

인공와우 이식자에서 Positive Peaked 청신경 복합활동전위 Positive Peaked Electrically Compound Action Potentials in Cochlear Implant Recipients

허 승 덕¹⁾
Heo, Seung-Deok

ABSTRACT

Animal experiments have shown that the positive peaked electrically compound action potentials (ECAPs) can be recorded in round window, intracochlear, and nerve trunk by stimulating a monopolar pulse. However, positive peaked ECAPs of cochlear implant recipients have never been reported because ECAPs are recorded from intracochlear electrodes after bipolar stimulation. In our experiment, the positive peaked ECAPs were recorded from 18 intracochlear electrodes in cochlear implant recipients with multiple cochlear anomalies. Thresholds in each channel were measured and the latency of P-, N-wave, and amplitude of P-N were analyzed. These results were identical with the electrically auditory brainstem response (EABR) on the input-output characteristics. In conclusion, the positive peaked ECAPs from the cochlear implant recipients are antidromic ECAPs recorded by perimodiolar electrodes stimulating cochlear implants with multiple anomalies. Therefore, positive peaked ECAPs can be used as useful audiological tools to evaluate the eighth nerve ending.

Keyword: Electrically compound action potentials (ECAPs), positive peaked ECAPs, electrically auditory brainstem responses (EABR), antidromic ECAPs

1. 서 론

인공와우는 보청기 사용으로도 효과적인 의사소통이 어려운 난청자를 위해 고안한 청각 재활 장치이다. 이 장치는 난청자가 음성 언어 정보를 들을 수 있도록 특별히 고안한 전극을 와우 관 내부 고실계에 삽입하고, 어음처리가 소리를 전기 신호로 바꾸어 보내면 전극을 통해 청신경 끝부분을 자극하게 되어 난청자가 소리를 들을 수 있게 된다. 청각적 정보가 담긴 일련의 전기 자극은 청신경 말단에서 복합활동전위(Electrically Compound Action Potentials; ECAPs)를 유발하고, 뇌간영역에서는 청성뇌간유발전위(Electrically Auditory Brainstem Responses; EABR)를 유발한다. 이들 전위는 이식자가 충분히 들을 수 있는 가장 낮은 전기 자극 강도부터 충분히 크고 편안하게 들을 수 있는 가장 높은 전기 자극 강도를 결정하는 데 유용하다. 특히, 자극에

대한 느낌을 표현하지 못하는 유소아 또는 중복 장애가 있는 이식자에 대한 청신경의 상태를 객관적으로 예측하는 데 유용하다.

ECAPs는 이식자 개인의 어음처리기 조절과 청신경 생존을 평가 그리고 반복 검사를 통해 청신경의 상태를 장기간에 걸쳐 추적하는 등의 목적으로 이용 할 수 있다.

인공와우 이식자에서 기록한 전형적인 ECAPs 파형은 먼저 진폭이 매우 낮은 봉우리(Positive peak; P)가 나타난 후, 곧바로 진폭이 상대적으로 매우 크고 뚜렷하게 분간할 수 있는 골(Through, Negative peak; N)과 잇달아 봉우리(P2)가 다시 나타난다. 이러한 변화는 자극 후 1 ms 이내에 모두 관찰할 수 있다. 이 중 가장 분명한 전위인 N과 잠복시간은 와우 내부 전극으로 기록할 경우 260 μ s(Brown & Abbas, 1990), 신경줄기에 부착한 전극으로 기록할 경우 250 - 550 μ s(Miller et al., 1998) 정도이다. 이러한 전형적인 파형의 모양은 자극 잡음에 의하여 다소 왜곡 될 수 있지만 전반적인 형태는 변하지 않는다.

ECAPs 파형의 모양은 자극하는 전기 펄스의 특성과 자극 위치 및 전위를 기록하는 전극의 위치에 따라 달라질 수 있다.

펄스 특성에 따라서는 자극 극성(Stimulus polarity)이 단극

1) 동아대학교 audiolog@donga.ac.kr, 교신저자

접수일자: 2009년 2월 10일
수정일자: 2009년 5월 3일
게재결정: 2009년 6월 16일

(Mono-polar) 자극일 때와 양극(Bi-polar) 자극일 때 기록되는 ECAPs 파형 모양이 서로 다르다. 또 단극을 사용한 경우에도 자극 펄스가 기준선보다 위쪽에 있는 (+)극성(Anodic polarity)일 때와 반대로 펄스가 기준선보다 아래쪽에 있는 (-)극성(Cathodic polarity)일 때의 파형 모양이 서로 다르며, 골대신 봉우리가 분명한 양상으로 나타나기도 한다. 자극 위치와 관련한 positive peaked ECAPs은 청신경 말단을 자극하고 와우관 내부의 전극을 통해 전위가 기록되는 것으로 구심성 회로인 청신경에서 반대 방향으로 흥분이 전달되기 때문에 이를 역행성(Antidromic) 전위라고도 한다(Brown, 1994; Miller et al., 2004).

