

# Multiple Auditory Steady-State Response(MASTER)을 이용한 유소아의 청력검사

Hearing Test in Infant and Young Children Using MASTER

이 학 선\*·김 시 찬\*\*  
Hak-Sun Lee · Shi-Chan Kim

## ABSTRACT

This study was done to compare thresholds between those of Auditory Brainstem Response (ABR) with clicks or tonebursts and Multiple Auditory Steady-State Response (MASTER). The results would give a promising tool for evaluating frequency-specific hearing sensitivity in infants or young children. The correlation coefficient value between the click ABR thresholds and MASTER thresholds at carrier frequencies, 500, 1,000, 2,000 Hz, and 4,000 Hz was obtained at Pearson 0.91, 0.94, 0.93, and 0.91.

**Keywords : Multiple Auditory Steady-State Response (MASTER), Auditory Brainstem Response (ABR)**

## 1. 서 론

지금까지 유소아의 청력검사는 이음반사음(otoacoustic emission)을 이용해서 환자의 청력손실 유무만을 객관적으로 판단하며, 주파수별 청력 역치를 구하기 위해서는 1980년부터 뇌간유발 반응검사(auditory brainstem response)를 임상적으로 이용하고 있다. 이음반사음 검사는 환자의 청력손실 여부만 확인이 가능할 뿐, 청력 손실 정도를 확인하는 것은 불가능하며, 반면에 뇌간유발검사는 근본적으로 환자의 청력상태를 주파수별로 정확하게 검사하는데, 여러 가지의 본질적인 문제를 가지고 있다. 첫 번째 문제는 뇌간유발검사는 주파수별 검사를 위해 비록 toneburst 음을 자극음으로 사용한다고 해도, click음보다는 특정한 주파수별 검사가 가능하지만 측정하고자 하는 주파수 이외의 주파수가 많이 보태어지고, 따라서 주파수의 퍼짐(splatter) 현상으로 만족스러운 상태의 특정한 부분의 자극이 일어나지 않는다(Stapells, 2000). 그리고 최대 강도가 90

\* 연세대학교 의과대학 이비인후과학교실

\*\* 순천향대학교 의과대학 이비인후과학교실

nHL정도로 실질적으로 70-75 HL정도로서 고도 난청 이상의 환자에게는 잔존 청력이 나타나지 않는다. 두 번째 문제로는 뇌간유발검사의 문제점은 연속적인 음성신호(continuous acoustic signal)보다는 비연속적인 음성신호(acoustic transient signal)에 반응이 잘 나타난다. 이 문제점으로 해서 환자가 보청기 착용상태에서 청력검사를 하는 기능적인 검사(functional test)는 제한적인 활용으로 사용되어왔다. 세 번째 문제점으로는 뇌간유발검사가 임상적인 청력검사에 사용되는데 있어서 장시간의 검사시간과 반응의 주관적인 해석이 될 수가 있다. 따라서 임상가의 판단에 따라서 그 결과를 다르게 해석할 수 있는 문제가 발생할 수가 있다.

ASSR의 연구는 지난 20 년 동안 객관적인 검사로서 구체적인 주파수 변조(Frequency Modulation, FM) 혹은 진폭변조(Amplitude Modulation, AM) 또는 주파수 플러스 진폭변조(FM +AM)를 연구해 왔다 (Hall, 1979; Cohen et al, 1991; John Picton, 2000) 주파수별 검사방법으로 Auditory Steady-State Response(ASSR)가 연구되어 왔다. ASSR은 Steady-State Evoked Response(SSEP)라고도 불리고 있는데 용어의 혼동을 방지하기 위해 ASSR의 용어가 적절하다고 생각한다. 그 이유는 SSEP는 somatosensory evoked potentials도 포함하기 때문이다. 그 결과 60 Hz 이상의 변조율(Modulation Frequency)은 뇌간유발검사의 5 번 반응의 결과와 매우 유사한 결과가 나왔다 (Kuwada et al. 1986). ASSR은 반송파(carrier frequency)의 규칙적인 진폭 변조(periodic amplitude modulation)에 의해 나타나는 뇌 반응검사이다. 이 반응은 반송파 시간 대와 자극변조(stimulus modulation)의 특정한 시간 부분과 매우 유사하게 파장을 이룬다.

