

미세 혈관 감압술 후 청력 손실에 대한 Thiopental Sodium의 효과

연세대학교 의과대학 ¹마취통증의학교실 및 ²마취통증의학연구소

김원주¹ · 김종훈^{1,2} · 배선준^{1,2} · 이윤창¹ · 민경태^{1,2}

Effect of Thiopental Sodium on Hearing Outcomes Following Microvascular Decompression Surgery

Won Ju Kim, M.D.¹, Jong Hoon Kim, M.D.^{1,2}, Sun Jun Bai, M.D.^{1,2}, Yoon Chang Lee, M.D.¹, and Kyeong Tae Min, M.D.^{1,2}

¹Department of Anesthesiology and Pain Medicine and ²Anesthesia and Pain Research Institute, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Background: The use of intraoperative brainstem auditory evoked potential (BAEP) has reduced the incidence of sensorineural hearing loss (SNHL) after microvascular decompression (MVD). This complication occurs due to direct compressive and/or stretching injury of the cochlear nerve or to indirect compression of the perineural vasculature during cerebellar retraction. The aim of this study was to evaluate the effect of thiopental sodium on SNHL after MVD for hemifacial spasm.

Methods: 94 hemifacial spasm patients with normal hearing function preoperatively and who underwent MVD under intraoperative BAEP monitoring were enrolled in this study. Patients were randomly divided into two groups. 52 patients were administered placebo (control group) and 42 patients were administered thiopental sodium 5 mg/kg intravenously 5 minutes before cerebellar retraction (thiopental group). The effects of thiopental on intraoperative BAEP changes and postoperative hearing functional outcomes were sought. Incidence and degree of postoperative SNHL were evaluated by pure tone audiometry threshold analysis.

Results: Maximal changes in intraoperative BAEP parameters did not differ between the two groups, and neither did the incidence nor degree of SNHL. In the control group, 4 transient and 4 permanent postoperative SNHL, including 2 deaf patients, occurred with an overall incidence of 15.4%. In the thiopental group, 2 transient and 1 permanent postoperative SNHL occurred, with an overall incidence of 7.1%.

Conclusions: Thiopental sodium administered prior to cerebellar retraction might reduce the incidence of postoperative hearing loss. (Korean J Anesthesiol 2004; 47: 617~22)

Key Words: brainstem auditory evoked potentials, microvascular decompression, sensorineural hearing loss, thiopental sodium.

서 론

반측안면 연축 시 미세혈관 감압술은 Jannetta에¹⁾ 의해 수술방법이 대중화된 이후 가장 효과적인 외과적 치료방법의 하나로 알려져 널리 시행되고 있다. 그러나 미세 혈관 감압술시 소뇌나 제8번 뇌신경을 견인함으로 인해 감각 신경성 청력 손실이 발생할 수 있는데 과거에는 15%의 빈도로²⁾ 비교적 높게 보고되었지만 근래에 이르러 현미경을 이용한

미세수술 기법이 발전되고 수술 중 뇌간 청각유발전위(brainstem auditory evoked potential, BAEP) 감시장치가 도입되어 이 합병증의 빈도가 낮아졌다.³⁻⁵⁾ 감각 신경성 청력 손실의 원인은 아직 확실하게 밝혀지지 않았지만, 청신경으로부터 뇌간에 이르는 경로의 파형인 제I-V 파형을 감시하는 BAEP 감시 중 제V 파형의 전위가 감소되거나 잠복기가 연장되는 등의 양상이 나타나는 것으로 보아 소뇌 견인 시 제 8번 뇌신경의 신전, 미로동맥(labyrinthine artery)이나 전하소뇌동맥의 조작, 전기소작기 등에 의한 신경의 직접적인 손상, 혈관과 신경사이에 삽입되는 Teflon 등이 물질로 인한 신경의 압박에 의한 허혈 손상 등이 거론되고 있다.⁶⁻⁸⁾

여러 위협으로부터 신경을 보호하기 위해 동물실험과 임상실험에서 저체온과 여러 가지 약물들이 시도되고 있는데 thiopental sodium은 아직 동물실험에서는 효과가 있을 것으로 보이나⁹⁻¹¹⁾ 실제 임상에서는 그 효과가 완전히 입증되지