ECAPs 전위를 기록하는 전극 위치에 따라서는 와우관 내부로 삽입한 전극을 통해 기록하면 양위상(Bi-phasic), 신경줄기에 부착한 전극으로 기록하면 삼위상(Tri-phasic)의 파형이 나타난다(Miller et al., 2004). 삼위상 ECAPs 파형은 동물 실험을 통해서만 관찰된다. 주로 단극 펄스를 자극하고 와우관 내부에 이식한 전극을 통해 ECAPs를 기록하거나 청신경줄기에서 ECAPs를 기록하면 나타난다.

인간의 경우 ECAPs 기록만을 목적으로 신경외과학 및 이과학적으로 고도의 기술이 필요한 미세수술을 통해 별도의 전극을 청신경줄기에 부착할 수 없어서 청각재활을 목적으로 와우관 내부에 이식한 전극으로 ECAPs를 기록한다. 또 전기 펄스는 생체 전기화학적 안전을 고려하여 양극 펄스를 자극한다(Rose & Robblee, 1990). 따라서 인공와우 이식자의 ECAPs 파형은 양위상으로 나타난다.

이 연구는 지금까지 보고되지 않은 positive peaked ECAPs을 다양한 기형이 있는 인공와우 이식자에서 기록하여 전위 특성을 분석하고, EABR과 비교하여 청신경 상태에 관한 정보를 예측하는 데 있어서 그 가능성을 평가하고자 한다.

2. 대상 및 방법

2.1 대상

대상은 생후 15개월에 난청을 진단 받고, 생후 23개월째 좌측 인공와우를 이식받은 여아의 22개 전극 중 육안 관찰을 통해서도 유의할 만한 ECAPs을 확인할 수 없었던 3, 13, 15, 17번 전극을 제외한 18개 전극으로 하였다.

대상은 15와 23개월에 청각학적 평가를 시행하였다.

양측 이미턴스평가(Immittance Audiometry, GSI TymStar ver. 2, USA)에서 고막운동도(Tympanogram)은 A형, 등골근반사(Acoustic reflex)는 나타나지 않았다. 유발이음향방사(Transient Evoked Otoacoustic Emission, Otodynamics ILO ver. 6-USB, UK)는 두 귀 모두 관찰되지 않았다. 500과 1,000 Hz tone pip, 그리고 Click 음을 자극한 청성뇌간유발반응(Auditory Brainstem Responses, Nicolet VikingSelect ver. 7.4.0e, USA)에서 좌측은 최대 자극인 100 dB nHL에서도 반응이 없었으나 우측은 각각 95,

90, 95 dB nHL의 역치를 보였다. 청성지속반응(Auditory Steady State responses, GSI Audera ver. 1.0.3.4, USA)도 좌측은 반응이 없었고, 우측은 250, 500, 1,000, 2,000 Hz의 역치가 각각 95, 95, 105, 115 dB HL이었으나 4,000 Hz는 반응이 없었다. 약 2개월에 걸쳐 6회 동안 시행한 검사자 강화 행동 관찰 검사(Behavioral Observation Audiometry, MADSEN Aurical s/w ver. 2.3, Denmark)는 두 귀 모두 250 Hz의 100 dB HL 범위, 보청기 사용 후 500과 1,000 Hz의 40 - 50 dB HL 범위에서 동작을 멈추거나 고개 돌리는 등의 관심을 보였다.

언어발달수준 평가는 난청을 확진하였던 생후 15개월에 영유아언어발달검사(Sequenced Language Scale for Infants; SELSI)로 시행하였다. 언어발달정도는 수용언어 46.6점과 표현언어 53.3점을 보여 전반적으로 6 - 8개월 수준을 보였는데, 아동의 과제 이해 수준과 평가 참여 정도 등을 고려하면 인지 능력 등을 포함한 전반적 발달은 평균 수준인 것으로 판단되었다.

측두골 단층 및 자기공명영상에서 양측 전정도수관 확장증(Enlargement Vestibular Aqueduct Syndrome; EVAS), 양측 와우의 형성 이상(Mondini's dysplasia), 양측 전정 형성 이상(Vestibular dysplasia), 좌측 측반규관 형성 이상 등이 관찰되었다.

