

## 청성지속반응

동아대학교 의과대학 이비인후과학교실  
김 리 석 · 정 성 옥

### Auditory Steady-State Response

Lee-Suk Kim, MD and Sung-Wook Jeong, MD

Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, College of Medicine, Dong-A University, Busan, Korea

#### 서 론

청성유발반응(auditory evoked potentials)은 주관적인 청력검사를 수행할 수 없는 영유아나 검사에 협조가 되지 않는 환자들의 청력을 측정하는데 이용되는 객관적인 청력검사이다. 다양한 청성유발반응 중 청성뇌간반응(auditory brainstem response, ABR)이 각성주변에 영향을 받지 않고 재현성이 높으며 순음청력역치와의 높은 일치도로 인해 1970년대 이후로 현재에 이르기까지 영유아의 객관적인 청력검사로 널리 이용되고 있다. 청성뇌간반응은 많은 장점에도 불구하고 자극음의 특성으로 인한 몇 가지 단점이 있다.<sup>1-3)</sup> 청성뇌간반응의 기록을 위해서는 음자극에 의해 청신경섬유에서 방출되는 활동전위의 정밀한 동시성(synchrony)이 필요하므로, 주파수 대역이 넓고 지속시간이 짧은 자극음이 필요하다. Click음은 주로 2~4 kHz 범위의 넓은 주파수 대역을 가지고 자극의 지속시간이 짧아 청성뇌간반응의 자극음으로 널리 쓰이고 있으나, 고주파수대의 평균적인 청력만을 반영하므로 저주파수대의 주파수별 청력역치를 알 수 없는 단점이 있다. 저주파수대를 포함한 주파수별 청력역치를 알기 위해 toneburst음을 이용한 청성뇌간반응이 이용될 수 있다. Toneburst음이 주파수 특이성을 가지기 위해

서는 nominal frequency가 최소한 1회 주기 이상 포함되고 충분한 상승과 하강 시간을 가져야 하며, 동시에 유발반응을 일으키기 위해 자극의 지속시간이 가능한 짧아야 한다. 따라서 저주파수 toneburst음의 경우 자극음의 지속시간이 상대적으로 길어 질 수밖에 없고, 이 경우 기록되는 파형이 명확치 않아 역치 판정이 어려울 수 있다. 청성뇌간반응에 이용되는 자극음은 지속시간이 짧기 때문에 자극음의 최대 강도가 100~105 dBnHL 정도로 제한되어 있어 심도 난청 환자의 잔존 청력 평가에 어려움이 있을 수 있고, 일측 귀에 한 가지 자극음에 대해서만 검사가 가능하며, 반응의 여부를 검사자가 주관적으로 판정하므로 오차가 생길 가능성이 있다.

청성지속반응(auditory steady-state response, ASSR)은 청성뇌간반응의 이러한 몇 가지 단점들을 극복한 객관적인 청력검사 도구이다. 일시적인 자극음(brief stimuli)을 사용하는 청성뇌간반응과 달리 청성지속반응은 지속적인 자극음(continuous or steady-state modulated tones)에 의해 발생하는 청각전달로의 지속적인 반응이다.<sup>1,4)</sup> 자극음으로는 진폭이나 주파수를 주기적으로 변조한 순음(modulated tone)을 이용한다. 변조된 순음을 자극음으로 사용하므로 자극음의 주파수가 매우 특이적이고, 지속적인 자극음을 사용하기 때문에 최대 자극 강도가 120 dBHL 이상으로 심도 난청의 평가에 보다 유용하다. 또한 70 Hz 이상의 변조주파수(modulation frequency)를 이용할 경우 수면 중에도 안정적으로 반응이 기록되어 영유아의 청력검사에 유용하고, 반응의 판정이 자동화 판정 알고리즘(automatic detection

교신저자 : 김리석, 602-715 부산광역시 서구 동대신동 3가 1번지 동아대학교 의과대학 이비인후과학교실  
전화 : (051) 240-5428 · 전송 : (051) 253-0712  
E-mail : klsolkor@chol.com

algorithm)에 의해 이루어지므로 검사자의 숙련도가 영향을 미치지 않고 결과의 객관성을 유지할 수 있으며, 서로 다른 주파수의 여러 자극음에 대해 양측 귀를 동시에 검사할 수도 있다.<sup>1)5-8)</sup> 여기에서는 청성지속반응의 역사와 자극음의 특성 및 반응의 판정, 그리고 임상 적용에서 유의할 점 등에 대해 간략히 소개하고자 한다.