논문접수일 : 2004년 5월 11일

책임저자 : 민경태, 서울시 서대문구 신촌동 134
연세대학교 의과대학 마취통증의학교실
우편번호: 120-752

Tel: 02-361-5847, Fax: 02-312-7185

E-mail: ktmin501@yumc.Yonsei.ac.kr

않았음에도 불구하고 뇌 동맥류 수술이나¹²⁻¹⁴⁾ 경동맥내막 절제술¹⁵⁻¹⁷⁾ 시 대뇌보호의 목적으로 널리 사용되고 있으며 긍정적인 연구결과가 보고되고 있다. 따라서 이 연구에서는 thiopental이 반측안면 연속 환자의 미세혈관 압박술 시 수술 중 BAEP의 변화와 수술 후 발생하는 감각신경성 청력 저하에 미치는 영향을 알아보려고 하였다.

대상 및 방법

반측안면 연속 치료를 위해 미세혈관 압박술이 예정된 환자로서 수술 전 puretone audiometry (PTA) 청력 검사상 청력저하가 없는 94명의 환자를 대상으로 하였다. 수술은 Park-bench 체위에서 동일 신경외과의사에 의해 후두하 유양돌기후방 두개골절제술에 의한 접근 방법으로 시행되었다. 마취방법은 기관삽관하에 fentanyl, 아산화질소, isoflurane 등을 이용하였다. 마취심도는 외과적 자극에 따른 혈역학적 반응에 따라 조절하였으며, 호기말 이산화탄소의 분압은 35-40 mmHg 정도를 유지하였으며 체온은 의도적인 저체온을 유도하지 않았지만 수술실 공기의 대류로 인하여 체온이 35°C 이하로 내려가면 정상체온을 유지하도록 가온하였다. BAEP 측정장치(Neuropack 8, MEB-4200K, Nihon Kohden, Tokyo, Japan)는 마취 후 신경과 소속 임상기사에 의하여 거치 되었으며, 압박술이 끝날 때까지 지속적으로 측정되었다. 전극은 국제 10-20 전극부호법(international 10-20 code)에 따라 귀뺨과 환측 정중 두피(Ax-Cx)에 부착하고 전두부 정중앙(Fz)에 기준전극을 부착하였다. 전위를 유발하기 위해 이어폰을 통해 click 음(주파수: 10 Hz, 세기: 90 dB, 1회 자극기간: 100 ms)으로 청각을 자극하였으며 500-1,000회 자극에 의한 반응을 평균하여 BAEP를 측정하였다. 수술 중 BAEP의 제V 파형의 잠복기가 0.5 ms 이상 연장되거나 전위가 50% 이상 감소하면 집도의에게 알려서 외과적 조작에 의한 원인을 찾거나 주의를 환기시켰으며 BAEP의 변화가 회복되지 않거나 악화되면 소뇌견인을 잠시 중단하

거나 naloxone을 1-2 mg 정주하기도 하였다. 유발전위의 측정결과는 경막절개 후 측정값을 기준으로 하여 수술 중 최대로 변화하는 제I 및 V파형의 잠복기(latency), 제V 파형의 전위 및 I-V 파형 잠복기 간격(I-V interpeak latency difference, IPLD)을 기록하였다. 무작위로 환자를 선정하여 소뇌를 견인하기 5분 전에 thiopental sodium 5 mg/kg을 1분에 걸쳐 서서히 정주하거나(실험군, 42명), 동량의 위약(생리 식염수)을 정주하였다(대조군, 52명). Thiopental sodium의 정주로 인하여 혈압이 20% 이상 저하되면 ephedrine을 4 mg 정주하여 혈압을 정상화하였다. 미세혈관 압박술 후 청력기능의 변화 유무와 정도는 퇴원 후 임상결과의 추적과정에서 청력 저하를 주관적으로 호소하는 환자들을 대상으로 puretone audiometry 청력검사를 통하여 평가되었으며, 청력의 감소를 보이는 PTA 역치에 따라 30 dB 이하의 청력소실은 경도(mild), 30-50 dB은 중등도(moderate), 50 dB 이상에서는 중증도(severe), 그리고 완전청력소실(deaf)로 분류하였다. 수술 후 1개월 이내에 청력기능이 회복되는 경우를 일시적(transient), 그리고 그 이후에도 지속적인 경우 영구적(permanent) 기능저하로 규정하여 신경외과의사에 의해 평가, 기록되었다. 대상 환자들은 술 후 1개월에서 2년 동안 추적 관찰하였다. 두 군간의 비교는 Student t-test 또는 χ^2 -test를 사용하였으며, P 값이 0.05 미만의 경우 통계적으로 의미가 있는 것으로 간주하였다.

