

뇌성마비 환자에서 마취 유도 시 BIS와 Entropy 값의 비교

고려대학교 의과대학 구로병원 마취통증의학교실

김남엽 · 이일옥 · 임병건 · 김희주 · 공명훈 · 이미경 · 임상호 · 김난숙

Comparison of bispectral index (BIS) and entropy in patients with cerebral palsy during sevoflurane induction

Nam Yeop Kim, Il Ok Lee, Byung Gun Lim, Hee Zoo Kim, Myoung Hoon Kong,
Mi Kyoung Lee, Sang Ho Lim, and Nan Suk Kim

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Guro Hospital, College of Medicine, Korea University, Seoul, Korea

Background: Demand of anesthesia for patients with cerebral palsy is more increasing. But there is still lacking in clinical research regarding how BIS and entropy reflect well on sedative and hypnotic state in patients with cerebral palsy.

Methods: Fifteen patients with cerebral palsy (Group CP) and fifteen patients without cerebral palsy (Group NL) scheduled for elective orthopedic surgery were included in the study. Induction of anesthesia was done by having the patient inhale 1 vol% sevoflurane and 100% oxygen using a total fresh gas flow of 8 L/min. Simultaneously BIS, state entropy (SE), response entropy (RE), end-tidal sevoflurane concentration were recorded every 15 seconds till there was no self respiration. When end-tidal sevoflurane concentration had not risen any more for 30 seconds, we increased inhaled sevoflurane concentration in 1 vol% increments. End point of recording was when self respiration was lost or the time sevoflurane concentration reached 8 vol%.

Results: No significant differences in RE, SE, BIS at baseline and end point were found between the two groups. No significant difference in the time reach end point was found between the two groups. BIS, SE and RE correlated with end-tidal sevoflurane concentration in the two groups.

Conclusions: The authors found no significant difference in the entropy values between patients with CP and normal patients. Also, the entropy values could be interpreted like BIS in patients with CP. And BIS showed a stronger correlation with end tidal sevoflurane concentrations than entropy. (*Korean J Anesthesiol* 2009; 57: 422~7)

Key Words: Anesthesia, Bispectral index, Cerebral palsy, Entropy, Sevoflurane.

서론

최근 운동 장애 환자의 치료와 재활 등에 대해 사회적 관심이 높아짐에 따라 강직된 사지의 연부 조직, 근육, 뼈 등의 정형 외과적 수술이나 척추 측만증 교정술 등이 많이 시행되고 있다[1]. 따라서 뇌성마비 환자에 대한 마취 수요도 증가하고 있다.

뇌성마비 환자를 대상으로 뇌파의 이상유무를 연구한 논문에서 Alsulaiman은[2] 연구 대상 뇌성마비 환자의 76%에서 뇌파상 이상소견을 발견하였다고 보고하였고, Senbil 등은[3] 간질이 동반된 뇌성마비 환자 중에서는 90.3%, 간질이 동반되지 않은 뇌성마비 환자 중에서는 39.5%에서 뇌파상 이상소견을 발견하였다고 보고하였다. 따라서 정상 성인을 대상으로 하여 뇌파를 분석한 자료를 바탕으로 한 BIS

Received: May 21, 2009.

Revised: 1st, June 8, 2009; 2nd, June 18, 2009.

Accepted: August 11, 2009.

Corresponding author: Il Ok Lee, M.D., Ph.D., Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Guro Hospital, College of Medicine, Korea University, 97, Gurodong-gil, Guro-gu, Seoul 152-703, Korea. Tel: 82-2-2626-1437, Fax: 82-2-851-9897, E-mail: iloklee@korea.ac.kr

Copyright © Korean Society of Anesthesiologists, 2009

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(bispectral index)나 뇌파를 분석하여 수치화한 entropy의 경우 뇌성마비 환자에서 적용할 때 정상인과 차이가 있을 것으로 추정할 수 있다. 뇌성마비 환자에서는 BIS가 정상인에서와 같이 최면 깊이를 측정할 수 있으나 절대값은 정상인보다 낮다는 보고가 있다[4]. 하지만 뇌성마비 환자에서 entropy를 BIS처럼 최면 깊이를 측정하는데 사용할 수 있는지에 대한 연구는 아직 부족한 상태이며, 뇌성마비 환자에서 entropy를 이용한 sevoflurane 농도와 관계에 대한 연구는 아직 이루어지지 않고 있다.

