한국산학기술학회논문지
Vol. 11, No. 7 pp. 2491-2496, 2010

뇌파신호의 DFA 분석을 이용한 마취심도 측정

예수영[1*], 백승완[2]
[1]동서대학교 정보시스템공학부 메카트로닉스공학과,
[2]부산대학교 의학전문대학원 마취통증학교실

Detrended Fluctuation Analysis of EEG on a Depth of Anestheisa

Soo Young Ye[1*] and Seong Wan Baik[2]
[1]**Department of Mechatronics Engineering, Division of Information systems Engineering,**
[2]**Department of Anesthesia and Pain Medicine, School of Medicine, Pusan University**

요 약 EEG 신호에 내포된 상관특성을 알 수 있는 스케일 분석 기법인 DFA를 이용하여 수술 중 마취심도를 분석하고자하였다. 마취과 학회에서 제공하는 신체 분류 등급 1(건강한 환자), 2(경한 전신 질환, 기능 제한 없음) 등급의 환자를 대상으로 하였다. 정신병력이나 신경계 이상이 있는 환자는 제외하였다. 수술 중 마취 환자의 평균 연령은 48.9 ± 10.9 세이고, 평균체중은 57.1 ± 8.2 kg, 평균 신장은 158 ± 6.6cm 였다. 수술을 위한 마취 약제로는 Sevoflurane를 사용하였고, 수술단계는 수술전, 마취유도, 마취유도 직후, 수술중, 마취제 중지, 수술 후의 6단계로 나누어 분석하였다.
DFA의 $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$ 중 $\alpha 1$, $\alpha 3$는 수술전단계, 마취 유도 단계, 마취 유도 단계 직후, 마취제 중지 단계, 수술후 단계를 구별 할 수 있는 파라미터들로 수술 중 마취 심도를 평가 할 수 있는 파라미터로 이용될 수 있음을 확인 하였다.

Abstract The DFA(detrended fluctuation analysis) which is included the correlation property of the EEG is used to analysis the depth of anesthesia. We studied ASA I or II adult patients supported by the society of anesthesiologists. Patients with history of dementia and neurological disorder are excluded. Average age is 48.9 ± 10.9 old, average weight is 57.1 ± 8.2 kg and average hight is 158 ± 6.6cm of the patients under the operation. Anesthesia medicine is Sevoflurane and the stages of anesthesia are 6 stages, that is pre-operation, induction, right after induction, stop the medicine and post-operation.
Among the scaling exponent $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$, we know that $\alpha 1$, $\alpha 3$ were well appeared to discriminate pre-operation, induction, right after induction, stop the medicine and post-operation. So we confirmed that the parameters is useful to the depth of anesthesia.

Key Words : EEG, depth of anesthesia, DFA(detrended fluctuation analysis)

1. 서론

적절한 마취는 전문의에 의해 적절한 양의 마취제를 사용하여 환자의 의식 소실을 유도하고, 수술중에는 안정적인 바이탈 신호들을 유지하면서 빠른 회복시간을 갖는 것이다.

그러나 마취를 시행한 후 수술중에 통증이 동반되는 또는 동반되지 않는회상(recall, conscious awareness)이 발생할 수 있고, 의식이 없는 인지 (perception) 상태가 발생할 수도 있다. 그러므로 수술이 진행되는 동안에 환자가 불유쾌한 경험의 회상을 경험하지 않도록 적절한 마취심도를 유지하는 것이 필수적이다. [1,2]. 따라서 수술

본 논문은 과학재단 특정기초 연구과제(R01-2007-000-20260-0) 의해 연구되었음.
*교신저자 : 예수영(syye@pusan.ac.kr)
접수일 10년 04월 22일 수정일 (1차 10년 06월 01일, 2차 10년 06월 25일) 게재확정일 10년 07월 06일

중 적절한 마취심도 및 환자 상태를 감시하기 위하여 환자감시장치(patient monitoring system) 및 다양한 임상 징후를 관찰하고 있다. 실제 임상의는 수술중에 혈압, 및 심박동이나 사지의 움직임등으로 마취심도를 판단하고 있는데[3], 이러한 요소들은 근육이완제나 혈관확장제등의 약물들이 주입될 경우 많은 영향을 받으므로 마취 심도 판정을 위한 정확한 지표가 될 수 없다. 안정적인 마취 수준을 유지하기 위하여 수술 중 마취심도를 평가하는 기법에 관해 많은 노력과 연구들이 수행되었으며 현재도 진행되고 있다.