결 과

양군 모두 여자환자의 비율이 많았으며, 연령, 유병기간 및 소뇌견인시간은 양군간 차이가 없었다(Table 1). 수술 후 청력기능의 저하는 대조군에서 8명(15.4%)이 발생하였으며, 6명은 수술 직후, 1명은 수술 2주 이내, 1명은 수술 2주 후에 발생하였다. 4명은 기능이 회복되었으나 4명(7.7%)은 회복

Table 1. Demographic Data

	Control group (n = 52)	Thiopental group (n = 42)
Age (yr)	51.3 ± 11.6	48.8 ± 10.3
Sex (M/F)	7/45	9/33
Site of lesion (Rt/Lt)	23/29	21/21
Duration of lesion (yr)	8.0 ± 6.8	7.6 ± 6.2
Duration of cerebellar retraction (min)	30.8 ± 12.9	32.3 ± 12.5

Values are mean ± SD or numbers.

Table 2. Incidence and Degree of Postoperative Hearing Impairment

	Control group (n = 52)	Thiopental group (n = 42)
Type of hearing impairment		
Overall	8 (15.4%)	3 (7.1%)
Transient	4 (7.7%)	2 (4.8%)
Permanent	4 (7.7%)	1 (2.4%)
Degree of hearing impairment		
Mild	4 (7.7%)	2 (4.8%)
Moderate	1 (1.9%)	0
Severe	1 (1.9%)	1 (2.4%)
Deaf	2 (0.7%)	0 (0%)

