

The Relationship between the Change of Otoacoustic Emission and Temporary Threshold Shift after Broad Band Noise Stimulation

Duk Gyu Lee¹, Jae Eun Lee¹, Eui Kyung Goh¹, Il Woo Lee², Soo Keun Kong¹ and Kyong Myong Chon¹

¹Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Pusan National University School of Medicine, Pusan National University Hospital, Busan; and

²Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Pusan National University Yangsan Hospital, Yangsan, Korea

광대역소음 부하 후 이음향방사의 변화와 일시역치변동과의 관계

이덕규¹ · 이재은¹ · 고의경¹ · 이일우² · 공수근¹ · 전경명¹

부산대학교 의학전문대학원 부산대학교병원 이비인후과학교실,¹ 양산부산대학교병원 이비인후과학교실²

Background and Objectives A distortion product otoacoustic emission (DPOAE) is a non-invasive method which is commonly used to assess the hearing function of the cochlea and to reflect objective information of specific frequency in the cochlea. We hypothesize that after applying a broad band noise (BBN), the outer hair cell's function will change and cause reduction in the amplitude of DPOAEs and signal to noise ratio (SNR).

Subjects and Method We performed the examination on 40 subjects (80 ears) who have a normal hearing function. DPOAEs were recorded before and after BBN stimulation (intensity: 90 dB HL, duration: 10 minutes).

Results After the BBN stimulation, the amplitude of DPOAEs and SNR were decreased at all frequencies. The amplitude of DPOAEs and SNR decreased 0.3-1.6 dB SPL, 0.6-1.5 dB SPL, respectively. Decreases in the amplitude had statistical significances after 3 and 6 minutes in 1 kHz, 3 and 6 minutes in 2 kHz, immediately after noise exposure, and after 3 and 6 minutes in 6 kHz. However, the SNR changes had statistical significance only after 3 minutes in 1 kHz. After the stimulation, pure tone threshold at 4 kHz increased 3.2 ± 3.9 dB HL. After the BBN exposure, the amplitude of DPOAEs and SNR decreased at all frequencies and most of them recovered within 12 minutes.

Conclusion These results suggest that DPOAE could be a clinically useful method for the purpose of screening, managing and assessing the prognosis of acoustic trauma and noise induced sensorineural hearing loss.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2010;53:143-7

Key Words Otoacoustic emissions · Noise · Auditory fatigue.

Received November 1, 2009

Revised February 12, 2010

Accepted February 16, 2010

Address for correspondence

Kyong Myong Chon, MD
Department of Otorhinolaryngology-
Head and Neck Surgery,
Pusan National University School of
Medicine, Pusan National
University Hospital,
305 Gudeok-ro, Seo-gu,
Busan 602-739, Korea
Tel +82-51-240-7330
Fax +82-51-246-8668
E-mail chonkm@pusan.ac.kr

서 론

소음의 노출은 감각신경성 난청의 주요한 원인이 되며, 소음 작업장에서 일을 함으로써 소음에 노출되는 경우 이외에, 일상생활에서 인지하지 못한 상태로 주위에서 발생하는 소음에 장·단기간 노출되는 경우도 많다. 소음 노출로 인한 손상은 정도에 따라 가역적 또는 영구적인 손상의 형

태로 나타날 수 있다. 가역적인 일시역치변동(temporary threshold shift, TTS)은 주로 3~6 kHz에서 발생하고 수 분에서 수 일간 지속되지만, 지속적인 소음의 노출이 없으면 정상 청력으로 회복된다. 그러나 이런 소음의 노출이 지속되어 일시역치변동이 회복되지 않으면 영구역치변동(permanent threshold shift, PTS)이 되고, 이는 와우 유모세포의 영구적인 손상을 의미한다.¹⁾

1978년 Kemp에 의해 처음 알려진 이음향방사(otoacoustic emissions, OAEs)는 수동적인 청각의 감수 기관으로 여겨졌던 와우에 능동적인 미세 에너지가 존재함을 알려주었다.²⁾ 이음향방사검사는 비침습적이고 검사 시간이 짧으며 결과가 안정적이고 재현성이 높아 와우의 기능 평가를 위한 방법으로 많이 이용되고 있다. 변조이음향방사(distortion product otoacoustic emissions, DPOAE)는 와우 비선형성(non-linearity)의 증거이며 두 개의 다른 주파수를 갖는 f_1 , f_2 ($f_1 < f_2$)의 음 자극을 가했을 때 발생하는 여러 주파수의 이음향방사로, 그 중 가장 강한 것은 $2f_2 - f_1$ 의 주파수에서 측정되며, 와우의 주파수 특이성을 가진 객관적인 정보를 제공한다.