Middle Latency Response(MLR)와 Late Latency Response(LLR), 그리고 P300의 음향유발반응검사(auditory evoked response)는 환자의 의식상태에 따라서 반응의 결과가 달라지기 때문에 유소아 환자에게는 임상적으로 제한을 받아왔다.

1981년에 Galambos 연구팀에 의해 최초로 객관적인 청력측정도구로서 ASSR의 연구가 조사되었다 (Galambos, Makeig, and Talmachoff). 그들은 40 Hz의 변조 주파수를 이용한 환자의 역치는 실질적인 행동역치(behavioral threshold)와 매우 비슷한 결과를 얻었다. 그렇지만 이 검사는 환자가 수면 혹은 마취상태인 경우와 깨어있을 상태에서는 확연히 작은 반응 결과가 나타났다(Linden et al, 1985; Jerger et al, 1986; Cohen et al, 1991; Dobie and Wilson, 1998). 그리고 신생아들에게도 신뢰할 정도로 반응이 나타나지 않았다 (Stapells et al, 1988; Maurizi et al, 1990; Aoyagi et al, 1988). 마지막으로 여러 자극음이 동시에 환자에게 들려 줄 경우에는 반응 폭이 줄어드는 현상도 일어났다 (John et al, 1998). 이런 문제점을 극복하고자 최근의 연구들은 이전 40 Hz보다 빠른 자극률(stimulus rate)을 이용한 연구를 해왔다. Cohen과 그의 연구팀들은 성인의 경우에 70 Hz 이상의 자극률에서는 환자의 상태에 영향을 받지 않는다는 사실을 발견했다 (Cohen et al, 1991).

현재 세계적으로 사용되고 있는 대부분의 ASSR 장비는 호주 멜브른대학 연구팀(Melbourne group)을 중심으로 GSI사의 Audera 제품이 있고, 캐나다 토론토대학 연구팀에 의한 미국 Bio-

Logic 회사제품인 MASTER가 사용되고 있다. Melbourne group은 10 퍼센트의 주파수 변조음(FM)과 100 퍼센트 진폭변조음(AM)을 이용해서 반응을 phase coherence로서 해석한다. Phase coherence은 반응의 변조 주파수(MF)와 상대적으로 측정된 반응이 시차적으로 얼마만큼 지체되는지를 확인해서 반응의 유무를 확인하는 것이다. 뇌반응이 매번 변조 주파수와 매우 유사한 시간대에 일어나면, 반응으로 해석되고, 그렇지 않으면 소음으로 간주된다.

MASTER을 연구한 토론토 연구팀은 20%의 주파수 변조음(FM)과 100%의 진폭변조음(AM) 그리고 60-100까지 변조주파수(MF)를 사용해서 신호 혹은 반응과 소음의 대비율(signal to noise ratio)로서 반응의 유무를 판단한다. 반응의 통계처리는 GSI의 phase coherence와는 다르게 F-test 방법을 이용해서 반응의 유무를 판단한다. F test는 변조 주파수(MF) 시간 때 반응의 진폭과 소음의 진폭을 비교함으로써 반응의 유무를 판단한다. 본 연구는 MASTER의 1.09 그리고 2.01 version을 이용하여 검사하였다.

본 연구의 목적은 첫째 MASTER을 이용하여 청력역치와 행동반응 검사, 그리고 뇌간 유발 검사와의 관계를 알아보고서 임상적인 유용성을 알고자 한다.

