

마취 심도 측정을 위한 뇌파 계측의 유용성 평가

김재현, 박준모, 천상오, 예수영, 정도운, 백승완*, 전계록**
부산대학교 대학원 의공학협동과정, 부산대학교 의과대학 마취과학*,
부산대학교 의과대학 의공학교실**
전화 : 051-257-2866 / 핸드폰 : 016-554-7772

Usefulness Evaluation of measuring EEG for the Anesthetic Depth Monitoring

J. H. Kim, J. M. Park, S. O. Cheon, S. Y. Ye, D. U. Jeong, S. W. Baek*, G. R. Jeon**
Dept. of Interdisciplinary program in Biomedical Engineering, Pusan National University,
Dept. of Anesthesia, College of Medicine, Pusan National University*
Dept. of Biomedical Engineering, College of Medicine, Pusan National University**
E-mail : bluewap@empal.com

Abstract

In this study, we measure and analyzed variation of EEG signal by anesthesiologist progress step. In an experiment, the EEG signal was acquired and analyzed as 5 steps(prior surgical operation, during induction, surgical operation, awakening, posterior surgical operation).

As a result, we confirm the anesthesiologist progress phase, concluded the possibility of anesthesia depth because using SEF and MF, and Delta ratio confirmed that can presume operating patient's consciousness state.

I. 서론

마취의 목적은 환자에게 수술의 불안과 공포를 덜어 주어 환자의 불안 해소, 기억 상실, 진통, 혈액학적 안정을 유지하고, 수술 중 기도내 분비물 감소와 위 내용물의 흡인 기회 감소 및 감염 예방을 위하여 실시한다. 마취에 의한 신체변화의 주된 요소는 취면, 진통, 근이완, 반사억제 등으로 알려져 있다. 충분한 마취심도에 도달하게 되면 자율신경계의 반사작용에 대한 정후를 나타내지 않으며, 수술 중 자극에 대해서도 통증을 인지하지 못한다[1,2].

전통적인 마취심도의 측정 법은 의식의 소실을 확인

하기 위한 구두 명령에 대한 응답, 눈꺼풀 반사의 소실 등과 같은 비 정량적 기준에 의해 이루어져왔다. 그러나 최근에는 보다 안정적인 마취심도 유지를 위해 정량적인 계측 기법에 대한 다양한 연구가 수행되고 있다. 과학적 계측과 판단이 마취의 심도 판정에 도입되게 된 것은 전신 마취제의 투여량이 증가하면 뇌파전체가 서파화(徐波化)된다는 사실에서 출발하였다.

초기 연구에서는 미약한 자발 신호인 뇌파에 비하여 수술시 사용하는 여러 기구에 의한 잡음 문제가 마취심도를 측정하는데 영향을 주었다. 하지만 전자기술의 발달에 힘입어 우수한 성능의 계측기들의 개발과 신호처리기법의 발달에 힘입어 최근에는 뇌파의 계측에 의한 마취심도 계측법이 소개되고 있다. 이들 중의 하나가 흡입마취제가 뇌파의 변화를 유발한다는 연구의 결과를 토대로 뇌파의 변화를 측정하여 마취심도를 평가하는 Bispectral Index가 있으며, 현재 임상에서 활용되고 있다. Bispectral Index는 1994년 Sigi 등이[3] 마취심도의 객관적인 평가에 사용될 수 있다는 발표 이후 마취된 환자의 마취심도, 특히 진정수면상태를 평가할 수 있는 유용한 도구로 평가되고 있으며, 마취 심도의 실시간 관찰이 가능하다는 특징을 가지고 있다[4].

본 연구에서는 마취의 진행 단계에 따른 뇌파의 변화를 계측하고 분석하여 마취 심도 평가에 있어서의 유용한 파라미터를 색출하여 정확한 마취심도를 평가할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다. 그리고 이를 위한 선

행 연구로서 뇌파 계측의 유용성을 평가하고자 하며, 뇌파계측을 통해 획득할 수 있는 대표적인 SEF(spectral edge frequency), MF(median frequency), Delta ratio의 유용성을 평가하였다.

