

Diagnostic Significance of Brainstem Auditory Evoked Potentials in Microvascular Decompression of Patients with Hemifacial Spasm or Trigeminal Neuralgia

Sang-Koo Park¹, Sung-Hyuk Lim¹, Chan-Woo Park¹, Jin-Woo Park¹, Sung-Ho Chang¹,
Keun-Hye Park², Hae-Ja Park³, Ji-Hye Song³, Dong-Ok Uhm¹, and Ki-Bong Kim¹

Neurology Laboratory, Samsung Medical Center, Seoul 135-710, Korea¹,

Department of Anesthesiology and Pain Medicine²,

and Department of Neurosurgery Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul 135-710, Korea³

The purpose of this study was to analyse brainstem auditory evoked potentials (BAEP) wave change data during microvascular decompression (MVD). The nerve function of Cranial Nerve VIII is at risk during MVD. Intraoperative monitoring of BAEP can be a useful tool to decrease the danger of hearing loss. Between January and December 2009, 242 patients had MVD for hemifacial spasm (HFS) and trigeminal neuralgia (TN). Among intraoperative BAEP changes, amplitude of V-V' was the most frequently observed during cerebellar retraction and decompression step of the MVD procedure. 138 patients (57%) had no BAEP change while 104 patients (42.98%) had BAEP change. 69 patients (28.5%) had Type A-I, 16 patients (6.6%) had Type A-II, 5 patients (2.1%) had Type B, and 13 patients (5.37%) had Type C. MVD is a surgical procedure to relieve the symptoms (e.g. pain, muscle twitching) caused by compression of a nerve by an artery or vein. During BAEP intraoperative monitoring, the surgical step is important in interpreting the changes of wave V. Several potential mechanisms of injury may affect the cochlear nerve, and complete loss of BAEP is often associated with postoperative hearing loss. Intraoperative BAEP monitoring may provide an early warning of hearing disturbance after MVD.

Key Words : Microvascular decompression, Hemifacial spasm, Brainstem Auditory Evoked Potentials, Intraoperative monitoring

서론

얼굴의 한쪽 면에 본인의 의지와는 상관없이 경련이 생기는 상태를 반측성안면경련(hemifacial spasm: HFS)이라고 하며, 안면신경이 분포하는 얼굴 근육에 간헐적이고 돌발적으로 수축이 일어나는 운동기능 항진 증상을 말한다. HFS

는 7번 뇌신경 안면신경이 뇌혈관에 의해 압박을 받아 발생하는 것으로 신경가닥들 간에 합선 현상을 발생시켜 안면 떨림 현상이 나타나는 것으로 알려져 있다.

얼굴 부위의 감각을 담당하는 뇌신경인 삼차신경의 분지를 따라 극심한 통증을 느끼는 상태를 삼차신경통(trigeminal neuralgia: TN)이라고 하며, 한번에 얼굴 한쪽으로 전기 쇼크 같은 찌르는 듯한 예리한 통증이 발생하는 증상을 말한다. TN은 5번 뇌신경 삼차신경이 뇌혈관에 의해 압박을 받아서 발생하는 것으로 삼차신경의 손상이 발생하여 통증이 생기는 것으로 알려져 있다(Gardner, 1962; Heros, 2009).

수술적 요법으로는 미세혈관감압술(microvascular decompression: MVD)이라는 수술을 시행하는데 전신마취하에 귀

Corresponding author : Park, Sang-Koo, Neurology Laboratory,
Samsung Medical Center, Seoul 135-710, Korea,
TEL : 02-3410-2737
E-Mail : sk39.park@samsung.com

Received: 20 December 2010
Return for modification : 14 March 2011
Accepted : 23 March 2011

뒤쪽의 유양돌기 뒷부분에 약 2~3 cm 정도의 개두술을 통해 뇌혈관에 의해 압박되고 있는 신경근 기두부를 확인한 후 뇌혈관을 분리해 내고 Teflon-felt라고 하는 수술재료를 신경과 뇌혈관 사이에 끼워 넣어 줌으로써 압박을 주던 동맥혈관을 신경으로부터 분리하는 수술이다(Kim 등, 2001).