## 2. 연구대상 및 방법

### 2.1 환자

총 46 명의 유소아 난청 어린이(22 명)와 성인을 대상(남자 11 명, 여자 13 명)을 대상으로 연세대학교 의과대학 신촌세브란스 이비인후과 청각검사실과 순천향대학교 의과대학 부천병원 이비인후과 청각검사실에서 실시하였다. 대상자의 연령 범위는 만 3 개월에서 62 세로 이루어졌다. 유소아환자들은 우선 수면상태에서 Bio-Logic사의 Navigator Pro검사기를 사용하여, Click음과 toneburst음을 이용하여, 뇌관유발반응검사를 받고, 그 다음 MASTER을 이용하여 검사를 실시하였으며, 성인 환자의 경우에는 방음검사실에서 행동역치를 구하고, 깨어있는 상태이지만, 조용히 침대에 눈을 감은 상태에서 MASTE 검사를 실시하였다. MASTER 검사시 전극 위치는 high forehead(active), nape of neck(reference), 그리고 shoulder(common)의 방법으로 실시하였다.

### 2.2 자극음

각 반응음은 20%의 주파수 변조음과 100%의 진폭 변조음을 사용하였으며, 변조 주파수율은 단 하나의 주파수만 검사할 경우에는 오른쪽 귀 부분의 경우에는 69.141 Hz을, 왼쪽 귀를 검사할 경우에는 64, 453 Hz을 이용하였다. 그리고 양쪽 귀 모두 동시에 검사시에는 왼쪽 귀에서는 82.031 83.984, 86.914, 88.867, 오른쪽은 90.820, 93.750, 95.703, 98.633 Hz의 변조 주파수율을 사용하였다.

### 2.3 반응분석

MASTER는 FFT(fast fourier transform)의 variance 분석에 의해 “반응” 또는 “무반응”으로 평가한다(Picton et al., 1987) 이러한 방법은 진폭 변조된 자극음의 MF에서 나타나는 반응이 인접한 주파수에서의 배경 잡음과 유의미하게 다른지 같은지를 판단한다. 신호대 잡음비의 F ratio가 <5 수준에서는 유의미한 반응이 나타나며, 반응의 색깔은 녹색으로 나타나고, .5<와 .1 사이에서는 확신을 하지 못하는 반응이 노란색으로 나타나며, 반응이 >.1면 빨간색으로 소음으로 간주한다. MASTER의 경우에는 16 epoch마다 반응의 진폭, 반응의 위상, F-ratio, 배경잡음값이 화면에 나타난다. 반응으로 해석하는 경우에는 녹색의 반응이 3 번 연속으로 나타나고, 소음의 측정치가 20 nV 이하이며, impedance의 각 부분이 5 kOhms 이하인 상태에서 검사를 실시하였다. 통계분석은 pearson 상관관계를 이용했으며, ABR의 경우에는 자극음으로 click음을 사용한 경우에는 2,000, 혹은 4,000 Hz 모두 각각으로 분석하였다.

### 3. 결 과

그림 1은 성인의 경우에 500, 1,000, 2,000, 4,000 Hz에서의 행동역치와 MASTER 역치와의 상관관계를 나타낸 것이다.