인공와우는 Cochlea사 24RE(CA)를 사용하였으며, 전극은 22개 모두 와우관 내부로 삽입하였다. 전극을 삽입한 직후 전극-조직간 접촉 저항(Electrode-to-Tissue Impedance)은 모든 전극에서 15 kΩ 이하였으나 auto-NRT(Neural Response Telemetry)에서 t-NRT는 나타나지 않았다.

술후 4주째 어음처리기 상태와 전극-조직간 접촉 저항, MP1+2 및 CG 방식 전류에 대한 자극잡파(Stimulogram)를 통해 이식한 전극의 상태를 평가하였으나 고장 징후는 관찰되지 않았다.

2.2 전기 자극과 ECAPs의 기록

ECAPs은 수술 중 및 수술 후 4주째 Custom Sound EP ver. 1.3, NRT ver. 2.1 그리고 Nucleus Freedom 어음처리기(Cochlear, Australia)를 이용하여 모든 채널에서 자동으로 검사하였다.

전류는 자극 펄스(Probe)와 차폐 펄스(Masker) 모두 와우관 내부에 이식된 22개 각각의 전극과 와우관 바깥 측두근(Temporalis muscle)에 부착된 전극(M1)을 쌍으로 하여 자극하였다. 자극 및 차폐 펄스는 모두 +/-의 양극성을 사용하였고, 각 펄스의 폭(Pulse width)은 25 μ s, 두 극성간 간격(Inter-Phase Gap; IPG)은 7 μ s로 하였다. 자극 빈도는 자극 펄스를 80 Hz로 하였는데, 차폐 펄스는 자극 펄스와 0.4 ms 간격(Masker-to-Probe Interval; MPI)을 두고 100 Hz로 하였다. 전류 강도는 차폐 펄스가 자극 펄스보다 10 Current Level(CL) 높게 하였다. 자극 전류 강도는 100 CL에서 시작하여 6 CL 단위로 올리면서 ECAPs 역치를 확인하였다. 최대 전류 강도는 Auto-NRT에서 t-NRT가 표시되지 않아 전극-조직간 저항이 허용하는 최대 강도까지 자극하였으며, 전체 전극을 통틀

어 242 CL, 육안 분석으로 확인한 t-NRT보다 33 CL 높은 강도였다.

ECAPs 기록은 자극 전극으로부터 첨단회전(Apical turn)쪽으로 두번째 전극을 활성전극(Active electrode)으로 하였고, 체내 이식된 자극부(Receiver/Stimulator Unit)에 부착된 전극(M2)을 기준전극(Reference electrode)으로 하였다. 수집한 전위는 50 dB 증폭하여 자극 후 123 μ s 이후부터 1.6 ms까지의 잠복시간 동안 기록하였는데, 총 35회 반복하였다.

2.3 전기 자극과 EABR의 기록

EABR은 약제(Choral Hydrate)를 사용한 수면상태에서 시행하였다. Custom Sound EP V1.3(Cochlear, Australia)와 이식자 소유의 어음처리기를 통해 22, 20, 16, 12, 10, 6, 4, 1번 등 모두 8개 전극으로 전기를 자극한 후, Programming Pod(Cochlear, Australia)와 실시간으로 동기화 된 유발반응검사장치(Nicolet VikingSelect V7.4.0e, USA)로 기록하였다.

전기 자극은 와우관 내부에 이식된 22개 각각의 전극과 M1 및 M2를 쌍으로 하여, +/- 각 펄스의 폭이 25 μ s이고 IPG가 7 μ s인 양극성 펄스를 35 Hz 빈도로 하였다. 전류 강도는 100 CL에서 시작하여 10 CL 단위로 높이면서 잘 교육받고 경험이 풍부한 청각전문가가 육안으로 EABR 역치를 확인하였다. 역치상 전류 강도는 파형을 육안 감시하면서 10 CL 단위로 올렸다. 이 과정에서 자극 잡음이나 주변 근육에서 발생하는 근전위(Myopotentials)에 영향을 받아 파형 왜곡이 나타나면 해당 전극의 검사를 멈추었다. 이렇게 하여 자극한 최대 전류 강도는 EABR 역치보다 최대 40 CL 높았으며, 최대 250 CL 이었다.