### 청성지속반응의 역사

오늘날 임상에서 널리 이용되고 있는 전기와우도, 청성뇌간반응, 청성중간반응 등의 청성유발반응의 자극음에는 click음이나 toneburst음과 같은 지속시간이 짧은 일시적인 자극음(transient acoustic stimuli)이 주로 이용되며, 자극음 사이에 휴지기(interstimulus interval)를 두어 청각전달로가 불응기에서 회복될 시간을 확보해야 한다. 청성지속반응의 가장 큰 특징은 자극음의 휴지기 없이 지속적인 음자극을 한다는 점인데, 이러한 지속적인 음자극에 의한 청성유발반응은 1981년 Galambos 등이 처음 보고하였다.<sup>9)</sup> 정상 청력을 가진 성인을 대상으로 toneburst음을 40 Hz의 빈도로 자극하여 얻은 청성중간반응의 파형들을 평균가산(averaging)하지 않고 합산하여 기록한 결과 40 Hz의 사인곡선(sine wave)이 기록되어, 이를 40 Hz event-related potential(ERP)로 명명하였다. 40 Hz ERP는 순음청력역치 근처의 자극강도에서 파형이 나타나 객관적인 청력검사 도구로서의 가능성이 제기되었으나, 수면 혹은 마취 상태와 같이 각성 수준이 떨어지는 경우에는 파형이 잘 기록되지 않아 널리 이용되지 못하였다. 이후 여러 연구를 통해 자극 빈도, 즉 변조주파수를 증가시킬 경우 각성 수준에 영향을 받지 않는다는 사실이 밝혀지면서 영유아를 위한 객관적인 청력검사 도구로서 사용될 수 있는 계기가 마련되었다. Cohen 등<sup>5)</sup>은 어른에서 70 Hz의 빠른 빈도로 음자극을 하면 수면에 거의 영향을 받지 않고 유발반응을 기록할 수 있다고 보고하였고, Rickard 등<sup>6)</sup>과 Aoyagi 등<sup>7)</sup>은 자극빈도를 빠르게 하여 수면 중인 영유아에서 안정적으로 청성지속반응을 기록하였다. 또한 Lins 등<sup>8)</sup>은 여러 주파수의 자극음(multiple simultaneous stimuli)을 변조주파수를 서로 다르게 하여 자극하면, 각 자극음에 대한 반응을 동시에 기록할 수 있어 검사시간을

단축할 수 있다고 하였다.

초기에는 진폭만을 변조한 진폭변조음(amplitude modulation, AM)을 사용하였기 때문에 amplitude modulation following response(AMFR), steady-state evoked potential(SSEP) 등으로 명명되었다. 그러나 주파수를 변조하거나(frequency modulation, FM), 진폭과 주파수를 동시에 변조하는 경우(mixed modulation)에도 청성지속반응은 기록되며, 기존에 신경과 영역에서 사용되던 somatosensory evoked potential(SSEP)과의 혼동을 피하기 위해 auditory steady-state response(ASSR)라는 용어로 통일되었다.

### 청성지속반응의 기록과 반응의 판정

#### 청성지속반응의 자극음

청성지속반응에서는 순음(pure tone)의 진폭이나 주파수를 변조(modulation)시킨 변조음(modulated tone)이 자극음으로 이용된다(Fig. 1). 이용되는 순음의 주파수를 반송주파수(carrier frequency)라고 하고 변조의 빈도를 변조주파수(modulation frequency)라고 한다.

순음의 진폭만을 변조하는 것을 진폭변조(amplitude modulation, AM)라고 하고, 주파수만을 변조하는 것을 주파수변조(frequency modulation, FM)라고 하며, 진폭과 주파수를 동시에 변조하는 것을 혼합변조(mixed modulation)라고 한다. 초기에는 진폭변조음이 주로 이용되었으나 혼합변조를 이용할 경우 더 큰 진폭을 가진 청성지속반응을 얻을 수 있어 현재는 혼합변조음이 주로 이용되고 있다.<sup>5)</sup> 진폭변조의 다른 형태인 exponential modulation(AM<sup>2</sup>) 방식도 진폭의 크기를 증가시키며, 특히 500 Hz와 4 kHz 자극음에 대한 반응의 크기를 증가시킨다.