본 연구의 목적은 첫째, entropy와 BIS가 정상인과 뇌성마비 환자에서 차이가 있는지를 알아보고 둘째, entropy를 BIS처럼 뇌성마비 환자에서도 마취 유도 시 이용 가능한지를 알아보고자 함이다. 이를 위해서 정상인과 뇌성마비 환자에서 각성 시부터 마취 유도가 종료될 때까지 호기말 sevoflurane 농도를 증가시키면서 entropy와 BIS를 측정하여 그 값을 비교하였고, 뇌성마비 환자에서 entropy와 BIS를 각각 호기말 sevoflurane 농도와 상관 비교함으로써 뇌성마비 환자에서 호기말 sevoflurane 농도와 BIS 및 entropy값 사이의 상관 관계를 알아보았다.

대상 및 방법

미국마취과학회 신체등급 1 또는 2에 해당하는 계획된 정형외과 수술을 받는 15명의 뇌성마비 환자(실험군, Group CP)와 15명의 정상 환자(대조군, Group NL)를 대상으로 연구를 진행하였다. 심혈관계나 호흡기계 병력이 있는 경우, 기도 유지나 기도 삽관의 어려움이 있는 경우, 상기도 감염이 있는 경우는 연구에서 제외하였다. 본 병원의 윤리위원회에서 승인을 받았고 사전에 환자의 동의를 구하고 동의서를 작성하였다. 모든 환자는 마취 전 투약을 받지 않았다. 수술실 도착 후 비침습적 동맥 혈압, 심전도, 맥박 산소 포화도를 측정하였고, BIS와 entropy값은 Bispectral Index[®] monitor (BIS[®]; Aspect Medical Systems, USA)와 Datex-Ohmeda S/5 Entropy Module (Datex-Ohmeda Division, Instrumentarium Corp., Finland)로 각각 측정하였다. 마취유도 전 entropy 감지기를 환자의 이마 아래 쪽에, BIS 감지기를 이마 위쪽에 양쪽으로 동시에 붙였다. 감지기는 1번을 코의 직 상방에 오게 하고 3번은 각각 양쪽의 눈꼬리와 머리선 사이의 측두 부위에 오도록 부착하고 수치가 잘 나오는 것을 확인하였다. 호기말 sevoflurane 농도는 마취기(Datex-Ohmeda S/5 Anesthesia monitor)상의 가스분석기 수치를 기록하였다. 마취 유도는 마스크를 얼굴에 밀착하여 마스크 고정용 밴드로 고정하고 가스 누출이 없음을 확인하고 진행하였다. 마취 유도 전(기저점이라 함) BIS, SE, RE값(기저값이라 함)을 기록한 후 자발 호흡을 유지한 상태로 산소를 분당 8 L 주

입하면서 sevoflurane을 기화기의 눈금 수치 1 vol%로 시작하여 호기말 sevoflurane 농도가 더 이상 증가하지 않는 상태로 30초가 경과될 때마다 기화기의 눈금 수치를 1 vol%씩 증가시켰다. 마취 유도 시작부터 매 15초마다 호기말 이산화탄소 및 sevoflurane 농도, BIS, SE, RE값을 기록하였다. 실험 중 환자의 얼굴에 고정된 마스크에서 가스가 새지 않도록 주의 깊게 살폈으며 환자가 움직이거나 협조하지 않아서 호기말 이산화탄소와 호기말 sevoflurane 농도가 같이 감소하는 등 가스 누출이 의심되면 실험에서 제외하였다. 환자의 자발호흡이 사라지는 시점 또는 기화기의 눈금 수치를 sevoflurane을 8 vol%까지 증가시켜도 30초 동안 자발 호흡이 없어지지 않을 때(종료점이라 함) 호기말 이산화탄소 및 sevoflurane 농도, BIS, SE, RE값(종료값이라 함)을 기록하고 실험을 종료하였다.

