

초저체온하 대동맥수술 환자에서 완전 순환차단의 안전한 체온 및 기간에 대한 연구

- 뇌파 Compressed Spectral Array의 임상적 응용 -

장병철* · 유선국* · 김선호*** · 송재성** · 박성제***
문준호* · 김정택# · 곽영란**** · 홍용우****

=Abstract=

Clinical Application of Compressed Spectral Array During Deep Hypothermia

Byung-Chul Chan.* , Sun Kook Yoo,** , Sun Kook Yoo** , Sun Ho Kim*** ,
Jae Sung Song** , Sung Jei Park** , Jun Ho Moon* , Joung Taek Kim# ,
Young Lan Kwak**** , Yong Woo Hong****

Profound hypothermia protects cerebral function during total circulatory arrest(TCA) in the surgical treatment of a variety of cardiac and aortic diseases. Despite its importance, there is no ideal technique to monitor the brain injury from ischemia. Since 1994, we have developed compressed spectral array(CSA) of electroencephalography(EEG) and monitored cerebral activity to reduce ischemic injury. The purposes of this study are to analyse the efficacy of CSA and to establish objective criteria to consistently identify the safe level of temperature and arrest time. We studied 6 patients with aortic dissection(AD, n=3) or aortic arch aneurysm(n=3, ruptured in 2). Body temperatures from rectum and esophagus and the EEG were monitored continuously during cooling and rewarming period. TCA with cerebral ischemia was performed in 3 patients and TCA with selective cerebral perfusion was performed in 3 patients. Total ischemic time was 30, 36 and 56 minutes respectively for TCA group and selective perfusion time was 41, 56 and 92 minutes respectively for selective perfusion group. The rectal temperatures for flat EEG were between 16.1 and 22.1°C (mean:18.4±2.0); the esophageal temperatures between 12.7 and 16.4°C(mean : 14.7±1.6). The temperatures at which EEG reappeared 5~15.4°C for esophagus. There was no neurological deficit and no surgical mortality in this series. In summary, the electrical cerebral activity reappeared within 23 minutes at the temperature

연세대학교 의과대학 심장혈관센터 심장혈관외과* , 의용공학교실** , 신경외과학교실*** , 마취과학교실****
인하대학교 의과대학 흉부외과#

Division of Cardiovascular Surgery* , Cardiac Anesthesia**** , Yonsei cardiovascular Center, Department of Biomedical Engineering*** and
Department of Neurosurgery, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea****

Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Inha University, Seoul, Korea#

본 논문은 제 27차 대한흉부외과학회에서 구연되었음.

논문접수일 : 97년 1월 20일 심사통과일 : 97년 3월 31일

책임저자: 장병철, (120-752) 서울시 서대문구 신촌동 134번지, 연세대학교 의과대학 심장혈관센터. Tel: (02)361-7284 FAX: (02)393-2041

less than 16°C for rectum. It seemed that 15°C of esophageal temperature was not safe for 30 minutes of TCA and continuous monitoring the EEG with CSA to identify the electrocerebral silence was useful.

(Korean J Thorac Cardiovasc Surg 1997; 30:752-60)

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

서 론

복합 심장질환에 대한 교정수술이나 대동맥궁 수술시 뇌 손상을 보호하기 위하여 오래전부터 초저체온법(profound hypothermia) 이용하고 있다¹⁻²⁾. 체외순환에 따른 초저체온하 개심수술은 수술시야가 깨끗하고, 여러 카테타등을 설치할 필요가 없이 단순하며, 동시에 주요 장기인 간장이나 신장등을 보호할 수 있는 효과로 1980년대 이후 많이 사용되고 있다³⁻⁶⁾. 그러나 단순 초저온하 개심수술의 경우 뇌허혈 시간에 제한을 받기 때문에 순행성 선택적 뇌관류법(selective cerebral perfusion)이나⁵⁾ 역행성 뇌관류법(retrograde cerebral perfusion)등이 사용되고 있으며⁶⁾, 두방법 모두 임상적으로 허혈성 손상을 예방하기 위한 좋은 방법으로 보고되어 있다.

생리학적으로 뇌온도를 감소시킬수록 뇌대사는 감소하여 상당기간의 허혈에도 손상을 예방할 수 있다⁷⁾. 임상적으로 뇌대사를 감시하는 간접적인 방법으로 뇌파를 이용할 수 있다. 1988년 Coselli 등은⁸⁾ 대동맥 수술시 순환정지에 의한 뇌 손상 예방에 안전한 뇌온도를 연구하기 위하여 뇌파(EEG)를 이용하여 전기-뇌 침묵(electrocerebral silence)이 나타나는 온도를 검사하였다. 이들은 수술환자들의 뇌파가 소실되는 온도에서 뇌혈류를 차단하고 수술하여 매우 우수한 결과를 보고하였으나 수술후 다시 뇌파가 나타나는 것을 확인하지 않았기 때문에 뇌조직을 허혈손상으로 부터 완전히 보호하였다고 할 수 없다. 뇌세포의 손상을 최대한 예방하기 위해서는 혈류차단후 다시 뇌파가 나타나는 온도와 시간을 확인하여 적어도 재관류시까지 뇌파가 나타나지 않는 온도로 내려야 한다. 반면에 온도를 너무 내리게 되면 체외순환시간이 길어지고, 저온에 따른 여러 합병증이 발생할 가능성이 있기 때문에 적절한 온도는 아직 알려져 있지 않다.