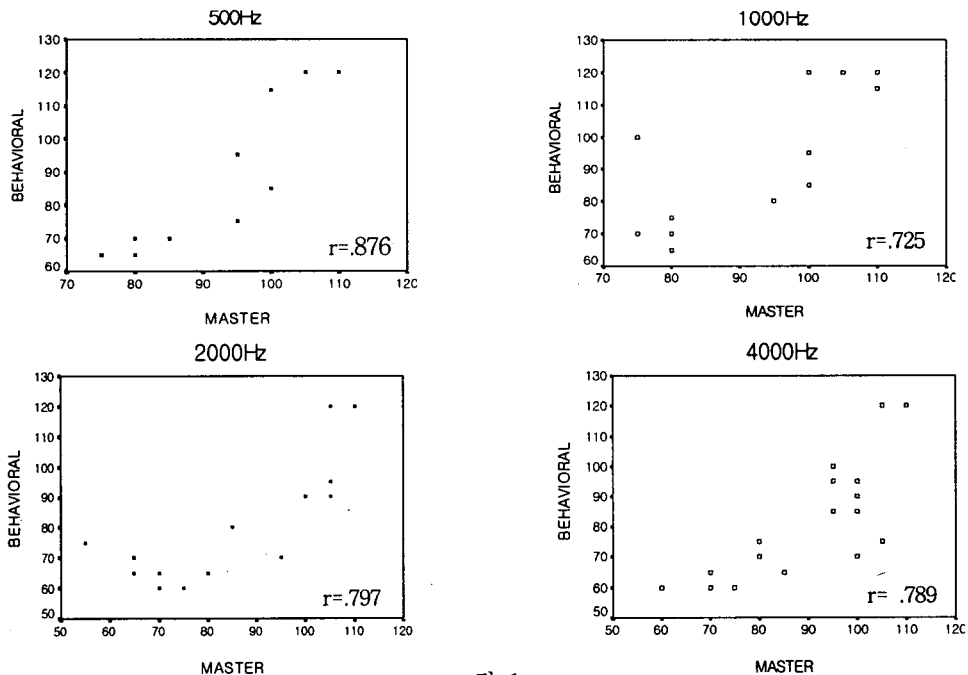
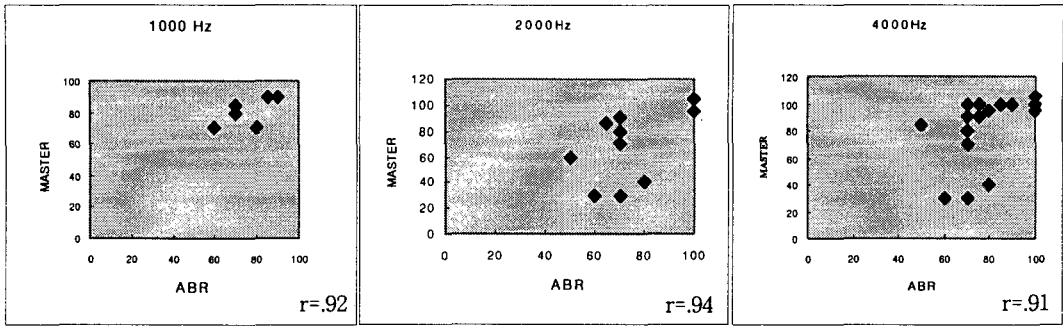


그림 1



위의 결과를 통해 ABR과 MASTER과의 상관관계는 모든 주파수에서 0.9정도의 person 상관관계를 유지하고 있으며, 또한 행동 역치와도 0.7-0.8정도의 상관관계를 유지하고 있다. 500 Hz의 toneburst는 사용하지 않았다.

아래의 그림 2는 ABR에서는 반응이 없는 경우지만 MASTER에서는 반응이 있는 경우를 나타낸 그림이다.

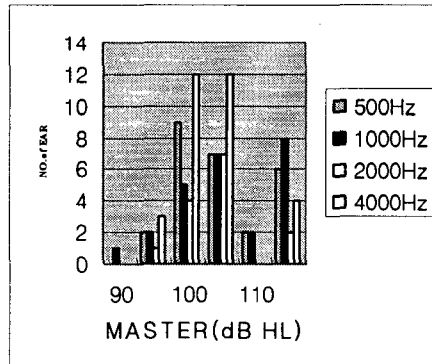


그림 2

이 연구의 결과에서 보여주듯이 많은 환자의 경우에는 비록 ABR에서는 반응이 없지만 MASTER에서는 반응이 나오는 경우가 많다.

인공환자 대상인 경우에 잔존 청력여부를 이 검사를 통해 확인해볼 수 있다.