EEG 변화에 따른 마취심도의 연구는 1950년도 Bickford[4] 등에 의해 각 EEG의 주파수 성분의 정량적 분석이 처음 시도되었다. 이러한 주파수 분석 방법에는 SEF(spectral edge frequency), MF(median frequency), 특정 주파수 영역에서의 상대적인 에너지(relative power)나 전체 에너지(total power)등을 계산하였다[5].

HRV[6] 및 EEG 신호를 이용한 분석 방법[7] 중 고차 스펙트럼 분석법의 하나인 비선형 분석법으로 알려진 바이스펙트럼 (bispectrum) 분석 방법이 많이 이용되고 있다[8,9]. 이 분석 방법은 신호 내에 는 서로 다른 주파수 사이의 2차 페이저 커플링(quadratic phase-coupling)을 정량화 하는 방법이다. 최근에는 엔트로피 (entropy)를 측정하여 마취심도를 평가 하는 연구도 많이 진행되고 있다[10].

뇌파를 이용한 마취심도 측정 방법들이 현재 많이 연구되고 있으나 최근까지 확실한 결과를 나타내는 방법은 개발 되지 않은 실정이다[11].

본 연구에서는 수술중 뇌파의 DFA에 의한 멱함수 지수를 이용하여 마취심도를 측정하고자 하였다. DFA 방법은 스케일 지수 분석법(scaling exponent analysis method)으로서 스케일 지수를 정량화함으로써 신호에 내포된 상관특성을 구할 수 있다. DFA 방법은 non-stationary 신호에 내포된 장거리 멱법칙을 잘 분석할 수 있을 뿐만 아니라 잡음과 구별이 어려운 상관특성도 알아 낼 수 있다[12]. 따라서 DFA 방법을 이용하여 마취 단계별 뇌파 신호에 내포된 HRV 신호의 장주기 상관성으로 마취심도를 분석하고자 하였다.

2. 연구대상 및 방법

2.1 연구대상

마취과 학회에서 제공하는 신체 분류 등급 ASA(American Society of Anesthesiologists) 1, 2 등급의 환자를 대상으로 하였다. 즉, 신체 분류 등급은 ASA 1인 건강한 환자, ASA 2 등급인 경한 전신 질환 및 기능 제한이 없는 환자를 대상 환자군으로 선정하였다. 그러나 ASA 1,2 등급 환자 중에서도 치매, 정신 병력등 뇌 신경계 질환 병력자와 소아환자는 배제하였다. 이러한 뇌 신경계 병력자와 소아환자의 뇌파는 불안정하므로 실험군에서 제외하였다.

수술 중 마취 심도를 평가하기 위하여 마취 단계를 수술전, 마취 유도, 마취유도직후, 수술중, 마취 약제 중지, 수술 후와 같이 분류하였다.

수술전 단계는 수술 전날 병실에서 획득한 데이터이고 마취 유도단계는 마취유도 단계는 수술실에 들어온 환자에게 펜토탈이 주입되고 바로 기관내 삽관하는 과정 중 데이터를 획득하였다. 마취유도 직후는 마취유도가 끝나고 바로 측정된 구간을 의미한다. 수술 중 단계는 수술이 진행되는 동안을 나타내고, 마취 약제 중지 단계는 투입되는 약제가 중지 되었을 때를 나타낸다. 수술 후 단계는 수술 다음날 회복단계에 있는 환자에게서 데이터를 획득하였다.

마취환자의 뇌파 신호를 계측하기 위하여 부산대학교 병원 산부인과에 내원한 수술 환자 중 비교적 수술시간이 짧은 전신 흡입마취 시술을 받는 환자를 대상으로 실험을 수행하였으며 사전에 수술 대상 환자에게 연구의 취지를 설명하여 환자의 동의를 구한 후 뇌파 데이터를 획득하였다. 전신 흡입 마취 약제로는 sevoflurane을 사용하였다. 대상 환자의 평균 연령은 48.9 ± 10.9 세이고, 평균 체중은 57.1 ± 8.2 kg, 평균 신장은 158 ± 6.6 cm 이었고, 총 15명의 환자에 대하여 실험을 실시 하였다.