전향적 무작위 임상 연구로 표본 수 산정 시 Choudhry 등에[4] 의거하여 BIS의 기저값에서 Group CP와 Group NL 간의 평균값 차이를 5.0, 표준편차를 3.0으로 하고 알파오류 0.05, 파워를 0.8로 한 경우 표본 수는 7명이며 자료 손실률을 30%로 가정하여 군당 각각 15명을 대상으로 하였다. 모든 자료는 평균 ± 표준편차로 표시하였고, 통계처리는 SPSS 15.0 for Windows를 이용하여 BIS, SE, RE값과 호기말 sevoflurane 농도와 상관 분석은 Pearson correlation으로, 군 간 BIS, SE, RE값의 비교는 t-test로 분석하였다. P값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 하였다.

결 과

15명 중 3명은 협조가 되지 않았거나 실험 중간에 BIS나 entropy가 상당 기간 나오지 않아서 제외하였고 최종적으로 군당 12명의 표본을 얻었다. Group CP (n = 12)과 Group NL (n = 12)의 군 간 성별, 연령, 체중, 신장에 유의한 차이는 없었다. Group CP에서 정신 지체가 있는 환자는 7명, 사지 모두 침범한 환자(quadriplegic type)는 5명, 경련이 있었던 환자는 3명이었고 현재 항경련제를 투여 받고 있는 환자는 없었다(Table 1).

Group CP와 Group NL의 두 군을 비교해 본 결과 기저값, 종료값, sevoflurane 농도에 따른 BIS, SE, RE값에 유의한 차이가 없었다(Table 2). 종료점까지 걸린 시간과 종료점의 호기말 sevoflurane 농도에서도 두 군 간의 유의한 차이는 없었다(Table 1).

Group CP를 증증도에 따라 사지를 모두 침범한 군(Q; Quadriplegic, n = 5)과 그렇지 않은 군(non-Q; diplegic or hemiplegic, n = 7)으로 나누어 분석해 본 결과 Group Q에서 SE의 기저값(평균 86.8 ± 1.1)이 Group non-Q에서 SE의 기저값(평균 89 ± 1.9)에 비하여 낮았다(P < 0.05).

Group CP에서 BIS와 호기말 sevoflurane 농도, SE와 호기말 sevoflurane 농도, RE와 호기말 sevoflurane 농도의 상관계수는 각각 -0.834 , -0.793 , -0.813 로 모두 통계적으로 유의한 상관 관계를 보였다. 그 중 BIS와 호기말 sevoflurane 농도간 상관 계수의 절대값이 가장 컸다. Group NL에서는 BIS와 호기말 sevoflurane 농도, SE와 호기말 sevoflurane 농도, RE와 호기말 sevoflurane 농도의 상관계수는 각각

-0.843 , -0.728 , -0.745 로 통계적으로 유의한 상관 관계를 보였다(Fig. 1).

호기말 sevoflurane 농도가 1.5 vol% 미만인 군과 이상인 군으로 나누어 상관 계수를 비교해 보았다. Group CP에서는 1.5 vol% 미만인 군에서 BIS와 호기말 sevoflurane 농도, SE와 호기말 sevoflurane 농도, RE와 호기말 sevoflurane 농도의 상관 계수는 각각 -0.840 , -0.798 , -0.820 으로 통계적으로 유의한 상관 관계가 있었고, BIS와 호기말 sevoflurane 농도의 상관 계수의 절대값이 가장 컸다. 1.5 vol% 이상인 군에서 BIS와 호기말 sevoflurane 농도, SE와 호기말 sevoflurane 농도, RE와 호기말 sevoflurane 농도의 상관 계수

Table 1. Demographic and Clinical Data

	Group CP (n = 12)	Group NL (n = 12)
Age (yr)	19.8 ± 10.6	19.3 ± 10.5
Sex (M/F)	7/5	10/2
Height (cm)	151 ± 19	151 ± 18
Weight (kg)	44.2 ± 16	46.9 ± 14
Boby mass index (kg/m ²)	18.7 ± 3.3	20.3 ± 4.1
MR (Yes/No)	7/5*	0/12
Seizure history (Yes/No)	3/9*	0/12
Final Etsevo (%)	4.0 ± 1.2	4.06 ± 1.3
Time to end of study (sec)	423 ± 165	461 ± 120

Values are expressed as mean ±SD or number of patients. There are no statistically significant differences in variables except MR, seizure history between the two groups. Group NL: patients without cerebral palsy. Group CP: patients with cerebral palsy. MR: mental retardation. Final Etsevo: end-tidal concentration of sevoflurane at the end of study. *P < 0.05 vs Group NL.