수술 중 청신경이나 안면신경의 손상 등을 방지하기 위하여 수술중집중감시검사(intraoperative neuro-monitoring: INM)를 이용하여 청력손실이나 안면마비의 발생 가능성을 최소화 하며 수술효과를 즉시 확인할 수 있다(Hatem 등, 2001; Kong 등, 2007) INM은 청신경 손상을 예방하기 위해 뇌간청각유발전위(Brainstem Auditory Evoked Potentials: BAEP) 검사를 하고, 안면마비의 예방을 위해 안면신경근 전도(facial nerve electromyography: FNEMG) 검사를 한다(Kakizawa 등, 1990; Lee 등, 2009).

MVD라는 수술을 받은 환자의 90.7~98.3%의 환자에서 안면경련이 완치되거나 호전되며, 재발율은 1.0~10.3%로 대개 수술 후 2년 안에 발생한다고 보고되고 있다. 수술 이후 7.7~20.0%의 환자는 수술 부위 쪽의 귀머거리가 발생하기 때문에 환자의 청신경을 보존하기 위해 수술 중 BAEP 검사가 유용하게 사용된다(Little 등, 1983; Legatt, 2002; Polo 등, 2004; James와 Husain, 2005).

본 연구는 MVD 환자를 대상으로 1) 수술 중 BAEP 변화(감소)가 의미하는 것과 2) 미세혈관들이 BAEP 파형에 영향을 미치는지의 여부와 3) 수술 중 BAEP 파형으로 수술 후 청력장애를 예측할 수 있는지 등을 알아보려고 하였다.

검사대상 및 방법

1. 검사 대상

2009년 1월부터 12월까지 삼성서울병원에서 MVD를 시행한 환자 242명을 대상으로 하였으며, 남자 75명, 여자 167명, 증상면에서는 HFS 224명, TN 18명이었고, 평균연령은 50.4세였다(Table 1).

2. 검사 장비

검사장비는 Xltek Protektor (Natus Medical Incorporated

Table 1. Demographic data of 242 patients with microvascular decompression

Characteristics	Data
No. of patients	242
Gender (ratio : 2,2:1)	
Male	75
Female	167
Age (years old)	
Range	21~79
Mean	50.4
Site (ratio : 1,2:1)	
Left	131
Right	111
Symptom*	
HFS	224
TN	18

*HFS: hemifacial spasm, TN: trigeminal neuralgia

Excel-Tech Ltd, XLTEK, Canada), 수술 중 BAEP 측정은 system low filter 대 high filter 비율은 150 Hz 대 3 KHz로 조정하였고, 분석시간(time-base)은 20 ms로 하였다. 평균화 검사(number of trials to be averaged)는 300회에서 400회 정도의 횟수, 소리자극(sound stimulation)은 sound pressure level(SPL)로 115 dB 크기로 하고 “Click 음”으로 검사를 하였다.

3. 검사 방법

청신경의 손상여부를 관찰하기 위해 감압술이 끝날 때까지 지속적으로 BAEP 검사를 진행하였으며, 제 V 파형의 잠복기가 1 ms 이상 연장되거나 진폭이 50% 이상 감소하면 수술의사에게 알려져 외과적 조작에 의한 원인을 찾거나 파형이 정상회복 될 때까지 수술을 잠시 중단한 후 다시 진행하였다.