전위의 수집은 자극 잡음의 영향을 최소화하기 위하여 전기를 자극하는 반대 측인 보존 귀에서 기록하였으며(Contralateral recording), 이를 위해 전극의 배치는 대상자의 전두정중부(Frontal Pole Zero; Fpz)를 활성전극, 보존 귀의 이수(Lobule)를 기준전극 그리고 이식 귀의 이수를 접지로 하였다. 이들 전극의 피부접촉 저항은 모두 3 k Ω 이하로 하였으며, 전극간 저항의 차이는 1 k Ω 이하로 하였다. 수집한 전위는 60 dB 증폭하여 150 - 3,000 Hz의 대역 필터를 통과시킨 후, 총 700 - 1,000회 평균 가산하여 자극 전 1 ms부터 자극 후 9 ms까지의 잠복시간 동안 기록하였다.

2.4 파형 및 결과 분석

ECAPs의 파형 분석은 수술 후 4주째 시행하였던 ECAPs 파형을 이용하였다. 각각의 파형에서 두 정점간 진폭이 5 μ V 이상 이면서 200 - 300 μ s 사이의 잠복시간 동안 나타난 봉우리를 P 파로, 300 - 700 μ s 사이에 나타난 골을 N파로 결정하였다. t-NRT는 NRT 소프트웨어가 역치상의 전류 강도별 P-N 파간 진폭들을 통계처리하여 최소 진폭이 5 μ V인 전류 강도로 결정하게 하였다.

EABR의 파형 분석은 잠복시간이 5.5 ms 이내이고, 끝이어

나타나는 골과의 진폭이 0.1 μ V 이상인 정점을 V파로 결정하였다.

Positive peaked ECAPs의 t-NRT 및 역치상 자극에 대한 진폭 입출력특성은 EABR의 역치 및 진폭 입출력특성과 각각 비교하였다.

3. 결 과

18개 전극에서 기록한 positive peaked ECAPs은 모두 <그림 1>과 같은 양상으로 기록되었다.

ECAPs 역치는 195 - 225 CL 범위에서 나타났으며<그림 2>, 평균 209.7(\pm 7.7) CL이었다. 검사한 모든 전극의 역치 및 역치상 3, 9, 15, 21, 27, 33 CL 자극 강도에서 평균 잠복시간은 P파가 각각 285.6(\pm 58.5), 247.7(\pm 58.1), 225.9(\pm 36.5), 221.3(\pm 27.1), 221.8(\pm 18.4), 216.6(\pm 24.4), 228.8 μ s, N파가 각각 532.3(\pm 93.9), 497.1(\pm 84.1), 507.2(\pm 89.3), 506.6(\pm 100.4), 514.6(\pm 86.5), 521.6(\pm 97.6), 448.4(\pm 34.5) μ s로 나타났다.

P-N 파간 진폭 평균은 각각 11.2(\pm 3.4), 14.5(\pm 4.1), 17.9(\pm 5), 22.9(\pm 6.9), 26.7(\pm 7.7), 42(\pm 6.5), 53.9(\pm 1.7) μ V로 나타났다. 18개 전극 각각의 진폭 입출력특성은 <그림 3>의 좌측과 같다.

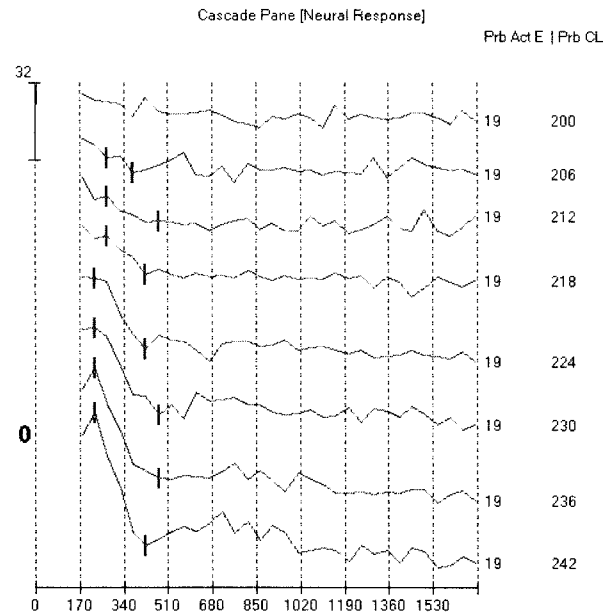


그림 1. 전형적인 positive peaked ECAPs 파형
Figure 1. A typical waveform of positive peaked ECAPs