뇌파 계측을 위하여 일회용 은-염화은 (Ag-AgCl) 전극을 사용하였으며, 전극의 부착 위치는 뇌파 신호의 계측을 위하여 국제 뇌파 및 임상 뇌 대사 학회연맹 (international federation of societies for electroencephalograph and clinical neurophysiology)에서 추천한 10 ~ 20 전극 배치법 중 전두엽 FP1 전극 배치법을 사용하여 뇌파를 측정하였다. 뇌파 측정 장비는 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)와 1 Hz의 고역통과필터 (high pass filter, HPF) 그리고 60 Hz 잡음의 제거를 위한 노치필터 (notch filter)를 적용하여 뇌파를 측정하였다. 실험에 적용한 뇌파 신호는 256 Hz로 샘플링하였고, 12 bit로 양자화하여 디지털 신호로 변환한 뇌파 데이터를 노트북에 저장하였다.

2.2 연구 방법

인체는 내부 신진대사와 같은 고유한 생리학적 제어에 의한 뇌파의 변화와 외부 자극에 의한 뇌파의 진동이 같이 혼합된 상태이다. DFA 분석 방법은 이러한 뇌파의 상태를 분석하기 위하여 사용되고 있다.

DFA 분석방법을 적용하기 위하여 분석 하고자하는 데이터의 길이가 N인 뇌파 신호를 $x(t)$라고 가정 하였다. DFA 분석 방법 첫 번째 단계로 $x(t)$ 신호를 적분하는 것으로 다음과 같은 식으로 정의 된다.

$$y(k)=\sum_{i=1}^{N}(x(t)-x_{average}) \quad \text{k =1,2 . . N} \quad (1)$$

여기서, $x(t)$는 뇌파의 신호이고, $x_{average}$는 뇌파 신호의 평균값, N 데이터의 총 길이를 나타낸다.

다음 단계로 총 데이터 길이 N을 n길이의 윈도우로 나눈b후 윈도우 길이 n에 해당하는 윈도우 내에 있는 데이터들을 1차 선형 근사화한다. 적분된 $y(k)$에서 선형 근사화된 $y_n(k)$을 빼준 다음 제곱근 평균 $F(n)$을 구하기 위하여 다음과 같은 수식을 적용하였다.

$$F(n)=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}(y(k)-y_n(k))^2} \quad (2)$$

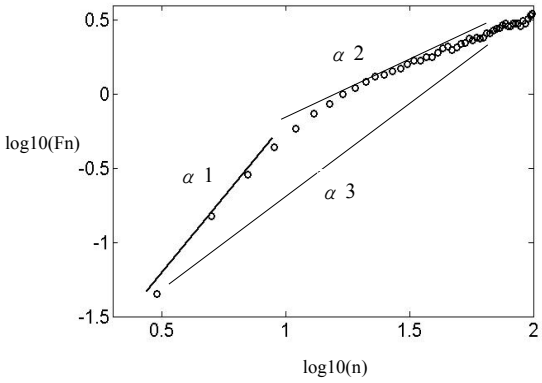
수식 (2)에서 윈도우 크기 n을 변화시켜가면서 모든 운도운의 길이에 대해 $F(n)$을 구한다. 이때 윈도우의 길이 n이 커질수록 $F(n)$의 값도 아래 수식에 따라 증가하게 된다.

$$F(n) \propto n^{\alpha} \quad (3)$$

수식 (3)과 같이 F(n)과 α 사이의 멱함수 관계는 α 지수 형태로 나타난다. 스케일링 지수 또는 상관 지수(correlation exponent)라고 하는 파라미터 α는 신호의 상관특성을 나타내며, α에 따른 상관관계[13]에 따라 신호를 분석하고자 한다. 윈도우 크기에 따른 $F(n)$값을 로그 스케일로 변환하면 그림 1과 같이 나타난다.

그림 1에서 두 개의 다른 선형 기울기를 나타내는 점을 변곡점(crossover point)이라고 하고 이 변곡점 전 후의 기울기를 각각 $\alpha 1$, $\alpha 2$라하고 전체의 기울기를 $\alpha 3$ 로 나타내었다.

본 연구에서 분석 구간은 30초로 하였고, $\alpha 1$ 은 윈도우크기 1부터 10까지 구간의 기울기를 구하고, $\alpha 2$는 윈도우크기가 10-20까지 구간의 기울기를 구하였고, $\alpha 3$은 1-20까지의 구간에서 기울기를 구하였다.



