

소아 치과진정법 시행 시 진정심도 감시를 위한 Cerebral State Monitor의 임상적 유용성

신태전, 현홍근, 김영재, 김정욱, 장기택, 이상훈, 김종철, 서광석*

서울대학교치과병원 소아치과, *치과마취과

Clinical Usefulness of Cerebral State Monitor for Monitoring Sedation Depth during Dental Sedation in Children

Teo-Jeon Shin, Hong-Keun Hyun, Young-Jae Kim, Jung-Wook Kim, Ki-Taeg Jang, Sang-Hoon Lee, Chong-Chul Kim, Kwang-Suk Seo*

Department of Pediatric Dentistry, *Department of Dental Anesthesiology, Seoul National University Dental Hospital, Seoul, Republic of Korea

Background: It is imperative that adequate sedation level should be maintained for safe and effective dental sedation. Cerebral state index (CSI) is a empirically derived parameter calculated from the processed electroencephalography (EEG). We investigated whether CSI can be used as a sedation depth indicator.

Methods: We continuously recorded CSI and bispectral index (BIS) values from 10 healthy children aged 3-6 yr undergoing dental sedation. We also evaluated sedation level using the Modified Observer's Assessment of Alertness/Sedation (MOAA/S). The correlation between CSI and BIS, or CSI and sedation score were sought a regression analysis.

Results: There were good linearity between CSI values and sedation score. ($r = 0.916$, $P < 0.001$) The paired CSI and BIS values showed a significant correlation between the two values. ($r = 0.895$, $P < 0.001$) The difference between CSI and BIS values was not statistically significant at deep and conscious sedative levels.

Conclusions: The CSI monitor can be easy to monitor sedation depth during dental sedation for children.

Key Words: Cerebral State Index Monitor; Deep Sedation; Dental Care for Children

서론

협조가 잘 안 되는, 치과치료에 공포감이 심한 소아 환자의 경우 치과치료를 진행하는 것은 임상진료에 있어서 큰 도전이 된다. 치료에 따른 환자의 과도한 공포는 향후 치과치료를 저해하는 요소로 작용하며 장기적으로 치과치료의 순응도를 감소시키는 하나의 원인으로 작용 가능하다. 이와 같은 이유로 특히 치과치료에 대한 공포감이 일반적으로 강한 소아환자, 지적 장애 환자에 있어 치과적인 치료를 위해 진정법(sedation)을 많이 시행하고 있다. 하지만 다른 영역에서의 치료에서와 달리 치과적인 치료는 구강 내에서 이루어지는 만큼 적절한 마취심도를 유지하는 것이 매우 중요하다. 진정

심도가 너무 깊어질 경우 호흡기계 합병증의 발생 가능성이 증가하고 이는 진정법에 따른 합병증의 발생을 증가시키는 원인으로 작용 가능하다[1].

마취 심도 감시장치로서 bispectral index monitor (BIS)가 임상에서 널리 이용되고 있다. BIS는 뇌파의 서로 다른 주파수 영역에서의 상관관계에 기반한 bispectral 분석 기법을 이용한다[2]. 여러 가지 마취 약제 및 마취 상태에서의

Received: 2014. 3. 21 • Revised: 2014. 4. 2 • Accepted: 2014. 4. 2
Corresponding Author: Teo Jeon Shin, Department of Pediatric Dentistry, Seoul National University, School of Dentistry, 101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul, 110-768, South Korea
Tel: +82.2.2072.2607 Fax: +82.2.744.3599 email: snmc94@snu.ac.kr
* 이 연구는 서울대학교 신입교수 연구정착금으로 지원되는 연구비에 의하여 수행되었음. (연구과제 850-20120004)

BIS의 유용성에 관해서는 잘 알려져 있다[3,4]. 최근에 cerebral state index (CSI) 감시장비가 마취심도를 감시하는데 이용이 되고 있으며 여러 연구에서 마취 심도 감시장치로서의 임상적 유용성이 입증되고 있다[5-9]. 특히 CSI는 휴대가 간편하고 센서 부착이 용이하여 실제 임상에서 사용이 용이하다. BIS와 마찬가지로 0-100 사이의 값으로 마취 심도를 표시하여 쉽게 마취의 심도의 확인이 가능하다. 하지만 아직 까지 소아 환자에서의 진정법을 시행 시 진정심도의 감시 장비로서의 CSI의 유용성에 대해서는 알려진 바가 거의 없다.