II. 본론

1. 뇌파의 계측

본 연구의 실험 대상군은 부산대학교 병원에 내원한 4명의 수술 환자를 대상으로 하였으며, 뇌파 전극의 배치는 국제 뇌파 및 임상 뇌 대사 학회 연맹(International Federation of Societies for Electroencephalography and Clinical Neurophysiology)에서 추천한 10 - 20 전극법에 근거한 전두엽 FP1(frontal pole 1) 전극을 사용하여 뇌파를 계측하였다. 그리고 마취의 진행 단계, 즉 수술 전, 마취유도 중, 수술 중, 마취 회복(각성 중), 수술 후의 5단계로 나누어 10 ~ 30 분 단위로 뇌파를 계측하였으며 마취 진행 단계에 대한 정의는 실험에 참가한 마취의의 구두 선언에 근거하여 구분하였다. 보다 많은 실험군의 확보를 위하여 수술시간이 비교적 짧은 1 ~ 2 시간 내외의 수술시간이 소요되는 산부인과 환자를 대상으로 계측이 진행되었다. 수술 전 뇌파는 수술 전 투약되는 투약제의 영향을 피하기 위하여 수술전날 직접 병실을 방문 계측하였고, 수술 후 단계의 뇌파는 역시 수술 중 투여된 약물의 효과를 감안하여 수술 다음날 계측하여 실험군 데이터로 활용하였다.

2. 계측기의 구성 및 설정

뇌파 계측기는 Physiolab 800 (제작사 : 세로텍 Poligraph)의 EEG 모듈을 사용하였으며, Sampling rate는 512 Hz, 신호의 필터 대역은 35 Hz의 LPF와 1 Hz의 HPF를 사용하였다. 그리고 신호의 이득은 100 K로 설정하였다. 또한 획득된 뇌파의 신호를 디지털 신호로 변환하기 위하여 8채널의 A/D 변환기 (DAQ500, NI Co., USA)를 사용하였다.

3. 뇌파의 전처리

수술실의 많은 수술 기구들은 뇌파 계측에 상당한 영향을 줄 수 있다. 계측된 뇌파 데이터는 전극의 접촉 불량, 전기 수술기 및 수술 장비의 사용으로 인해 발생하는 비정상적인 잡음이 수반된다. 그리고 최종적인 신호 처리결과에 영향을 줄 수 있으므로 이들 신호를 제거하는 과정을 거친 후 신호 처리 과정을 수행하였다. 계측된 뇌파신호는 Base line correction 기법과 Linear detrend 기법을 사용하여 전 처리 과정을 수행

하였다. Baseline correction 기법은 계측이 진행되는 동안 발생하는 온도변화, Static potential에 의해 발생하는 전기적 offset을 제거하기 위해서 뇌파신호의 전체평균을 구하고 각각의 뇌파 전위에서 전체평균을 빼서 Offset이 제거된 새로운 뇌파를 추출하였다. 그리고 환자의 움직임 등에 의해 신호 파형이 증가하거나 감소하는 artifact를 줄이기 위해서 사용한 Linear detrend 기법은 EEG 전극값과 artifact에 해당하는 직선과의 제곱오차를 최소화하도록 기울기와 절편을 결정하는 기법으로서 수식 1과 수식 2에 나타내었다.

$$a = \frac{cov(X, Y)}{var(X)} \quad (1)$$

$$b = E[Y] - \frac{cov(X, Y)}{var(X)} E[X] \quad (2)$$

4. 마취 심도 파라미터

주파수 성분 분석을 통하여 획득할 수 있는 파라미터 중 현재 임상에서 많이 적용되어지고 있는 SEF(spectral edge frequency), MF (median frequency), Delta ratio 등의 3가지 파라미터를 추출하였으며, SEF 파라미터는 전체 주파수 대역이 1 ~ 35 Hz의 spectrum power의 누계에 대하여 각 주파수별 spectrum power의 누적 합이 95%에 이르는 주파수를 의미하며, MF는 전체주파수대역에 대하여 spectrum power의 누적 합이 50%에 이르는 주파수를 의미한다. SEF와 MF는 propofol 마취의 심도와 수면 상태 등을 예측하는데 사용되는 것으로 알려져 있다[7]. 그리고 Delta ratio는 뇌파 중 alpha 파와 beta 파의 합에 대한 delta 파의 비율로 정의되며, 마취 중 의식의 존재 유무와 깊은 관련성이 있는 것으로 알려져 있다[8,9]. 그림 1에 95% SEF와 MF의 power spectral 분석분포도를 나타내었다.