저자들은 일시적으로 광대역소음(broad band noise)을 부하하면 외유모세포 기능이 변화하여 변조이음향방사의 진폭(amplitude) 및 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)가 감소할 것이라는 가설하에 본 연구를 계획하였고, 본 연구에서 광대역 소음 부하 후 변조이음향방사의 변화를 관찰하고, 일시역치변동의 예측 인자로서 변조이음향방사와의 관계를 규명하고자 하였다.

대상 및 방법

대 상

순음청력검사를 시행하여 0.25 kHz부터 8 kHz의 각 주파수에서 25 dB HL 이내의 역치를 보이는 정상 청력을 가진 40명(80귀)를 대상으로 하였다. 남성은 28명, 여성은 12명이었으며, 평균 연령은 26.6세(22~33세)였다. 귀 질환의 과거력이나 이독성 약물 복용력, 유전성 청력 소실이 있거나, 이학적 검사 및 고막운동성검사에서 중이염, 외이도염, 외이도 막힘, 귀지, 외이도 이물 등이 있는 경우는 제외하였다.

방 법

이학적 검사, 고막운동성검사 및 순음청력검사를 시행하

여 정상으로 판단된 대상자들에게 광대역소음 부하 전 변조이음향방사검사를 시행하였다. 변조이음향방사검사는 주위 소음이 15 dB SPL 이하인 방음실에서 이음향분석기(Otodynamics Ltd, ILO292, UK)를 사용하여 시행하였다. 고막운동성검사는 중이분석기(GSI TympStar V2, USA)를, 순음청력검사는 순음청력검사기(Interacoustics, AC 40, Denmark)를 이용하였다. 먼저 순음청력검사기에서 발생하는 90 dB HL의 광대역소음을 10분간 우측 귀에 부하하고, 직후 동측의 변조이음향방사를 측정하였다. 이후 3분마다 반복해서 변조이음향방사를 측정하여 총 5회를 시행하였다. 우측 검사를 종료하고 20분간 휴식 후, 좌측 역시 동일한 방법으로 시행하였다. 변조이음향방사 측정 후 즉시 순음청력검사기로 4 kHz의 청력역치를 측정하여 일시역치변동을 관찰하였다. 두 개의 독립된 스피커를 통해 f_1 , f_2 의 순음을 발생시키는 마이크로폰과 이어폰이 부착된 탐침은 매 검사마다 동일한 크기를 사용하였으며, 탐침의 마이크로폰에는 증폭기와 평균 가산 컴퓨터가 연결되어 있었다. 피검자들에게 주관적인 탐침의 깊이를 물어보아 되도록 같은 깊이에서 밀폐 마개(air tight seal)를 유지하면서 검사가 반복될 수 있도록 하였다.

변조이음향방사검사시 자극음의 강도는 L1과 L2 모두 70 dB SPL로 각각 동일하게 하였고, 주파수의 비율은 $f_1 : f_2 = 1.22 : 1$ 로 일정하게 유지하였다. f_1 과 f_2 두 주파수의 기하학적 평균은 순음청력검사의 주파수(1, 2, 4, 6 kHz)와 일치하게 하여, 각 주파수마다 진폭과 신호 대 잡음비를 측정하였다.