본 연구에서는 협조도가 낮은 소아 환자에서 목표농도 조절 주입법(target controlled infusion (TCI))을 이용한 propofol 투여 및 sevoflurane 흡입 진정법을 병용 투여하여 깊은 진정법을 시행 시 진정심도의 변화에 따른 CSI 값의 변화를 BIS 수치와 비교함으로써 진정심도의 감시장치로서 CSI의 임상적 유용성에 대해 확인하고자 한다.

대상 및 방법

서울대학교 치의학대학원 연구윤리위원회의 승인을 획득하고 협조도가 낮아서 행동조절을 위한 치과 치료시 진정법이 요구되는 3-6세 사이의 10명의 소아환자를 대상으로 연구를 진행하였다. 환자는 ASA class 1에 해당하였으며 최근에 진정제 및 마약성 진통제를 복용한 과거력이 있거나, 신장/간/호흡기계/심장 기능에 이상이 있는 환자, 몸무게가 이상 체중의 80-120%에 해당하는 환자, 1시간 이상의 긴 치료시간이 소요되는 치과치료가 예정되어 있는 환자는 연구에서 배제하였다.

Premedication없이 환자를 dental chair에 눕힌 후 심전도와 산소포화도 측정기, 혈압계를 부착 후 환자 감시를 진행하였다. 환자의 이마를 알코올 솜을 이용하여 닦은 후 제조사에서 권고하는 대로 환자의 이마에 BIS sensor와 CSI sensor를 부착하였다. BIS monitor (Aspect A-200, Aspect Medical Systems, Newton, MA; version vista)를 이용하여 BIS 값을 지속적으로 감시를 시작하였다. CSI 모니터 (CSITM Danmeter, Odense, Denmark)에 연결 후 역시 BIS와 동시에 CSI 값을 지속적으로 감시를 시작하였다.

안면마스크를 이용하여 sevoflurane을 1 vol %씩 올리면

서 환자가 의식이 소실될 때까지 sevoflurane의 농도를 증가시켰다. 환자의 의식 소실이 유도된 후 하지 정맥에 정맥 주사를 시행하였다. Nasal hood를 환자의 코에 거치한 후 치료기간 동안 호기말 sevoflurane의 농도가 0.8 vol% 정도 유지되도록 sevoflurane의 기화기의 농도를 조절하였다. 환자의 비강에 가스 capnography를 삽입하였으며 치료 도중 환자의 호기말 이산화탄소 분압과 sevoflurane 가스 농도를 감시하였다. Propofol을 정맥 주사에 연결 후 목표 농도 조절 주입법(target controlled infusion) 을 시행하였다. 초기 효과 농도를 1.5 ug/ml로 유지하여 목표 농도 조절 주입법을 시행하였다. 치료 기간 동안 미국소아치과학회에서 정의한 깊은 진정상태에 도달하도록 propofol의 농도를 적정하였다. 진정 심도의 상태에 따라서 propofol의 효과농도를 0.2 ug/ml/ml 증감하여 치료 도중 환자의 진정심도를 조정하였다.

환자의 진정 심도는 The modified observer's assessment of alertness/sedation rating scale (MOAA/S)를 이용하여 평가되고 등급을 나누었다(Table 1). 치료 도중 환자의 MOAA/S scale은 1을 유지하는 것을 목표로 하였다. 진정 심도는 환자가 dental chair에 앉은 순간부터 치료 종료 후 의식이 돌아오는 시점까지 지속적으로 평가하였다. 실험에 대해 전혀 알지 못하는 평가자에 의해 진정 심도는 통증 자극에 대한 반응의 여부를 확인하기 위해 치료 도중 통증 자극을 유발하는 치료(개구기 삽입, 국소마취 자입, 러버덤 삽입, 치수절제술 시행, 거즈 구인두 삽입)시 진정 심도를 측정하였다. 치료 종료 후 회복되는 과정에서는 1분마다 진정심도를 측정하였다.

CSI, BIS 값 역시 진정심도와 동일한 시점에 평가되고 기록 되었다. 특정 진정 심도에서의 진정 심도 차이에 따른 BIS, CSI의 차이는 t-test를 이용하여 분석하였다. BIS와 CSI의 상관성은 Pearson 상관계수를 측정하여 분석하였다. P값이 0.05보다 작은 경우에 통계적으로 유의한 것으로 판정하였다.

