

뇌파 스펙트럼 분석에 의한 마취 심도 지표 개발

예수영¹, 백승원², 김재형³, 박준모⁴, 전계록⁴

¹부산대학교 의학전문대학원 BK21 고급의료인력양성사업단,

²부산대학교 의학전문대학원 마취과학교실

³인재대학교 컴퓨터 응용과학부

⁴부산대학교 의학전문대학원 의공학협동과정

Development for the Index of an Anesthesia Depth using the Power Spectrum Density Analysis

Soo-Young Ye¹, Swang-Wan Baik², Jae-hyung Kim³, Jun-Mo Park⁴, Gye-Rok Jeon⁴

¹BK21 Medical Science Education Center, College of Medicine, Pusan National University

²Dept. of Anesthesia and Pain Medicine, College of Medicine, Pusan National University

³School of Computer Aided Science, Inje University

⁴Dept. of Biomedical Engr., College of Medicine, Pusan National University, Busan, Korea

(Received April 27, 2009. Accepted July 20, 2009)

Abstract

In this paper, new index was developed to estimate the depth of anesthesia during general anesthesia using EEG. Analysis of the power spectral density(PSD) of EEG was used to develop new parameters because EEG signal tends to have slow wave during anesthesia. Classifier for index creator was developed by using SEF, BDR and BTR parameters, which are calculated by power spectral density. EEG data were obtained from 7 patients (ASA I, II) during general anesthesia with Sevoflurane. The anesthetic depth evaluation indexes ranged from 0 to 100. The average were 86.05 ± 10.1 , 36.98 ± 20.2 , 15.33 ± 13.6 , 50.87 ± 16.5 and 87.72 ± 11.7 for the states of pre-operation, induction of anesthesia, operation, awaked and post-operation, respectively. The results show that while the depth of anesthesia was evaluated, more accurate information can be provided for anesthetician.

Key words : Depth of anesthesia, Power spectrum density, EEG

1. 서론

수술 중 시행하는 마취의 부적절한 결과로 인해 환자는 통증을 동반한 각성이나 통증을 동반하지 않은 각성으로 인하여 불유쾌한 경험을 하는 경향이 있다. 이러한 통증이나 각성으로 인한 환자의 고통을 예방하기 위하여 마취심도의 측정에 대한 중요성이 대두되고 있다. 따라서 마취심도를 측정할 수 있는 객관적인 기준을 마련하여 깊거나 얇은 마취 상태를 피해야 하며 부적절한 마취에 따르는 부작용들을 방지하여야 한다. 안정적인 마취 수준을 유지하기 위하여 수술 중 마취심도를 평가하는 기법에 관한 많은 노력과 연구들이 수행되었으며 현재도 진행되고 있다.

현재까지 마취심도 평가를 위해 연구된 방법들은 크게 자극에

대해 환자의 상태를 종합적으로 판단하는 방법과 자극에 대해 신경계의 반응을 전기적으로 감시하는 방법으로 구분할 수 있다. 환자의 임상적 상황을 관찰하는 방법에는 PRST 점수[1-3]와 고립된 아래팔 방법 (isolated forearm technique, IFT)[4-6] 등을 활용하고 있다. 그리고 신경계의 전기적 신호를 감시하는 방법에는 대뇌의 자발적인 반응인 뇌파를 측정하는 방법과 자극에 의해 발생하는 유발전위 (evoked potential)를 측정하는 방법 등에 관한 연구가 수행되었다[7]. Bickford[8]은 전신마취 시 발생하는 뇌파의 주파수 성분 변화 양상을 이용하여 마취심도를 평가하는 압축 스펙트럼배열 (compressed spectral array, CSA) 기법에 관한 연구를 수행하였고, Sigl[9]는 뇌파 신호 분석에 고차 스펙트럼 분석법의 하나인 비선형 분석법으로 알려진 바이스펙트럼 (bispectrum) 분석 기법을 도입하여 마취심도 지표 개발에 관한 연구를 수행하였다. 이후 바이스펙트럼지수계 (bispectrum index system, BIS, Aspect Co., USA)가 개발되어 임상에서 마취심도의 평가에 사용

Corresponding Author : 전계록

경남 양산시 물금읍 범어리 양산부산대학교 의학전문대학원 207호

Tel : +82-51-510-8119 / Fax : +82-51-510-8120

E-mail : grijeon@pusan.ac.kr

본 연구는 과학재단 특정기초 연구과제(R01-2007-000-20260-0)에 의해 지원되는 연구비로 수행하였음.