4. 마취

모든 수술은 전신마취 하에 이루어졌으며 흡입마취제로서 isoflurane과 nitrous oxide (N₂O)의 최소 폐포내 농도(minimum alveolus concentration: MAC)는 0.9를 유지하였

Table 2. Demographic data of 104 patients showed intraoperative brainstem auditory evoked potentials changes in microvascular decompression

Characteristics	Data
No. of patients	104
Gender (ratio : 2,4:1)	
Male	31
Female	73
Age (years old)	
Range	27~77
Mean	51.6
Site (ratio : 1,2:1)	
Left	57
Right	47
Symptom*	
HFS	103
TN	1

*HFS: hemifacial spasm, TN; trigeminal neuralgia

고, 근육 이완제(muscle blocker)는 vecuronium을 사용하였다. 수술 중 안면근전도의 관찰 및 측면 전파반응의 원활한 측정을 위해서 근 이완제의 유지는 사연속 자극(train of four) 네 번 자극에서 두 번 이상 반응(2/4)이 유지되도록 노력하였고, Warm blanket (36~37℃)을 사용하여 수술 받는 환자의 체온의 변화가 없도록 하였다(Guerit, 1998; Kitajima 등, 2010).

결 과

1. BAEP 파형 변화

2009년 1년 동안 242명의 MVD (HFS 와 TN) 수술을 받은 환자 중 104명(42.9%)의 환자에서 수술 중 BAEP 변화가 관찰되었다(Table 2). HFS 224명, TN 18명 중에 BAEP 변화가 있는 경우를 보면 HFS 103명, TN 1명으로 HFS 환자에서 파형 변화가 우세하였다.

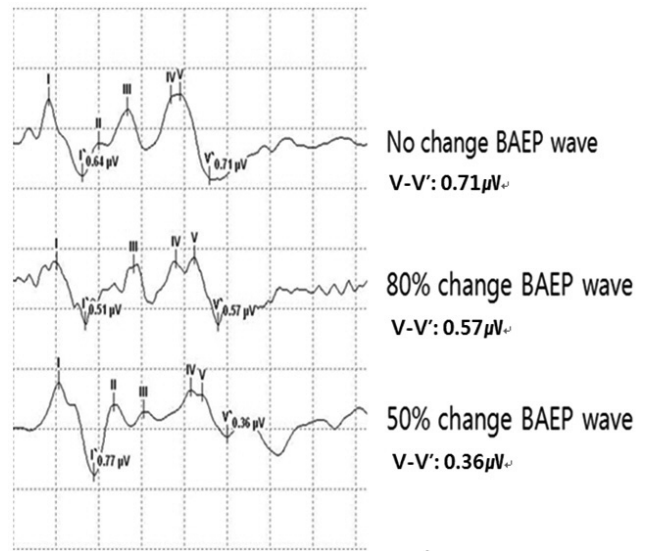


Fig. 1. BAEP wave change pattern.

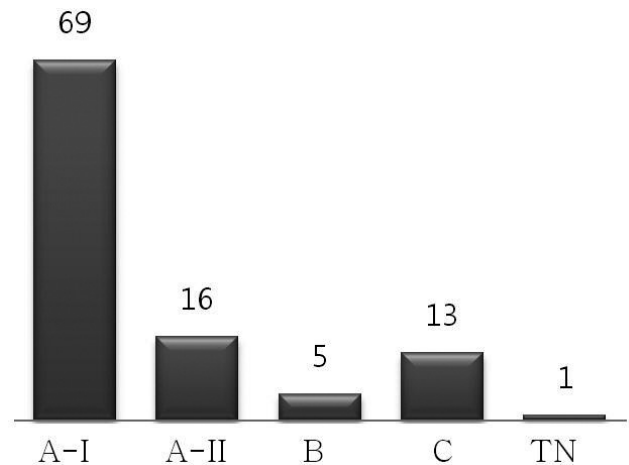


Fig. 2. Prevalence of types of BAEP pattern.