Table 2. BIS, SE, RE at Each Point

Point	Score	Group CP (n = 12)	Group NL (n = 12)
Baseline	BIS	91.3 ± 6.8	94.4 ± 3.3
	SE	88.1 ± 1.9	87.8 ± 1.5
	RE	97.2 ± 1.9	97.7 ± 1.7
End point	BIS	42.7 ± 16.9	40.8 ± 16.6
	SE	39.8 ± 20.7	37.7 ± 21.5
	RE	42.3 ± 21.3	42.5 ± 23.2

Values are expressed as mean ± SD. There are no statistically significant differences between the two groups. Group NL: patients without cerebral palsy. Group CP: patients with cerebral palsy. BIS: bispectral index. SE: state entropy. RE: response entropy.

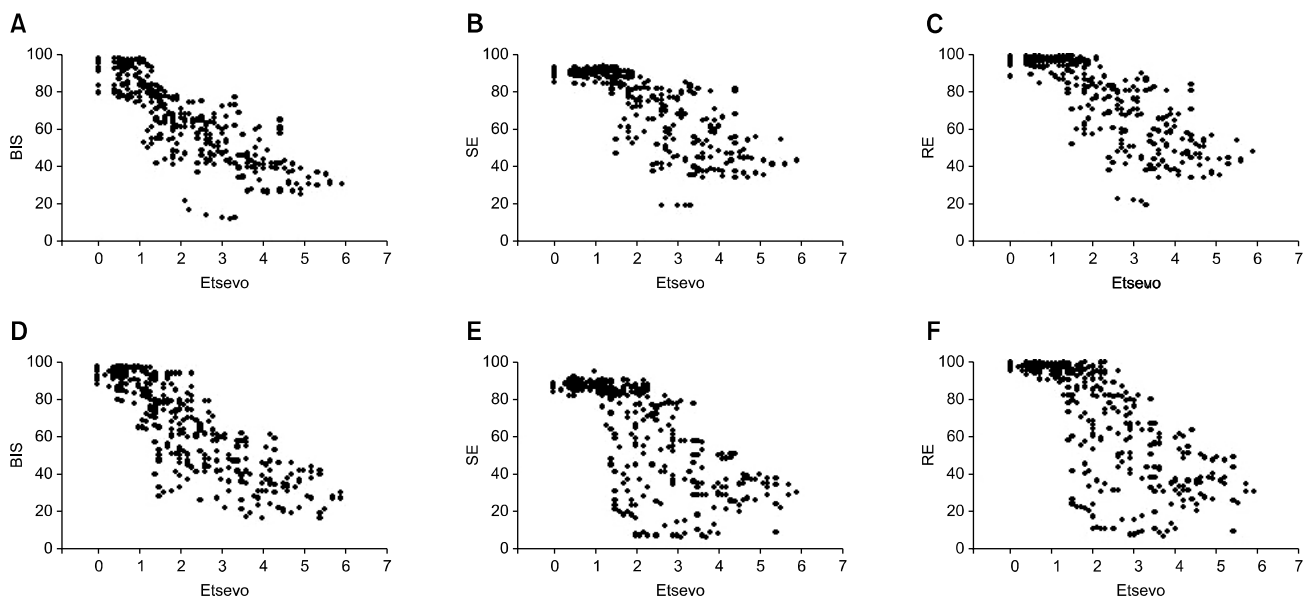


Fig. 1. Correlation of BIS, SE, RE with end tidal sevoflurane concentration (Etsevo) in Group CP: patients with cerebral palsy and Group NL: patients without cerebral palsy. (A, B, C: Group CP, D, E, F: Group NL), Correlation coefficient (R) A: -0.834 , B: -0.793 , C: -0.813 , D: -0.843 , E: -0.728 , F: -0.745 , P < 0.05.

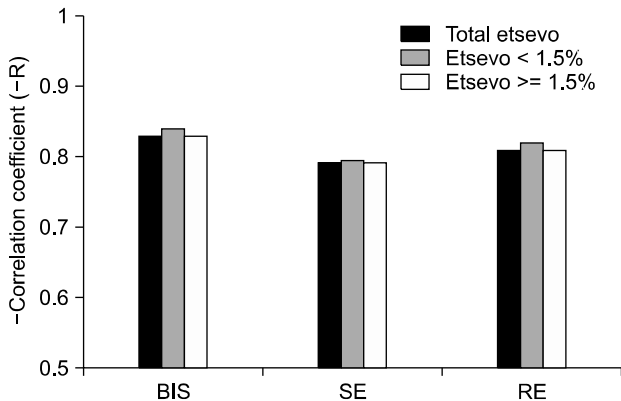


Fig. 2. Comparison of correlation coefficient between BIS-Entropy and entropy-Entropy in Group CP (patients with cerebral palsy).