이를 이용하여 광대역 소음 부하 전과 후의 시간에 따라 각 주파수에서의 진폭, 신호 대 잡음비의 비교, 순음청력계기로 측정된 4 kHz에서의 청각 역치와 변조이음향방사의 4 kHz에서 소음 부하 후 진폭, 신호 대 잡음비 변화와의 관계, 일시역치변동과 진폭, 신호 대 잡음비 변화와의 관계 등을 알아보았다. 통계는 SPSS(Version 15.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 paired sample t-test로 분석하였고, p value는 0.05 이하일 때 통계학적으로 의미

Table 1. The mean values of amplitude at each test, measured before and after broad band noise stimulation

Time \ Stimulation (kHz)	1	2	4	6
Before	9.0±4.6	9.5±5.1	7.1±6.8	10.2±6.7
Immediately	8.5±5.4	9.2±5.4	6.2±7.6	8.4±8.2*
After 3 min	7.9±5.6*	8.7±5.9*	7.0±7.1	8.7±7.9*
After 6 min	7.9±6.3*	8.7±5.9*	7.2±6.4	8.9±8.7*
After 9 min	8.4±5.1	9.0±5.1	7.1±6.8	9.4±7.8
After 12 min	8.8±5.1	9.0±5.1	7.0±6.5	9.6±7.8

* $p < 0.05$

mean±S.D. dB SPL

있는 것으로 간주하였다.

이번 연구는 본 병원의 임상시험심사위원회(IRB)의 승인 후에 시행하였다.

결 과

대상자에서 변조이음향방사는 모든 주파수대에서 90% 이상 발현되었으며, 부하 전 변조이음향방사검사에서 진폭은 4 kHz에서 최소값, 6 kHz에서 최대값을 보였으며, 신호 대 잡음비는 1 kHz에서 최소값, 6 kHz에서 최대값을 보였다(Fig. 1, Table 1 and 2). 소음 부하 전에 비해 부하 직후 진폭은 주파수 별로 0.3~1.6 dB, 신호 대 잡음비는 0.6~1.5 dB 감소하였다(Fig. 1). 부하 전에 비해 부하 직후 대상자들의 진폭은 모두 감소하였고, 대부분의 주파수에서 부하 후 3~6분까지 감소하였으며, 이후 증가하는 양상을 보였다. 신호 대 잡음비도 부하 직후 감소하였고, 이는 3~6분까지 지속되었다. 광대역소음 부하 후 진폭의 변화는 1 kHz의 3분($p=0.003$), 6분($p=0.027$), 2 kHz의 3분($p=0.022$), 6분($p=0.028$), 6 kHz의 부하 직후($p=0.003$), 3분($p=0.002$), 6분($p=0.005$)에서 다른 수치에 비해 통계적 의미가 있는 변화를 보였으며, 신호 대 잡음비는 1 kHz 3분($p=0.039$)

에서만 다른 수치에 비해 통계적으로 의미 있는 변화를 보였다(Table 1 and 2).

부하 직후 4 kHz에서 측정된 순음청력역치는 부하 전에 비해 3.2 ± 3.9 dB HL의 상승을 보였다. 부하 후 2분, 5분, 8분, 11분, 14분, 17분, 20분 후 4 kHz에서 순음청력검사를 시행하여 일시역치변동의 회복 시간을 측정하였으며, 2분 이내가 28귀, 5분 14귀, 8분 13귀, 11분 15귀, 14분 5귀, 17분 3귀, 20분이 2귀였다(Table 3). 광대역소음 부하 전후 이음향방사검사 결과의 변화와 일시역치변동과의 관계를 규명하고자 한 연구에서는 신호 대 잡음비

Table 3. The number of the case according to the temporary threshold shift (TTS) recovery time

Time (Minutes)	-2	-5	-8	-11	-14	14<
No. of ear	28	14	13	15	5	5

Table 4. The relationship between change of amplitude, signal to noise ratio (SNR) and temporary threshold shift (TTS), TTS recovery time after broad band noise stimulation

Factor	TTS	TTS recovery time
Amplitude	No significant ($p=0.68$)	No significant ($p=0.45$)
SNR	Significant* ($p=0.001$)	Significant* ($p=0.019$)

* $p<0.05$

Table 2. The mean values of signal to noise ratio (SNR) at each test, measured before and after broad band noise stimulation

Time	Stimulation (kHz)	1	2	4	6
Before		16.3 ± 6.3	20.5 ± 6.2	19.5 ± 7.4	22.1 ± 7.3
Immediately		14.8 ± 7.6	19.9 ± 7.3	19.1 ± 8.5	20.6 ± 9.1
After 3 min		$14.2 \pm 7.5^*$	19.8 ± 7.2	19.6 ± 8.4	20.3 ± 9.1
After 6 min		14.4 ± 7.7	19.6 ± 7.0	19.5 ± 7.3	21.2 ± 9.8
After 9 min		15.0 ± 6.2	20.2 ± 5.6	19.4 ± 7.4	21.5 ± 8.4
After 12 min		14.9 ± 6.4	19.3 ± 6.0	19.2 ± 7.0	21.3 ± 8.5