뇌파기록장치(electroencephalograph, EEG)는 검사기계가 매우 크고 주위 전기자장에 많은 영향을 받으며 특히 개심수술중에는 인공심폐기, 흡입기등의 전기장치에 의해 노이즈가 많이 발생되기 때문에 개심수술실에서 사용하기에 어려움이 있다. 저자들은 최근 8 채널의 뇌파를 디지털화하여 주파수

영역으로 변환하여 압축 표시하여 모니터나 기록장치에 표시하는 압축 스펙트럼 정렬(compressed spectral array; CSA) 시스템을 개발하였다¹¹⁻¹²⁾. 특히 저자들은 인공심폐기나 수술실 내부에서 발생하는 노이즈를 제거하는 증폭기를 개발하여 초저체온상태에서 일어나는 매우 작은 뇌파도 기록할 수 있는 장치를 제작하였다.

연구 대상 및 방법

연구대상

1995년 1월부터 1996년 3월까지 초저체온하 완전순환차단이 필요한 심혈관수술이나 대동맥궁 수술 환자중 수술시 뇌파를 감시하면서 수술한 환자 6례를 대상으로 연구를 하였다(Table 1).

대상환자들은 대동맥 박리가 3례 (급성 2례, 만성 1례)였으며, 2례는 대동맥궁에 발생한 대동맥류로 동맥경화성 대동맥류로 이중 1례는 파열된 환자였다. 1례는 급성 대동맥 박리로 상행 및 대동맥궁 인조혈관 치환수술후 3개월에 원위부 문합부에 감염에 의한 가성동맥류가 발생되어 응급수술을 하였다. 대동맥 박리가 있던 3례의 환자는 수술전 정도 3 이상의 대동맥판막 부전증이 동반되어 Bentall 씨 수술을 하였으며 이중 1례는 대동맥궁의 기시부에 내막파열이 발견되어 부분대동맥궁 인조혈관 치환수술을 병행하여 수술하였다. 대동맥궁 동맥류가 있던 환자중 1례(증례 2)는 원위부 부분대동맥궁 치환수술을 하였으며, 파열된 1례 (증례 6)는 좌상엽의 심한 유착이 동반되어 좌상엽 폐기 절제술 및 대동맥궁 치환수술을 하였다.

연구 방법

마취유도는 dornicum과 fentanyl citrate를 사용하였으며 근이완제로 pancuronium 또는 nocuron을 사용하였다. Fentanyl citrate을 간헐적으로 정주하고, 적은 농도의 isoflurane으로 마취를 유지하였다. 체온이 떨어져 뇌파검사상 등전뇌파

Table 1. Characteristics of the patients

Case	Age	Sex	Diagnosis	Procedures	Date of OP
1	61	F	Acute aortic dissection(type 1)	Bentall procedure	95-4-8
2	72	M	Aortic arch aneurysm(saccular)	Distal arch replacement	95-4-20
3	58	F	Chronic aortic dissection(type 1)	Bentall procedure & hemiarch replacement	95-8-22
4	32	F	s/p replacement of aortic arch with acute dissection false aneurysm	Replacement of graft	95-9-1
5	55	F	Acute aortic dissection(type 1)	Bentall procedure	96-1-3
6	76	M	Ruptured aortic arch aneurysm	Arch replacement	96-2-6

(isoelectric electroencephalograph)가 나타나면 hydrocortisone 20 mg/Kg 및 mannitol 0.5 gm/Kg를 정맥주사하고 완전순환차단 이나(증례 1, 3, 5), 선택적 뇌관류(증례 2, 4, 6)를 시작하였다. 완전순환차단후 뇌온도의 상승을 예방하기 위하여 수술 실 온도를 약 20°C까지 내렸으며 머리카락을 얼음 주머니로 둘러 싸웠다.

체외순환을 위하여 좌측 대퇴동맥을 통하여 동맥관을 삽관하였으며, 1개 또는 2개의 정맥관을 우심방을 통하여 삽관하였다. 증례 4의 경우 대동맥궁의 가성 동맥류로 대퇴동맥-정맥 부분 체외순환으로 체온을 25°C로 내린 다음 재개흉을 시작하였으며 무명동맥으로 선택적 뇌관류를 시작한 다음 동맥관을 박리하고 인조혈관 재치환수술을 하였다. 수술중 열려 있는 대동맥궁이나 근위부 하행흉부대동맥을 통하여 장간동맥이나 신동맥등으로 공기가 들어가지 않도록 대퇴동맥으로 약 500~600 ml/분의 관류를 지속하였다. 대동맥 박리환자의 경우 수술이 끝나면 상행대동맥의 인조혈관을 통하여 동맥관을 삽관하고 전방관류(antegrade perfusion)를 시작하면서 대퇴동맥을 통한 관류는 중단하고 재개온하였다.

체온은 식도와 직장에 체온 감시기구(thermistor probe, YSI; Yellow Springs, Inc., OH, USA)를 삽입하여 연속 감시하였으며, 각 온도마다 뇌파 CSA를 컴퓨터 하드디스크에 저장하였다. 뇌파가 소실되면 완전순환차단(또는 완전순환차단후 선택적 뇌관류) 후에 대동맥수술을 계속 진행하였으며 동시에 뇌파를 감시하여 뇌파신호가 나타나면 당시 체온과 온도와 순환차단시간을 기록하였다. 수술이 끝나면 상행대동맥이나 대퇴동맥을 통하여 재관류를 시작하고 가온하였으며 가온시에도 연속적으로 뇌파 CSA를 관찰하였다.

수술후 1일에 모든 환자를 마취에서 깨웠으며, 가능하면 수술후 1일에 기관내관을 발관하였다. 수술후 1일에 다시 뇌파 CSA를 검사하여 수술전과 비교하였으며, 퇴원시까지 신경학적인 관찰을 하였다.