되고 있으며, 특히 수술 중 환자의 진정 상태를 평가 할 수 있는 유용한 도구로 평가되고 있다. 뇌파 신호의 비선형 특성을 잘 반영하는 고차 스펙트럼 분석법의 하나인 바이스펙트럼 분석은 뇌에서 마취제와 진정제의 최면 효과를 측정하는 뇌전도의 지표로서 통계학적으로 의식 및 무의식에 관련이 있는 뇌전도의 빈도 (frequency), 진폭 (amplitude)과 간섭성 (coherence) 등을 측정한다[10].

이러한 연구 결과에도 불구하고 최근까지 마취심도를 측정할 수 있는 객관적이고 정량화된 방법이 개발되지 않은 실정이다. 따라서 마취심도를 나타내는 지표의 개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 수술 중인 환자의 마취단계별 마취심도를 정량적으로 관찰할 수 있도록 마취심도 지표를 개발하고자 하였다. 수술 중 뇌파 신호를 계측하기 위하여 부산대학교 병원 산부인과에 내원한 수술 환자 중 비교적 수술시간이 짧고 전신 흡입마취 시술을 받는 환자를 대상으로 실험을 수행하였으며, 사전에 수술 대상 환자에게 연구의 취지를 설명하여 환자의 동의를 구하였다. 마취단계는 마취 전, 마취유도, 수술 중, 마취회복, 그리고 수술 후의 5 단계로 구분하였다. 생체신호계측기 (PhysioLab 400, PhysioLab Co., KOREA)를 이용하여 구분된 마취단계별 뇌파 데이터를 획득하였으며, 동시에 BIS 시스템을 이용하여 마취심도 지표를 측정하였다. 생체신호계측기로부터 획득한 뇌파 신호를 전처리과정에 의해 디지털 신호로 변환한 후 고속푸리에변환 (fast fourier transform, FFT)하였다. FFT된 뇌파의 스펙트럼 중 수술 중 환자의 진정 수준을 반영한다고 알려진 SEF(spectral edge frequency) [11]와 뇌파를 구성하는 주요 주파수 성분별 비율, 즉 BTR(beta-theta ratio)과 BDR(beta-delta ratio)을 산출하였다. 그리고 이들 세 가지 파라미터에 대해 임계치를 설정하고 임계치 범위 내의 값들을 정규화하여 마취심도 평가 지표 생성을 위한 새로운 파라미터인 index A, B, C를 산출하고 비율을 설정하여 보다 객관화된 마취심도 지표를 개발하였다. 개발된 마취단계별 마취심도 지표의 임상적 유의성을 검증하기 위하여 BIS 시스템으로부터 출력된 마취심도 지표와 비교 검토하였다. 비교 검토 과정에서 실험적으로

많은 시행 및 오류 (trial and error)를 거쳐 마취심도 평가 지표 생성을 위한 index A, B, C 및 비율을 조정하였다. 조정 결과 본 연구에서 제안한 새로운 마취심도 평가 지표는 수술 중 환자의 마취심도를 모니터링할 수 있는 지표로 사용 가능함을 알 수 있었다.

II. 연구 방법

A. 연구 대상 및 방법

본 연구를 수행하기 위하여 선정된 실험대상군은 마취과학회에서 규정한 신체분류 등급 ASA 1(건강한 환자) 또는 ASA 2(경한 전신 질환, 기능 제한 없음) 환자들이며, 심장질환, 고혈압, 자율신경계 병력이 있거나 혈압조절 약물을 복용중인 경우 획득된 신호에 영향을 미치므로 배제하였다. 수술 중 뇌파 신호를 계측하기 위하여 부산대학교 병원 산부인과에 내원한 수술 환자 중 비교적 수술시간이 짧고 전신 흡입마취 시술을 받는 환자를 대상으로 실험을 수행하였으며, 사전에 수술 대상 환자에게 연구의 취지를 설명하여 환자의 동의를 구한 후 뇌파 데이터를 획득하였다. 대상 환자의 평균 연령 47.7 ± 9.1 세이고, 평균 체중은 70.7 ± 10.5 kg 이었다. 수술전 처치로서 마취전 투약제 glycopyrrolate 0.004 mg/kg 과 midazolam 0.05 mg/kg을 수술 시작 30분전 병실에서 근육주사하였다.