* $p<0.05$

mean \pm S.D. dB SPL

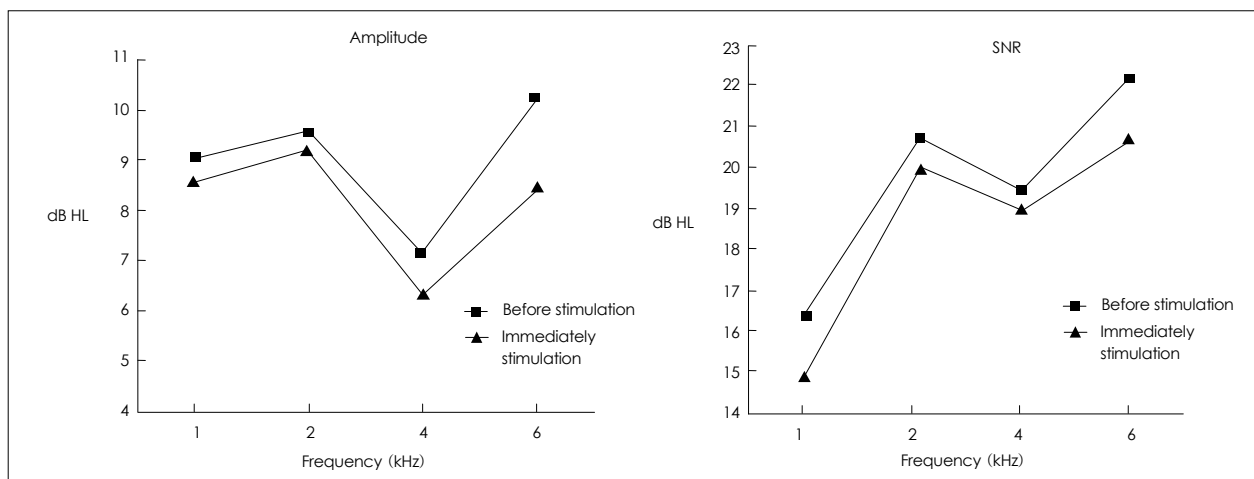


Fig. 1. The mean value of distortion product otoacoustic emissions (DPOAE) amplitude, signal to noise ratio (SNR) according to before and after broad band noise stimulation.

의 변화와 일시적역치변동치 및 신호 대 잡음비의 변화와 일시적역치변동의 회복 시간 사이에서 통계적 의의를 보였다(Table 4).

고 찰

외유모 세포의 능동적인 증폭 작용은 소리 에너지를 발생시키고 이소리 에너지는 중이를 거쳐 외이도로 전달되며 이음향방사검사는 외이도에서 소리 에너지를 측정하는 검사법이다.²⁾ 이는 비침습적이고 객관적인 청각 기능검사로 임상에서 많이 이용되고 있다.³⁾ 변조이음향방사검사는 자극음으로 두 개의 순음을 이용하는데, 주파수가 다른 두 개의 자극음은 기저막의 특정 부위에서 반응하며, 비교적 넓은 주파수대에서 와우 주파수의 특이성을 가진 정보를 제공하고,³⁾ 40~50 dB HL 이내의 청력이 있어도 측정이 가능하다.⁴⁾ 또한 고주파수의 청각 기능과 상관관계가 높아 소음으로 인한 와우 기능 이상을 진단하는데 좋은 검사로 이용된다.⁵⁾ 이런 장점으로 신생아의 선별 청력검사, 소음성 난청의 일시적 역치 변동의 정도 판정, 메니에르병에서 와우 손상 후의 국소적 기능 평가, 돌발성 난청의 예후 추정, 청신경 종양에서의 미로성과 후미로성의 손상 정도 평가 등에 활용도가 증가하고 있다.⁶⁾