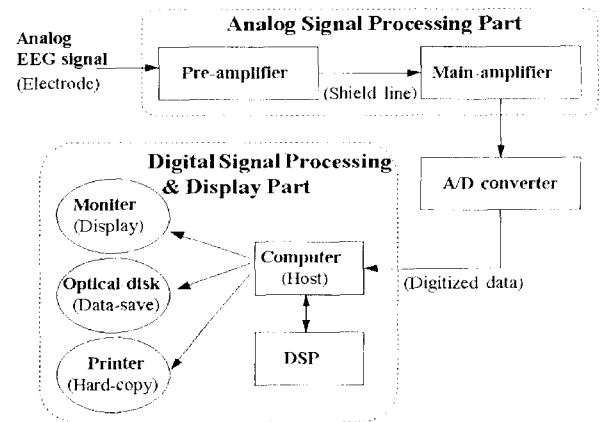


Fig. 1 The configuration of compressed spectral array (CSA) system

CSA 시스템의 구성

초저체온하의 대동맥수술시 환자의 뇌파를 감시하기 위한 CSA 시스템의 설계는 수술실과 같이 잡음이 많은 환경에서의 정확한 뇌파의 측정이 가능한 고성능 시스템이 되어야 하며, 뇌파 판독 전문의가 아닌 외과의사에 의해 판독이 가능하며, 사용자 편의 프로그램에 의해 수술실 환경에서 사용이 가능하도록 소형의 간결한 시스템으로 설계하였다. 설계된 CSA 시스템의 전체 구성은 Fig. 1과 같이 크게 아날로그 신호처리 부분과 디지털 신호처리(digital signal processing) 및 디스플레이 부분으로 나누어 진다. 아날로그 신호처리 부분은 입력전극으로부터 입력된 뇌파신호의 증폭과 필터링을 통해 A/D(analog/digital) 변환기까지 증폭된 뇌파 신호를 보내는 역할을 한다. 디지털 신호처리 및 디스플레이 부분은 디지털로 변환된 데이터를 이용하여 스펙트럼을 추정하고 이것을 CSA와 density compressed spectral array(DCSA) 형태로¹¹⁾

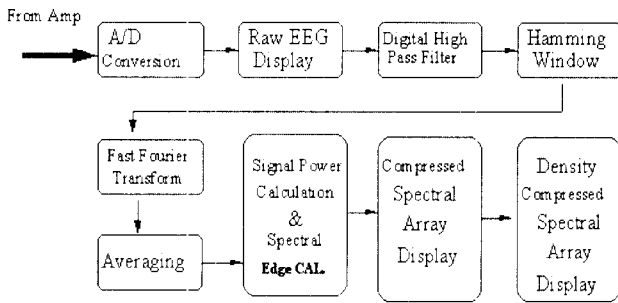


Fig. 2. Block diagram of compressed spectral array(CSA) system)

표시하는 역할과 사용자 편의 프로그램을 구동하였다.

수술실 환경에서의 뇌파는 roller pump나 전기 수술칼 등의 사용에 의한 다양한 잡음이 혼입된다¹²⁾. 뇌파신호 측정을 위한 전치 증폭부는 1013Ω의 고입력 임피던스로 설계하였으며, 계장용 차동앰프를 사용하여 수동소자에 의한 부정합을 최소화하는 고 common mode rejection ratio(CMRR) 회로를 내장하였으며, 분리 증폭기를 사용하여, 공통 잡음의 억제와 환자에 대한 안전성을 확보하였다. 또한 주증폭부에서는 노치 필터, 가변이득 조정, 가변 필터를 내장하여 신호의 범위의 선택이 가능하도록 하였다.

CSA 디지털 신호처리부는 fast fourier transform(FFT)에 의한 스펙트럼 추정을 하여 화면표시부를 통하여 시간영역에서의 원래의 뇌파, CSA, DCSA, spectral edge, power를 표시한다. 스펙트럼의 추정을 하기 위하여 원래의 뇌파신호는 디지털 고역통과⁹⁾를 통과하여 옅색을 제거하여 스펙트럴 누설성분을 필터링하며, Hamming 윈도우 처리된 1.28초 구간의 1 epoch를 기준단위로 25% overlap-add 방식¹³⁾을 사용하여 4초 구간의 스펙트럼을 평균처리하여 스펙트럼의 분산변화를 억제 계산하였다. 또한 디지털 신호처리부에서는 심장수술시 발생하는 롤러 펌프에 의한 잡음을 제거하기 위하여 뇌파신호의 통계적인 특성(상관계수)에 기반을 둔 적응 잡음 제거기를 least mean square(LMS) 알고리즘을 기반으로 적용하였다¹⁰⁾.