뇌파 신호를 획득하기 위하여 생체신호계측기 (PhysioLab 400, PhysioLab Co., KOREA)를 사용하였다. 뇌파 신호는 PhysioLab 400 장비를 이용하여 100 K의 이득으로 증폭하였으며, 35 Hz의 저역통과필터 (low pass filter, LPF), 1 Hz의 고역통과필터 (high pass filter, HPF) 그리고 60 Hz 잡음의 제거를 위한 노치필터 (notch filter)를 적용하여 뇌파신호를 측정하였다. 실험측정된 뇌파 신호를 256 Hz로 샘플링하였고, 12 bit로 양자화하여 디지털 신호로 변환한 뇌파 데이터를 이용하였다.

뇌파 신호 계측을 위하여 접촉식 패치 형태의 일회용 은-염화은 (Ag-AgCl) 전극을 사용하였으며, 전극의 부착 위치는 국제뇌파

표 1. 뇌파신호 분류와 특징들

Table 1. Classification and characteristic of EEG signal

EEG	Frequency Range[Hz]	Character	Pathologically
Delta	0 ~ 3	· Adults slow wave sleep · In babies	· Subcortical lesions · Diffuse lesions · Metabolic encephalopathy hydrocephalus · Deep midline lesions
Theta	4 ~ 7	· Young children · Drowsiness or arousal in older children and adults	· Focal subcortical lesions · Metabolic encephalopathy · Deep midline disorders · Some instances of hydrocephalus
Alpha	8 ~ 12	· Closing the eyes and by relaxation.	· Coma
Beta	12 ~ 30	· Active, busy or anxious thinking, active concentration	· Benzodiazepines
Gamma	26 ~ 100	· Certain cognitive or motor functions	

및임상뇌대사학회연맹 (international federation of societies for electroencephalograph and clinical neurophysiology)에서 추천한 10 ~ 20 전극 배치법을 적용하여 전두엽 FP1에서 뇌파 신호를 측정하였다.

B. 뇌파의 분류

뇌파는 알파 (alpha, α), 베타 (beta, β), 델타 (delta, δ), 세타 (theta, θ) 그리고 감마 (gamma, γ) 파형 등으로 구분된다. 뇌파 신호의 전기적 특성은 주로 10 ~ 100 μV의 진폭과 100 Hz 이하의 주파수 범위를 지니며, 임상적으로 유용한 정보는 대부분 30 Hz 이하에 포함되어 있다. 뇌파 신호를 구성하는 주요 성분들의 특징은 Table 1과 같다.

마취심도가 깊어질수록 뇌파는 서파 (slow wave)화 되는 현상, 즉 고주파 영역인 α 파나 β 파보다는 저주파 영역인 δ 파나 θ 파가 많이 나타난다. 따라서 고주파 영역에 해당하는 α power + β power에 대한 저주파 영역의 δ 파 및 θ 파의 power 비율인 δ ratio와 θ ratio를 구하였다. α, β, δ, θ 파형들은 인간이 어떠한 상태에 있든지 간에 정도의 차이는 있지만 모든 파형이 나타난다. 이들 파형 중 깨어 있을 때 나타나는 α, β 파형 중 마취 중에는 수술에 대한 불안, 걱정과 공포 등으로 인하여 β 파가 많이 나타날 것으로 예상되므로 수술 중 깨어 있는 기준을 β 파로 설정하여 새로운 파라미터 설정에 이용하였다. 따라서 δ ratio에 대한 β ratio의 비율과 θ ratio에 대한 β ratio의 비율을 나타내는 BDR과 BTR 파라미터를 새로운 파라미터로 설정하였고, 이들 파라미터들을 이용하여 마취심도 지표를 구하고자 하였다.

C. 분석 방법

뇌파 데이터의 분석을 용이하게 하기 위하여 전처리과정 (preprocessing), 즉 기저선보정 (base line correction)과 선형추세제거 (linear detrend) 기법을 적용하였다. 전처리과정을 거친 뇌파 데이터로부터 마취심도 분석에 유용한 파라미터를 추출하기 위하여 스펙트럼 분석 기법을 사용하여 SEF, BDR, BTR 등의 3 가지 파라미터들을 추출하였다.