이렇게 진폭이나 주파수가 주기적으로 변조된 순음을

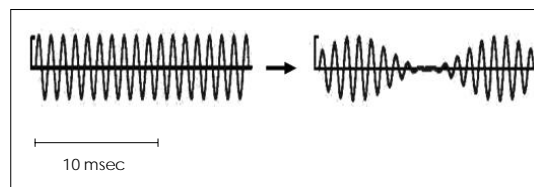


Fig. 1. The example of modulated tone. Left one is the waveform of 1,000 Hz tone. Right one is amplitude-modulated tone at frequency of 100 Hz.

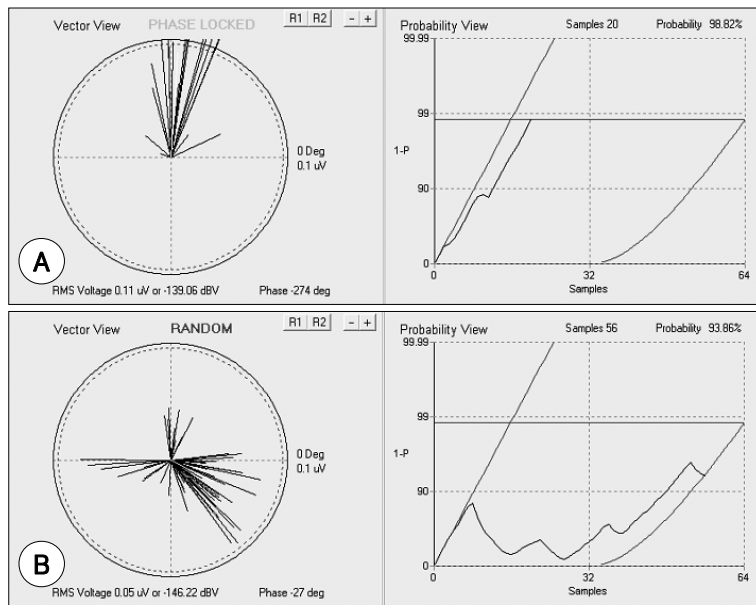
지속적으로 자극하는 청성지속반응은 자극음의 특성으로 인해 청성뇌간반응과 대비되는 다음의 몇 가지 특징을 가진다. 청성뇌간반응의 자극음은 지속시간이 매우 짧기 때문에 최대 자극 강도가 100~105 dBnHL 정도로 제한되어 있는 반면, 청성지속반응에서는 음자극이 휴지기 없이 지속적으로 주어지기 때문에 최대 자극 강도가 120 dBHL 이상으로 심도 난청의 평가에 유용하다. 청성지속반응의 자극음은 변조된 순음이므로 주파수 특이성을 가지는데, 변조음의 실제 주파수 범위는 ‘반송주파수-변조주파수’에서 ‘반송주파수+변조주파수’까지로 반송주파수에서 가장 큰 에너지를 가지고, ‘반송주파수±변조주파수’에서 약한 에너지를 가진다. 예를 들어 1,000 Hz의 순음을 초당 80회의 빈도로 100% 진폭변조할 경우, 반송주파수는 1,000 Hz이고 변조주파수는 80 Hz가 되어 1,000 Hz에서 가장 큰 에너지를 가지고 920 Hz와 1,080 Hz에서 약한 에너지를 가지는 매우 좁은 주파수 범위를 가지는 주파수 특이적인 자극음이 된다. 변조 빈도, 즉 변조주파수가 낮을수록 주파수 특이성은 향상되었으나, 변조주파수가 70 Hz 이하가 되면 수면 상태 등 각성수준이 떨어질 경우 파형이 잘 기록되지 않기 때문에 실제 검사에는 70 Hz 이상의 변조주파수를 사용한다. 주파수와 진폭을 함께 변조하는 혼합변조음을 사용할 경우

보다 큰 진폭을 가지는 반응을 얻을 수 있는 장점이 있으나, 주파수를 변조할 경우 주파수 특이성이 저하되기 때문에 주파수변조는 20%를 넘지 않는 것이 좋다.

서로 다른 반송주파수를 가지는 여러 자극음(multiple simultaneous stimuli)을 변조주파수를 서로 다르게 하여 자극하면, 각 자극음에 대한 반응을 동시에 기록할 수 있어 검사시간을 단축할 수 있다.<sup>10)</sup> 이 경우 자극음간의 간섭을 피하기 위해 일측 귀에 가해지는 자극음간에는 1 옥타브 이상의 주파수 차이를 유지하고, 80 dBHL 이상의 강자극음은 사용하지 않도록 한다.