뇌파 CSA 검사

뇌파검사는 환자를 마취한 다음 양극성 4 채널의 원판 뇌파전극을 전두부, 측두부, 두정부 및 후두부에 콜로디온(collodion)을 이용하여 부착하였으며, 접지를 위하여 환자의 이마부위에 전극을 부착하였다. 처음 2례의 환자는 뇌파검사기(Nihon Kohden, Model 5210, Japan)를 이용하여 뇌파신호를 받은 다음 저자들이 개발한 compressed spectral array (CSA) 시스템에서 뇌파자료를 분석하여 칼라 모니터에 표

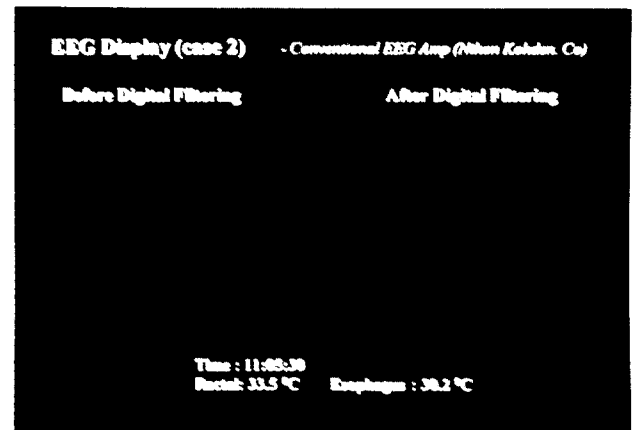


Fig. 3. Digital display of electroencephalograph (EEG) with conventional electroencephalography (Nihon Kohden, Japan) before filtering (left) and after filtering (right) at the esophageal temperature of 30.2 °C in case 2.

시하고, 원색으로 인쇄하였다. CSA 시스템은 뇌파신호를 디지털화하여 주파수영역(frequency domain)으로 변환하여 주파수 에너지의 크기를 표시한 것이다. DCSA는 에너지의 크기를 그 크기에 대응하는 칼라로 변환한 것이다. 그러나 뇌파 검사기의 부피가 크고 심장수술시 사용하는 많은 장비들로부터 나오는 전기노이즈들로 인하여 등전(isoelectric) 뇌파를 계속 감지하는데 문제가 있어서 뇌파신호 이외의 전기잡음을 제거하는 디지털 여과장치로 개선하는 방법을 이용하였다. 그러나 일부의 정상 뇌파신호가 소실되는 가능성을 배제할 수 없었으며(Fig. 3), 순환정지중에도 롤러펌프등을 가동하는 경우 펌프에 의한 노이즈가 발생되기 때문에(Fig. 4) 전기-뇌침묵(electrocerebral silence 또는 flat EEG)을 확인하기 위해서는 수초간 인공심폐기의 흡입이나 벤트용 펌프를 일시적으로 중단해야 하였다. 이러한 문제점들로 저자들은 전기잡음을 제거하기 위한 여러 여과장치를 부착한 뇌파 증폭장치를 새로 개발하여 뇌파신호를 획득하고 CSA에서 분석하도록 하였다.

결 과

수술 환자중 3례는 완전 순환차단을 하였으며(증례 1, 3, 5), 3례는 선택적 뇌관류법으로 뇌혈류는 관류시키면서(증례 2, 4, 6) 수술을 하였다. 뇌파가 소실된 직장체온은 매우 다양하여 16.1°C에서 22.1°C였으며(평균±SD: 18.4±2.0°C), 뇌파가 소실된 식도체온은 12.7°C에서 16.4°C(평균±SD: 14.7±1.6°C)였다. 완전 순환차단을 한 환자들의 경우 직장체온을 20°C 이하로 내린 후 뇌파가 완전히 소실된 약 3분이

Table 2. Rectal and esophageal temperature at isoelectric EEG and temperature at the time of reappearance of electroencephalogram

Case	Isoelectric RT(°C)	Temp(ECS) ET(°C)	Duration of TCA(minutes)	Reappearance of EEG Minutes RT(°C) ET(°C)			Postoperative CVA
1	17.8	16.4	36	?	?	?	No
2	18.0	14.2	selective perfusion(56 min)	?	?	?	POD# 3 months MCA infarction
3	16.1	15.8	56	5	16.1	15.4	No
4	17.3	12.7	selective perfusion(41min)	23	16.5	15.4	No
5	18.9	15.8	30	17	14.1	13.4	No
6	22.1	13.1	selective perfusion(92 min)	6	20.3	11.7	No

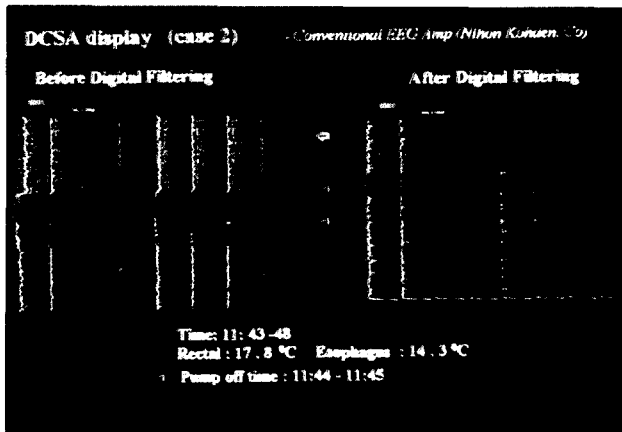


Fig. 4. Density compressed spectral array (DCSA) during circulatory arrest in case 2. After digital filtering of the EEG (right), noise from the roller pump could be reduced. After turning off the roller pump, signals were disappeared (between the arrows), left. After digital filtering (right), signals were reduced and no signals were found during pump off.

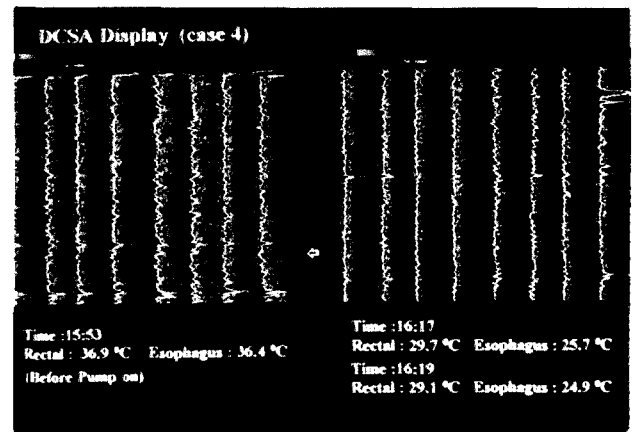


Fig. 5. Density compressed spectral array (DCSA) before (left) and after cardiopulmonary bypass (right) in case 4.