Type A-I : immediate 100% recovery
 Type A-II : gradual 100% recovery
 Type B : gradual recovery over 80%
 Type C : gradual recovery below 80%
 TN : trigeminal neuralgia

2. BAEP 파형 변화의 양상

수술 중 BAEP 파형 변화가 관찰되는 경우를 크게 4가지로 구분하여 분석 하였다. 1) 수술 중 감소한 파형이 수술을 중단하고 파형이 회복될 때까지 기다렸을 경우 즉시 100% 회복된 경우를 Type A-I, 2) 곧바로 회복되지 않고 서서히

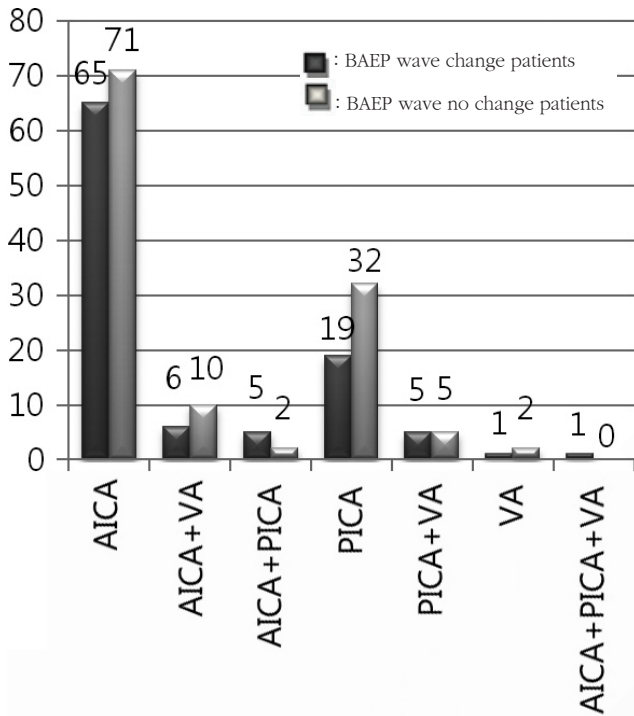


Fig. 3. HFS pt characteristics.
Abbreviation : AICA, antero inferior cerebellar artery; PICA, postero inferior cerebellar artery; VA, vertebral artery

100% 회복된 경우를 Type A-II, 3) 감소 후 조금 회복(80% 이상)된 경우를 Type B, 4) 감소된 채 회복이 안된(80% 이하 회복) 경우를 Type C로 구분하였다. BAEP 5번 연속 측정 검사를 기준으로 이전에 회복되면 즉시 이후에 회복되면 서서히라고 구분하였다. 또한 BAEP 파형의 감소는 V번 파형과 V'파형의 진폭 값이 50% 이상 감소하였을 경우를 기준으로 하였다(Fig. 1).

수술 중 BAEP 파형 변화가 자주 관찰되는 HFS 103명을 살펴보면, Type A-I는 69명, Type A-II는 16명, Type B는 5명, Type C는 13명이었다(Fig. 2).

가끔 MVD 중 제 I번 파형 이후의 모든 파형이 소실되어 회복되지 않는 경우가 있었다. 이러한 상황임에도 불구하고 수술을 계속 진행한 경우를 보면(해부학적 기형으로 어쩔 수 없는 상황), 수술 종료 시까지 BAEP 파형은 회복되지 않았었고, 수술 이후 환자의 청력은 수술 받은 부위 쪽의 청력을 소실한 경우가 있었다(Fig. 4).