Oeken과 Menz⁸⁾는 102귀를 대상으로 20분간 90 dB HL의 광대역 소음을 부하한 후 30분간 측정한 변조이음향방사에서, 2~5 kHz에서 진폭이 2.0~2.5 dB SPL 감소함을 보고하였다. Kiss 등⁷⁾은 3분간 80 dB HL의 광대역 소음 부하 후 진폭은 중간 주파수에서는 0.42~0.88 dB SPL 감소하고, 저주파수 및 고주파수에서는 0.02~1.72 dB SPL 증가함을 보고하였고, Konopka 등⁹⁾은 150~165 dB HL의 소음을 발생시키는 총을 발사 후 순음청력검사상에 역치에 변화가 없어도 변조이음향방사의 진폭이 전 주파수에서(우측 평균: 0.8 dB SPL, 좌측 평균: 2.0 dB SPL) 감소한다고 보고하였다. 본 연구의 결과는 광대역 소음을 각각 10분간 부하한 직 후 측정한 변조이음향방사검사상 진폭 및 신호 대 잡음비는 모든 주파수에서 감소하였다. 소음의 부하 시간 및 강도, 방법의 차이에 따라 다소 다른 결과를 보여주지만, 부하 강도가 높고, 시간이 길어질수록 진폭 및 신호 대 잡음비가 감소하는 양상을 보이며, 그 폭도 크다고 할 수 있다.

사람을 대상으로 소음 부하 후 짧은 시간 동안 변조이음향방사의 변화에 대한 연구는 거의 없으며, Sutton 등¹⁰⁾은 토끼의 행동청력역치의 감소 및 회복과 변조이음향방사가 일치함을 보고하였다. Engdahl¹¹⁾은 변조이음향방사의 진

폭 변화는 일시적역치변동을 반영할 수 있음을 밝혔고, Subramaniam 등¹²⁾은 chinchilla에서 소음 노출에 의해 발생한 청력 손실의 시간적 경과에 따른 변조이음향방사의 회복이 주사전자현미경상 조직학적 회복보다 더 선행한다고 보고하여, 일시적역치변동 회복 과정에서 변조이음향방사의 진폭도 증가할 것으로 추측된다. 하지만 이번 연구에서 주파수별로 일정한 증감을 보이지 않는 이유는 변조이음향방사 측정에 영향을 끼치는 요인들에 의한 것으로 보인다. Jang 등¹³⁾은 이음향방사시 탐침의 위치에 따라 진폭 및 신호 대 잡음비의 크기가 달라짐을 보고하였는데, 탐침을 깊게 삽입할수록 1.6~4 kHz 사이의 진폭과 1, 2, 3.1, 4, 6.3 kHz에서 신호 대 잡음비의 유의한 증가가 있었다. 주변의 잡음을 제거하기 위해 적절한 탐침의 적합(fitting)이 중요한데, 혈검게 적합이 되면 외부 소음이 반영되고, 플랜지(flange)가 탐침의 끝을 1 mm 이상 넘으면 외이도에서 자극음의 울림이 생기고, 플랜지가 탐침을 막으면 측정이 불가능하게 된다. Siegel¹⁴⁾은 탐침이 고막에 가까울수록 전 주파수에서 진폭이 증가함을 보고하였다. 여러 요인들에 의한 오차를 줄이기 위해 본 검사는 한 명의 검사자에 의해 시행되었고, 탐침의 삽입시 피검사자에 주관적인 느낌을 물어서 과도한 탐침 삽입으로 인한 통증이 발생하지 않게 하여 삽입 길이를 일정하게 유지하도록 하였으나 탐침과 고막 사이의 거리 측정에 대한 객관적인 방법이 없어 다소 오차가 있을 것으로 생각된다.

일시적역치변동은 영구적역치변동과 달리 그 발생에 대한 생리학적 근거는 명확하지 않지만, 유모세포의 형태적인 변화, synaptic transmission의 손상, stereocilia와 mechanoelectrical transduction 채널의 손상 등이 원인으로 여겨진다.¹⁵⁾ 영구적역치변동은 외유모세포의 손상으로 시작되고, 와우의 지주세포 및 내유모세포의 손상으로 이어져 와우 신경핵의 위축을 초래한다. 또한 부동모의 강직성이 상실되고, 융합, 파괴되는 소견도 관찰된다. 이런 병리 과정을 일으키는 기전은 명확하지 않지만, 음향 외상으로 인한 와우의 기계적 손상 및 이로 인한 내·외림프액의 독성 혼합, 와우 세포의 대사 고갈, 혈관 수축으로 인한 저산소증, 와우내 이온 채널의 불균형으로 인한 Na^+ - K^+ 농도의 불균형 등의 가설이 있다.