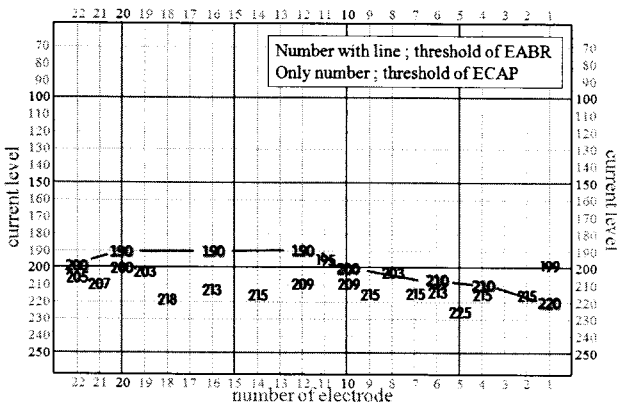


그림 2. ECAPs과 EABR 역치 비교

Figure 2. The threshold comparison of ECAPs and EABR

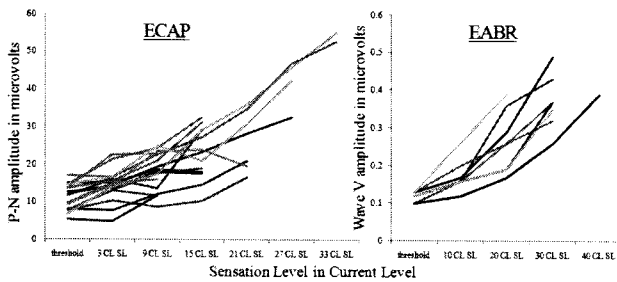


그림 3. 진폭 입출력특성

Figure 3. The input-output function of amplitude

EABR 역치는 190 - 230 CL 범위에서 나타났으며(그림 2), 평균 201.3(±11.3) CL이었다. 검사한 모든 전극의 역치 및 역치상 10, 20, 30, 40 CL 자극 강도에서의 V 파 진폭의 평균은 각각 0.11(±0.01), 0.17(±0.04), 0.26(±0.08), 0.37(±0.07), 0.39 μ V로 나타났다. 8개 전극을 검사한 EABR에서 각 전극의 역치상 자극에 대한 진폭 입출력특성은 <그림3>의 우측과 같다.

4. 고찰 및 제언

전기자극 청성유발전위 수집에 있어서 가장 큰 방해 요인은 자극에 의한 잡음이다(김리석 등, 2000; 김리석 등 2001). 이 잡음은 자극이 감각기관 수용기나 신경전달을 거치지 않고 곧바로 기록 전극으로 도달하기 때문에 자극과 동시에 나타나고 자극잡음의 모양도 자극 모양과 동일하다. 또 역치보다 낮은 전류 강도에서도 나타나며, 전류 강도가 역치보다 낮은 50, 100 CL에서 전위의 진폭은 각각 28.49, 72.27 μ V 정도로 매우 커서 청성유발전위 기록에는 방해가 되지만 장치의 고장 유무를 판단하는 데 있어서는 유용하다(허승덕 등, 2007).

전방 차폐법(Forward masking paradigm)은 자극 잡음에 의한 간섭을 최소화하는 데 있어서 가장 개선된 기법이다. 이 방법은 자극 펄스와 차폐 펄스를 모두 양극성을 사용하며 두 펄스 사이에 일정한 간격을 두고 기록하기 때문에 자극 잡음이 ECAPs

에 포함된다고 하더라도 전위 기록 전 -5 ms부터 전위를 기록 시작 시점(0 ms) 사이에서 출현한다.

전형적인 ECAPs 파형에서 N파의 잠복시간 평균은 260 μ s 정도이며(Brown & Abbas, 1990; Gordon et al., 2003), 잠복시간은 펄스의 극성에 따라 달라진다. 대체로 자극 펄스가 (-) 극성일 때 지연되고(Miller et al., 1998, 2004), 단극성 차폐 펄스일 경우 차폐 펄스가 (+) 극성일 때 빨라진다(Macherey et al., 2008).

Positive peaked ECAPs은 전형적으로 기록되는 ECAPs와는 달리 끝대신 봉우리가 분명한 양상으로 나타나며, 이 원인은 자극 조건과 기록 방법에 의존한다.

자극 조건은 자극 또는 차폐 펄스의 극성이나 자극 강도 그리고 자극 부위에 따라 달라진다.