수술 중 환자로부터 측정된 뇌파 데이터를 매 5초 간격으로 5초의 데이터를 오버랩 (overlab)하여 총 10초간의 뇌파 데이터에 대하여 스펙트럼 분석을 반복적으로 수행하였다. 전력스펙트럼 분석 방법을 이용하여 수술경과에 따른 시계열 뇌파 데이터를 주파수 영역으로 변환하기 위하여 FFT를 수행하였다.

현재 임상에 적용되고 있는 마취심도 평가 파라미터인 95% SEF 파라미터를 추출하기 위한 수식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$95\% \text{ SEF} > \frac{TP}{100} \times 95 \tag{1}$$

여기서, TP(total power)는 뇌파 데이터의 전체 PSD의 크기이며, 95% SEF는 전체 PSD의 95%가 되는 지점의 주파수를 의미

한다.

다음으로는 뇌파의 주요 구성성분인 α 파, β 파, δ 파, 그리고 θ 파 각각의 PSD를 계산한 후 이들 상호 간 비율을 이용하는 파라미터들로서 delta ratio, theta ratio, alpha ratio, 그리고 beta ratio 등의 파라미터를 추출하였다. 이들 파라미터를 추출하기 위해 적용한 수식은 다음과 같다.

$$\delta ratio = \frac{\delta power}{\alpha power + \beta power} \tag{2}$$

$$\theta ratio = \frac{\theta power}{\alpha power + \beta power} \tag{3}$$

$$\alpha ratio = \frac{\alpha power}{\delta power + \theta power} \tag{4}$$

$$\beta ratio = \frac{\beta power}{\delta power + \theta power} \tag{5}$$

여기서, δ ratio와 θ ratio는 고주파 성분인 α 파와 β 파의 PSD의 합에 대한 저주파 성분인 δ 파와 θ 파의 PSD에 대한 비율로 정의할 수 있다. 그리고 α ratio와 β ratio는 저주파 성분인 δ 파와 θ 파의 PSD의 합에 대한 고주파 성분인 α 파와 β 파의 PSD에 대한 비율로 정의할 수 있다. 따라서 뇌파를 구성하는 주요 성분들의 상호 간 PSD 비율에 의해 산출되는 파라미터들을 이용하여 수술경과에 따라 이들 값들의 변화를 관찰하였다.

상기에서 언급한 마취심도 평가용 파라미터 5 개를 기반으로 하여 파라미터들 간 상호 비율에 의한 새로운 파라미터의 추출하였으며, 추출된 새로운 파라미터를 이용하여 마취 및 각성 상태를 판정하고자 한다. 마취심도 평가 지표 간의 상호 비율에 의한 새로운 파라미터를 추출하기 위해 적용한 수식은 다음과 같다.

$$BTR = \frac{\beta ratio}{\theta ratio} \times 100 \tag{6}$$

$$BDR = \frac{\beta ratio}{\delta ratio} \times 100 \tag{7}$$

여기서, 파라미터 BTR은 β ratio와 θ ratio 간의 비율을 나타내며, 파라미터 BDR은 β ratio와 δ ratio 간의 비율을 의미한다.

D. 마취심도 지표 분류기

SEF, BTR, BDR을 이용하여 마취심도 평가 지표를 산출하기 위해 수행되는 과정을 흐름도로 나타내면 Fig. 1과 같다. SEF 값이 26 ~ 32인 경우 마취심도 평가에 의미를 지닌 값으로 선정하여 이를 0 ~ 100으로 정규화 (normalize) 하였다. 즉 SEF 값이 26 이하일 때는 index A는 0, SEF 값이 32 이상일 때는 index A는 100, 그리고 SEF 값이 26 ~ 32인 경우 index A를 백분율로