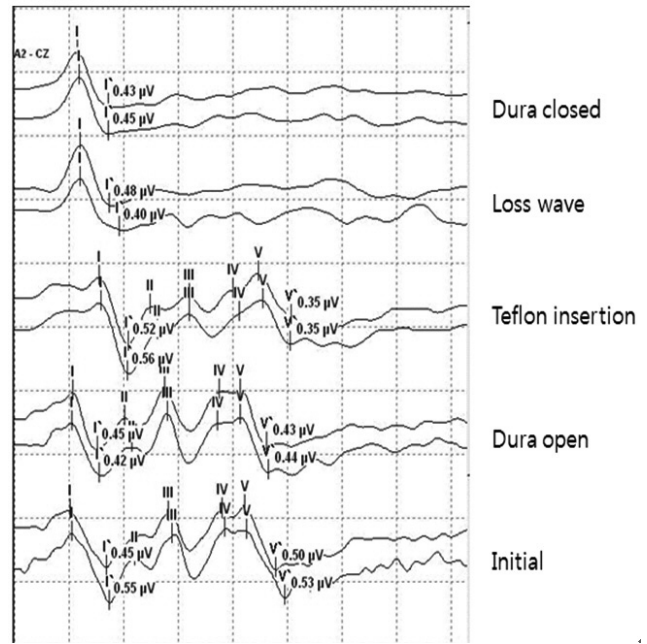


Fig. 4. Wave pattern of BAEP in stacks of the operation process.

3. 원인 혈관 (Offender)

HFS와 TN의 원인이 되는 혈관들이 매우 다양한데 이러한 혈관들을 살펴보면, HFS의 원인 혈관은 전하소뇌동맥(antero inferior cerebellar artery: AICA)은 136명, 전하소뇌동맥과 척추동맥(vertebral artery: VA)이 동시에 영향을 주는 경우 16명, 전하소뇌동맥과 후하소뇌동맥(postero inferior cerebellar artery: PICA)은 7명, 후하소뇌동맥은 51명, 후하소뇌동맥과 척추동맥이 동시에 영향을 주는 경우 10명, 척추동맥은 3명으로 분류되었고, TN의 원인 혈관은 상소뇌동맥(superior cerebellar artery: SCA)은 14명, 상소뇌동맥과 정맥혈관(vein)이 동시에 영향을 주는 경우 2명, 정맥혈관은 1명, 척추동맥은 1명으로 분류 되었다.

각각의 혈관들과 BAEP파형 변화 유무 관계를 살펴보면, HFS에서 수술 중 BAEP 파형 변화가 있는 경우 전하소뇌동맥은 65명, 전하소뇌동맥과 척추동맥이 동시에 안면신경에 영향을 주는 경우는 6명, 전하소뇌동맥과 후하소뇌동맥은 5명, 후하소뇌동맥은 19명, 후하소뇌동맥과 척추동맥은 5명, 척추동맥은 1명, 전하소뇌동맥과 후하소뇌동맥과 척추동맥은 1명으로 분석되었고, 파형 변화가 없던 경우는 전하소뇌동맥은 71명, 전하소뇌동맥과 척추동맥은 10명, 전하소뇌

동맥과 후하소뇌동맥은 2명, 후하소뇌동맥은 32명, 후하소뇌동맥과 척추동맥은 5명, 척추동맥은 2명, 전하소뇌동맥과 후하소뇌동맥과 척추동맥은 해당되지 않았다(Fig. 3).

고 찰

2009년 1년 동안의 MVD 시행한 총 242명의 환자들 중 42.9%의 환자에서 어떠한 외부적 영향으로 인하여 청신경이 손상을 당하여 BAEP 변화가 관찰되어 환자의 청신경 보존을 위하여 수술을 중단했다가 과형이 회복되면 다시 수술을 하는 방식으로 진행했기 때문에 더 이상의 청신경 손상이 가해지지 않으므로 수술 중 BAEP 변화가 있었어도 수술 이후 청력장애가 발생하지 않은 것으로 사료된다. 이는 INM을 하였기 때문에 알 수 있었던 INM의 유용성이고, 이로 인하여 수술 중 환자의 청신경 보존을 잘 할 수 있었다.

BAEP 검사는 매우 민감한 검사라서 청신경의 아주 작은 손상에도 과형의 진폭이 급격히 작아지므로 청신경 손상을 예방하는데 매우 유용한 검사임을 알 수 있었고, 수술 중 과형이 소실되어 회복되지 않는다면 심각한 청신경의 손상을 예측할 수 있었다.