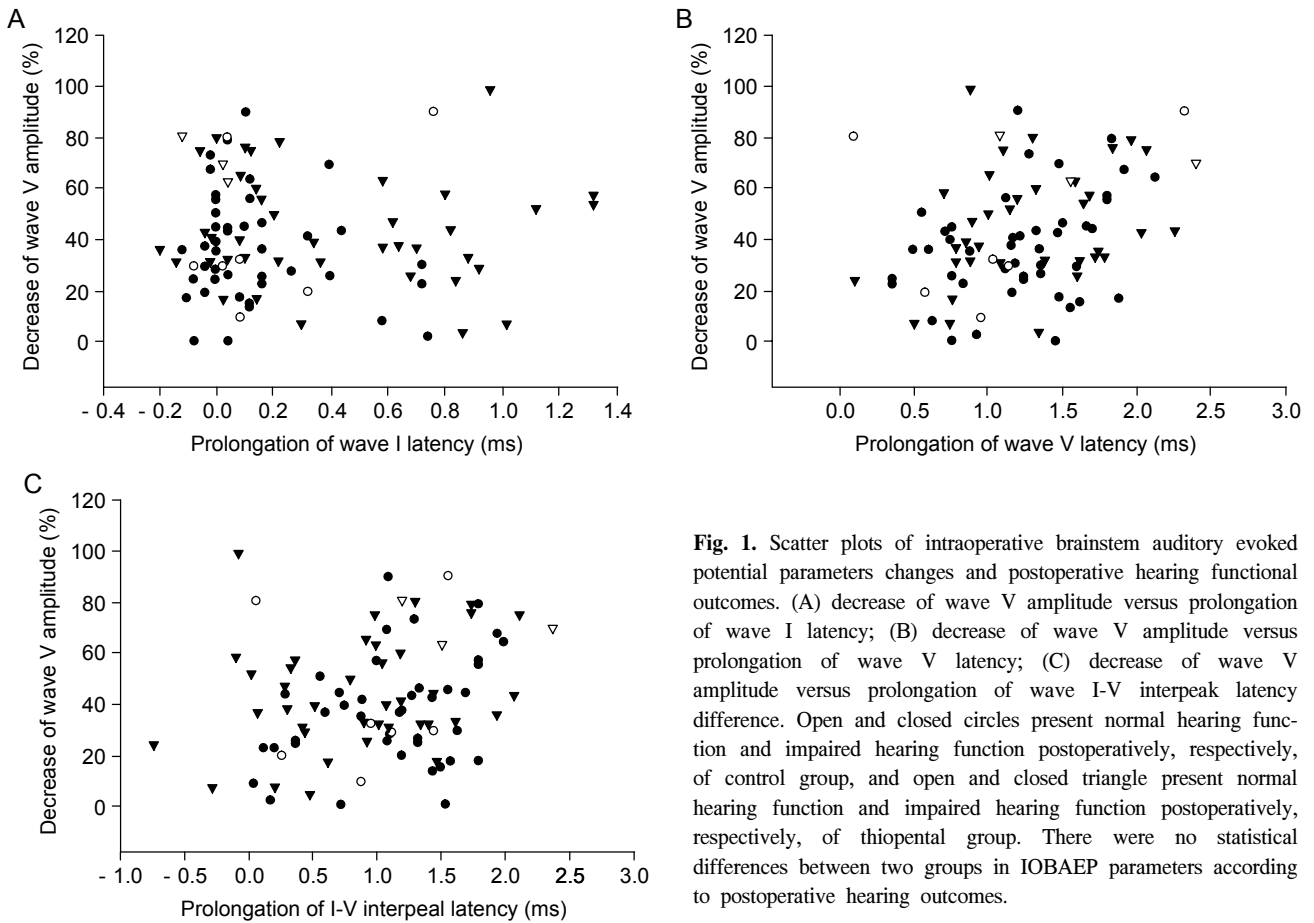


Fig. 1. Scatter plots of intraoperative brainstem auditory evoked potential parameters changes and postoperative hearing functional outcomes. (A) decrease of wave V amplitude versus prolongation of wave I latency; (B) decrease of wave V amplitude versus prolongation of wave V latency; (C) decrease of wave V amplitude versus prolongation of wave I-V interpeak latency difference. Open and closed circles present normal hearing function and impaired hearing function postoperatively, respectively, of control group, and open and closed triangle present normal hearing function and impaired hearing function postoperatively, respectively, of thiopental group. There were no statistical differences between two groups in IOBAEP parameters according to postoperative hearing outcomes.

Table 3. Maximal Changes of IOBAEP Variables during Operation

	Control group	Thiopental group
Prolongation of latency of wave I (ms)	0.1 ± 0.2	0.4 ± 0.4*
Prolongation of latency of wave V (ms)	1.2 ± 0.5	1.3 ± 0.5
Prolongation of I-V ILPD (ms)	1.1 ± 0.5	0.9 ± 0.7
Decrease of wave V amplitude (%)	37.1 ± 22.2	46.1 ± 22.3

IOBAEP: intraoperative brain stem auditory evoked potentials, I-V, ILPD: wave I to V interpeak latency difference, *P < 0.005.

되지 않았다. 반면, 실험군은 3명(7.1%)의 청력이 저하되었는데 1명은 수술 직후, 2명은 수술 후 2주 이내에 발생하였으며, 2명은 기능이 회복되었으나 1명(2.4%)은 회복되지 않았다. 청력저하의 빈도에 대한 양군간의 통계적 차이는 보이지 않았다. 청력기능저하의 정도는 대조군은 경도 4명,

중등도와 중증도가 각각 1명, 그리고 완전청력소실이 2명이었으며, 실험군은 경도 2명과 중증도 1명이었다(Table 2).

수술 중 BAEP 제V 파형의 잠복기의 최대 연장(평균 1.2 ms와 1.3 ms)과 진폭의 최고 감소(평균 37%와 46%) 및 I-V ILPD의 최대 연장 정도(평균 1.1 ms 와 0.9 ms)는 두 군간에 통계적으로 차이가 나지 않았다(Fig. 1). 그러나 제I 파형의 잠복기는 대조군(0.13 ms)이 실험군(0.38 ms)에 비해 덜 되었다(Table 3). 수술 후 청각저하를 보인 두 군의 환자 11명의 수술 중 BAEP 변화는 Table 4에 나타났으며 대조군의 환자 1명은 수술 중 BAEP 파형이 완전히 소실되었다.