경과한 다음 순환차단을 하였다. 완전순환차단시간은 증례별로 각각 30, 56, 36 분이였다. 선택적 뇌관류 시간은 42, 56, 92분 이였다(Table 2).

완전 순환차단이나 선택적 뇌관류중 뇌파가 다시 나타나는 체온 및 시간을 검사한 결과 증례 1, 2 에서는 완전 순환차단이나 뇌관류중 수술실내에서 발생하는 잡음으로 인하여 뇌파가 다시 나타나는 것을 판단하기 매우 어려운 문제점이 있었다. 그러나 이러한 문제들을 해결하기 위하여 뇌파 증폭장치를 개발하여 잡음을 hardware 및 software적으로 제거한 결과(증례 3-증례 6)(Fig. 5, 6) 전기뇌침묵(electrocerebral silence)후 완전 순환차단이나 뇌관류시에도 완전히 편평한 뇌파(flat EEG)를 얻을 수 있었으며(Fig. 7), 뇌파가 다시 나

타나는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 4). 뇌파소실후 다시 나타나는 기간 및 온도는 환자에 따라 차이가 많아 직장체온이 14.1~20.3°C에서, 식도체온이 11.7~15.4°C에서 5~23 분사이에 다시 나타났다(Fig. 5). 증례 6에서는 직장체온과 식도체온 사이의 온도 차이가 많았으나 직장 및 식도체온이 15.0°C 이상에서는 약 20분 이내에 뇌세포의 활동이 나타나 뇌세포의 손상 가능성이 있는 것으로 나타났다. 그리고 선택적 뇌관류시에도 완전 순환차단시와 마찬가지로 일단 전기뇌침묵이 나타나도 어느 시간이 지나면 뇌파가 나타나 뇌세포의 활성이 나타나는 것을 알 수 있었다.

수술후 12시간 이내에 모든 환자의 의식이 돌아왔으며 수술후 30일 이내에 사망한 환자는 없었다. 증례 2, 6에서 수술후 좌측 횡격막 마비 증상이 있었으나, 증례 6은 수술전부터 좌측 반회신경 마비증상 및 횡격막마비가 있었던 환자

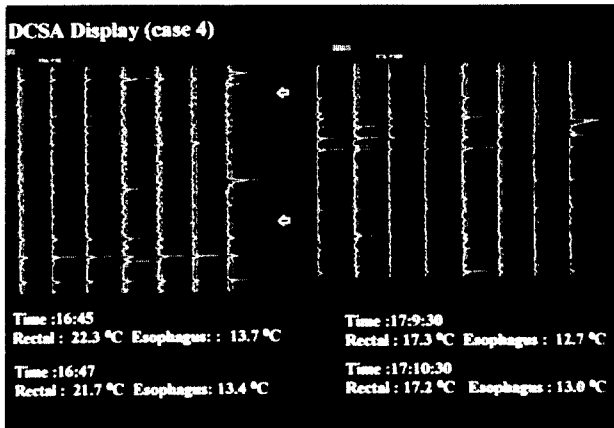


Fig. 6 Density compressed spectral array (DCSA) during cooling in case 4.

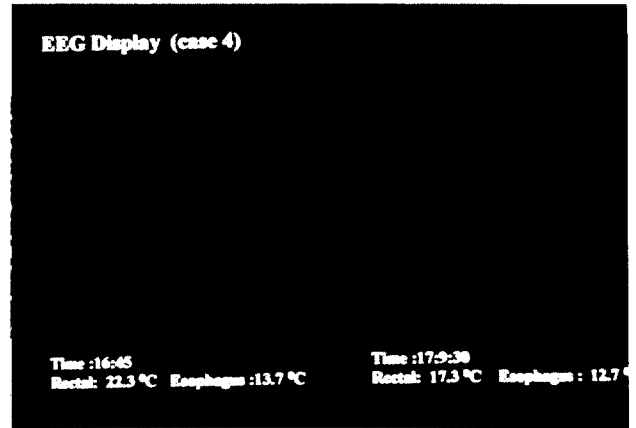


Fig. 7. Digital electroencephalograph at temperature of 22.3 °C (rectal), left and 17.3 °C (rectal), right before circulatory arrest in case 4.

었다. 증례 2에서 수술후 흡입에 의한 폐렴이 발생하였으며, 인공호흡등으로 치료하였으나 수술후 3개월에 우측 중뇌동맥 혈전에 따른 뇌경색이 발생되었고 수술후 4개월에 사망하였다. 수술후 6개월 이상 모든 환자를 관찰한 결과 수술에 따른 뇌의 이상은 없었던 것으로 생각되었다.