HFS와 TN을 해부학적으로 보면 뇌간(brainstem)에서 중뇌(midbrain)쪽 가까이 V번 뇌신경인 삼차신경이 위치하고, 뇌교(pons) 가장 밑쪽에 VII번 뇌신경인 안면신경과 VIII번 뇌신경인 전정청신경(vestibular-cochlear nerve)이 인접하게 위치하고 있어서 안면신경과 관련된 HFS 수술에서 많은 BAEP 변화가 관찰 되었다고 사료된다(Polo와 Fischer, 2009).

BAEP 변화를 유형별로 나누어 보았고, 이러한 현상은 청신경이 약하게 일시적인 손상을 받으면 Type A-I과 같이 뇌간 청각 유발전위 과형이 감소했다가 바로 회복이 되고, 청신경이 조금 심하게 손상을 받으면 Type C와 같이 BAEP 과형이 감소 후 회복속도가 느리거나 회복이 안 되는 경우가 발생한다고 생각된다(Fig. 2).

신경주위에 있는 혈관 별로 분석해 보았으나 BAEP 변화가 있던 경우와 없던 경우의 환자수가 거의 비슷하게 관찰된 것으로 보아 특별하게 BAEP 변화와 관련된 혈관은 없다

고 생각된다(Kim 등, 2009)(Fig. 3).

환자 나이와 수술 중 BAEP 변화를 분석해 보면 고 연령대(65세 이상)라고 해서 과형의 변화가 많은 것은 아니고 과형이 감소하였을 때 회복되는 시간이 좀 더 걸릴 뿐이었다(Gunther 등, 2009; Jeon 등, 2010).

1997년부터 2006년 동안 삼성서울병원을 방문한 698명의 HFS환자에서 MVD 후 청력장애에 대한 분석을 보면 청력정상 668명(95.7%), 수술 후 청력이 조금 감소한 경우 17명(2.4%), 청력이 많이 감소한 경우 8명(1.2%)(수술 전 보다 15dB이상 감소한 경우), 완전히 청력 소실된 경우 5명(0.7%)이었다(Park 등, 2009).

청력검사로 순음청력검사(pure tone audiometry: PTA) 진행하여 수술 전보다 15 dB 미만으로 청력이 감소한 경우와 15 dB 이상 청력이 감소한 경우를 조금과 많이 감소한 기준으로 했으며, 50 dB 이상 감소하여 3개월 이상 지속된 경우를 청력 소실로 보았다.

청력장애가 발생하는 원인을 살펴보면 1) 수술 기구 등에 의해 청신경이 당겨지게 된 경우, 2) 수술 기구 등에 의해 아래소뇌동맥(AICA) 또는 미로동맥(labyrinthine artery)의 영향을 받는 경우, 3) 전기 소작기 또는 수술 기구 등에 의해 직접적인 청신경이 손상된 경우, 4) 수술 이후 안면신경과 청신경과 혈관의 상호 작용에 의해 청신경이 손상된 경우로 나뉘어 볼 수 있다(Park 등, 2009).

위의 원인들 중 어느 경우에 해당하는지 감별하기는 어려울 것이나, 수술 중 청신경이 손상을 받는다면 BAEP 변화는 항상 발생을 하기 때문에 BAEP 검사는 청신경 손상을 예방하는데 매우 효과적이다. 단, 수술 중에 BAEP의 변화가 없었으나 수술 후에 청력이 감소하는 현상은 수술 이후에 어떠한 작용에 의해 서서히 청신경이 손상된 경우라 사료된다.

2009년 1년 동안의 242명의 MVD 환자 중 104명에서 수술 중 BAEP 변화가 관찰되었고, 수술 후 청력장애는 45명이 발생했다. 청력장애 45명 중 BAEP 변화가 있었던 환자는 20명이었고, 나머지 25명은 수술 중 아무런 과형의 변화가 없었다.