#### 4. 고 찰

본 연구에서 사용한 검사기기인 MASTER에서의 ASSR의 분석 및 판별에서는 ABR에서 반

응이 없었지만 많은 경우에는 반응이 있는 경우로 나타나고, 그리고 행동역치와의 정확성에서는 0.9 이상을 나타내고 있다. 이전의 연구(Picton et al, 2001)와 제조회사의 설명에 따르면 실질 행동역치와 MASTER의 역치 사이에서는 10 dB정도의 차이가 난다고 한다. 그런 점에서는 상당한 정확성과 신속성을 보이고 있다.

ASSR은 최근에 임상적으로 적용되기 시작하면서 보다 다양한 관점에서 그 특징들이 연구되어지고 있다. 그것은 ASSR의 본질적 특성에 관한 것일 수도 있으며, 그것을 운용하는 검사도구로서 효율성을 높이는 운용방법에 대한 연구일 수도 있다. John et al (2002)은 'Advantages and Caveats When Recording Steady-State Response to Multiple Simultaneous Stimuli'라는 논문에서 획득된 신호 대 잡음비에 도달하기 위해 걸린 시간과 다른 변조율을 가진 자극음에 대한 반응 변화, 강도에 따른 변화들을 연구하였다.

본 연구에서 실시한 유소아의 청력역치와 실질 역치간 차이는 정확하게 알 수는 없지만, 성인의 경우를 준거로 본다면, MASTER의 역치에서 10 정도를 감한다면, 실질 역치와 매우 유사하리라고 추정된다. 3 세 아동을 MASTER 역치에서 10을 빼고, 그것을 기준으로 보청기를 적절하게 이득을 주어서 기능성 검사를 해본 결과, MASTER의 역치가 정확한 것으로 나타났다. 그리고 우리의 연구 결과와 다른 결과와 비교해본 결과(Dimitrijevic et al, 2002) 비슷한 결과를 얻었다. 그리고 검사의 시간은 8 개 주파수를 양쪽 귀에 동시에 실시한 경우에는 60 dBHL에서 시작하여 30 dBHL까진 불과 20여 분 정도 소요되어서 매우 시간적으로 효율적이었지만, 강도가 80 HL이상의 경우에 한쪽 귀에서 한 주파수만을 검사해야 하므로 경우에 따라서는 최장 2 시간 정도의 소요되었으며, 따라서 이런 경우에는 반드시 ABR의 시간과 별 차이가 없었다. 따라서 고 난청 이상의 환자의 경우에는 미리 환자의 난청정도를 보호자와의 상담을 통해 확인하고서 곧 바로 100 dBHL정도에서 1,000 Hz와 4,000 Hz를 우선 검사하고서, 환자가 계속 수면 상태에 있으면, 500 Hz와 2,000 Hz를 검사하는 것이 제한된 시간에 많은 정보를 얻을 수가 있다. 그리고

## 5. 결 론

본 연구는 MASTER 역치가 행동역치를 추측하는데 상당한 정확성을 보여주고 있으며, 특히 고난청의 난청환자일 경우에 인공와우 이식수술의 여부를 판단하는데 매우 유용한 검사일 수가 있다. 전반적으로 실질 역치 사이와는 10-20 dB정도 차이가 나기 때문에 이 검사를 통해 유소아의 역치를 추정하는 것이 매우 유용하다. 그리고 유소아의 난청여부는 불과 20여 분만에 양쪽 귀 모두 주파수별 검사가 가능하기 때문에 세계적으로 모든 신생아이들에게 청력검사가 서구를 중심으로 이루어지고 있기 때문에 이 검사가 유용한 기구가 될 수 있을 것이다. 그렇지만 아직

고 ASSR로서 고.난청환자를 100 HL 이상의 강도로 청력검사를 할 경우에는 종종 artifact 현상인 aliasing 현상이 일어날 경우가 있기 때문에 그 결과를 해석하는데 유의를 해야 한다. 이 현상은 환자가 실제로 소리를 듣지 않았는데도 환자가 들리는 것처럼 negative false 반응이 나타나는 것을 나타낸다. 최신 버전(MASTER version 2.01)인 경우에는 이 문제가 해결되었다고 한다.

