCP	Cooling time	TCAAt
1	Confusion	41	12.5	10.7	yes	42	36
2	Confusion	62	18	15.6	yes	109	18
3	Lt MCA infarct	12	11	7.7	no	39	42
4	Pontine infarct	56	24	20	yes	46	27

Lt MCA, left middle cerebral artery; RT, rectal temperature; NPT, nasopharyngeal temperature; TCAAt, total circulatory arrest time; RCP, retrograde cerebral perfusion

기전은 저체온의 뇌대사에 대한 부분적인 억제의 이차 반응으로 생각된다. 뇌대사의 감소는 뇌활성의 저하라는 생리적 현상과 연관이 있다. 또한 저체온으로 뇌의 산소 요구량이 감소하였음에도 불구하고, 뇌혈류의 감소, 산소-혈색소 해리 곡선의 좌측 편위, 뇌혈관 저항의 증가와 효소 활성의 저하가 뇌의 저산소증을 유발하여 뇌활성을 저하시키는데 한 역할을 한다⁷⁾.

뇌는 산소에 의존하며 항상 호기성 해당 작용을 요구하므로, 뇌의 산소 대사율(cerebral metabolic rate for oxygen; CMRO₂)의 측정은 뇌의 대사 상태에 대한 유용한 정보를 제공한다. 뇌의 대사상태와 온도와의 관계를 정량적으로 계산하기 위해 온도 상수(Q₁₀)를 측정하는데, 이는 10℃ 차이가 나는 두 온도에서 대사율의 비를 의미한다¹⁵⁾.

Greeley 등은 37°C에서 18°C까지의 온도 범위에서 저 체온 체외순환 동안 온도와 CMRO₂ 사이에 지수 관계가 있고, 신생아, 영아 및 소아에서 온도 상수는 3.65라고 보고하였으며, 저체온 상태에서 순환정지 시 안전한 시간을 의미하는 저체온 대사 지수(hypothermic metabolic index)는 18°C에서 39~65분이라고 보고하였다. 또한 완전 순환 정지 전에 뇌대사는 크게 감소되지만 18°C의 온도에서도 여전히 대사작용이 존재함을 발견하였고, 뇌대사는 계속 진행되는 과정이라고 하였다.

그래서, 뇌 정맥혈 산소 포화도의 모니터링은 부적절한 뇌 냉각상태와 지속적인 뇌의 산소추출에 의한 신경 손상의 위험이 있는 환자를 발견하는데 도움을 준다고 하였다³⁾.

McCullough 등은 저체온까지 냉각될 때 성인 뇌의 온도 상수(Q₁₀)는 2.3이라고 하였고, 저체온 대사억제가 순환 정지 동안 뇌의 주된 보호기전이라고 하였다¹⁶⁾. 저체온의 뇌보호에 대하여 Kramer 등은 저체온이 순환 정지 동안 뇌 내 ATP (adenosine triphosphatate)를 보존한다고 하였으며¹⁷⁾, Mendelovitch는 유리기 생산의 감소, 지방 과산화 작용의 저하, 이상 이온 유출의 완화, 활성 아미노산의 방출 감소와 분해 효소의 활성 저하 등이 잠재적인 뇌 보호 기능을 가지고 있다고 하였다¹⁸⁾.

뇌온도 저하가 뇌를 보호하는 것으로 알려져 있으나, 일반적으로 측정된 체온은 뇌온도를 직접 반영하지 못한다. Stone 등에 따르면 체외 순환 시 표준적으로 시행하는 체온 측정 방법들은 뇌온도를 정확하게 추측할 수가 없으며, 그나마 순환 정지 시 비인두 온도와 식도 온도, 그리고 폐동맥 온도가 뇌온도에 근사하게 접근한다고 하였다¹¹⁾.