Jun¹⁶⁾은 137명을 대상으로 10분간 90 dB HL 이상의 대역잡음을 부하하고 일시적역치변동 및 회복 시간을 측정하였으며, 일시적역치변동의 평균은 22.4 ± 0.8 dB SPL, 평균 회복 시간은 4.0 ± 0.2 분이라고 보고하였다. 일시적역치변동이 완전 회복되는 시간은 94.1%에서 10분 이내이며, 회복되는 시간이 10분 이상인 경우 일시적청각역치 변동치는 28.3

± 1.36 dB SPL로 증가하였으며, 회복 시간은 평균 18.2 ± 2.1 분이 걸렸다. 이번 연구에서 일시역치변동 평균은 3.2 ± 3.9 dB, 회복 시간이 14분 이상인 대상 귀를 제외한 일시역치변동의 회복 시간은 6.95 ± 4.83 분이었다. Jun¹⁶⁾의 연구에 비해 일시역치변동은 적었으며, 일시역치변동의 회복에는 좀 더 많은 시간이 걸렸다. 이는 검사 방법상 반복적으로 소음을 부하한 Jun¹⁶⁾의 연구에 비해 한번만 소음을 부하를 하였기에 일시역치변동이 적었던 것으로 생각된다.

Sisto와 Moleti 등¹⁷⁾은 2 kHz에서 변조이음향방사의 진폭과 순음청력검사상의 청각 역치 사이에 의미 있는 상관관계가 있다고 보고하였고, Oeken과 Menz 등⁸⁾은 4 kHz에서 일시역치변동과 변조이음향방사의 진폭 감소 사이의 상관관계가 없음을 보고하였다. 이번 연구는 소음성 난청과 관련 있는 4 kHz에서 일시역치변동 정도 및 일시역치변동 회복 시간, 진폭 및 신호 대 잡음비의 변화를 측정하여 비교하였는데, 진폭과 일시역치변동 사이에는 통계적 의의를 보이지 않았지만, 변조이음향방사의 신호 대 잡음비 변화와 일시역치변동 회복시간($p=0.019$), 신호 대 잡음비 변화와 일시역치변동 크기($p=0.001$) 사이에 통계학적인 의미가 있었다. 변조이음향방사검사가 순음청력검사상에서와 같이 소음성 난청에서 일시역치변동을 반영한다고 할 때 진폭 보다는 신호 대 잡음비가 좀 더 유용한 예측인자로 생각된다. 순음청력검사상의 역치 변동에 비해 변조이음향방사 검사에서 진폭 및 신호 대 잡음비의 변화가 적었는데, 이는 남자 대상자의 과반수에서 군복무 경험이 있어 순음청력검사상 정상 소견이지만 이미 낮아진 진폭 및 신호 대 잡음비가 반영된 것으로 판단된다. 이번 연구는 짧은 시간 동안 소음에 노출을 시킨 후 변조이음향방사의 변화를 측정하여, 긴 시간동안 소음 노출로 인해 발생할 수 있는 대상자들의 검사 후 청력의 소실을 줄일 수 있었고, 급성으로 폭로된 음향외상 등에 있어 유용할 것으로 보인다. Jang 등¹⁾은 지속적으로 소음 노출시 변조이음향방사의 진폭이 감소하고, 고주파 영역의 손상을 민감하게 반영함을 밝혀 지속적 소음 노출로 인한 소음성 난청의 장기간 경과 추적 관찰에 유용할 것으로 생각된다.