는 각각 -0.830 , -0.790 , -0.810 으로 통계적으로 유의한 상관 관계가 있었다(Fig. 2). Group NL에서는 1.5 vol% 미만인 군에서 BIS와 호기말 sevoflurane 농도, SE와 호기말 sevoflurane 농도, RE와 호기말 sevoflurane 농도의 상관 계수는 각각 -0.836 , -0.712 , -0.731 로 모두 통계적으로 유의한 상관 관계가 있었다. 1.5 vol% 이상인 군에서 BIS와 호기말 sevoflurane 농도, SE와 호기말 sevoflurane 농도, RE와 호기말 sevoflurane 농도의 상관 계수는 각각 -0.663 , -0.460 , -0.497 으로 모두 통계적으로 유의한 상관 관계가 있었다.

고 찰

뇌성마비(cerebral palsy, CP)는 일반적으로 발달의 초기 단계에서 뇌의 병변이나 기형으로 인해 이차적으로 생긴, 비진행성이나 종종 변화 가능한 운동 장애 증후군을 총칭하는 용어이다[5]. 임상적 양상은 정상 지능인 경도의 단일 마비(monoplegia)부터 정신지체이면서 심한 전신 강직(spasticity)을 가진 환자까지 매우 다양하다. 원인은 여러 가지이나 대체로 출생 전후 뇌의 성장 초기에 입은 중추 신경계 손상이다[6]. 유병율은 선진국의 경우 출생아 1 천명 당 2명 정도로 소아 운동 장애의 가장 흔한 원인이다[7].

흡입 마취제를 이용하는 전신 마취 시 최소폐포농도(minimal alveolar concentration, MAC)를 이용하여 뇌에서의 흡입 마취제의 농도를 추측하는 데에는 한계가 있다. 뇌파 분석을 통한 BIS나 spectral entropy를 이용하여 전신 마취 중 최면 깊이를 감시할 수 있다. BIS는 깊은 마취(deep anesthesia)를 나타내는 burst suppression ratio (BSR), 얇은 진정(light sedation)을 반영하는 beta ratio, 그리고 중등도 진정이나 얇은 마취(moderate sedation or light anesthesia)를 나타내는 SynchFastSlow 등으로부터 구해진 값에 가중치를 곱한

후 더하여 이전에 모아진 데이터베이스로부터 그 값에 해당하는 백분위의 BIS값을 나타낸다. 0부터 100까지의 숫자로 표현되며 마취 상태에서 최면요소(hypnotic component)를 잘 반영하는 것으로 알려져 있다[8]. Entropy는 신호의 불규칙성(irregularity), 복잡성(complexity), 예측 불가능성(unpredictability)을 기술하여 불확실성을 분석한 값이다. Entropy module은 spectral entropy라 불리는 영역(power spectrum)의 Shannon entropy를 계산함으로써 최면의 깊이를 측정한다. 2개의 다른 spectral entropy를 분석하는데 하나는 state entropy (SE)로 대부분 뇌파로 구성된 0.8–32 Hz범위에서 이전 15초 내의 뇌파 자료로부터 계산되고, 다른 하나는 response entropy (RE)로 0.8–47 Hz의 더 높은 범위에서 전두 부분의 근전도(EMG)를 포함한 뇌파 자료로부터 계산된다[9]. SE는 0–91 범위, RE는 0–100 범위의 수치로 나타나며, 마취가 깊어짐에 따라 RE는 SE와 같아지고 RE, SE 차이가 증가하면 EMG 활동이 증가하였음을 의미한다고 한다[10]. 이 방법을 이용하여 정상인에서 sevoflurane의 농도와 BIS, entropy간에 상관관계가 있음은 밝혀진 바 있고 sevoflurane의 농도 변화에 따른 최면 깊이를 평가하는 데에 BIS나 entropy를 이용할 수 있다고 보고하고 있다[11-13].