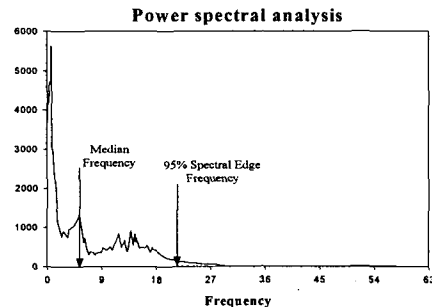


그림 3. 95% SEF와 MF의 분포도

III. 실험결과

계측된 뇌파의 분석 결과를 살펴보면 SEF의 경우 각성 상태에서 일반적으로 25 Hz 이상의 값을 보인다고 알려져 있지만 실험 결과에서는 보편 수술 전술 계측과, 수술 후의 각성 상태 계측에서 24 ~ 31 Hz 사이의 값을 얻을 수 있었다. 또한 수술 유도 중, 수술 중의 단계를 살펴보면 수술 유도중인 단계, 즉 마취 약제를 투입하여 마취에 이르게 하는 단계에서 더 낮은 SEF 값이 나타남을 보이고 있다. 마취 약제가 투입된 수술 유도, 수술중의 단계에서는 전체적으로 11 ~ 19 Hz 사이의 값을 보이고 있으며, 수술후반 마취 약제의 투여가 중단되고 환자의 의식이 회복되는 각성 단계에서는 18 ~ 24 Hz 의 값이 나타나 수술 전, 후의 완전 각성 상태의 값에 가까워지는 것을 확인 할 수 있다. MF는 수술 전, 수술 후의 각성 상태에서 9 ~ 14 Hz 사이의 값을 보이며 마취 약제가 투입된 수술 유도 중, 수술 중 단계에서는 3 ~ 6 Hz 사이의 값을 보였다. 그리고 약제 투여가 중단되고 회복중인 단계에서는 10 ~ 13 Hz 의 값을 나타내었다. Delta ratio는 수술 전, 후의 단계에서 환자간의 편차가 심하게 나타났으며, 의식이 상실되었을 것으로 추정되는 수술 중 단계에서는 0.29 ~ 0.83 사이의 값을 나타내었다. 각 실험 대상군에 대한 단계별 뇌파의 파라미터 변화를 표 1에 나타내었고, SEF의 마취단계별 변화추이를 그림 2에, MF의 변화추이를 그림 3에 Delta ratio의 변화추이를 그림 4에 각각 나타내었다.

표 1. 단계별 뇌파 파라미터 의 변화

구분	마취 단계	Delta Ratio	95% SEF(Hz)	MF(Hz)
환자 A	수술 전	1.25	27	9
	마취유도	0.09	12	3
	수술 중	0.29	15.333	3.333
	각성	3.31	23	12
	수술 후	0.95	31	9
환자 B	수술 전	1.44	27	11
	마취유도	0.12	11	6
	수술 중	0.68	16.3	6.3
	각성	1.90	18	12
	수술 후	1.42	25	10
환자 C	수술 전	3.27	27	11
	마취유도	0.62	19	5
	수술 중	0.83	17.5	6
	각성	3.68	23	13
	수술 후	0.81	27	7
환자D	수술 전	2.52	24	10
	마취유도	0.90	19	6
	수술 중	0.42	16.5	3.5
	각성	3.41	24	10
	수술 후	3.99	27	14