[그림 1] $\log_{10}$F(n)에 대한 $\log_{10}$ n의 특성 곡선

수식 (3)과 같이 $F(n)$과 α사이의 멱함수 관계는 α 지수 형태로 나타난다.

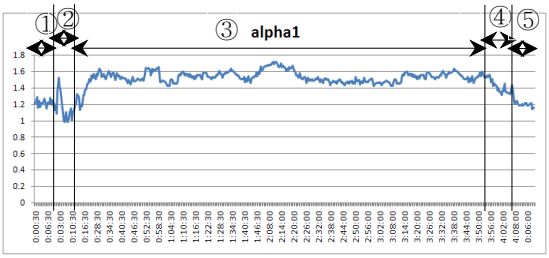
3. 결 과 및 고찰

15명의 환자로부터 획득한 EEG 데이터로 실험하였다. 수술전날 10분동안 데이터를 획득하였고, 수술실에서 마취 약제가 주입되는 단계부터 흡입 마취제가 중단되어 의식이 회복되는 단계까지 데이터를 획득하였다. 그리고 수술 다음날 데이터를 획득하였다.

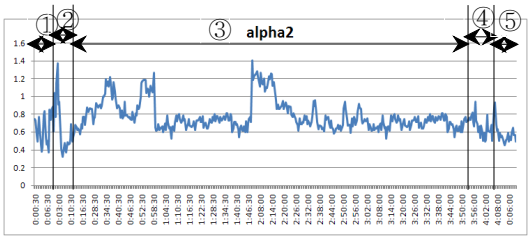
수술과정은 환자에게 속성 마취를 시키기 위하여 펜토탈(pentotal)을 주입한 후 기관내삽관(intubation)을 실시하였다. 그 후 수술을 하기 위하여 피부절개를 하였고, 수술 동안은 다양한 자극이 인체에 가해 질 수 있다. 수술이 끝난 후에는 흡입 마취제를 중지하고 발관(extubation)을 시행하였다.

수술전날부터 수술후단계까지 $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$값을 구한 결과를 그림. 2 - 그림. 4 까지 나타내었다.

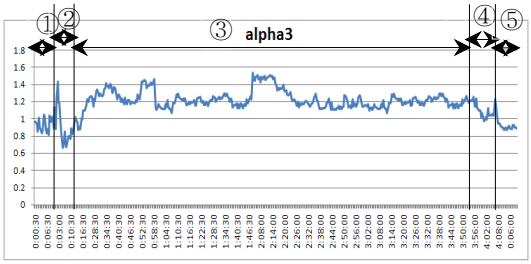
①구간은 수술 전(pre-operation) 과정을 나타내었고, ②과정은 수술실에 들어온 환자에게 펜토탈이 주입되고 바로 기관내 삽관하는 과정을 나타내었다. ③은 수술 과정을 나타내었고, ④는 마취 약제가 중지된 후 기간을 나타내었고, ⑤는 수술이 끝나고 하루 뒷날의 데이터를 받아 분석한 구간이다.



[그림 2] 마취 중 $\alpha 1$의 변화



[그림 3] 마취 중 $\alpha 2$의 변화



[그림 4] 마취 중 $\alpha 3$의 변화

4. 고찰 및 결론

그림 2는 DFA의 $\alpha 1$의 결과로 수술실에 들어온 환자에게 펜토탈이 주입되고 바로 기관내 삽관하는 과정 인 ② 구간은 수술전 단계인 ①구간과 비교하면 $\alpha 1$의 값이 증가 하였다.

그리고 바로 직후에 기관내 삽관이 이루어지는데 이 과정은 인체에 많은 자극이 가해지는 기간으로 깨어 있는 수술전 단계보다 더 작은 $\alpha 1$의 값을 나타내었다. 수술중 단계인 ③구간은 초기에는 기관내 삽관 후 마취 된 상태값으로 $\alpha 1$의 값이 증가하였고, 수술 중에는 다양한 자극에 대하여 여러 가지 반응들을 나타내었다. 마취 약제를 중지하면 ④와 같이 $\alpha 1$의 값이 감소하여 수술 후 단계인 ⑤에서는 수술전 단계의 값까지 회복됨을 알 수 있었다.