### 참 고 문 헌

- Aoyagi, M., Kiren, T., Furuse, H. et al. 1994. "Pure tone threshold prediction by 80Hz amplitude-modulation following response." *Acta Otolaryngol (Stockh)*, 511, pp. 7-14.
- Cohen, L. T., Rickards, F. W., Clark, G. M., 1991. "A comparison of steady state evoked potentials to modulated tones in awake and sleeping humans." *J Acousti Soc Am*, vol. 90, pp. 2467-2479.
- Dimitrijevic, A., John, M. S., Roon, P. V., Purcell, D. W., Adamonis, J., Ostroff, J., Nedzwlski, J. M., Picton, T. W., 2002. "Estimating the Audiogram Using Multiple Auditory Steady-State Response." *J Am Acad Audiol*, 13, pp. 205-224.
- Dobie, R. A., Wilson, M.J. 1998. "Low-level steady-state auditory evoked potentials: effects of rate and sedation on detectability." *J Acoustic Soc Am*, vol. 104, pp. 3482-3488.
- Galambos, R., Makeig, S., Talmachoff, P. J. 1981. "A 40Hz auditory potential recorded from the human scalp." *Proc Natl Acad Sci USA*, vol. 78, pp. 2643-2647.
- Hall, J. W. 1979. "Auditory brainstem frequency following responses to waveform envelope periodicity." *Science*, vol. 205, pp. 1279-1299.
- Jerger, J., Chmiel, R., Frost, J. D., Coker, N. 1986. "Effects of sleep on the auditory steady state evoked potentials." *Ear Hear*, vol. 7, pp. 240-245.
- John, M. S., Lins, O. G., Boucher, B. L., Picton, T. W. 1998. "Multiple auditory steady-state responses (MASTER): stimulus and recording parameters." *Audiology*, vol. 37, pp. 59-82.
- John, M. S., Picton, T. W. 2000. "Human auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones: phase and latency measurements." *Hear Res*, vol. 141, pp. 57-79.
- Kuwada, S., Batra, R., Maher, V. L. 1986. "Scalp potentials of normal hearing and hearing-impaired subjects in response to sinusoidally amplitude-modulated tones." *Hearing Res*, vol. 21, pp. 179-192.
- Linder, R. D., Campbell, K. B., Hamel, G., Picton, T. W. 1985. "Human auditory steady state evoked potentials during sleep." *Ear Hear*, vol. 6, pp. 167-174.
- Maurizi, M., Almadori, G., Paludetti, G. et al. 1990. "40Hz steady-state response in newborns and in children." *Audiology*, vol. 29, pp. 322-328.
- Picton, T. W., Dimitrijevic, A., John, M. S., and van Roon, P. 2001. "The use of phase in the detection of auditory steady-state response." *Clin Neurophysiol*, 112, pp. 1692-1711.

- Stapells, D.R. 2000. "Threshold estimation by the tone evoked auditory brainstem response: a literature meta-analysis." *J Speech Lang Pathol Audiol*, 224, pp. 74-83.
- Stapells, D. R., Galambos, R., Costello, J. A., Makeig, S. 1988. "Inconsistency of auditory middle latency and steady-state responses in infants." *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, vol. 71, pp. 289-295.

접수일자: 2004. 08. 25

게재결정: 2004. 11. 25

▲ 이학선

서울시 서대문구 신촌동 134번지 (우: 120-752)  
연세대학교 의과대학 이비인후과학교실  
Tel: +82-2-392-5814 (O), Fax: +82-2-392-5813  
E-mail: lhaksun76@yumc.yonsei.ac.kr

▲ 김시찬

경기도 부천시 원미구 중동 1174번지 (우: 420-021)  
순천향대학교 의과대학 부천병원 이비인후과학교실  
Tel: +82-32-621-5439 (O), Fax: +82-32-621-5016  
E-mail: drschim@schbc.ac.kr