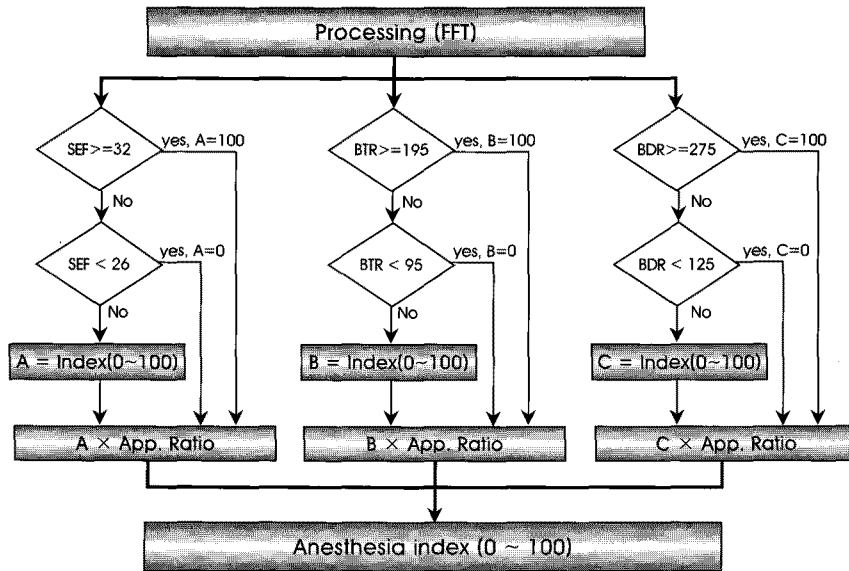


그림 1. 마취심도 지표 설정
 Fig. 1. Creation of anesthesia depth

정규화 하였다. BTR 값이 95 ~ 195인 경우 마취심도 평가에 의미를 지닌 값으로 선정하여 이를 0 ~ 100으로 정규화 하였다. 즉 BTR 값이 95 이하일 때는 index B를 0, BTR 값이 195 이상일 때는 index B를 100, 그리고 BTR 값이 96 ~ 195인 경우 index B를 백분율로 정규화 하였다. BDR 값이 125 ~ 275인 경우 마취심도 평가에 의미를 지닌 값으로 선정하여 이를 0 ~ 100으로 정규화 하였다. 즉 BDR 값이 125 이하일 때는 index C는 0, BDR 값이 275 이상일 때는 index C는 100, 그리고 BDR 값이 125 ~ 275인 경우 index C를 백분율로 정규화 하였다. 그리고 정규화된 index A, B, C 값들을 이용하여 마취심도지표값을 0 ~ 100의 값으로 나타내기 위하여 A, B, C 값의 비율을 40%, 30%, 30%로 설정하였다. 비율 설정은 기존 연구에 많이 활용된 SEF의 비율을 많

이 할당하였고, 본 연구에서 구한 BTR과 BDR의 비율은 같게 설정하였다. 이와 같이 SEF, BTR, BDR 값들에 대해 임계치 설정과 임계치 범위 내의 값들을 정규화하여 마취심도 평가 지표 생성을 위한 index A, B, C 산출 및 비율 설정은 마취단계별 마취심도 평가를 위해 임상에 적용되고 있는 BIS 값과 근사적으로 조정하기 위해 많은 시행 및 오류 (trial and error)를 거쳐 실험적으로 파라미터들의 임계치를 설정하고 정규화한 후 index A, B, C의 비율을 설정하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

마취심도 지표 분류기에 환자의 뇌파 데이터를 입력하여 분석한

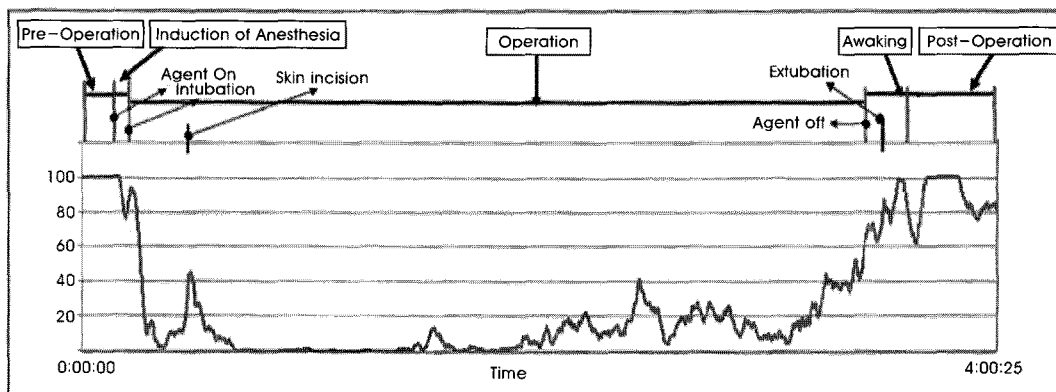


그림 2. 환자 A의 시간에 따른 마취 지표의 변화 양상
 Fig. 2. Change of the depth of anesthesia on patient A according to time