고 찰

이 연구는 thiopental sodium이 미세혈관 압박술 후 생기는 합병증인 감각 신경성 청력저하에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

반측안면 연축이나 삼차신경통의 치료방법으로 미세혈관 압박술은 매우 효과적인 외과적 치료방법으로 알려져 있다. 그러나 미세혈관 압박술 후 감각 신경성 청력저하는 많게

Table 4. Maximal Changes of IOBAEP of the Patients who Showed Postoperative Hearing Impairment

	Prolongation of wave latency (ms)			Decrease of wave V amplitude (%)	Hearing impairment	
	I	V	I-V ILPD		Type	Degree
Control #1	0.76	2.32	1.56	90	T	Mild
Control #2	0.02	1.14	1.12	29	T	Mild
Control #3	-0.08	1.36	1.44	29	T	Mild
Control #4	0.08	0.96	0.88	9	P	Deaf
Control #5	0.04	0.10	0.06	80	P	Deaf
Control #6			flattening		P	Severe
Control #7	0.32	0.58	0.26	29	P	Moderate
Control #8	0.08	1.04	0.96	32	T	Mild
Thiopental #1	0.04	1.56	1.52	63	P	Severe
Thiopental #2	0.02	2.40	2.38	70	T	Mild
Thiopental #3	-0.12	1.08	1.20	81	T	Mild

IOBAEP: intraoperative brainstem auditory evoked potentials, I-V, ILPD: wave I to V interpeak latency difference, T: transient hearing impairment, P: permanent hearing impairment.

는 15.0%의 빈도로²⁾ 보고되었지만 근래에는 수술기법의 발달과 수술 중 BAEP의 도입으로 발생빈도가 많이 감소하였다.^{4,5)} 안면신경 질환의 미세혈관 감압술시 감각 신경성 청력 손실이 발생하는 원인은 청신경이 해부학적으로 안면신경과 매우 가까운 위치에서 나란히 주행하고 있으며 소뇌 교각에 있는 모든 뇌신경 중 가장 길게 주행하기 때문에 손상의 기회가 많으며, 특히 소뇌를 견인 할 때 청각신경이 신장되어 직접 손상되거나, 청신경 주위 미세혈관의 혈류의 저하, 미로동맥의 조작, 안면신경을 자극하는 혈관사이에 삽입하게 되는 Teflon과 같은 이 물질로 인한 청신경의 압박 등 손상에 의한 것으로 생각된다.^{6,7,18)} BAEP 감시는 청각로(auditory tract)로 부터 뇌간에 이르는 신경경로에 해당하는 제I 파형에서부터 제V 파형을 감시하게 되는데 이들 파형은 마취상태에 비교적 영향을 받지 않아 수술적 조작에 의한 신경손상을 감시하기에 적합하다. 그러나 이들 각 파형을 유발시키는 해부학적 구조물이 아직 완전하게 밝혀 지지는 않았으며, 제I, II 파형은 청신경(cochlear nerve)의 원위부와 근위부에서, 제III 파형부터 V 파형까지는 청신경에서 하측소구(inferior colliculus)에 이르는 신경주행 부위에서 유발하는 것으로 생각되고 있다.

Barbiturate는 동물실험에서 허혈에 의한 뇌손상을 예방하는 것으로 나타나지만 아직 임상적으로는 그 효과가 명확하지 않다.^{11,19)} 다만 마취 중 뇌 보호의 예방목적으로 대뇌동맥류 파열이나,^{13,20)} 내경동맥 절제술^{17,21)} 그리고 심장수술²²⁾ 시 뇌 보호 목적으로 사용되고 있다. 이 연구는 thiopental sodium이 미세혈관 감압술 후 발생하는 청력손상에 미치는 연구로서, barbiturate의 청신경손상에 대한 임상적 효과를