고 안

최근 상행대동맥 및 대동맥궁 수술 결과가 매우 향상되어 수술사망률이 10% 이내로 보고되고 있다⁴⁻⁶⁾. 수술결과가 향상된 이유로 초저체온하 완전 순환정지하에 수술을 하는 경우 약 30~45분간의 순환차단으로 심각한 뇌손상을 야기시키지 않음이 보고됨에 따라¹⁴⁾ 순환차단하에 깨끗한 수술시야에서 정확하게 수술을 하게 되었기 때문이다. 그외에 자기수혈기(autotransfusion system)를 이용하여 빨리 자기혈액을 수혈할 수 있게 되었으며, 혈액성분 수혈법이 발전함에 따라 긴 시간의 체외순환이나, 다량의 수혈, 초저체온에 따른 혈액응고장애를 해결할 수 있게 되어 수술결과가 매우 향상되었다고 할 수 있다. 또한 최근에 많이 사용하고 있는 콜라겐이나 알부민으로 전처리한 인조혈관이 개발됨에 따라 수술후 출혈이 감소되어 수술의 결과가 많이 향상된 것으로 생각하고 있다.

초저체온하 완전 순환차단하에 대동맥궁을 수술하는 경우 항상 30분 이내의 안전한 시간 이내에 수술을 마치고 뇌혈류를 재개하기란 불가능하다. 수술중 여러 문제점으로 45~60분 이상 완전 순환차단을 하는 경우 수술후 허혈에 따른 미만성의 뇌손상 가능성이 매우 높아지기 때문에^{4,15)} 최근 역행성 뇌관류법 (retrograde cerebral perfusion)을 이용하여 임상적으로 매우 훌륭한 업적을 보고하기도 하며⁶⁾, 1970

년대의 선택적 뇌관류법 (selective cerebral perfusion) 을 이용하기도 한다⁵⁾. 상기한 두가지 방법 모두 상행 대동맥 및 대동맥궁 수술시 뇌손상을 방지하기 위한 훌륭한 방법이지만 역행성 뇌관류법의 경우 뇌조직에 혈류가 균등하게 관류되지 않아 국소 허혈이 발생할 가능성이 있음이 동물실험으로 밝혀졌다^{16,17)}. 특히 Filgueiras등은¹⁶⁾ 중등도의 저체온하에 순행성과 역행성 뇌관류를 하여 뇌세포내 고 에너지 phosphate, adenosine triphosphate 및 phosphocreatine을 측정한 결과 역행성 뇌관류를 한 동물에서는 2시간후 재관류를 하여도 이들 무기 phosphate가 처음 값으로 되돌아 오지 않음을 관찰하였으며, 조직검사결과 뇌 전체에 허혈성 손상을 받은 것을 확인하여 역행성 뇌관류법으로 뇌 전체에 균등한 혈류공급을 하지 못함을 보고하였다. 선택적 뇌관류법의 경우 수술시 번거로운 단점과 무명동맥이나 좌총경동맥의 박리가 있거나 동맥경화성 플라크(plaque)가 있는 경우 동맥손상이나 플라크 파열에 따른 뇌색전증의 가능성이 있다. 따라서 가능하면 충분히 중심체온을 내려서 뇌대사를 완전히 정지시키면서 대동맥을 겹자로 교차차단하지 않는 개방성 수기(open technique) 가 뇌손상 및 수술결과를 향상시키는데 매우 중요한 역할을 할 것으로 생각된다.

Woodhall 등^{18,19)}에 의하면 체온이 21~20°C 이하에서 뇌파가 소실되나 21~23°C에서는 느리고 작은 전기활성이 다시 나타나고 30°C 이상에는 다시 정상의 뇌파가 나타나는 것이 관찰되었다. 특히 뇌 온도가 21°C 이하에서는 동정맥 산소차이(AV O₂ difference) 가 0에 가까와 뇌세포의 대사가 거의 소실됨이 확인되었다. 대동맥궁 수술시 뇌의 허혈성 손상을 예방하기 위하여 뇌파를 감시하여 체온이 하강하면서 뇌파가 소실 되는 경우 뇌세포 대사가 없는 상태로 생각하여 완전순환차단을 하고 수술을 하는 방법을 이용한다. Coselli등

은⁸⁾ 완전순환차단시 전기뇌침묵 (electrocerebral silence)이 된 다음 약 3분 이상 뇌파가 나타나지 않으면 안전한 것으로 생각하여 순환을 정지하여 뇌세포의 손상을 최대한 방지하고자 노력하여 매우 양호한 수술결과를 보고하였으나, 3~15%의 환자에서 수술후 새로운 후유증이 있는 뇌손상이 발생된 것으로 보고되었다^{3~4, 15)}. 국내에서도 1993년 김 등이²⁰⁾ 개에서 초저체온하 순환정지하에 60분간 역행성 뇌혈 관류시 뇌파를 관찰하고 뇌의 병리적 변화를 관찰하여 보고하였으나 뇌파에 노이즈가 매우 많아 전기뇌침묵을 판단하기에 어려움이 있었으며, 병리적으로 뇌의 출혈등의 특이 소견은 없었으나 부종이 발생되었다고 보고한 것으로 보아 뇌손상을 배제할 수는 없었다. 초저체온하 완전순환차단의 안전한 중심체온과 순환차단시간은 아직 연구된 바가 없으나 저자들은 체온을 내려 초저체온 상태에서 전기뇌침묵이 나타날 다음 순환차단을 하고 수술중 계속 뇌파를 CSA를 이용하여 감지한 결과 식도체온이 16°C 이하에서 순환차단후 5~20분 이내에 뇌파가 느린 파형으로 나타나기 시작하여 뇌파가 계속 나타나는 것으로 보아 뇌파가 소실되었다고 하여도 뇌대사를 완전히 차단하지 못하고 뇌세포의 활동이 나타나 세포의 허혈성 손상이 발생할 것으로 생각되었다. Crawford등⁹⁾은 뇌파 소실후에도 체외순환을 계속 유지하여 약 3°C 이상 체온을 더욱 내리는 것이 이러한 뇌세포의 활동을 가능하면 완전히 없애려고 노력한 것으로 생각된다. 그러나 저자들의 연구결과 직장체온이나 식도체온이 15°C 이상에서는 30분 이내에 뇌파가 나타나는 것으로 미루어 체온이 최하 15°C 이하가 되어야 뇌관류가 없어도 약 30분간은 안전하다고 생각되나 그 이상의 순환차단이 필요한 경우 더 많은 동물실험이나 임상연구가 필요하리라 생각된다. 또한 뇌세포의 활동이 조기에 나타날 수 있는 가능성중의 하나는 이미 Coselli등이 보고한 바와 같이⁸⁾ 뇌파가 소실되는 체온이 측정하는 부위마다 다르기 때문에 임상적으로 기준되는 체온 측정부위 외에 수술실내의 공기온도가 매우 중요한 변수로 생각되어 이에 대한 추가적인 연구도 필요하리라 생각된다.