결과

3-6세 사이의 소아 환자 10명이 연구에 참여하였다. 연구

Table 1. The modified observer's assessment of alertness/sedation rating scale (MOAA/S)

Score	Responsiveness
5	Responds readily to name spoken in normal tone
4	Lethargic response to name spoken in normal tone
3	Responds only after name is called loudly and/or repeatedly
2	Responds only after mild prodding or shaking
1	Does not respond to mild prodding or shaking
0	Does not respond to noxious stimuli

Table 2. The cerebral state index and bispectral index according to the modified observer's assessment of alertness/sedation scale. Data are presented as the mean (standard deviation)

	CSI	BIS	P value
MOAA/S 0	49.3 (5.5)	52.4 (7.5)	0.103
MOAA/S 1	53.0 (5)	55.9 (5.7)	0.29
MOAA/S 2	64.3 (5.7)	67.6 (9)	0.237
MOAA/S 3	73.4 (11)	74.4 (3.6)	
MOAA/S 4	89.3 (4.4)	76.5 (1.4)	
MOAA/S 5	91.7 (4.7)	86 (6.5)	

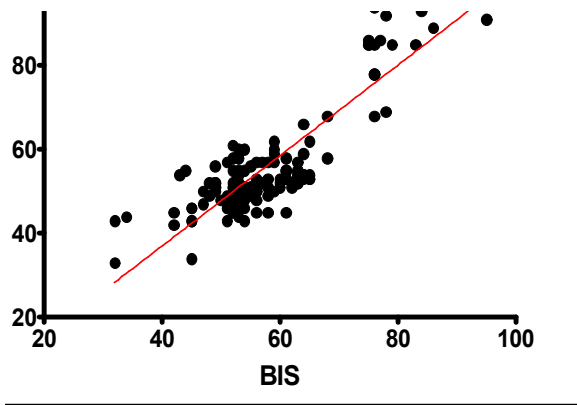


Fig. 1. The correlation between bispectral index (BIS) and cerebral state index (CSI) values ($r = 0.895$, $P < 0.001$). The red line indicates the fitted line.

경향을 보였으며, CSI와 MOAA/S는 통계적으로 유의한 상관 관계를 나타내었으며 BIS와 비교 시 CSI가 MOAA/S와 더 강한 상관 관계를 보였다($r = 0.916$, $P < 0.001$).

각 진정심도에서 BIS와 CSI값이 차이가 나는지의 여부를 확인하였다. Table 2에서와 같이 각 진정심도(MOAA/S = 0, 1, 2 이상)에서 BIS와 CSI 값의 통계적인 차이는 관찰되지 않았다(Table 2). 또한 동일한 시간에 측정된 BIS와 CSI 값의 상관성을 확인하기 위해 상관분석을 시행하였다. Fig. 1에서 제시한 것처럼 BIS와 CSI값은 강한 상관 관계를 나타내었다 ($r = 0.895$, $P < 0.001$, Fig. 1). 위의 결과들을 종합해볼 때 CSI값이 소아 환자에 있어서 진정심도를 측정하는데 있어 BIS와 거의 유사한 예측 능력을 나타냄을 제시한다고 하겠다.

에 참여한 환자는 propofol, sevoflurane 병용 진정법 시행 하에 행동조절이 잘 되었으며 계획된 치과치료를 모두 시행 하였다. 진정법 하 치과치료 도중 합병증의 발생은 없었다.

진정 심도의 깊이가 증가함에 따라서 BIS, CSI 수치 모두 감소하는 양상을 나타내었다(Table 2). MOAA/S가 감소할수록 BIS 역시 감소하는 경향을 보였으며, BIS와 MOAA/S는 통계적으로 유의한 상관 관계를 나타내었다($r = 0.847$, $P < 0.001$). CSI 역시 MOAA/S가 감소할수록 CSI 역시 감소하는

고찰

행동조절을 위한 목적으로 협조도가 불량한 소아환자에서 치과 진정법의 사용이 최근에 증가하고 있다. 적절한 진정심도를 유지한 상태로 치료를 진행하는 것은 치료의 효율성을 높이고 안정성을 확보하는 매우 중요한 요소이다. 환자의 진정심도를 확인하기 위한 여러 가지 지표들이 임상에서 많

이 사용이 되고 있다. 또한 진정심도의 측정 지표는 여러 종류의 치료 시 임상적인 유용성이 알려져 있다. 하지만 임상에서 널리 이용되는 진정심도의 지표는 평가자의 주관에 의존하는 경우가 많으며 특히 인지기능이 저하되어 있는 소아, 지적 장애인 환자에서는 사용하기가 매우 어려운 특징을 나타낸다. 더욱이 치과치료는 구강에서 치료가 진행이 되므로 환자와의 의사소통(communication)이 어려운 측면이 있어 객관적인 지표가 아닌 평가자의 주관적인 측정에 기반한 진정심도 측정 지표를 이용 시 제한이 따를 수 있는 단점이 있다.