**청성지속반응의 생성과 기록**

진폭이나 주파수가 주기적으로 변조된 순음이 지속적으로 내이를 자극하면 청각전달로에서는 자극의 변조(modulation)에 의해 유발된 에너지가 자극음의 변조주파수와 동일한 주파수를 가지는 뇌파를 유발하는데 이것을 기록한 것이 청성지속반응이다. 음 자극 동안 발생한 복잡한 뇌파 중 청각전달로의 반응을 추출하는데는 fast Fourier transformation(FFT) 방식이 이용된다. 즉, 음 자극 동안 time domain으로 기록된 뇌파를 FFT 방식을 통해 frequency domain으로 전환한 후 자극음의 변조주파수와 동일한 주파수를 가지는 뇌파 성분의 진폭



**Fig. 2.** Auditory steady-state response recorded using Audera®. A : Response when the tone is presented at an audible level. The vectors are clustered, indicating a “phase-locked” response. Probability of the presence of a response meets statistical criterion (horizontal line). B : Response when the tone is presented at an inaudible level. The vectors are randomly distributed, indicating that there is no phase relationship between the EEG and the tone modulation. Probability of the presence of a response fails to meet statistical criterion (horizontal line) after a period of stimulus presentation (adopted from Kim et al).<sup>1)</sup>

(amplitude)과 위상(phase)을 분석하여 반응의 유무를 결정한다. 반응의 유무를 결정하는 분석 방법에는 phase coherence, magnitude squared coherence (MSC), 그리고 F-test 등이 있다.<sup>10-14)</sup> Phase coherence<sup>10-12)</sup>를 이용하는 방식은 지속적으로 기록된 반응의 위상이 통계적으로 유의하게 일치하면 반응이 있는 것으로, 위상의 일치도에 통계적 유의성이 없으면 반응이 없는 것으로 처리하는 방식이다(Fig. 2). 반응의 위상만을 분석하는 phase coherence 방식에 비해 MSC 방식은 위상과 진폭을 함께 분석하는 방식이다.

즉 위상이 일치하고 진폭이 클수록 MSC 값은 증가하는데, 반응의 MSC 값이 클수록 반응이 있을 확률은 높아지며 통계처리를 통해 반응의 유무가 결정된다.<sup>10)13)</sup> F-test 방식은 자극음의 변조주파수와 동일한 주파수를 가진 뇌파성분의 진폭이 주변 뇌파의 진폭과 통계적으로 유의한 차이가 있으면 반응이 있는 것으로 처리하는 방식이다(Fig. 3).<sup>14)</sup>

반응의 유무는 검사기기에 내장된 자동화 판정 알고리즘에 의해 결정되므로 청성지속반응은 숙련도가 낮은 검사자에 의해서도 검사가 가능하며, 검사자의 주관에 배제되어 객관성을 높일 수 있는 장점이 있다.

### 청성지속반응의 발생기원

청성지속반응의 발생기원(neural generator)은 자극음의 변조주파수에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다. 청성지속반응의 위상을 시간으로 환산하면 반응의 잠복기를 계산할 수 있는데, 이를 이미 발생기원이 밝혀진 다른 청성유발반응의 잠복기와 비교하여 발생기원을 추정할 수 있다. 변조주파수가 20 Hz 이하일 경우에는 일차청각피질과 연합피질이, 20~60 Hz일 경우에는 중뇌, 시상, 일차청각피질이, 그리고 60 Hz 이상일 때는 뇌간이 발생기원으로 추정된다.<sup>4)</sup>

### 청성지속반응의 검사 방법

현재 국내외적으로 널리 사용되고 있는 청성지속반응 검사 기기에는 Audera®(Grason Stadler/VIASIS)와 MASTER®(Bio-Logic Systems Corp.)가 있다. 이 두 가

지 검사 기기는 자극음의 특성은 동일하나 자극 방식과 관독 방식에 차이가 있으며 가장 큰 차이점은 Audera®의 경우 한 번에 한 가지 자극음에 대한 검사만 가능하고, MASTER®의 경우 양측 귀에 여러 자극음에 대한 검사를 동시에 시행할 수 있다는 점이다.