뇌성마비 환자에서 흡입 마취제의 최소폐포농도(MAC)는 감소할 수 있다. Halothane의 MAC은 뇌성마비 환아에서 20% 감소함을 보이고 항경련제를 투여 받는 환아에서는 추가로 10% 감소한다는 보고가 있다[14]. 뇌성마비 환자에서 BIS를 적용한 연구에서 Choudhry와 Brenn은[4] 정신지체가 동반된 뇌성마비 소아에서 BIS의 변화는 정상 소아와 유사한 양상을 보이거나 BIS의 절대값은 각성 시와 다른 sevoflurane 농도에서 정상 소아보다 낮은 결과를 보였다고 보고했다. 또한 Saricaoglu 등은[15] 뇌성마비 소아에서 정상 소아에 비해 같은 BIS값에 도달하는데 필요한 propofol 요구량이 더 적다고 보고했다. 본 연구 결과 정상인과의 비교에서 뇌성마비 환자의 BIS, SE, RE의 절대값은 기저점과 다른 sevoflurane 농도 별 측정 시, 그리고 종료점 등에서 측정하였을 때 정상인과 차이가 없었다. 호흡이 사라진 시점까지 걸린 시간과 그 시점의 호기말 sevoflurane 농도를 측정하여 sevoflurane의 요구량을 간접적으로 알 수 있는데 이 결과도 정상인과 차이가 없었다. 본 연구 결과에서 이전의 Choudhry 등의[4] 연구 결과와 달리 BIS, SE, RE의 절대값이 정상인과 차이가 없는 것으로 나온 것은 Choudhry 등은[4] 정신지체가 있는 사지 운동 장애 환자(quadriplegic type) 20명을 대상으로 하였고 본 연구는 대상이 대체로 보행 장애에 대한 수술 치료를 받으러 온 환자로 정신지체 환자는 7명, 사지 운동 장애는 5명이었고 대체로 뇌성마비 정도가 경미해서 이전 연구와는 다르게 질환의 중증도에서 차이가 있었기 때문인 것으로 그 이유를 추정할 수 있다. 참고로 저자들은

대상이 되는 뇌성마비 환자를 정신지체가 동반되었거나 운동 장애가 사지 전체에 생긴 형태(quadruplegic type)의 경우를 그렇지 않은 경우와 나누어 분석해 보았다. 그 결과, 사지 전체에 운동 장애가 생긴 환자에서 기저점의 BIS와 RE 값은 차이가 없었고 SE값이 유의하게 낮은 결과가 나왔으나, 정신지체의 동반 유무에 따라서는 서로 차이가 없었다. 이렇게 정신지체의 동반 유무에 따라서 서로 차이가 없었던 이유와 사지 전체에 운동 장애가 생긴 환자의 기저점의 BIS, RE값의 차이가 없었던 이유는 기왕에 발표된 논문에 비하여 정신 지체 환자수 혹은 사지 전체에 운동 장애가 생긴 환자수가 충분하지 않았으며, 표본 수가 통계적 유의성을 얻기에 부족한 것이라 생각한다. 이러한 부분은 추후 표본 수를 다시 산정하여 연구해야 할 것이라고 생각한다.

뇌성마비 환자에서 BIS, SE, RE 등과 호기말 sevoflurane 농도 간에도 상관 관계가 있음을 확인하였다. 따라서 BIS뿐만 아니라 entropy도 sevoflurane을 이용한 전신 마취 중 뇌성마비 환자의 최면 깊이를 평가하는데 사용할 수 있을 것으로 보인다. Rinaldi 등은[13] 정상 환자에서 BIS와 호기말 sevoflurane 농도, SE와 호기말 sevoflurane 농도와의 상관 관계를 연구한 결과 전체 호기말 sevoflurane 농도 범위에서 상관 계수 R값이 SE는 -0.75 , BIS는 -0.70 으로 SE가 BIS보다 호기말 sevoflurane 농도와 더 높은 상관 관계를 가짐을 보고하였다. 본 연구 결과에서는 전체 호기말 sevoflurane 농도 범위에서 뇌성마비 환자에서 BIS가 호기말 sevoflurane 농도와 가장 높은 상관 관계를 보였고 RE, SE 순으로 호기말 sevoflurane 농도와의 상관 관계가 높았고 이 결과는 정상인에서 반영하는 바와 같았다. Rinaldi 등의[13] 연구에서는 수술 중의 자극도 있고 근이완제도 사용하였던 것과 달리, 본 연구는 마취 유도 시에만 연구를 진행하였고 실험 시간 동안 환자에게 어떠한 자극도 주지 않았고 근이완제도 사용하지 않아서 RE의 수치가 과대 평가됨으로써 상관 관계가 BIS보다 낮게 나왔을 가능성이 있다고 생각한다.