이음향방사검사는 사용이 간편하고 재현성이 높은 검사로 소음성 난청의 경과 관찰, 신생아청력검사 등에 널리 사용되고 있다. 광대역소음 부하 전과 부하 후의 변조이음향방사의 변화를 측정하면, 소음에 노출된 후 변조이음향방사의 진폭과 신호 대 잡음비는 전 주파수에서 감소하고, 이후 점차 증가하여 12분이 지난 후에는 부하 전 크기의 90% 이상 회복되는 것을 관찰할 수 있었다. 이를 이용하면 변조

이음향방사는 음향외상이나 소음성 난청 등의 경과 관찰 및 평가에 사용할 수 있을 것으로 보인다. 이음향방사 측정 시 탐침의 적합 상태, 중이의 상태, 환자의 협조 등의 요인에 의해 결과의 차이를 보일 수 있으므로, 이를 정확히 보정하고 객관적인 방법으로 측정할 수 있는 방법에 대한 연구가 이루어지면 좀 더 많은 내이(內耳)질환의 진단 및 예후 평가에 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- 1) Jang YJ, Chung PS, Hwang EJ, Hyun MH, Cho CS, Kim YH, et al. Monitoring by ABR, TEOAE and DPOAE of noise induced hearing loss in guinea pig. Korean J Otolaryngol-Head Neck Surg 1999;42(9):1089-92.
- 2) Kemp DT. Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. J Acoustic Soc Am 1978;64(5):1386-91.
- 3) Hong SH. Otoacoustic Emissions. J Clinical Otolaryngol 2008;19(1):25-35.
- 4) Lonsbury-Martin BL, McCoy MJ, Whitehead ML, Martin GK. Clinical testing of distortion-product otoacoustic emissions. Ear Hear 1993;14(1):11-22.
- 5) Lee JS, Lee JH, Kim KS, Oh SY, Kim YB, Kim HJ. Utilization of the Capella distortion product otoacoustic emission analyzer for screening the noise induced hearing loss. Korean J Audiol 2003;7(1):49-56.
- 6) Seo YI, Yoon TH, Won JW, Chung JW, Lee KS. Distortion product otoacoustic emissions in normal and sensorineural hearing loss ears. Korean J Otolaryngol-Head Neck Surg 1997;40(8):1197-1204.
- 7) Kiss JG, Tóth F, Rovó L, Venczel K, Drexler D, Jóri J, et al. Distortion-product otoacoustic emission (DPOAE) following pure tone and wide-band noise exposures. Scand Audiol Suppl 2001;(52):138-40.
- 8) Oeken J, Menz D. [Amplitude changes in distortion products of otoacoustic emissions after acute noise exposure.] Laryngorhinootologie 1996;75(5):265-9.
- 9) Konopka W, Zalewski P, Pietkiewicz P. Evaluation of Transient and Distortion Product Otoacoustic Emissions before and after shooting practice. Noise Health 2001;3(10):29-37.
- 10) Sutton LA, Lonsbury-Martin BL, Martin GK, Whitehead ML. Sensitivity of distortion-product otoacoustic emissions in humans to tonal over-exposure: time course of recovery and effects of lowering L2. Hear Res 1994;75(1-2):161-74.
- 11) Engdahl B. Effects of noise and exercise on distortion product otoacoustic emissions. Hear Res 1996;93(1-2):72-82.
- 12) Subramaniam M, Salvi RJ, Spongr VP, Henderson D, Powers NL. Changes in distortion product otoacoustic emissions and outer hair cells following interrupted noise exposures. Hear Res 1994;74(1-2):204-16.
- 13) Jang BI, Lee JW, Kim SR, Kang MG, Kim LS. The Variation in otoacoustic emission data according to the different location of probe. Korea J Otolaryngol-Head Neck Surg 1999;42(7):820-3.
- 14) Siegel JH. Ear-canal standing waves and high-frequency sound calibration using otoacoustic emission probe. J Acoust Soc Am 1994;95(5):2589-970.
- 15) Dew LA, Owen RG, Mulroy MJ. Change in size and shape of auditory hair cells in vivo during noise-induced temporary threshold shift. Hear Res 1993;66(1):99-107.
- 16) Jun KM. The temporary threshold shift and its recovery after the various sound stimulation. Korean J Otolaryngol-Head Neck Surg 1982;25(1):38-51.
- 17) Sisto R, Chelotti S, Moriconi L, Pellegrini S, Citroni A, Monechi V, et al. Otoacoustic emission sensitivity to low levels of noise-induced hearing loss. J Acoust Soc Am 2007;122(1):387-401.