### 자극 조건(Stimulus parameter)

#### 자극음의 반송주파수(Carrier frequency)

일반적으로 500 Hz, 1,000 Hz, 2,000 Hz, 4,000 Hz의 네 가지 자극음에 대해 검사를 시행한다. Audera®에서는 일측 귀에 한 가지 자극음만 이용하여 반응을 기록한다. MASTER®에서는 일측 귀에 4가지 반송주파수의 자극음을 줄 수 있어 양측 귀를 동시에 검사할 경우 8개

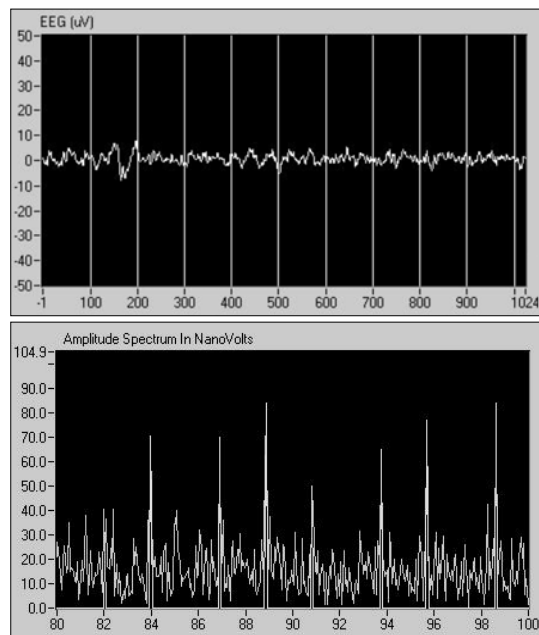


Fig. 3. Auditory steady-state response recorded using MASTER®. The EEG activity recorded in time domain (superior panel) is converted into the frequency domain (inferior panel) using a Fast Fourier transform (FFT). The amplitude and phase of the response to each stimulus can be measured at the specific frequency at which the tone was modulated. Eight large peaks represent the brain activity at the modulation frequency. When the amplitude at the modulation frequency is statistically larger than the amplitude of background brain activity, a response is present.

의 자극음에 대한 검사가 가능하다. 단, 여러자극음의 동시 자극은 80 dBHL까지만 가능하며 더 높은 강도에서는 일측 귀에 한 가지 자극음만 사용한다. 또한 자극음간의 간섭현상을 피하기 위해 동측 귀에 주어지는 자극음간에는 1 옥타브 이상의 주파수 간격을 유지해야 한다.

변조 방식(Modulation type)과 변조 깊이(Modulation depth)

다양한 변조 방식과 변조 깊이를 검사자가 임의로 설정할 수 있다. Audera<sup>®</sup>에서는 100% AM과 10% FM의 혼합변조가, 그리고 MASTER<sup>®</sup>에서는 100% AM<sup>2</sup>과 20% FM의 혼합변조가 주파수 특이성을 해치지 않는 범위 내에서 가장 큰 진폭의 반응을 얻을 수 있어 추천되는 방식이다.

변조주파수(Modulation frequency)

수면 중에도 안정적으로 반응을 측정하기 위해서는 변조주파수를 70 Hz 이상으로 설정해야 한다. MASTER<sup>®</sup>에서 동시 자극음을 사용할 경우 자극음간에는 최소한 1.5 Hz 이상 변조주파수의 차이를 두어야 반응 기록 시 구별이 용이하다.

### 기록 조건(Recording parameter)

기록전극의 부착

두정부(vertex, Cz)나 높은 이마(high forehead, Fz)에 활성(active) 전극을, 검사 측 유양돌기에 기준(reference) 전극을, 그리고 반대 측 유양돌기나 전두정중부(Fpz)에 접지(ground) 전극을 부착한다. MASTER<sup>®</sup>에서 양측 귀를 동시에 자극할 경우에는 목덜미(nape)에 기준 전극을, 그리고 유양돌기나 어깨에 접지전극을 부착한다.

반응의 기록

지속적인 음자극이 가해지는 동안 발생한 뇌파를 FFT 방식에 의해 frequency domain으로 전환한 다음 자극음의 변조주파수와 동일한 주파수를 가지는 뇌파 성분을 찾아 진폭과 위상을 분석한다. Audera<sup>®</sup>에서는 위상의 일치 정도, 즉 phase coherence가 통계적으로 유의한 수준(p<0.03)에 이르면 반응이 있는 것으로 처리되며, MASTER<sup>®</sup>에서는 반응의 진폭이 주변 뇌파의 진폭보다 통

계적으로 유의(p<0.05)하게 클 경우 반응이 있는 것으로 처리된다(Figs. 2 and 3).