Rinaldi 등은[13] 호기말 sevoflurane의 농도를 1.5 vol% 미만과 이상으로 나누어 BIS와 SE를 상관 분석한 결과 1.5 vol% 미만에서는 BIS가 SE보다 상관 관계가 큰 반면, 1.5 vol% 이상에서는 SE가 BIS보다 높은 상관 관계가 있음을 보고하였다. 본 연구에서는 호기말 sevoflurane 농도를 1.5 vol% 미만과 이상으로 나누어 BIS, SE, RE 등과 상관 분석을 시행한 결과 정상 환자와 뇌성마비 환자 모두, 낮은 농도와 높은 농도에서 모두 BIS, RE, SE 순으로 높은 상관 관계를 나타냈다. 정상인과 뇌성마비 환자에서 BIS, SE, RE 모두 호기말 sevoflurane 농도가 낮을 때 호기말 sevoflurane 농도와의 상관 관계가 더 높았다. 높은 농도에서 완전히 임상적 반응을 억제할 수 있는 sevoflurane 농도에 도달하기도 전에 sevoflurane 농도와 BIS, sevoflurane 농도와 entropy의 관

계가 평형에 도달하여 sevoflurane 농도가 높으면 sevoflurane 농도와 BIS 사이의 관계에서 선형성(linearity)이 소실된다는 연구결과가 있다 [16]. 또한 Kurehara 등은[17] 호기말 sevoflurane 농도와 BIS의 상관 관계에 대한 연구에서 호기말 sevoflurane 농도가 1.0 MAC 이상일 경우 BIS가 sevoflurane의 마취 효과와 상관 관계가 없다고 보고했다. 본 연구에서도 마취 유도를 위해서 실제 마취 유지에 필요한 sevoflurane 농도보다 높은 sevoflurane 농도까지 공급되었고 이에 따라 높은 sevoflurane 농도에서의 상관 관계가 낮은 sevoflurane 농도 시에 비해서 낮아지는 결과가 나온 것으로 설명할 수 있다. RE는 유해 자극에 의한 전두근의 활동을 반영하므로 유해 자극 시 적절한 마취 깊이나 각성을 BIS나 SE보다 빨리 평가하는 데에 유리하다[10,18]. 그러나 entropy는 마취 심도가 깊어짐에 따라 점차로 감소하는 BIS와 달리 세부적인 진정 정도를 반영하지 못한다는 보고가 있다[19].

본 연구의 한계점으로는 실험 방법상 한 농도에서 뇌-호기말 가스 농도간의 평형을 이룰만한 충분한 시간 동안 흡입 마취제의 농도를 유지하지 않아서 흡입 마취제 농도-반응 관계를 보여주지 못한 점, 흡입 마취제의 진정 효과를 평가하기 위한 객관적인 임상적 평가 방법(예: 관찰자 각성/진정 척도 평가 MOAA/SS)을 사용하여 진정 정도 점수를 각 농도 별로 제시하지 못한 점 등이 있으며 이는 추후 실험 방법을 달리하여 시행해야 할 것으로 생각한다.

결론적으로 sevoflurane마취 유도 시 뇌성마비 환자에서 BIS, SE, RE 등과 호기말 sevoflurane 농도 간에 상관 관계가 있음을 확인하였다. 뇌성마비 환자와 정상인 모두에서 BIS가 entropy보다 호기말 sevoflurane 농도와의 상관 관계가 더 높았다. 또한 낮은 호기말 sevoflurane 농도에서 BIS, entropy 값들과 호기말 sevoflurane 농도의 상관 관계가, 높은 호기말 sevoflurane 농도에서의 비교 때 보다 더 높았다. 이상의 결과로 미루어 볼 때 뇌성마비 환자에서 BIS와 entropy는 마취 유도 시 정상인과 차이가 없었으며, 뇌성마비 환자에서도 entropy를 BIS처럼 마취 유도 시 정상인과 같은 기준을 적용하여 사용할 수 있을 것으로 생각한다.