Mellergard와 Nordstrom 등은 측정기간의 대부분에서 뇌실 내 온도가 직장 온도보다 높았으며, 가장 큰 온도차는 2.3°C였고, 보통은 직장과 뇌실 내 온도차는 훨씬 더 작았다고 하였다¹⁹⁾. 체온과 뇌 온도 사이의 관계를 일관되게 예측할 수 없기 때문에 순환 정지 동안 뇌의 상태를 반영하기 위해 많은 연구가 행해졌다. 뇌파 검사는 그 중의 한 방법으로서 과거부터 각 단계의 저체온 시 뇌의 전기적 활성을 측정하기 위해 저체온 체외 순환 동안 시행되었다^{5~8,20,21)}. 뇌온도와 대뇌 등전위성(cerebral isoelectricity)사이에는 연관이 있어 체외 순환 중 냉각으로 저체온이 진행된다면 활성뇌파의 크기와 빈도가 감소하고 결국은 20°C를 전후해 뇌 전위 고요상태가 된다^{5~10,21)}. 이상적인 체외 순환하에서 37°C 와 35°C 사이에는 뇌파의 뚜렷한 변화가 없으며, 35°C 와 30°C 사이에서는 주 리듬의 점차적인 서행이 나타난다. 32°C 이하에서 뇌파의 크기가 감소하고, 29°C 와 24°C 사이에는 서행 리듬이 증가하면서 급행 리듬이 감소되어 24°C에서 주기적인 고전위 활동파의 돌발과 짧은 주기(0.5~1.5초)의 수평기가 처음 나타난

다. 23°C 내지 22°C까지 주기와 빈도가 증가하여 드문 예를 제외하고는 18°C 이하에서 모든 뇌전위는 중단된다고 하였다⁷⁾. Woodhall 등²²⁾은 뇌온도가 22°C에 도달할 때 뇌전위 고요상태가 발생하므로 발생 시 온도를 지표로 하여 뇌 보호를 위한 적절한 뇌온도를 뇌파 검사로서 간접적으로 알 수 있다고 하였다. 반대로 Griep 등²³⁾은 뇌 전위 고요상태가 발생한 후에도 경정맥구의 혼합 정맥혈 산소 포화도가 여전히 낮게 나타나 뇌의 대사 활동이 적절하게 억제되지 않았음을 지적하면서 경정맥구의 혼합 정맥혈 산소 포화도 검사를 지표로 하자고 하였다²³⁾.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 뇌파 검사 상 뇌전위 고요상태의 유도는 저체온 뿐만 아니라 마취나 수술 중에 사용되는 약물들(예를 들면 thiopental)에 의해 뇌파가 영향을 받을 수 있으므로 이러한 약물들에 의한 영향을 배제하지 못했다. 둘째, 저체온 상태와 뇌파 검사 상 뇌전위 고요 상태에서 경정맥구의 혼합 정맥혈 산소 포화도를 동시에 측정하지 못해 뇌전위 고요상태에서 뇌대사의 잔존 여부를 확인하지 못했다. 셋째, 신경학적 합병증은 순환 정지 시 뇌파 검사 상 뇌의 비활성 상태 여부 뿐만 아니라 순환정지 동안 이상 뇌파의 출현이나 재가온 시 지연된 뇌파의 출현 등도 관여되는바, 본 연구에서는 순환 정지 이후의 뇌파 검사를 시행하지 못하였다. 본 연구에서 두 환자가 순환정지 시 뇌파 검사에서 고요상태를 보였고 각각 순환 정지 시간이 42분과 27분으로 비교적 짧았음에도 불구하고 수술 후 신경학적 후유증을 보였다. 두 환자의 경우 순환정지 전과 중간에 충분히 뇌보호를 하였다고 생각되며, 아마도 재관류시 색전이 원인으로 사료된다. 뇌보호 전략의 한 방법으로 뇌전위 고요 상태이후부터 재관류 및 재가온시 까지 뇌파검사를 연속해서 시행한다면 뇌보호에 대한 더 나은 자료를 얻을 수 있리라 생각되며, 또한 재관류시 색전에 대한 예방도 필요하리라 생각된다. 뿐만 아니라 순환정지 시 경정맥구 혼합 정맥혈 검사를 병행하는 것이 뇌의 대사상태를 파악하는데 도움이 되리라 생각한다.