BIS는 마취 심도의 변화에 따른 뇌파의 변화를 이용하여 마취 심도의 증가에 따른 해당 주파수 영역대의 bispectrum을 이용하여 0에서 100까지의 숫자로 표시되며 0은 iso-electric EEG, 100은 깨어 있는 상태를 나타낸다. BIS는 마취 심도의 지표로서 임상적인 유용성이 입증되어 있는 지표이며, 또한 진정 심도를 효과적으로 평가할 수 있음이 알려져 있다. 최근에는 소아에서 진정법을 시행하는 경우 BIS는 진정 심도를 효과적으로 예측할 수 있음이 알려져 있다[10].

최근에 cerebral state index (CSI) 감시장비가 임상에 도입되었고 CSI를 사용해서 마취심도를 평가할 수 있게 되었다. CSI는 BIS와는 다른 계산 알고리즘을 구현한다. 뇌파를 power 분석을 시행 한 후에 alpha, beta, burst suppression ratio와 beta-alpha ratio를 구하고 이를 fuzzy 알고리즘을 이용하여 BIS와 유사하게 0에서 100의 숫자로 표현해 준다. CSI는 손에 들고 다닐 수 있을 정도로 휴대성이 편리하며 일반 심전도 전극을 이용해도 될 만큼 경제적이다. 또한 microneedle이 내장되어 있어 부착 시 통증을 유발할 수 있는 BIS electrode와 달리 CSI에 사용되는 전극은 micro-needle에 포함되어 있지 않아 부착이 용이한 장점이 있다. 많은 장점이 있음에도 불구하고 BIS 계산 알고리즘과 다른 알고리즘을 사용하여 CSI값을 계산하므로 마취 감시장치로서의 유용성을 검증하기 위해 BIS와의 비교 연구가 진행이 되고 있는 상황이다.

Propofol을 사용한 전신마취 시 마취에 따른 CSI와 BIS 값의 유의한 차이가 없는 것으로 알려져 있으며[5-7], sevoflurane을 이용한 전신마취에서도 마취 도중에 BIS와 CSI 간에는 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않음이 보고되고

있다[8]. 전신마취뿐만 아니라 propofol을 이용한 성인 환자의 진정법 시에도 BIS 수치와 CSI간에는 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않으며 CSI가 진정법 심도를 잘 반영하는 것으로 알려져 있다[9]. 하지만 현재까지 CSI값이 소아 환자의 진정법 시에 진정법의 심도를 예측하는 지표로서의 유용성에 대한 연구는 거의 전무한 실정이었다.

본 연구 결과 CSI가 소아 환자의 진정법 시행 시 진정 심도를 예측하는데 유용하게 사용할 수 있음을 제시하였다. BIS는 소아 환자에서 진정심도의 변화를 잘 반영하며 BIS 수치와 진정 심도 스코어 사이에 강한 상관관계를 나타냄이 잘 알려져 있다[10,11]. McDermott 등의 연구에 의하며 BIS 값은 12세 미만 소아 환자에서 진정심도 지표인 the University of Michigan Sedation Scale (UMSS)와 강한 상관성을 나타내었다[11]. Sadhasivam 등은 본 연구에서 사용한 OAAS 진정심도 지표를 이용하여 BIS와의 상관성을 연구했는데 본 연구 결과와 마찬가지로 BIS 값이 진정심도의 증가에 따라 감소하였으며 또한 강한 상관관계를 나타냄을 보고하였다[10]. 위의 연구결과를 종합해 볼 때 CSI 역시 소아 환자에 있어 진정심도를 측정하는데 있어 매우 유용한 지표가 될 수 있다고 생각된다. 특히 센서의 부착이 매우 용이하며 CSI센서를 부착 시 통증을 유발하지 않으므로 소아에서 매우 유용하게 이용할 수 있을 것으로 예상되며, CSI의 진정 심도를 반영하는 예측력이 본 연구결과 BIS와 거의 유사하므로 특히 소아환자의 행동조절을 위한 진정법을 시행하는 경우 진정 심도 감시 장비로서 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

다만 본 연구결과를 임상에 적용하기 위해서는 몇 가지 고려해야 할 점이 있는데 본 연구에서는 환자의 행동이 잘 조절되고, 치료에 방해가 되지 않으면서 치료 도중 특별한 합병증이 발생하지 않는 propofol의 농도를 적정하면서 측정된 BIS, CSI 값을 사용하였다. 이론적으로 진정의 정도를 다르게 유지할 수 있는 항정상태(steady state)에서 약물의 농도를 일정하게 유지한 상태로 특정한 진정의 심도(예. MOAA/S grade 1,2,3,4,5)에서의 CSI의 값의 변화를 확인하는 것이 가장 적절한 방법이다. 하지만 본 연구에서는 행동조절이 되지 않은 소아 환자를 대상으로 진정법이 시행이 되었고, 치과적인 치료를 진행하는데 있어 방해가 되지 않을 정도