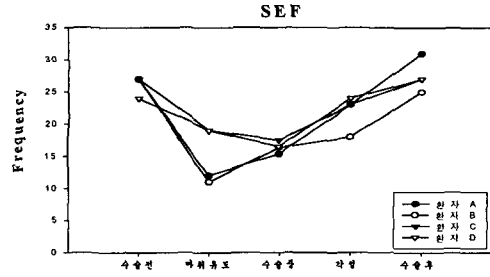


그림 4. 마취 단계별 95% SEF의 변화 추이

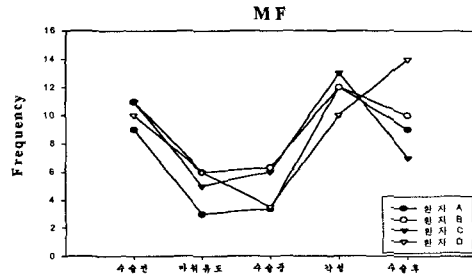


그림 5. 마취 단계별 MF의 변화 추이

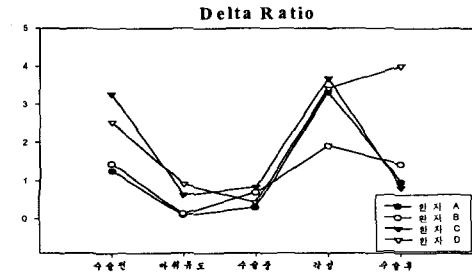


그림 6. 마취 단계별 Delta ratio의 변화 추이

IV. 결론 및 고찰

마취심도 평가를 위하여 임상에서 사용되는 3가지 파라미터 중 SEF와 MF를 이용하여 마취의 진행 단계의 추정이 가능함을 확인 할 수 있었으며, Delta ratio는 수술중인 환자의 의식상태 추정이 가능함을 확인 할 수 있었다. 마취는 뇌가 관장하는 중추 신경계 뿐만 아니라 자율신경계에도 영향을 미친다. 그러므로 중추 신경계의 상태만을 반영하는 특성을 가지고 있는 뇌파의 계측만으로 마취의 상태를 정확히 추정 할 수 없다. 따라서 마취 단계의 진행에 따른 심박 수의 변화와 같은 자율신경계의 상태를 반영하는 생체신호 계측을 병행하면 더욱더 정확한 마취심도의 평가가 가능할 것으로 사료되며, 이를

위하여 뇌파를 이용한 다양한 파라미터의 개발뿐만 아니라 심전도, 체온, 산소포화도, 호흡 등의 생체신호를 종합적으로 분석 평가하기 위한 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Pres-Robert C: Anaesthesia: A practical construct. Br J Anaesth 1987; 59: 1341-5.
- [2] Sebel PS : Evaluation of anaesthetic depth. :Br J Hosp Med 1987; 38: 116-7.
- [3] Sigl JC, Chamoun NC: An introduction to bispectral analysis for the EEG. J Clin Monit 1994; 10: 392-404.
- [4] Liu J, Singh H, White PF: Electroencephalogram bispectral analysis predicts the depth of midazolam-induced sedation. Anesthesiol 1996; 84: 64-9.
- [5] 이택용, "신경망을 사용한 뇌파 및 Artifact 자동 분류", 광운대학교대학원, 석사학위논문, 1994 : p 5.
- [6] 안창범, 이용제, 윤영로, 이경중, "생체 신호처리의 현황과 전망", 의공학회지, 제20권, 제2호, pp 119~138
- [7] 松木朋知 著, 최영규, 백승완 譯, "정맥마취와 BIS 감시장치", 의학문화사, 1999 : 26~27.
- [8] Doi M, Gajraj RJ, Kenny GNC: Relationship between calculated blood concentration of propofol and spectral edge frequency, median frequency and auditory evoked potential index. Br J Anaesth 1997;78: 180-4.
- [9] 고준석 외 5명, "Halothane, Enflurane 및 Isoflurane 흡입시의 흰쥐 뇌파 스펙트럼 분석", 대한마취과학회지, 제27권, 제 10 호, 1994; pp 1217~1226