수술후 뇌파의 회복은 환자에 따라 차이가 많아 매우 느린 뇌파가 25°C 이상까지 지속되고, 체온이 37°C에서도 체외순환전의 정상뇌파가 회복되지 않는 경우가 있었으며, 대부분 수술후 약 12 시간이상 지난 다음 정상 뇌파가 회복되는 것으로 미루어 수술시 허혈에 따른 뇌세포의 경미한 허혈성 손상이나 부종등에 따른 변화가 회복되는데 상당한 시간이 소요되는 것으로 생각되었다.

대동맥궁 수술시 뇌손상을 예방하기 위한 여러 방법들 중 초저체온하에 뇌파가 소실되어 뇌전기활동이 없는 상태에서 30분 이내의 뇌허혈 시간동안 수술하여 뇌혈류를 재개시키는 방법이 가장 안전하다고 할 수 있다. 저자들은 초저체온

하 대동맥궁 수술이 필요한 환자 6례에서 저자들이 개발한 뇌파 CSA를 이용하여 연속적으로 뇌파를 관찰한 결과 직장체온이나 식도체온이 15°C 이상에서는 30분 이내에 뇌파가 다시 나타나는 것으로 미루어 체온이 최하 15°C 이하가 되어야 뇌관류가 없어도 약 30분간은 안전한 온도로 생각된다. 그러나 체온이 15°C 이하로 너무 낮은 경우 혈액응고장애, 산소-혈색소 해리곡선의 좌측이동에 따른 산소유리의 억제나 혈액점도의 증가에 따른 말초혈류 장애가 발생하는 문제점도 고려해야 하기 때문에 뇌손상을 예방하기 위하여 적절한 온도와 관류방법등이 더욱 연구되어야 하리라 생각된다.

결 론

저자들은 뇌파 압축 스펙트럼 정렬 (compressed spectral array; CSA) 시스템을 개발하여 이를 대동맥수술시 초저체온 및 완전순환차단하에 뇌파감시에 적용하여 이의 유용성을 검증하고, 초저체온하 뇌파를 연속감시하여 뇌파가 소실되고 다시 나타나는 온도를 확인하여 순환정지의 안전한 온도와 시간을 연구하였다. 대상 환자들중 3례는 초저체온하 완전순환차단하에 수술을 하였으며, 3례는 초저체온하 선택적 뇌관류하에(500~700ml/분) 수술을 하였다. 뇌파가 소실된 체온은 직장체온이 16.1°C~22.1°C (평균: 18.4 ± 2.0), 식도체온이 12.7°C~16.4°C(평균: 14.7 ± 1.6)였다. 수술중 뇌파가 소실된 후 다시 나타난 시간은 5~23분이었으며 당시 직장체온은 14.1°C~20.3°C, 식도체온은 11.7°C~15.4°C 었다. 수술후 뇌손상의 증상은 없었으며, 수술과 관련된 사망은 없었다. 이상의 결과 식도체온이 16°C이하에서도 뇌파가 23분 이내에 다시 나타난 것으로 보아 식도체온이 15°C이상인 경우는 30분 이상의 완전순환차단으로 뇌손상의 가능성이 있다고 생각되었으며, 대동맥 수술시 CSA를 이용한 뇌파감시는 전기뇌활동을 감시하는데 유용한 방법으로 생각되었다.

참 고 문 헌

1. Drew CE, Anderson IM. *Profound hypothermia in cardiac surgery. Report of three cases.* Lancet 1959;1:748-50
2. Griep RB, Stinson EB, Hollingsworth JF, Buchler D. *Prosthetic replacement of the aortic arch.* J Thorac Cardiovasc Surg 1975;70:1051-63
3. Tharion J, Johnson DC, Celermajer JM, Hawker RM, Cartmill TB, Overton JH. *Profound hypothermia with circulatory arrest. Nine years' clinical experience.* J Thorac Cardiovasc Surg 1982;84:66-72
4. Svensson LG, Crawford ES, Hess KR et al. *Deep hypothermia with circulatory arrest. Determinants of stroke and early mortality in 656 patients.* J Thorac