Brown(2004), Miller 등(2004)은 동물 실험에서 단극성 펄스를 청신경 줄기에 자극한 후, 와우관 내부에 이식한 전극을 통하여 positive peaked ECAPs를 기록하였고, Macherey 등(2008)은 양극성 자극 펄스와 단극성(+) 차폐 펄스를 와우관 내부에 이식한 전극으로 주고 같은 위치의 전극을 통해 positive peaked ECAPs 기록하였다. Macherey 등(2008)의 연구는 (+) 또는 (-)의 단극성의 차폐 펄스가 양극성의 자극 펄스 중 하나를 차폐하여 단극 펄스를 자극하는 효과를 얻은 것으로 볼 수 있다. 즉 펄스 조건을 달리할 경우 인간에서도 positive peaked ECAPs를 기록할 수 있음을 암시한다. 그러나 인간에서는 생체 전기화학적 안전을 고려하여 단극성 펄스는 사용하지 않고 양극성 펄스를 자극하기 때문에 와우 기형이 없다면 positive peaked ECAPs을 관찰하기 어렵다.

Miller 등(1998), Miller 등(2003)은 충분한 강도의 양극성 펄스를 청신경줄기에 자극하여 삼위상 ECAPs를 기록하였는데, 이러한 경우 역치 범위에서는 삼위상으로 도약(jumps)하기 위한 과정의 일환으로 positive peaked ECAPs이 나타난다고 보고하였고, 실험 동물의 종별 및 해부학적 차이 그리고 인간의 경우 와우의 병리학적 특성 등도 ECAPs 파형에 영향을 줄 수 있다(Miller et al., 1999).

초기 인공와우 전극은 삽입된 유도선을 한 바퀴 감싸는 반지모양(Band)의 전극을 사용하였다. 하지만 최근의 전극들은 와우 중심축에 배치되어 있는 청신경 말단을 향해 전기가 자극될 수 있도록 사각형 전극이 중심으로 집중되어 있는 접점모양(Contact or Modiolus)의 전극을 사용하고 있다. 이러한 최근의 전극들은 정상 와우일 경우 전류 흐름이 신경에 곧바로 도달하기 때문에 자극 효율이 높다. 그러나 와우에 기형이 있을 경우 접점형 전극의 사용은 다양한 기형과 관련하여 전류의 방전이 청신경 끝부분으로 향하지 않을 수 있고, 전류 자극의 모양도 왜곡될 수 있으며, 기록되는 전위 또한 왜곡될 수 있어서 파형이 달라지고 잠복시간이 단축될 수 있다.

와우에 전기를 자극하면 구심성회로인 청신경 특성상 모든 신경전달이 중추 쪽으로 전달한다. 하지만 청신경 말단에 전기

를 자극하면 신경 흥분의 일부가 말초 전달을 일으키기도 한다. 이러한 역행성 전위의 파형은 전형적인 ECAPs와는 달리 positive peak으로 나타나고(Brown, 1994; Miller et al., 2004), 이 역행성 전위는 해부학적 구조가 변형된 와우 기형에서도 기록될 수 있다.

이 연구에서 전극-조직간 접촉저항과 자극잡파는 인공와우의 고장을 의심할만한 어떠한 단서도 발견되지 않았으나 ECAPs은 전형적인 파형과 다르게 파형의 위상이 반대로 나타났다. 그러나 이 positive peaked ECAPs의 P 및 N파 반응 특성은 전형적인 ECAPs의 파형 특성과 일치하였다. 특히, t-NRT 역치(mean±SD=209.7±7.7 CL)와 EABR 역치(201.3±11.3 CL)가 같고, 잠복시간의 변화와 P-N 파간 진폭(11.2-53.9 μ V)이 청성 유발 전위와 마찬가지로 자극 강도에 의존하였다.

각 파의 잠복시간은 P파가 216.6 - 285.6 μ s, N파가 448.4 - 532.3 μ s 범위를 보여, N파에 해당하는 P파 잠복시간은 선행 연구(260 μ s-Brown & Abbas, 1990; Gordon et al., 2003)에 비하여 다소 빠른 결과를 보였다. 잠복시간 단축은 자극 조건에 영향을 받는다. 이 연구의 경우 비록 양극성 펄스를 자극하였으나 와우, 전정 그리고 반규관 등에 걸쳐 있는 대상자의 다양한 기형과 한방향으로 고정된 접점형 전극을 사용한 것이 자극 전달과 전위 수집의 왜곡으로 이어진 데 따른 영향으로 추정할 수 있다.

앞서 고찰한 것처럼 다양한 와우 기형에서의 접점형 전극의 사용은 자극 전류의 흐름을 왜곡시켜 청신경 끝부분보다 고위 부분을 자극할 수 있고, 이로 인하여 삼위상 ECAPs가 나타날 수 있을 것이라는 추측도 가능하다. 그러나 인간의 전기 자극에 대한 가청범위가 8 dB(30 CL) 정도이며 이 연구 대상자의 ECAPs 평균 역치가 209 CL이었던 점, positive peaked ECAPs가 기록된 18개 전극 모두의 최대자극 강도에서도 삼위상 파형이 한 번도 기록되지 않았던 점 등은 저자가 기록한 positive peaked ECAPs를 삼위상으로 도약하기 직전의 전위로 보기 어려운 단서이다.