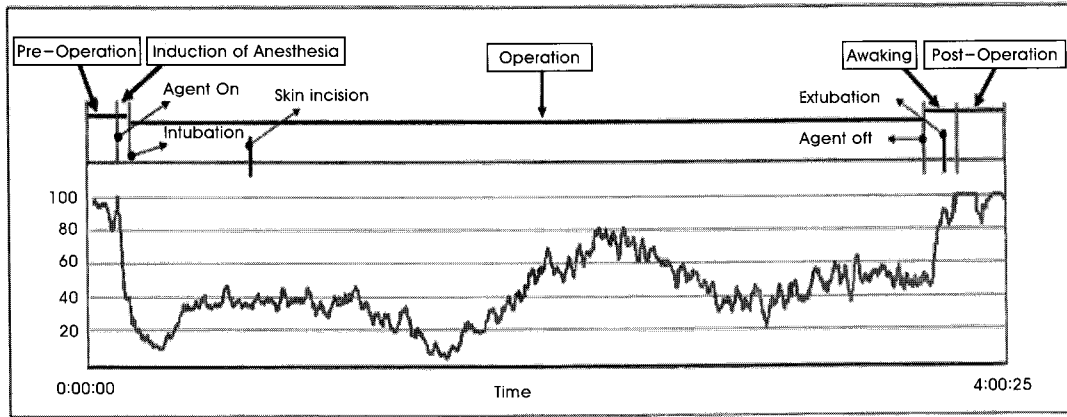


그림 3. 환자 B의 시간에 따른 마취 지표의 변화 양상
 Fig. 3. Change of the depth of anesthesia on patient B according to time.

결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 나타내었다. 마취 전, 마취유도, 수술 중, 마취회복, 그리고 수술 후 등 마취경과에 따른 마취단계를 표시하였다. 그리고 마취약제 투입 개시, 마취약제 차단, 삽관, 발판, 그리고 피부절개 등과 같은 주요 시술이 진행된 시점을 함께 표시하였다. 또한 표시된 시점의 마취심도 지표와 각 시점들 사이의 마취심도 지표의 변화 양상을 관찰하였다.

환자 A를 대상으로 마취심도 평가 지표의 분류 결과를 나타낸 Fig. 2를 살펴보면 수술 전·후 단계에서는 100 ~ 80 사이의 지표를 나타내었고, 수술 중 단계에서 40 ~ 0 사이의 지표를 나타내었다.

환자 B를 대상으로 마취심도 평가 지표의 분류 결과를 나타낸 Fig. 3을 살펴보면 수술 전·후 단계에서는 100 ~ 80 사이의 지표를 나타내었고, 수술 중 상태에서는 70 ~ 0 사이의 지표를 나타내었다. 또한 환자 A, B에서 절개, 기도삽관, 그리고 마취약제 차단 등의 시술이 시행되었던 시점의 마취심도 지표 변화 양상을 관찰할 수 있었다.

BIS 모니터의 bispectral index는 마취 중 진정 (sedation) 정도

를 측정하기 위해 임상에 적용되고 있는 의료기기이다. BIS는 뇌파를 이용한 수술 중 마취심도를 지표로 제시한다. BIS 지수는 0 ~ 100까지의 수치를 나타내어 마취심도를 나타내고 있으며, 지수의 값이 80 이상일 때는 깨어 있는 상태를 의미하고, 60 ~ 80일 때는 의식이 소실되는 과정 중이며, 60 이하 일 때는 외부 자극에 대한 환자가 반응이 없는 상태를 나타낸다[12-13].

환자 A와 B를 포함한 수술환자 7명에 대한 수술경과에 따른 마취단계별 산출된 마취심도 평가 지표를 Table 2에 나타내었다.