그림 3은 DFA의 $\alpha 2$의 결과로 수술전 단계인 ① 구간에서 $\alpha 1$의 결과 값보다 넓은 폭으로 변화됨을 확인 할 수 있었고, 구간 ②에서는 $\alpha 1$과 비슷하게 펜토탈이 주입되었을때는 $\alpha 2$의 값이 증가하다가 기관내 삽관이 실시될 때는 감소하는 경향을 나타내었다. 수술중인 ③구간에서는 다양한 변화를 나타내었다. 마취제가 중단 되는 ④ 구간에서는 수술중의 다양한 변화와 구별하기가 어려웠다. 수술 후인 ⑤구간에서는 수술 전 단계의 값으로 회복되는 경향이 있었으나 수술 중과 구별하기 힘들었다.

그림 4는 DFA의 $\alpha 3$의 결과로 $\alpha 1$과 비슷한 변화를 나타내었다.

15명 환자에 대한 데이터 분석 결과를 표 1에 나타내었다. 표 1에서 마취유도 단계를 다시 2단계로 나누었다. 이 단계에서 급격이 값이 상승한 후 다시 급격히 저하 되는 일정한 패턴을 보였다. 이를 같은 단계로 하였을 경우 변화 폭이 매우 커지므로 마취유도와 마취유도 직후의 2 단계로 나누어 분석 하였다.

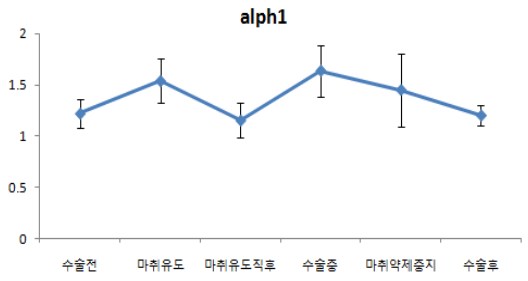
[표 1] 마취 단계에 따른 $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$ 의 변화

	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
수술전	1.211 ± 0.135 *	0.637 ± 0.477	0.932 ± 0.325*
마취 유도	1.537 ± 0.215*	1.425 ± 0.278	1.477 ± 0.279*
마취유도 직후	1.155 ± 0.273*	0.571 ± 0.123	0.554 ± 0.172*
수술중	1.637 ± 0.255	0.855 ± 0.682	1.445 ± 0.442*
마취약제 중지	1.451 ± 0.354	0.721 ± 0.276	1.152 ± 0.232*
수술후	1.207 ± 0.095*	0.552 ± 0.195	0.931 ± 0.097*

* $p < 0.01$

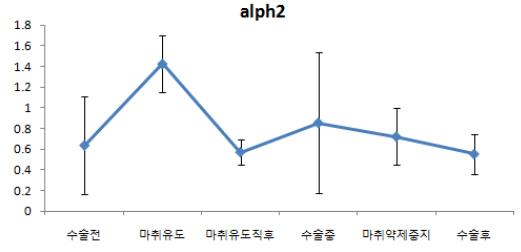
마취 단계에 따른 $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$의 변화를 그림 5 - 그림 7에 나타내었다.

그림 5는 마취 단계에 따른 $\alpha 1$의 변화를 반복측정분산분석법(repeated measured ANOVA)을 이용하여 유의확률 0.01로 마취단계별 변화를 관찰 하였다. 수술 전 단계를 시작으로 각 단계들은 전 단계들과 반복 측정 분산분석 법을 적용하여 통계적 유의성을 분석 하였습니다. 분석 결과 수술전, 마취유도, 마취유도 직후, 수술 후 단계에서는 통계적 유의성이 있었으나, 수술 중에는 다양한 자극으로 인하여 $\alpha 1$값의 변화의 폭이 커지므로 통계적 유의성을 관찰 할 수 없었다.



[그림 5] 마취 단계에 따른 $\alpha 1$의 변화

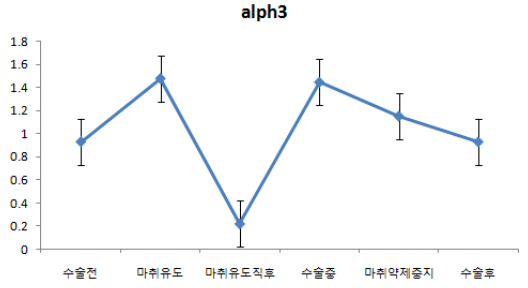
또한 마취약제중지 단계에서는 일정하게 값이 감소하는 경향이 잘 나타났으나 수치적으로는 변화의 폭이 큰 값으로 나타나므로 통계적으로 유의성이 없는 결과를 얻었다.