이에 청력장애가 발생한 45명의 원인을 살펴보니, 혈액 고실(hemotympanum)이 20%, 삼출성 중이염(effusion)이

77.8%, 수술 직후는 괜찮았으나 서서히 잘 안 들리다가 결국 귀머거리가 된 경우는 2.2% 등으로 관찰되었고, 수술 후 청력장애의 대부분인 혈액고실, 삼출성 중이염 등과 같은 현상은 수술하는 과정에서 혈액이 고막부근에 흘러 들어가서 피떡처럼 응고가 되거나, 뇌척수액 또는 생리식염수가 내이도에 고여서 일시적인 귀멍멍한 증세로서 청력장애와 유사한 증세로 시간이 지나면 저절로 증세가 호전되는 상태였다. 이로서 수술 중 BAEP 변화가 있어도 수술 이후에 청력장애를 예측하기는 힘들다는 것을 알 수 있었고, 수술 이후의 청력변화도 일시적인 현상이 대부분이라는 것을 알 수 있었다.

수술 중 BAEP 변화가 많이 발생하는 원인을 분석해보니, 수술을 진행할 때 뇌의 경막(dura)을 열고 뇌간(brainstem) 방향으로 접근해 가는데 이때 뇌척수액이 뇌압의 영향으로 밖으로 흘러나오게 되고 뇌척수액이 흘러나오는 양이 많으면 그 만큼의 소뇌가 가라앉게 되면서 뇌간과 뇌신경 그리고 뇌동맥들의 관계가 조금 이완 되어서 수술하는데 훨씬 용이하게 된다. 이러한 상황에서는 BAEP 변화가 적었고, 이와는 반대로 뇌척수액이 흘러나오는 양이 거의 없으면 소뇌가 거의 가라앉지 않게 되어서 뇌와 신경 그리고 뇌동맥들의 관계가 힘든 상태 소위 팽화된 상태여서 뇌 견인기(brain retractor)로 소뇌(cerebellum)를 세게 밀어서 수술을 진행하여야 하므로 수술이 힘들고, 이럴 경우 BAEP 변화도 많이 발생하는 것을 알 수 있었다(Huang 등, 2009; Neves 등, 2009).

2008년 1월부터 2010년 5월까지 HFS 환자를 대상으로 MVD 시행한 581명의 환자를 분석해 보니, 뇌척수액의 분출 양이 많아서 소뇌가 확 가라앉은(cerebellum sunken down) 것이 많이 된 경우는 125명이고, 그 중 32명(25.6%)이 수술 중 BAEP 변화가 관찰되었고, 귀머거리는 발생하지 않았다. 뇌척수액의 분출양이 거의 없어서 소뇌의 가라앉음이 거의 안된 경우는 72명이고, 그 중 24명(33.3%)이 수술 중 BAEP 변화가 관찰되었고, 귀머거리는 1명(1.39%) 발생하였다. 즉, 미세 혈관 감압 수술이 용이하면 (뇌척수액 방출양이 많아서 소뇌가 깊게 내려가서 수술 시야 확보가 넓고, 수술 부위 접근이 용이) BAEP 변화가 적고, 수술이 용이하지 않으면 파형 변화가 많을 수 밖에 없다는 것을 알 수 있었다.

청력에 문제가 없던 환자가 MVD라는 수술을 받고 못 듣게 된다면 매우 안타까운 일이다. 이러한 일이 발생하지 않게 하려고 수술 중 신경계 추적 감시검사를 하는데 BAEP 변화는 크게 두 가지 형태로 관찰 된다.

수술 중 BAEP V번 파형의 변화는 청신경에 장애가 발생하여 뇌간으로 소리자극의 전달이 안 되어 발생하는 것으로 대부분 잘 알고 있다. 그리고 또 한 가지는 I번 파형의 변화인데 이는 달팽이관에 영양분을 공급하는 혈관인 전하소뇌동맥에서 분지되는 미로동맥의 혈액순환 장애에 의한 것임을 알고 좀 더 세분화되고 자세하게 수술의사에게 파형 변화를 알리는 것이 환자의 청신경 보존을 위하여 보다 도움이 되리라 생각한다.