Table 2에 나타난 결과를 살펴보면 7명의 수술환자에서 수술 전 단계에서의 최고 지표 98.14에서 최저 지표 72.71 사이의 지표를 나타내었으며, 이들의 평균과 표준편차는 86.05 ± 10.1 이었다. 마취유도 단계에서는 최고 지표 78.96에서 최저 지표 17.79 사이의 비교적 넓은 범위의 지표를 나타내었으며, 이들의 평균과 표준편차는 36.98 ± 20.2 이었다. 이러한 현상은 뇌파 신호의 분석 시간이 5분 이내로 비교적 짧기 때문에 분석과정에서 완전 마취상태 도달 후의 데이터가 혼합되어 나타나는 것으로 추측되어 진다. 또한 마취유도 시 마취약제의 투여 및 삽관 등에 의한 반사반응과 자

표 2. 마취 단계별 마취 지표 결과

Table 2. The result of stages of anesthesia

Patient	Pre-Op	Induction	Operation	Awaked	Post-Op
A	98.14	78.96	10.37	45.69	87.27
B	85.41	32.27	41.99	75.53	91.71
C	72.71	26.66	3.37	38.93	97.75
D	88.57	25.36	5.52	55.70	84.44
E	73.12	17.79	13.31	51.19	61.43
F	87.78	33.43	8.75	63.98	93.24
G	96.61	44.4	14.18	25.13	98.20
Mean	86.05	36.98	15.33	50.88	87.72
SD	10.1	20.2	13.6	16.5	11.7

울신경계의 보상성 항진 등이 복합적으로 나타나는 현상으로 생각되어 진다. 수술 중 단계인 완전 마취상태에서는 최고 지표 41.99에서 최저 지표 3.37 사이의 지표를 나타내었으며, 이들의 평균 지표는 15.33 ± 13.6 이었다. 따라서 수술 중 단계에서는 마취심도 평가 지표의 변동 폭이 비교적 넓으나 지표가 42 이하에서 분포되어 있기 때문에 다른 마취단계별 마취심도 평가 지표와는 구분이 가능하였다. 마취회복 단계에서는 최고 지표 75.53에서 최저 지표 25.13 사이의 지표를 나타내었으며 이들의 평균 지표는 50.88 ± 16.5 이었다. 이 결과는 마취유도 단계와 환자별 변동 양상은 다르나 대체적으로 비슷한 분포 특성을 나타내며 마취약제 차단 및 발관 후 신경·근의 긴장도와 반사응답이 증가하여 뇌파의 구성 성분 중 β 파 성분의 전력이 상대적으로 크게 증가하여 마취심도 평가 지표에 영향을 미친 결과라고 분석되어 진다. 수술 후 단계에서는 최고 지표 98.20에서 최저 지표 61.43 사이의 지표를 나타내었으며, 이들의 평균 지표는 87.72 ± 11.7 이었다. 이러한 변화 양상을 살펴보면 환자별 변이 양상은 다르게 나타났거나 수술 전 단계와 대체적으로 비슷한 분포 특성을 나타낼 수 있었다.

본 연구 수행 결과 도출된 마취심도 지수와 BIS 지수를 비교하여 볼 때 개발한 지표 값이 의식이 있을 때는 100 ~ 60의 값을 나타내었고, 의식이 소실되어 있는 수술 중인 상태에서는 0 ~ 79까지의 값을 나타내었다. 수술 중 지표 값이 거의 80까지의 값이 나타난 경우는 수술 중 외부 자극이 많이 발생한 경우라고 추정된다.

본 연구에서 제시한 마취심도 지표는 환자의 움직임, 잠음 유입, 약물반응, 그리고 반사반응 등에 의해 지표가 일시적으로 상승 또는 하강하는 변화 양상을 나타내었으나, 전반적으로 마취단계별 특성들이 BIS 지수와 유사함을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서 제시한 마취심도 지표는 마취심도 평가 지표로 활용 가능하다고 생각되어 진다. 마지막으로 본 연구 과정 중 마취심도 지표 분류기 구현에서 SEF, BTR, BDR 등을 사용할 때 임계치와 가중치 설정과정에서 실험적으로 최적의 값을 찾아 적용하였으나 이에 대한 객관적 실험이 필요하였다.

IV. 결론

본 연구에 의해 추출된 SEF, BTR, BDR의 파라미터들을 마취심도 평가 지표 분류기에 입력하여 마취단계별 마취심도 평가 지표를 산출하였다. 그리고 마취심도 평가 지표 분류기를 구현하여 산출된 결과를 0 ~ 100 사이의 정량화된 수치로 나타내었다.