[그림 6] 마취 단계에 따른 $\alpha 2$의 변화

그림 6의 마취 단계에 따른 $\alpha 2$의 값은 반복측정분산분석법(repeated measured ANOVA)을 이용하여 분석한 결과 통계적 유의성을 관찰 할 수 없었다. 즉, 마취 단계를 구별할 수 없는 파라미터임을 확인하였다.

그림 7은 마취 단계에 따른 $\alpha 3$의 값은 반복측정분산분석법(repeated measured ANOVA)을 이용하여 분석한 결과 각 마취 단계에 따라 통계적 유의성이 있음이 관찰되었다. 즉, 이 값은 각 마취 단계에 따른 변화 양상을 변 잘 반영하였다.



[그림 7] 마취 단계에 따른 $\alpha 3$의 변화

5. 결론

Sevoflurane 전신 흡입 약제로 마취된 환자를 대상으로 수술전, 마취유도, 마취유도 직후, 수술중, 마취약제중지, 수술후의 6단계로 나누어 분석을 하였다. 분석 방법은 어떠한 시스템 내부에 있는 장거리 멱법칙을 알아내기 위하여 많이 이요되는 DFA 기법으로 이 분석 방법을 이용하여 마취단계에 따른 마취심도를 분석하였다.

DFA의 $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$ 중 $\alpha 1$, $\alpha 3$는 마취전단계, 펜토탈이 주입되고 기관내 삽관이 이루어지는 마취 유도 단계와 유도 단계 직후, 마취제 중지 단계와 수술 후 단계를 구별할 수 있는 파라미터들로 수술 중 마취 심도를 평가할 수 있는 파라미터로 이용될 수 있음을 확인 하였다. 그에 반해 $\alpha 2$의 결과는 각 단계별로 값의 변화 폭이 커서 수술 중 마취 단계를 나타낼 수 있는 파라미터로 부적당함을 확인하였다.

이러한 결과는 Mathieu[14]의 DFA를 이용한 마취심도 평가 연구에서 마취 단계를 Awk(수술전 각성상태), Sdt(진정상태), Ansth(마취상태)의 3단계와 비교 하였을 때 본 연구의 수술전, 마취 유도, 수술 중과 유사한 결과를 나타내었다. 그러나 Mathieu 연구는 마취단계를 Awk, Sdt와 Ansth의 3단계로만 나누어 실험을 하였지만 본 연구는 수술 전 과정에 대하여 마취 심도를 평가 할 수 있도록 하여 수술 중의 일부분이 아닌 전체를 평가 할 수 있었다.

Zhang[15]는 EEG를 이용하여 마취 약제별 마취 심도를 평가하였다. 이 논문 또한 마취 상태와 아닌 상태의 두가지의 상태에 대하여 마취심도를 평가하였다.

Tomoki[16]은 마취심도 모니터링에 많이 이용되고 있는 Bispectral index, pEEG, AEP(Auditory Evoked Potential)을 이용하여 Before anesthesia, Before LMA(laryngeal mask) insertion, After LMA inserion, Before incision, After incision, At LMA removal 단계에 따른 각 파라미터들의 결과를 비교하였다. 이 연구는 마취 단계를 세분화 하여 비교 하였으나 본 연구와 같이 마취 전체의 단계를 비교하지 못하였다.

따라서 본 논문은 수술 전 상태에 대하여 마취심도를 평가한 연구로 큰 의의가 있다고 생각되며, 추후 마취 약제별 연구를 추가할 연구를 예정이다.

참고문헌

[1] Ghoneim, MM, Block RI, "Learning and Memory during general anestheisa", Aneshtesiology, vol. 87, pp. 387-410, 1997.