알아보기 위한 새로운 시도라 할 수 있다. 연구결과 94명의 환자 중 5명(5.3%)에서 영구적으로 청력이 저하되었으며 대조군에 비하여 실험군은 영구적인 청력저하의 빈도(7.7% 대 2.4%)가 적을 뿐 아니라, 일시적인 청력저하의 빈도를 포함한 전반적인 청력저하 정도도 경미하게 나타났다. 그러나 이는 통계적으로 차이가 나타나지 않았는데 이는 청력저하를 보인 환자의 수가 적었기 때문이라고 생각된다. Thiopental sodium 5 mg을 소뇌견인 5분 전에 일 회 주입하여 청력저하의 빈도에 아무런 영향을 미치지 않았다면 투여량이 적절하지 않았거나 투여방법이 적절하지 않았을 수 있거나 청신경 손상의 원인이 국소적 허혈 이외의 다른 기전에 의하여 발생하였을 수도 있다. 이 연구에서 thiopental sodium 5 mg/kg을 소뇌를 견인하기 5분 전에 정주하였는데, 이 용량으로는 BAEP의 파형에 아무런 영향을 보이지 않았으므로 수술 중 측정된 BAEP 파형의 변화가 수술 후 청력저하를 예견하는데 직접적인 영향을 끼치지 않았을 것으로 생각된다. 다만, 이 연구에서 소뇌 견인의 기간이 약 30분으로 1회 투여 된 thiopental 5 mg의 효과는 충분하지 않았을 수도 있다.²³⁾ 따라서 소뇌견인 동안 지속적으로 주입되었다면 보다 뚜렷한 청력기능 저하를 예방효과를 나타내었을 수도 있으나 이 경우 BAEP 의 진폭의 저하와 잠복기의 연장을 초래하여 BAEP 양상을 기준으로 한 청력저하를 예견하는데 혼란을 초래할 수도 있을 것이다. 뇌보호 목적으로 thiopental sodium의 주입시기는 일반적으로 임상에서 뇌동맥류 파열 수술 시 임시적 동맥경자 5분 전에 정주하는 것이 권유되므로^{23,24)} thiopental이 예방효과를 가지고 있다면 소뇌견인 5분 전에 투여 된 것은 적절하였을 것으로 생각되나

뇌세포(neuronal injury)와 청신경세포(neural injury)의 손상에 대한 thiopental sodium의 효과는 아직 보고된 바가 없어 아직까지는 명확하게 언급하기 적절하다. 반측 안면연축의 미세혈관압술시 BAEP의 변화 역시 소뇌를 견인할 때 가장 흔히 나타나기 때문에 청신경의 신전에 의한 손상, 신경과 자극하는 혈관사이로 삽입되는 Teflon과 같은 이 물질에 의한 압박, 신경주위의 혈관조직의 응고에 의한 직접 손상 등 다양한 원인에 의하여 청신경 손상이 야기될 것으로 생각되므로, thiopental sodium이 허혈성 뇌세포 손상에 대한 보호 효과를 예상하는 것과는 달리 청신경주위의 혈관의 관류저하에 의한 허혈성 신경손상(perineural vascular ischemic injury)이외의 원인에 의한 청신경 손상에 대하여는 thiopental sodium의 효과가 다르게 나타났을 수도 있다.

수술 중 BAEP 감시 장치가 도입되면서 수술 후 감각 신경성 청력 손실의 빈도가 감소하였다.^{4,25)} 그러나 이 연구에서는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 대조군과 실험군 양군 모두에서 청력 저하가 없었던 환자와 청력 저하가 있었던 환자간 제 V 파형의 잠복기와 전위 뿐 아니라 제I-V 파형간의 잠복기의 차이는 나타나지 않았다. 이런 결과는 thiopental sodium이 BAEP 양상의 변화에 대한 threshold를 높인다고 할 수는 없을 것이다. BAEP의 변화 양상만으로는 청신경 손상을 예측하기 위하여 각 파형의 변화에 대한 절대값들이 제시되었는데,^{26,27)} Polo 등은²⁷⁾ 비교적 자세하게 제V 파형의 잠복기가 0.4 ms 연장을 주의(watching), 0.6 ms 연장을 경고(warning), 1.0 ms 이상 연장시 임계치(critical)로 제시하였으나, 이들 대상환자 중 청력의 변화가 없었던 환자들이 평균 0.61 ms의 연장이 있었다는 사실은 BAEP가 청력 저하의 예측에 도움이 될 수 있으나 민감도(sensitivity)가 낮은 반면 특이도(specificity)가 높은 것으로 생각된다. 또한 영구적인 청력저하를 보인 11명의 환자들의 BAEP 변화는 Table 4에 나타난 대로 최대로 변화한 값을 측정하였을 뿐 변화 기간을 측정하지 않았기에 손상 기간을 반영하지 못하였으므로 thiopental이 BAEP의 변화 기간에 대한 영향은 알 수 없었다. 감각 신경성 청력저하를 보인 환자의 BAEP 소견을 보면 제V 파형이 잠복기의 연장이 거의 없고 진폭의 감소가 많은 환자는 물론 진폭의 감소가 적거나 잠복기의 연장이 큰 환자들도 청력저하를 보였으므로 BAEP의 전위와 잠복기의 변화를 모두 주의 깊게 관찰할 필요가 있으나 BAEP의 변화가 미미하거나 나타나지 않았던 환자에서도 수술 후 청력의 손상이 발생하는 점 또한 간과할 수 없는 사실이다.