## 임상 적용

### 청력역치 측정

청성지속반응의 역치는 순음청력역치와 상관관계가 높고, 순음청력역치를 예측하는 데 있어 청성지속반응과 청성뇌간반응 두 가지 검사간에 유의한 차이가 없는 것으로 보고되고 있다.<sup>15-18)</sup> 특히 난청의 정도가 심할수록, 그리고 자극음의 주파수가 높을수록 두 역치간의 상관관계는 더욱 높아지고, 두 역치의 차이는 줄어드는 경향을 보인다. 따라서 고도 이상의 난청을 가진 경우 신뢰할 만한 객관적인 청력역치를 제공한다고 할 수 있다.

Rance 등<sup>16)</sup>은 변조주파수 90 Hz의 혼합변조음을 사용하여 청성지속반응을 기록한 결과, 순음청력역치와의 상관관계수가 250 Hz에서는 0.96, 2,000 Hz와 4,000 Hz에서는 0.99로 높게 나타났고, 난청의 정도가 심하고 자극음의 주파수가 높을수록 두 가지 역치의 차이는 작았다고 보고하였다.

Dimitrijevic 등<sup>15)</sup>도 청성지속반응역치가 순음청력역치와 높은 상관관계(r≥0.85)를 보여, 청성지속반응역치로 순음청력역치를 예측할 수 있다고 하였다. 그리고 Aoyagi 등<sup>16)</sup>과 Cone-Wesson 등<sup>4)</sup>은 동일 피검자에 대해 청성지속반응과 청성뇌간반응의 두 가지 객관적 청력검사의 역치와 순음청력역치를 비교한 결과, 두 가지 객관적 검사역치와 순음청력역치는 높은 상관관계가 있으며, 순음청력역치를 예측하는데 있어 두 가지 검사간에 유의한 차이가 없다고 보고하였다.

청성지속반응은 높은 정확도를 가지는 객관적인 청력 검사 도구이기는 하나 청력 역치 측정 시 다음의 몇 가지 사항을 고려하여 결과를 해석하여야 한다.

### 정상 청력의 판정

청성지속반응을 통한 역치 측정에서 가장 주의할 점은 청력이 정상에 가까울수록, 그리고 자극음의 주파수가 낮을수록 역치가 높게 측정되며 순음청력역치와의 상관관계가 약해진다는 점이다.<sup>17-21)</sup> 특히 청력이 정상인 경우 청성지속반응의 역치가 40~60 dBHL까지 나타날 수 있

어, 청성지속반응은 정상 청력과 보청기가 필요한 경도 혹은 중등도 난청을 일관되게 구별해 내지 못하는 제한점을 가지고 있다.<sup>22) 23)</sup>

#### 행동반응역치(Behavioral threshold)의 추정

Audera®의 경우 기존의 다양한 연구 결과를 토대로 각 주파수 별로 설정된 회귀식(regression formula)에 의해 행동반응역치의 추정치와 오차범위가 함께 표시된 청력도(audiogram)를 제공한다. MASTER®에서는 청성지속반응의 역치에서 일률적으로 10 dB을 뺀 수치를 행동반응역치의 추정치로 제시한다. 청성지속반응의 역치와 행동반응역치간의 차이는 주파수별, 연령별, 그리고 각 검사실의 환경에 따라 달라질 수 있으므로 각 검사실마다 자체적인 기준을 설정할 필요가 있다.

#### 골도 청력의 측정

골도 자극의 경우 40 dBHL 이상 강도의 자극음에서 artifact에 의한 반응이 나타날 수 있는 단점이 있다.<sup>15) 24)</sup> 이는 위신호(aliasing phenomenon)이거나 전정유발근 전위(vestibular evoked myogenic potential)에 의한 반응으로 추정된다. 청성지속반응을 이용하여 골도 청력을 측정하고자 할 때는 낮은 강도의 자극음에 국한하여 사용해 볼 수 있으며, 임상에 적용하기 위해서는 보다 많은 연구가 필요하다.

#### 청각신경병증

청각신경병증 환자의 경우 청성뇌간반응은 나타나지 않거나 매우 비정상적인 파형을 보이는데 비해, 청성지속반응은 나타날 수 있다.