[2] Jones JG, "Perception and memory during general anesthesia", Br J Anesth, vol. 73, pp. 31-37, 1994.
[3] H. L. Kaul, and Neerja Bharti, "Monitoring depth of Anesthesia,'' Indian J. Anaesth. vol.46, no.4, pp. 323-332, 2002.
[4] Faulconer A Jr, Pender JW, Bickford RG. "The influence of partial pressure of nitrous oxide on the depth of anesthesia and the electro-encephalogram in man", Anesthesiology, vol 10, pp. 601-606, 1949.
[5] Drummond JC, Brann CH, Perkins DE, Wolfe DE, "A comparison of median frequency, spectral edge frequency, a frequency band power ratio, total power, and dominance shift in the determination of depth of anesthesia", Acta Anesthesiol Scand, vol. 35, pp. 693-699, 1991.
[6] 전계록, 김명철, 한봉효, 예수영, 노정훈, 백승완, "HRV 신호의 웨이브렛 변환에 의한 마취단계별 마취심도평가 파라미터 개발", 한국산학기술학회논문지, 제10권, 제9호, pp. 2460-2470, 9월, 2009.
[7] 예수영, 백승완, 김재형, 박준모, 전계록, "뇌파스펙트럼 분석에 의한 마취심도지표개발", 대한의용생체공학회, 제30권, 제4, pp. 327-332, 8월, 2009.
[8] 박종덕, 예수영, 전계록, 허영, "The estimation of the depth od anesthetic using higher-order spectrum analysis of EEG signals", 대한의용생체공학회, 제28권, 제2호, pp. 287-293, 4월, 2007년.
[9] E. Wodey, O. Tirel, J. Y. Bansard, A. Terrier, C. Chanavaz, R. Harris, C. Ecoffey and L. Senhadji, "Impact of age on both BIS values and EEG bispectrum during anaesthesia with sevoflurane in children", British Journal of Anaesthesia, vol. 94, no. 6, pp.810–820, 2005.
[10] P. Hans, P. Y. Dewandre, J. F. Brichant and V. Bonhomme, "Effects of nitrous oxide on Spectral Entropy of the EEG during surgery under balanced anaesthesia with sufentanil and sevoflurane", Acta Anaesth. Belg., vol. 56, pp. 37-43, 2005.
[11] H.L. Kaul, Neerjaz Bharti, "Monitoring depth of anesthesia", Indian J. Anaesth. vol.46, no. 4, pp. 323-332, 2002.
[12] Jun-Seok Lee, Byung-Hwan Yang, Jang-Han Lee, Jun-Ho Choi, Ihn-Geun Choi, Sae-Byul Kim, "Detrended fluctuation analysis of resting EEG in depressed outpatients and healthy controls", Clinical Neurophysiology, vol. 118, Issue 11, pp. 2489-2496, 2007.
[13] C.K. Peng, Shlomo Havlin, H. Eugene Stanley, Ary L. Goldgerger, "Quantification of scaling exponents and corssover phenomena in nonstationary heartbeat time series", Chaos, vol. 5, no. 1, pp. 82- 87, 1995.
[14] M. Jospin, P. Caminal, E. W. Jensen, H. Litvan, M. Vallverdú, M. M. R. F. Struys, H. E. M. Vereecke, and Daniel T. Kaplan, "Detrended Fluctuation Analysis of EEG as a Measure of Depth of Anesthesia", IEEE Transactions on Biomedical medical engineering, vol. 54, no. 5, may, 2007.
[15] X. Zhang, R. J.Roy, E. Weber Jensen, "EEG Complexity as a Measure of Depth of Aneshtesia for Patients", IEEE Transactions on Biomedical medical engineering, vol. 48, no. Dec., 2001.
[16] T. Nishiyama, T. Mausutawa, K. Hanaoka, "A Comparison of the Clinical Usefulness of Three Different Electroencephalogram Monitors: Bispectral Index, Processed Electroencephalogram, and Alaris Auditory Evoked Potentials", International Anesthesia Research Society, vol.98, pp. 1341-1345, 2004.

예 수 영(Soo Young Ye) **[정회원]**

- 1998년 2월 : 부산대학교 전자공학(공학석사)
- 2004년 2월 : 부산대학교 의공학협동 과정(공학박사)
- 2006년 10월 ~ 현재 : 부산대학교 의학전문대학원 BK21 고급의료인력양성사업단 연구교수

<관심분야>
신호처리, 생체계측, 의공학

백 승 완(Seong-Wan Baik) **[정회원]**

- 1979년 3월 ~ 1981년 8월 : 부산대학교 대학원 의학전공 석사
- 1987년 3월 ~ 1990년 2월 : 충남대학교 대학원 의학전공 박사
- 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 부산대학교 경영대학원 최고경영자과정 수료
- 2005년 9월 ~ 2006년 2월 : 부산대학교 의학전문대학원 의료최고경영자과정 수료
- 현 : 부산대학교 의학전문대학원 마취통증의학과 교수
  양산부산대학교병원 병원장

<관심분야>
마취 통증 의학, 의공학