REFERENCES

- Nolan J, Chalkiadis GA, Low J, Olesch CA, Brown TC. Anaesthesia and pain management in cerebral palsy. *Anaesthesia* 2000; 55: 32-41.
- Al-Sulaiman A. Electroencephalographic findings in children with cerebral palsy: a study of 151 patients. *Funct Neurol* 2001; 16: 325-8.
- Senbil N, Sonel B, Aydin OF, Gurer YK. Epileptic and non-epileptic cerebral palsy: EEG and cranial imaging findings. *Brain Dev* 2002; 24: 166-9.

4. Choudhry DK, Brenn BR. Bispectral index monitoring: a comparison between normal children and children with quadriplegic cerebral palsy. *Anesth Analg* 2002; 95: 1582-5.
5. Mutch L, Alberman E, Hagberg B, Kodama K, Perat MV. Cerebral palsy epidemiology: where are we now and where are we going? *Dev Med Child Neurol* 1992; 34: 547-51.
6. Badawi N, Watson L, Petterson B, Blair E, Slee J, Haan E, et al. What constitutes cerebral palsy? *Dev Med Child Neurol* 1998; 40: 520-7.
7. Himmelmann K, Hagberg G, Beckung E, Hagberg B, Uvebrant P. The changing panorama of cerebral palsy in Sweden. IX. prevalence and origin in the birth-year period 1995–1998. *Acta Paediatr* 2005; 94: 287-94.
8. Rampil IJ. A primer for EEG signal processing in anesthesia. *Anesthesiology* 1998; 89: 980-1002.
9. Viertio-Oja H, Maja V, Sarkela M, Talja P, Tenkanen N, Tolvanen-Laakso H, et al. Description of the entropy algorithm as applied in the datex-ohmeda S/5 entropy module. *Acta Anaesthesiol Scand* 2004; 48: 154-61.
10. Wheeler P, Hoffman WE, Baughman VL, Koenig H. Response entropy increases during painful stimulation. *J Neurosurg Anesthesiol* 2005; 17: 86-90.
11. Ellerkmann RK, Liermann VM, Alves TM, Wenningmann I, Kreuer S, Wilhelm W, et al. Spectral entropy and bispectral index as measures of the electroencephalographic effects of sevoflurane. *Anesthesiology* 2004; 101: 1275-82.
12. Denman WT, Swanson EL, Rosow D, Ezbicki K, Connors PD, Rosow CE. Pediatric evaluation of the bispectral index (BIS) monitor and correlation of BIS with end-tidal sevoflurane concentration in infants and children. *Anesth Analg* 2000; 90: 872-7.
13. Rinaldi S, Consales G, De Gaudio AR. State entropy and bispectral index: Correlation with end tidal sevoflurane concentrations. *Minerva Anesthesiol* 2007; 73: 39-48.
14. Frei FJ, Haemmerle MH, Brunner R, Kern C. Minimum alveolar concentration for halothane in children with cerebral palsy and severe mental retardation. *Anaesthesia* 1997; 52: 1056-60.
15. Saricaoglu F, Celebi N, Celik M, Aypar U. The evaluation of propofol dosage for anesthesia induction in children with cerebral palsy with bispectral index (BIS) monitoring. *Paediatr Anaesth* 2005; 15: 1048-52.
16. Katoh T, Suzuki A, Ikeda K. Electroencephalographic derivatives as a tool for predicting the depth of sedation and anesthesia induced by sevoflurane. *Anesthesiology* 1998; 88: 642-50.
17. Kurehara K, Takahashi M, Kitaguchi K, Furuya H. The relationship between end-tidal isoflurane concentration and electroencephalographic bispectral index during isoflurane/epidural anesthesia. *Masui* 2002; 51: 642-7.
18. Vakkuri A, Yli-Hankala A, Talja P, Mustola S, Tolvanen-Laakso H, Sampson T, et al. Time-frequency balanced spectral entropy as a measure of anesthetic drug effect in central nervous system during sevoflurane, propofol, and thiopental anesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand* 2004; 48: 145-53.
19. Choi JW, Kim JB, Jung HJ, Hwang MY, Kim DW. Comparison of measured values between EEG-entropy and BIS during general anesthesia and sedation. *Korean J Anesthesiol* 2006; 50: 501-5.