자극 방법과 기록 방법에 의존하여 다양한 형태로 나타나는 ECAPs는 청신경 말단에서 발생하는 복합활동전위로 보고 있으며, 나선신경질 및 청신경 말단의 생존 상태를 예측하는 데 유용하다(Prado-Guitierrez et al., 2006). 따라서 저자가 기록한 positive peaked ECAPs도 청신경 복합활동전위의 한 형태로, 청신경 말단의 정보를 판단하는 데 유용하게 사용할 수 있다.

여러 가지 모양의 ECAPs를 자극 잡음 또는 이에 의한 간섭이 아니라는 판단을 내리기 위해서는 다음과 같은 절차를 추가로 시행할 필요가 있다.

ECAPs 전위 기록과정에서 파형 왜곡이 심하고 N파가 나타나지 않을 경우에는 전극-조직간 접촉 저항이나 자극잡파를 기록하여 전극의 고장 유무를 반드시 확인하여야 한다. 아울러 필요할 경우 어음처리기에 대한 잔고장(soft failure)에 대해서도

확인하여야 한다(허승덕 등, 2007). 만약 장치의 고장이 아니면 자극과 기록 조건을 다양하게 바꾸고 이 과정에서 기록한 파형들을 분석하여 ECAPs 파형으로 판단할 수 있는 충분한 근거를 확보하여야 한다.

자극 조건을 바꾸는 방법으로는 자극 및 차폐 펄스의 전류 강도를 낮추거나 두 극성간 간격(IPG)을 넓히는 방법 또는 자극 및 차폐 펄스가 간격(MPI)을 좁히는 방법 등이 있다. 그러나 이들 방법은 ECAPs 위상을 바꾸게 하지는 않고 자극 잡음에 의한 N파 소실을 줄이는 데 유용하다. 또 자극하는 전극의 +/- 역할을 바꾸어 유발된 ECAPs 파형의 위상이 반전되는지 확인하는 것도 좋은 방법이다. 기록 조건 변경은 활성 전극을 첨단 또는 기저회전 쪽으로 이동시켜 자극 전극으로부터 멀어지게 하는 방법, 전위의 증폭과정에서 발생할 수 있는 왜곡을 줄이기 위해 증폭기 이득을 낮추는 방법 그리고 전위 반복 수집 회수(Number of average)를 늘리는 방법 등을 적용하면 자극 잡음이 ECAPs에 주는 간섭을 줄일 수 있다. 이러한 일련의 노력을 수행한 후 기록한 ECAPs 파형에 대해서는 잘 교육받고 경험이 풍부한 청각전문가가 육안으로 분석하고 검토하는 것이 바람직하다.

5. 결 론

ECAPs는 자극과 기록 방법에 따라 다양한 파형이 기록되지만 인공와우를 이식한 인간의 경우 검사 방법을 바꾸는 데 한계가 있어서 positive peaked ECAPs 지금까지 보고되지 않았다.

이 연구에서 기록한 positive peaked ECAPs는 와우축방식 전극과 내이 전방에 걸쳐 있는 다양한 기형이 서로 관련하여 나타난 것이다. positive peaked ECAPs의 t-NRT가 EABR 역치와 일치된 결과를 보이며, 파형 특성이 자극 강도에 의존하는 것으로 보아 청신경 복합활동전위로 볼 수 있다. 따라서 인공와우 이식자의 청신경 말단의 상태를 평가하는 유용한 청각학적 도구로 사용할 수 있다.

Positive peaked 등 다양한 양상으로 나타나는 ECAPs은 auto-NRT 등의 자동 검사 방법으로는 확인할 수 없으므로 검사 과정을 전문가가 육안으로 감시하는 것이 무엇보다 중요하며, ECAPs 파형이 자극 잡음 또는 자극 잡음에 의한 간섭 등의 영향을 배제할 수 있는 충분한 단서를 확보하여야 한다.

참 고 문 헌

- Kim, L. S., Kang, M. K., Ahn, Y. M. & Heo, S. D. (2000). "A Clinical Study of Promontory Stimulation EABR". *Korean J Audiol* Vol. 4, No. 1, pp. 32-43.
- (김리석 · 강명구 · 안영민 · 허승덕 등, (2000). "와우감각전기 자극뇌간유발반응에관한연구". *대한청각학회지* 4(1), pp. 32-43.)
- Kim, L. S., Ahn, Y. M., Heo, S. D. & Kim, S. R. (2001). "Promontory Stimulation EABR in Sensorineural Hearing Loss".