마취심도 평가 지표 분류기의 검증용 위하여 실험 대상군 7명으로부터 획득한 뇌파 데이터를 마취심도 평가 지표 분류기에 입력하여 마취단계별 마취심도 평가 지표를 산출하였다. 수술 전 단계에서의 산출 결과는 평균 86.05 ± 10.1 , 수술 후 단계에서는 평균 87.72 ± 11.7 , 마취유도 단계에서는 평균 36.98 ± 20.2 , 수술 중 평균 15.33 ± 13.6 , 그리고 마취회복 단계에서는 평균 50.88 ± 16.5 의 지표를 나타내었다. 이와 같은 마취심도 평가 지표 분류기의 결과에 의해 지표가 80 이상일 경우 각성상태일 가능성이 높다

고 판정할 수 있으며, 수술 중 단계의 지표는 약 10 ~ 20, 마취유도 단계의 지표는 약 25 ~ 40, 그리고 마취회복 단계의 지표는 약 25 ~ 70으로 분류할 수 있었다. 이러한 값의 분류는 BIS 지수의 각성상태와 의식소실 시 나타나는 값들과 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 본 연구에서 구현한 새로운 마취심도 지표를 이용하여 수술 중 환자의 상태를 모니터링하는 지표로 이용 가능하리라 생각된다.

참고문헌

- [1] Domino KB, Posner KL, Caplan RA, Cheney FW, "Awareness during anesthesia - A closed claim analysis," *Anesthesiology*, vol. 90, pp. 1053-61, 1990.
- [2] Russell IF, "Midazolam-alfentanil: an anaesthetics? an investigation using the isolated forearm technique," *Br J Anaesth*, vol. 70, pp. 42-6, 1993.
- [3] Schwender D, Faber-Züllig E, Klasing S, Pöppel E, Peter K "Motor signs of wakefulness during general anaesthesia with propofol, isoflurane and flunitrazepam/fentanyl and midlatency auditory evoked potentials," *Anaesthesia*, vol. 49, pp.476-84, 1994.
- [4] Tunstall ME, "Detecting wakefulness during general anesthesia for Cesarean section," *BMJ*, vol. 1, pp. 1321, 1977.
- [5] Bogod DG, "Isolated forearm technique," *Anaesthesia*, vol. 46, pp. 687-688, 1990.
- [6] St. Pierre M, Landsleitner B, Schwilden H, Schettler J, "Awareness during laryngoscopy and intubation: quantitating incidence following induction of balanced anesthesia with etomidate and cisatracurium as detected with the isolated forearm technique," *J Clin Anesth*, vol. 12, pp.104-108, 2000.
- [7] Bhattacharya, A., Makhija, N., Kumar, A., "Evoked potential monitoring in anaesthesia and analgesia," *Anaesthesia*, vol. 55(8), pp825-829, 2000.
- [8] D. S. Karnaze, L. F. Marshall and R. G. Bickford, "EEG monitoring of clinical coma: The compressed spectral array," *Neurology*, vol. 32, pp. 289-293, 1982.
- [9] Sigl JC, Chamoun NC, "An introduction to bispectral analysis for the EEG," *J Clin Monit.*, vol. 10, no. 6, pp. 392-404, 1994.
- [10] Payne, F., Sebel, P.S., Glass, P.S.A., Rosow, C., Sigl, J. et. al. "Bispectral Index (BIS) Monitoring Allows Faster Emergence From Propofol Alfentanil/N2O Anesthesia", *Anesthesiology*, vol. 85, No. 3A, A1056, 1996.
- [11] Diederik N., Emma L. C., Neil J. D., Gordon B. D., and Albert Dahan, "Bispectral Index Values and Spectral Edge Frequency at Different Stages of Physiologic Sleep," *Anesth Analg*, vol.94, pp.125-129, 2002.
- [12] Kearse, L., Rosow, C., Glass, P., Sigl, J. et. al., "Monotonic Changes in EEG Bispectral Index Correlate with Targeted Plasma Concentrations of Propofol and Midazolam", *Anesthesia and Analgesia*, vol. 82; S220, 1996.
- [13] Liu, J., Singh, H., White, P. F., "Electroencephalogram Bispectral Analysis Predicts the Depth of Midazolam-Induced Sedation", *Anesthesiology*, vol. 84, No. 1, pp64-69, 1996.