한편, 이 연구에서는 수술 전에 모든 환자에게 청력검사를 실시하여 청력이 정상범주에 들은 환자들만 대상으로 하였지만, 수술 후의 청력저하에 대한 평가는 주관적으로 청력의 저하를 호소하는 환자들을 대상으로 청력검사를 시

행하였기에 본 연구의 청력발생 빈도는 실제보다 낮게 평가되었을 가능성이 있으나 청력 저하의 정도에 대한 평가는 객관적으로 이루어 졌을 것으로 생각한다. 또 경과 추적 기간이 짧았던 환자의 경우 영구적인 청력저하가 있었는지 포함할 수 없는 문제점이 있다. 이 연구에서 양군의 대상환자들의 청력저하 발생 빈도에 영향을 미치는 요소로서 심한 BAEP의 변화의 경우 이를 집도의에게 주지시킴으로써 소뇌의 견인을 간헐적으로 회복시켜 지속적 보다는 간헐적인 청신경 손상기회로 전환시켰으며, 뇌조직의 보호 효과보다는 척추손상에 다소 효과가 있는 것으로 보이는 naloxone을²⁸⁾ 1.0-2.0 mg을 정주하였으나 아직 이런 방법들이 청력저하에 얼마나 영향을 미치는지에 대하여는 밝혀진 바가 없다.

이 연구에서는 반측안면 연축의 환자에서 미세혈관 압술 후 발생하는 감각 신경성 청력 저하에 thiopental이 미치는 영향을 관찰하고자 이중 맹검법 방법을 이용하여 연구한 바 소뇌견인 전에 thiopental 5 mg/kg을 1회 정주하여 BAEP의 변화는 차이를 볼 수 없었으며, 청력 저하의 발생 빈도와 정도의 차이는 통계적으로 의미가 없었지만 thiopental 투여는 청력저하의 빈도를 감소시키고 정도도 경미하게 하였다. 따라서 좀 더 많은 환자를 대상으로 투여 용량, 시기 및 투여 방법에 대한 연구가 보충되어야 할 필요가 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Jannetta PJ: The cause of hemifacial spasm: definitive microsurgical treatment at the brainstem in 31 patients. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol* 1975; 80: 319-22.
2. Auger RG, Piegras DG, Laws ER Jr: Hemifacial spasm: results of microvascular decompression of the facial nerve in 54 patients. *Mayo Clin Proc* 1986; 61: 640-4.
3. Fisher RS, Raudzens P, Nunemacher M: Efficacy of intraoperative neurophysiological monitoring. *J Clin Neurophysiol* 1995; 12: 97-102.
4. Radtke RA, Erwin CW, Wilkins RH: Intraoperative brainstem auditory evoked potentials: significant decrease in postoperative morbidity. *Neurology* 1989; 39: 187-91.
5. Acevedo JC, Sindou M, Fischer C, Vial C: Microvascular decompression for the treatment of hemifacial spasm. Retrospective study of a consecutive series of 75 operated patients-electrophysiologic and anatomical surgical analysis. *Stereotact Funct Neurosurg* 1997; 68: 260-5.
6. Braun V, Richter HP: Influence of blood supply, thermal and mechanical traumata on hearing function in an animal model. *Acta Neurochir* 1996; 138: 977-82.
7. Hatayama T, Sekiya T, Suzuki S, Iwabuchi T: Effect of compression on the cochlear nerve: a short- and long-term electro-