결 론

체외순환 후 완전 순환정지까지의 냉각시간 및 완전 순환 정지 유도시 직장 및 비인두 온도는 뇌파 검사 상 뇌전위 고요상태의 발생과는 일관성이 없었다. 심혈관계 수술시 직장 및 비인두 온도에 근거한 저체온 완전 순환정지는 뇌의 보호를 확신할 수 없다. 따라서 뇌파 검사는 환자에게 비침습적이며, 순환정지 동안 지속적으로 시행할 수 있고, 환자의 뇌 상태의 작은 변화라도 정확하고 빠르게 반영한다. 그러므로, 수술 중 뇌파검사의 측정은 안전한 순환정지를 위해 저

체온의 적절한 수준을 확보하기 위한 방법의 하나로 고려해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Connolly JE, Roy, A Guernsey JH, et al. *Bloodless surgery by means of profound hypothermia and circulatory arrest. Effect on brain and heart.* Ann Surg 1965;162(4): 724-37.
2. Kimura T, Muraoka R, Chiba Y, et al. *Effect of intermittent deep hypothermic circulatory arrest on brain metabolism.* J Thorac Cardiovasc Surg 1994;108(4):p. 658-63.
3. Greeley WJ, Kern FH, Ungerleider RM, et al. *The effect of hypothermic cardiopulmonary bypass and total circulatory arrest on cerebral metabolism in neonates, infants, and children.* J Thorac Cardiovasc Surg 1991;101(5):783-94.
4. Gillinov AM, Redmond JM, Zehr KJ, et al. *Superior cerebral protection with profound hypothermia during circulatory arrest.* Ann Thorac Surg 1993;55(6):1432-9.
5. Weiss M, Weiss J, Cotton J, et al. *A study of the electroencephalogram during surgery with deep hypothermia and circulatory arrest in infants.* J Thorac Cardiovasc Surg 1975;70(2):316-29.
6. Cohen ME, Olszowka JS, Subramanian S. *Electroencephalographic and neurological correlates of deep hypothermia and circulatory arrest in infants.* Ann Thorac Surg 1977;23(3):238-44.
7. Hicks RG, Poole JL. *Electroencephalographic changes with hypothermia and cardiopulmonary bypass in children.* J Thorac Cardiovasc Surg 1981;81(5):781-6.
8. Azariades M, Firmin R, Lincoln C, et al. *The effect of propranolol on the cerebral electrical response to deep hypothermia and total circulatory arrest in lambs.* J Thorac Cardiovasc Surg 1990;99(6):1030-6; discussion 1036-7.
9. Massopust, LC, Jr Wolin LR, White RJ, et al. *Electroencephalographic characteristics of brain cooling and rewarming in monkey.* Exp Neurol 1970;26(3):518-26.
10. Palmer C, Vannucci RC, Christensen MA, et al. *Regional cerebral blood flow and glucose utilization during hypothermia in newborn dogs.* Anesthesiology 1989;71(5): 730-7.
11. Stone JG, Young WL, Smith CR, et al. *Do standard monitoring sites reflect true brain temperature when profound hypothermia is rapidly induced and reversed?* Anesthesiology 1995;82(2):344-51.
12. Griep EB, Griep RB. *Cerebral consequences of hypothermic circulatory arrest in adults.* J Card Surg 1992;7(2):134-55.
13. Newburger JW, Jonas RA, Wernovsky G, et al. *A comparison of the perioperative neurologic effects of hypothermic circulatory arrest versus low-flow cardiopulmonary bypass in infant heart surgery [see comments].* New Eng J Med 1993;329(15):1057-64.
14. Kern FH, Jonas RA, Mayer JE, Jr, et al. *Temperature monitoring during CPB in infants: does it predict efficient brain cooling?* Ann Thorac Surg 1992;54(4):749-54.
15. Michenfelder JD, Milde JH. *The relationship among canine brain temperature, metabolism, and function during hypothermia.* Anesthesiology 1991;75(1):130-6.
16. McCullough JN, Zhang N, Reich DL, et al. *Cerebral metabolic suppression during hypothermic circulatory arrest in humans.* Ann Thorac Surg 1999;67(6):1895-9; discussion 1919-21.
17. Kramer RS, Sanders AP, Lesage AM, et al. *The effect profound hypothermia on preservation of cerebral ATP content during circulatory arrest.* J Thorac Cardiovasc Surg 1968;56(5):699-709.
18. Mendelowitsch A, Mergner GW, Shuaib A, et al. *Cortical brain microdialysis and temperature monitoring during hypothermic circulatory arrest in humans.* J Neurol Neurosurg Psychiatry 1998;64(5):611-8.
19. Mellergard P, Nordstrom CH. *Epidural temperature and possible intracerebral temperature gradients in man.* Br J Neurosurg 1990;4(1):31-8.
20. Mizrahi EM, Patel VM, Crawford ES, et al. *Hypothermic-induced electrocerebral silence, prolonged circulatory arrest, and cerebral protection during cardiovascular surgery.* Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1989;72(1): 81-5.
21. Galaria AP, Murray A. *Monitoring brain function during cardiothoracic surgery in children and adults at two levels of hypothermia.* Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1990;76(3):268-70.
22. Woodhall B, Reynolds DH, Mahaley S, et al. *The physiological and pathological effects of localized cerebral hypothermia.* Ann Surg 1958;147:673-83.
23. Griep RB, Ergin MA, McCullough JN, et al. *Use of hypothermic circulatory arrest for cerebral protection during aortic surgery.* J Card Surg 1997;12(2 Suppl):312-21.