- Korean J Otolaryngol*, Vol. 44, No. 8, pp. 810-816.
 (김리석 · 안영민 · 허승덕 · 김상렬, (2001). “감각신경성 난청 환자에서 와우갑각 전기자극 뇌간유발반응”. *대한이비인후과 학회지* 44(8), pp. 810-816.)
- Heo, S. D., Kang, M. K., Park, Y. D., Lee, H. J. & Choi, A. H. (2007). “Evaluation of Stimulus Artifacts to Determine the Electrode Status after Cochlear Implantation”. *Korean J Communication Disorders* Vol. 12, No. 3, pp. 532-543.
 (허승덕 · 강명구 · 박영덕 · 이현직 · 최아현, (2007). “인공와우 이식 후 전극 상태 평가”. *언어청각장애연구* 12(3), pp. 532-543.)
- Heo, S. D., Kim, S. R., Ahn, J. K., Jung, D. K. & Kang, M. K. (2007). “Evaluation of the Device Failure Using Stimulus Artifact in the Cochlear Implantee”. *Speech Sciences* Vol. 14, No. 2, pp. 35-42.
 (허승덕 · 김상렬 · 안중기 · 정동근 · 강명구, (2007). “인공와우 이식자에서 자극 잡파를 이용한 고장 평가”. *음성과학* 14(2), pp. 35-42.)
- Brown, C. J. & Abbas, P. J. (1990). “Electrically evoked whole-nerve action potentials: parametric data from the cat”. *J. Acoust. Soc. Am.* Vol. 88, pp. 2205-2210.
- Gordon, K. A., Papsin, B. C. & Harrison, R. V. (2003). “Activity-Dependent Developmental Plasticity of the Auditory Brain Stem in Children Who Use Cochlear Implants”. *Ear & Hearing*, Vol. 24, No. 6, pp. 485-500.
- Brown, M. C. (1994). “The antidromic compound action potential of the auditory nerve”. *J. Neurophysiol.* 71, pp. 1826-1834.
- Macherey, O., Carlyon, R. P., Wieringen, A. V., Deeks, J. M. & Wouters, J. (2008). “Higher Sensitivity of Human Auditory Nerve Fibers to Positive Electrical Currents”. *JARO*, Vol. 9, pp. 241- 251
- Miller, A. L., Smith, D. W. & Pfungst, B. E. (1999). “Across-species comparisons of psychophysical detection thresholds for electrical stimulation of the cochlear: I. Sinusoidal stimuli”. *Hear Res.* Vol. 134, pp. 89-104.
- Miller, C. A., Abbas, P. J., Hay-McCutcheon, M. J., Robinson, B. K., Nourski, K. V. & Jeng, F. C. (2004). “Intracochlear and extracochlear ECAPs suggest antidromic action potentials”. *Hearing Res.* Vol. 198, pp. 75-86.
- Miller, C. A., Abbas, P. J., Nourski, K. V., Hu, N. & Robinson, B. K. (2003). “Electrode configuration influences action potential initiation site and ensemble stochastic response properties”. *Hear. Res.* Vol. 175, pp. 200-214.
- Miller, C. A., Abbas, P. J., Rubinstein, J. T., Robinson, B. K., Matsuoka, A. J. & Woodworth, G. (1998). “Electrically evoked compound action potentials of guinea pig and cat: responses to monopolar, monophasic stimulation”. *Hear. Res.* Vol. 119, pp. 142- 154.
- Prado-Guitierrez, P., Fewster, L. M., Heasman, J. M., McKay, C. M. & Shepherd, R. K. (2006). “Effect of interphase gap and pulse duration on electrically evoked potentials is correlated with auditory nerve survival”. *Hearing Res.* Vol. 215, pp. 47-55.
- Rose, T. L. & Robblee, L. S. (1990). “Electrical stimulation with Pt electrodes. VIII. Electrochemically safe charge injection limits with 0.2 ms pulses”. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* Vol. 37, pp. 1118- 1120.

허승덕 (Heo, Seung-Deok), PhD, Audiologist

동아대학교병원 이비인후과

부산시 서구 동아대1길 30번지

Mobile: 016-9667-7081

Email: audiolog@donga.ac.kr

관심분야: 청각학, 청각전기생리학, 청각음성학