- physiological and histological study. *Neurol Res* 1999; 21: 599-610.
8. Sekiya T, Shimamura N, Yagihashi A, Suzuki S: Axonal injury in auditory nerve observed in reversible latency changes of brainstem auditory evoked potentials (BAEP) during cerebellopontine angle manipulations in rats. *Hear Res* 2002; 173: 91-9.
 9. Godin DV, Mitchell MJ, Saunders BA: Studies on the interaction of barbiturates with reactive oxygen radicals: implications regarding barbiturate protection against cerebral ischaemia. *Can J Anaesth* 1982; 29: 203-11.
 10. Hall R, Murdoch J: Brain protection: physiological and pharmacological considerations. Part II: The pharmacology of brain protection. *Can J Anaesth* 1990; 37: 762-77.
 11. Kass IS, Abramowicz AE, Cottrell JE, Chambers G: The barbiturate thiopental reduces ATP levels during anoxia but improves electrophysiological recovery and ionic homeostasis in the rat hippocampal slice. *Neuroscience* 1992; 49: 537-43.
 12. Ausman JI, Malik GM, Tomecek FJ, Adamson JR, Balakrishnan G, Serwin J, et al: Economopoulos G, Charbel FT: Hypothermic circulatory arrest and the management of giant and large cerebral aneurysms. *Surg Neurol* 1993; 40: 289-98.
 13. Lee SM, Kim KM: A clinical report for a hypoxic cerebral hypoxia managed by combination therapy with thiopental sodium and low-grade hypothermia. *Kor J Anesthesiol* 1986; 19: 511-6.
 14. Parenti G, Marconi F, Fiori L: Electrophysiological (EEG-SSEP) monitoring during middle cerebral aneurysm surgery. *J Neurosurg Sci* 1996; 40: 195-205.
 15. Agrifoglio G, Agus GB, Bonalumi F, Costantini A, Carlesi R: The role of regional nerve block anesthesia for carotid endarterectomy: an experimental comparison with previous series with the use of general anesthesia and barbiturates for cerebral protection. *Int Angiol* 1987; 6: 365-70.
 16. Granton JT, Gelb AW, Pardridge WM: Neuroprotection during carotid endarterectomy-targeting neurotherapeutic agents through the blood-brain barrier. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* 2002; 6: 21-5.
 17. Hicks RG, Kerr DR, Horton DA: Thiopentone cerebral protection under EEG control during carotid endarterectomy. *Anaesth Intensive Care* 1986; 14: 22-8.
 18. Wahlig JB, Kaufmann AM, Balzer J, Lovely TJ, Jannetta PJ: Intraoperative loss of auditory function relieved by microvascular decompression of the cochlear nerve. *Can J Neurol Sci* 1999; 26: 44-7.
 19. Aitken PG, Schiff SJ: Barbiturate protection against hypoxic neuronal damage in vitro. *J Neurosurg* 1986; 65: 230-2.
 20. Spetzler RF, Hadley MN, Rigamonti D, Carter LP, Raudzens PA, Shedd SA, et al: Aneurysms of the basilar artery treated with circulatory arrest, hypothermia, and barbiturate cerebral protection. *J Neurosurg* 1988; 68: 868-79.
 21. Cheng MA, Theard MA, Tempelhoff R: Anesthesia for carotid endarterectomy: a survey. *J Neurosurg Anesthesiol* 1997; 9: 211-6.
 22. Sebel PS: Central nervous system monitoring during open heart surgery: an update. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1998; 12: 3-8.
 23. Lavine SD, Masri LS, Levy ML, Giannotta SL: Temporary occlusion of the middle cerebral artery in intracranial aneurysm surgery: time limitation and advantage of brain protection. *J Neurosurg* 1997; 87: 817-24.
 24. Sreedhar R, Gadhinglajkar SV: Pharmacological neuroprotection. *Indian J Anaesth* 2003; 47: 8-22.
 25. Sindou M, Fobe JL, Ciriano D, Fischer C: Hearing prognosis and intraoperative guidance of brainstem auditory evoked potential in microvascular decompression. *Laryngoscope* 1992; 102: 678-82.
 26. Hatayama T, Moller AR: Correlation between latency and amplitude of peak V in the brainstem auditory evoked potentials: intraoperative recordings in microvascular decompression operations. *Acta Neurochirurgica* 1998; 140: 681-7.
 27. Polo G, Fischer C, Sindou MP, Marneffe V: Brainstem auditory evoked potential monitoring during microvascular decompression for hemifacial spasm: intraoperative brainstem auditory evoked potential changes and warning values to prevent hearing loss-prospective study in a consecutive series of 84 patients. *Neurosurgery* 2004; 54: 97-104.
 28. Robertson CS, Foltz R, Grossman RG, Goodman JC: Protection against experimental ischemic spinal cord injury. *J Neurosurg* 1986; 64: 633-42.