청각신경병증 환자에서 청성지속반응이 나타나는 경우에는 순음청력역치와 무관하게 주로 70 dBHL 이상의 높은 강도의 자극음에서 나타나고, 순음청력역치와의 상관관계가 매우 약하다.<sup>23) 25)</sup> 따라서 청성지속반응으로는 청각신경병증을 진단할 수 없고, 역치 측정의 의의도 없다. 청각신경병증에서 나타나는 청성지속반응은 cochlear microphonic이거나 artifact에 의한 반응으로 보기도 한다.

#### 기타 임상 적용

청력역치 측정 외에 신생아청각선별검사, 보청기 착용

후 청력 역치의 객관적 측정 등의 영역에 이용하기 위한 연구가 진행되고 있다.

#### 신생아청각선별검사

현재 신생아청각선별검사에는 유발이음향방사와 자동화청성뇌간반응이 이용되고 있다. 이 중 유발이음향방사는 후미로성 난청을 감별하지 못하고, 자동화청성뇌간반응은 click음만을 자극음으로 사용하기 때문에 고주파수 영역에 국한된 청력만을 반영한다. 청성지속반응을 이용하면 전 주파수에 걸쳐 주파수 특이적인 청력 측정이 가능하므로 신생아청각선별검사 도구로 유용하게 이용될 수 있을 것으로 보이며, 기존의 신생아청각선별검사 도구와의 비교 연구가 이루어지고 있다.<sup>26)</sup>

#### 보청기 착용 후 청력 역치(Aided threshold)의 객관적 측정

보청기 착용 후 청력 역치의 측정은 보청기 장착의 적절성을 평가하는 중요한 방법 중 하나이다. Picton 등<sup>27)</sup>은 청성지속반응을 이용하여 보청기 착용 후 청력역치를 객관적으로 측정할 결과 행동반응청력역치와 높은 상관관계를 보여, 소아를 포함한 협조가 어려운 경우 보청기 착용 후 청력 역치를 청성지속반응을 이용하여 객관적으로 측정할 수 있다고 보고한 바 있다.

## 맺 음 말

청성지속반응은 변조된 순음의 지속적인 자극이라고 하는 자극음의 특성으로 인해 청성뇌간반응과 대비되는 몇 가지 장점을 가진다. 즉, 전 주파수에 걸쳐 주파수 특이적인 청력 역치를 제공하고, 출력한계가 높아 청성뇌간반응에서 확인할 수 없었던 심도 난청 환자의 잔존 청력을 확인할 수 있다. 또한 수면 중인 환자에서도 안정적으로 반응을 기록할 수 있으며, 자동화된 역치 측정 방식으로 인해 비숙련자에 의한 검사가 가능하고 결과의 객관성을 높일 수 있는 장점이 있다.

하지만 정상청력과 경도 혹은 중등도 난청을 일관되게 구별하지 못하고 감각신경성난청의 약 10%를 차지하는 청각신경병증을 고도 난청으로 오진할 가능성이 있다. 따라서 객관적 청력검사 도구로서 청성지속반응을 단독으로 사용하는 것은 바람직하지 않으며, 임피던스 청력

검사, 이음향방사, 청성뇌간반응 등 기존의 객관적 청력검사에 추가하여 보완적인 정보를 제공하는 수준에서 사용하여야 할 것이다.