=국문초록=

배경: 저체온은 뇌 대사를 억제하여 뇌를 보호한다고 알려져 있으며, 대동맥 질환 수술 시 완전 순환 정지 전에 충분히 시행되고 있다. 일반적으로 임상에서 직장 또는 비인두 온도를 지표로 순환정지를 시행하고 있으나, 순환정지 시 적절한 저체온의 온도 범위나 순환정지 온도를 결정하는 객관적인 지표에 대해서는 아직 명확한 결론이 없다. 본 연구는 수술 중 뇌파검사를 이용해 완전 순환 정지 시 안전한 직장 및 비인두 온도의 적정 수준을 확인하고, 적절한 저체온의 지표로서 뇌파검사의 역할을 알아보려고 하였다. **대상 및 방법:** 1999년 3월부터 2000년 8월 31일까지 대동맥 질환으로 대동맥 인조혈관 치환수술 동안 뇌파검사를 병행하면서 완전 순환 정지를 했던 27명의 환자를 대상으로 하였다. 직장 온도와 비인두 온도를 마취유도부터 계속 감시하였으며, 뇌파검사는 10개의 채널로 마취유도부터 뇌 전위 고요상태(electrocerebral silence) 까지 관찰하였다. **결과:** 뇌 전위 고요 상태에 도달했을 때의 직장 온도와 비인두 온도는 일정한 범위에 있지 않고 다양한 값(직장 11°C ~ 25°C; 비인두 7.7°C ~ 23°C) 을 보였으며, 두 온도 사이에 서로 관련이 없었다($p=0.171$). 체외 순환을 시작하여 뇌 전위 고요상태에 이르기까지 냉각 시간은 25~127분으로 다양하였으며, 환자의 체표면적과 연관이 있었다($p=0.027$). **결론:** 뇌 전위 고요상태는 다양한 체온에서 발생했으며, 임상에서 일반적으로 적용되는 직장 및 비인두 온도는 뇌 전위 고요상태를 지적할 수 없었다. 그러므로 심혈관계 수술 시 체온에 근거한 저체온 완전 순환 정지는 뇌의 보호를 확신할 수 없으며, 수술 중 뇌파검사의 관찰은 안전한 순환정지를 위한 적절한 저체온의 수준을 확보하기 위해 필요하며 합리적인 방법이었다.

- 중심단어:** 1. 저체온 완전 순환정지
2. 뇌파검사
3. 뇌전위 고요상태