의 진정 수준을 유지해야 하는 관계로 치료 도중 깊은 진정상태로 유지할 수밖에 없었다. 따라서 본 연구에서는 MOAA/S 1에 해당하는 지점을 목표하는 진정 수준으로 정하고 propofol의 효과처 농도 및 sevoflurane의 농도를 조절하였다. 또한 치과 치료는 침습적인 시술이며 시술의 과정 중 환자에게 가해지는 통증 자극의 정도는 일정치 않는 경우가 대부분이므로 MOAA/S 1과 0을 구분하는 과정에서 bias가 발생할 수 있다. 또한 본 연구에서는 협조도가 매우 불량한 소아 환자를 대상으로 연구가 진행되어 행동조절을 위해 상당히 깊은 수준의 진정 상태를 유도해야 했는데 이와 같은 이유로 MOAA/S 0,1에서의 BIS 값이 기존의 연구에 비해 약간 낮은 값을 유지했을 것으로 추측된다[10,11]. 향후 진정 심도의 측정을 위한 통증 자극을 표준화하고 진정상태를 일정하게 유지하기 위한 약물의 투여가 이루어진 통제된 상황에서 진정 상태의 “gold standard”를 이용한 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로, 치과치료를 위한 진정법 시행 시 진정심도의 변화에 따라 BIS, CSI 값은 상관성을 나타내며 변화되었으며 의식하, 깊은 진정 상태에서의 CSI, BIS값의 유의한 차이는 관찰되지 않았다. CSI의 경제성, 편리성을 감안해 볼 때 소아 환자의 치과진정법 시행 시 진정수준의 감시장치로서 CSI는 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- Coté CJ, Notterman DA, Karl HW, Weinberg JA, McCloskey C: Adverse Sedation Events in Pediatrics: A Critical Incident Analysis of Contributing Factors. *Pediatrics* 2000; 105: 805-14.
- Rampil IJ: A Primer for EEG Signal Processing in Anesthesia. *Anesthesiology* 1998; 89: 980-1002.
- Drummond JC: Monitoring Depth of Anesthesia: With Emphasis on the Application of the Bispectral Index and the Middle Latency Auditory Evoked Response to the Prevention of Recall. *Anesthesiology* 2000; 93: 876-82.
- Gan TJ, Glass PS, Windsor A, Payne F, Rosow C, Sebel P, Manberg P: Bispectral Index Monitoring Allows Faster Emergence and Improved Recovery from Propofol, Alfentanil, and Nitrous Oxide Anesthesia. *Anesthesiology* 1997; 87: 808-15.
- Anderson RE, Barr G, Jakobsson JG: Cerebral state index during anaesthetic induction: a comparative study with propofol or nitrous oxide. *Acta Anaesthesiol Scand* 2005; 49: 750-3.
- Cortinez LI, Delfino AE, Fuentes R, Muñoz HR: Performance of the Cerebral State Index During Increasing Levels of Propofol Anesthesia: A Comparison with the Bispectral Index. *Anesth Analg* 2007; 104: 605-10.
- Jensen EW, Litvan H, Revuelta M, Rodriguez BE, Caminal P, Martinez P, Vereecke H, Struys MMRF: Cerebral State Index during Propofol Anesthesia: A Comparison with the Bispectral Index and the A-Line ARX Index. *Anesthesiology* 2006; 105: 28-36.
- Nishiyama T: Cerebral state index vs. bispectral index during sevoflurane-nitrous oxide anaesthesia. *Eur J Anaesthesiol* 2009; 26: 638-42.
- Zhong T, Guo QL, Pang YD, Peng LF, Li CL: Comparative evaluation of the cerebral state index and the bispectral index during target-controlled infusion of propofol. *Br J Anaesth* 2005; 95: 798-802.
- Sadhasivam S, Ganesh A, Robison A, Kaye R, Watcha MF: Validation of the Bispectral Index Monitor for Measuring the Depth of Sedation in Children. *Anesth Analg* 2006; 102: 383-8.
- McDermott NB, VanSickle T, Motas D, Friesen RH: Validation of the Bispectral Index Monitor During Conscious and Deep Sedation in Children. *Anesth Analg* 2003; 97: 39-43.