**중심 단어** : 청속지속반응 · 청성뇌간반응.

## REFERENCES

- 1) Kim LS, Jeong SW, Heo SD, Hwang CH. Comparison of auditory brainstem response and auditory steady-state response thresholds in infants and young children. *Korean J Otolaryngol* 2004;47:304-10.
- 2) Stapells DR, Gravel JS, Martin BA. Thresholds for auditory brain stem responses to tones in notched noise from infants and young children with normal hearing or sensorineural hearing loss. *Ear Hear* 1995;16:361-71.
- 3) Burkard RF, Secor C. Overview of auditory evoked potentials. In: Katz J, editor. *Handbook of Clinical Audiology*. 5<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins;2002. p. 233-48.
- 4) Cone-Wesson B, Dowell RC, Tomlin D, Rance G, Ming WJ. The auditory steady-state response: comparisons with the auditory brainstem response. *J Am Acad Audiol* 2002;13:173-87.
- 5) Cohen LT, Rickards FW, Clark GM. A comparison of steady-state evoked potentials to modulated tones in awake and sleeping humans. *J Acoust Soc Am* 1991;90:2467-79.
- 6) Rickards FW, Tan LE, Cohen LT, Wilson OJ, Drew JH, Clark GM. Auditory steady-state evoked potential in newborns. *Br J Audiol* 1994;28:327-37.
- 7) Aoyagi M, Kiren T, Kim Y, Suzuki Y, Fuse T, Koike Y. Optimal modulation frequency for amplitude-modulation following response in young children during sleep. *Hear Res* 1993;65:253-61.
- 8) Lins OG, Picton TW. Auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1995;96:420-32.
- 9) Galambos R, Makeig S, Talmachoff PJ. A 40-Hz auditory potential recorded from the human scalp. *Proc Natl Acad Sci USA* 1981;78:2643-7.
- 10) Champlin CA. Method for detecting auditory steady-state potentials recorded from humans. *Hear Res* 1992;58:63-9.
- 11) Fridman J, Zappulla R, Bergelson M, Greenblatt E, Malis L, Morrell F, et al. Application of phase spectral analysis for brain stem auditory evoked potential detection in normal subjects and patients with posterior fossa tumors. *Audiology* 1984;23:99-113.
- 12) Stapells DR, Makeig S, Galambos R. Auditory steady-state responses: threshold prediction using phase coherence. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1987;67:260-70.
- 13) Dobie RA, Wilson MJ. Analysis of auditory evoked potentials by magnitude-squared coherence. *Ear Hear* 1989;10:2-13.
- 14) John MS, Picton TW. Human auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones: phase and latency measurements. *Hear Res* 2000;141:57-79.
- 15) Dimitrijevic A, John MS, Van Roon P, Purcell DW, Adamonis J, Ostroff J, et al. Estimating the audiogram using multiple auditory steady-state responses. *J Am Acad Audiol* 2002;13:205-24.
- 16) Aoyagi M, Suzuki Y, Yokota M, Furuse H, Watanabe T, Ito T. Reliability of 80-Hz amplitude-modulation-following response detected by phase coherence. *Audiol Neurootol* 1999;4:28-37.
- 17) Rance G, Rickards FW, Cohen LT, De Vidi S, Clark GM. The automated prediction of hearing thresholds in sleeping subjects using auditory steady-state evoked potentials. *Ear Hear* 1995;16:499-507.
- 18) Cone-Wesson B, Rickards F, Poulis C, Parker J, Tan L, Pollard J. The auditory steady-state response: clinical observations and applications in infants and children. *J Am Acad Audiol* 2002;13:270-82.
- 19) Lins OG, Picton TW, Boucher BL, Durieux-Smith A, Champagne SC, Moran LM, et al. Frequency-specific audiometry using steady-state responses. *Ear Hear* 1996;17:81-96.
- 20) Perez-Abalo MC, Savio G, Torres A, Martin V, Rodriguez E, Galán L. Steady state responses to multiple amplitude-modulated tones: an optimized method to test frequency-specific thresholds in hearing-impaired children and normal-hearing subjects. *Ear Hear* 2001;22:200-11.
- 21) Rance G, Rickards F. Prediction of hearing threshold in infants using auditory steady-state evoked potentials. *J Am Acad Audiol* 2002;13:236-45.
- 22) John MS, Brown DK, Muir PJ, Picton TW. Recording auditory steady-state responses in young infants. *Ear Hear* 2004;25:539-53.
- 23) Rance G, Roper R, Symons L, Moody LJ, Poulis C, Dourlay M, et al. Hearing threshold estimation in infants using auditory steady-state responses. *J Am Acad Audiol* 2005;16:291-300.
- 24) Small SA, Stapells DR. Multiple auditory steady-state responses to bone-conduction stimuli in adults with normal hearing. *J Am Acad Audiol* 2005;16:172-83.
- 25) Rance G, Beer DE, Cone-Wesson B, Shepherd RK, Dowell RC, King AM, et al. Clinical findings for a group of infants and young children with auditory neuropathy. *Ear Hear* 1999;20:238-52.
- 26) Norton SJ, Gorga MP, Widen JE, Folsom RC, Sinsinger Y, Cone-Wesson B, et al. Identification of neonatal hearing impairment: a multicenter investigation. *Ear Hear* 2000;21:348-56.
- 27) Picton TW, Durieux-Smith A, Champagne SC, Whittingham J, Moran LM, Giguère C, et al. Objective evaluation of aided thresholds using auditory steady-state responses. *J Am Acad Audiol* 1998;9:315-31.