참고 문헌

- Gardner WJ. Concerning the mechanism of trigeminal neuralgia and hemifacial spasm. *J Neurosurg.* 1962, 19:947-958.
- Guerit JM. Neuromonitoring in the operating room: why, when, and how to monitor? *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1998, 106:1-21.
- Gunther T, Gerganov VM, Stieglitz L, Ludemann W, Samii A, Samii M. Microvascular decompression for trigeminal neuralgia in the elderly: long-term treatment outcome and comparison with younger patients. *Neurosurgery.* 2009, 65:477-482.
- Hatem J, Sindou M, Vial C. Intraoperative monitoring of facial EMG responses during microvascular decompression for hemifacial spasm. Prognostic value for long-term outcome: a study in a 33-patient series. *Br J Neurosurg* 2001, 15:496-499.
- Heros RC. Results of microvascular decompression for trigeminal neuralgia. *J Neurosurg.* 2009, 110:617-618.
- Huang BR, Chang CN, Hsu JC. Intraoperative electrophysiological monitoring in microvascular decompression for hemifacial spasm. *J Clin Neurosci.* 2009, 16:209-213.
- James ML, Husain AM. Brainstem auditory evoked potential monitoring: when is change in wave V significant? *Neurology.* 2005, 65:1551-1555.
- Jeon CJ, Kong DS, Lee JA, Park K. The efficacy and safety of microvascular decompression for hemifacial spasm in elderly patients. *J Korean Neurosurg Soc.* 2010, 47:442-445.

9. Kakizawa T, Shimizu T, Fukushima T. Monitoring of auditory brainstem response (ABR) during microvascular decompression (MVD): results in 400 cases. *NoTo Shinkei*. 1990, 42:991-998.
10. Kim EY, Park HS, Kim JJ, Lee SC, Ha CK, Park HC. A more basal approach in microvascular decompression for hemifacial spasm: the para-condylar fossa approach. *Acta Neurochir(Wien)*. 2001, 143:141-144.
11. Kim HR, Rhee DJ, Kong DS, Park K. Prognostic factors of hemifacial spasm after microvascular decompression. *J Korean Neurosurg Soc*. 2009, 45:336-340.
12. Kitajima O, Suzuki T, Watanabe N, Maeda T, Noda Y, Saeki S, Ogawa S. Monitoring masseter muscle evoked responses enables faster tracheal intubation. *J Anesth*. 2010, 24:173-176.
13. Kong DS, Park K, Shin BG, Lee JA, Eum DO. Prognostic value of the lateral spread response for intraoperative electromyography monitoring of the facial musculature during microvascular decompression for hemifacial spasm. *J Neurosurg*. 2007, 106:384-387.
14. Lee SH, Song DG, Kim S, Lee JH, Kang DG. Results of auditory brainstem response monitoring of microvascular decompression: a prospective study of 22 patients with hemifacial spasm. *Laryngoscope*. 2009, 119:1887-1892.
15. Legatt AD. Mechanisms of intraoperative brainstem auditory evoked potential changes. *J Clin Neurophysiol*. 2002, 19:396-408.
16. Little JR, Lesser RP, Lueders H, Furlan AJ. Brain stem auditory evoked potentials in posterior circulation surgery. *Neurosurgery*. 1983, 12:496-502.
17. Neves DO, Lefaucheur JP, de Andrade DC, Hattou M, Ahdab R, Ayache SS, et al. A reappraisal of the value of lateral spread response monitoring in the treatment of hemifacial spasm by microvascular decompression. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2009, 80:1375-1380.
18. Park K, Hong SH, Hong SD, Cho YS, Chung WH, Ryu NG. Patterns of hearing loss after microvascular decompression for hemifacial spasm. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2009, 80:1165-1167.
20. Polo G, Fischer C. Intraoperative monitoring of brainstem auditory evoked potentials during microvascular decompression of cranial nerves in cerebellopontine angle. *Neurochirurgie*. 2009, 55:152-157.
21. 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.