- Cardiovasc Surg 1993;106:19-31
5. Kazui T, Kimura N, Yamada O, Komatsu S. *Surgical outcome of aortic arch aneurysms using selective cerebral perfusion.* Ann Thorac Surg 1994;57:904-11
 6. Pagano D, Carey JA, Patel RL, et al. *Retrograde cerebral perfusion: Clinical experience in emergency and elective aortic operations.* Ann Thorac Surg 1995;59:393-7
 7. Connolly JE, Roy A, Guernsey JM, Stemmer EA. *Bloodless surgery by means of profound hypothermia and circulatory arrest. Effect of brain and heart.* Ann Surg 1965;162:724-37
 8. Coselli JS, Crawford ES, Beall AC, et al. *Determination of brain temperature for safe circulatory arrest during cardiovascular operation.* Ann Thorac Surg 1988;45:638-41
 9. 유선국, 고한우, 이성훈, 이호영, 김원기, 박상희. 스펙트럼 해석방법에 의한 다중 채널 뇌파의 Topographic Brain Map. 의공학회지 1988;9(1):31-6
 10. 김기만, 유선국, 김남현. "직렬로 연결된 적응 필터링을 이용한 EEG 내의 잡음제거", 의용생체 공학회 춘계 학술대회 논문집. 1996;18(1):143-146
 11. Maresch H, Pfurtscheller G, Schuy S. "Brain function monitoring : a new method for simultaneous recording and processing of EEG power spectra and brainstem potentials (BAEP), Biomedical Technology 1983;28:117-22
 12. Snyder EJ, Showlin GJ, Beacham SG, Gesink J. *Artifact induced by roller pump tubing on EEG tracings of neonatal ECMO patients.* J Clinical Eng 1995;20(1):39-47
 13. Ifeachor EC, Jervis BW. *Adaptive digital filters.* In: Ifeachor EC, Jervis BW. *Digital signal processing-a practical approach. 1st ed.* Wokingham, England Addison-Wesley Co., 1993;541-76
 14. Mezrow CK, Sadeghi AM, Gandsas A. et al. *Cerebral blood flow and metabolism in hypothermic circulatory arrest.* Ann Thorac Surg 1992;54:609-16
 15. 박계현, 진태국, 지현균, 이정필, 김용진, 노준량, 서경필. 저체온하 순환정지를 이용한 소아 개심술 후의 신경계 이상에 대한 평가. 대흉외지 1996;29:14-23
 16. Filgueiras CL, Winsborrow B, Ye J. et al. *A 31P-Magnetic resonance study of antegrade and retrograde cerebral perfusion during aortic arch surgery in pigs.* J Thorac Cardiovasc Surg 1995(110);55-62
 17. Ye J, Yang L, Del Bigio MR, Filgueiras CL, Ede M, Summers R, Salerno TA, Deslauriers R. *Neuronal damage after hypothermic circulatory arrest and retrograde cerebral perfusion in the pig.* Ann Thorac Surg 1996;61:1316-22
 18. Woodhall B, Reynolds DH, Mahaley S, Sanders AP. *The physiologic and pathologic effects of localized cerebral hypothermia.* Ann Surg 1958;147:673-683
 19. Woodhall B, Hall K, Mahaley S, Jackson J. *Chemotherapy of brain cancer: experimental and clinical studies in localized hypothermic cerebral perfusion.* Ann Surg 1959;150:640-652
 20. 김치강, 심재천, 김용환, 광문섭, 김세화, 이홍균. 초저체온 순환정지시 역행성 뇌혈 관류의 실험적 연구. 대흉외지. 1993;26:513-20

=국문요약=

복합 심장질환이나 대동맥궁 수술시 뇌손상을 보호하기 위하여 오래전부터 초저체온하 완전순환정지법을 이용하고 있다. 수술후 뇌손상을 예방하기 위하여 여러 방법들을 이용하여 왔으며, 1994년 이후 저자들은 뇌대사를 감시하기 위한 방법으로 수술중 뇌파감시를 하고 있다. 저자들은 심장수술실에 사용이 편리한 뇌파 압축 스펙트럼 정렬(compressed spectral array; CSA) 시스템을 개발하여 이를 대동맥수술시 초저체온 및 완전순환차단에 뇌파감시에 적용하여 이의 유용성을 검증하고, 초저체온하 뇌파를 연속감시하여 뇌파가 소실되고 다시 나타나는 온도를 확인하여 순환정지의 안전한 온도와 시간을 연구하였다. 급성 대동맥박리증 3례와 대동맥궁 대동맥류 3례(2례는 가성)의 대동맥질환 환자를 연구대상으로 하였다. 직장과 식도체온을 연속 감시하였으며, 마취후 뇌파를 연속감시하였다. 대상환자들중 3례는 초저체온하 완전순환차단에 수술을 하였으며, 3례는 초저체온하 선택적 뇌관류하(500 - 700ml/분) 수술을 하였다. 환자의 체온을 하강하여 뇌파가 소실된 후 약 3분 후에 순환정지나 선택적 뇌관류를 하였다. 뇌파가 소실된 체온은 직장체온이 16.1℃-22.1℃(평균: 18.4±2.0), 식도체온이 12.7℃~16.4℃(평균: 14.7±1.6)였다. 완전순환차단 환자의 경우 뇌 허혈 시간은 각각 30, 36, 및 56분이었으며, 뇌관류 환자의 경우 각각 41, 56, 92분이었다. 수술중 뇌파가 다시 나타난 시간 및 체온은(증례 3~6) 5~23분후에 직장체온이 14.1℃~20.3℃, 식도체온이 11.7℃~15.4℃에서 나타났다. 수술후 뇌손상의 증상은 없었으며, 수술과 관련된 사망은 없었다. 이상의 결과로 식도체온이 16℃이하에서도 뇌파가 23분 이내에 다시 나타난 것으로 보아 식도체온이 15℃이하는 되어야 약 30분간의 완전순환차단에 안전하리라 생각되었으며, 대동맥 수술시 CSA를 이용한 뇌파감시는 전기뇌활동을 감시하는데 유용한 방법으로 생각되었다.