

청성뇌간유발반응검사 자극강도에 따른 변조이음향방사 비교

Comparison of Distortion Product Otoacoustic Emissions (DPOAEs) following Stimulus Intensity of Auditory Brainstem Response (ABR) Test

한림대학교 의과대학 이비인후과학교실

이재석·홍석민·홍석진·박일석·김용복·심민경·금보람

Jae Suk Lee, Seok Min Hong, Seok jin Hong, Il Seok Park, Yong Bok Kim,
Min Gyeong Shim, and Bo Ram Keum

*Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Hallym University,
College of Medicine, Gyeong Gi, Korea*

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine whether the auditory function of patients are subtly influenced by loud sound used in auditory brain stem response (ABR) test using a distortion product otoacoustic emissions (DPOAEs). A total of 33 subjects who visited the ENT clinic with sudden idiopathic hearing loss disease or a suspected other peripheral vertigo disease (9 males and 24 females) were enrolled in this study. Fifty-seven ears with hearing threshold levels less than 15 dB HL were selected (0.25 ~ 8 kHz). The DPOAEs test was performed before and immediately after ABR test. We found no statistically significant changes in DPOAEs parameters before and immediately after ABR test. And also, DPOAEs implemented before and immediately after ABR test showed a higher correlation at all frequencies. This study showed that the intensity of sound stimulus of ABR test do not affect the subtle changes in auditory function. it is suggested that the exposure duration and intensity of the sound stimulus applied to ABR test of this study is insufficient to achieve a statistically significant result. Therefore, further study will be needed about other auditory evoked potential test, which use the continuous stimulus intensity of 90 dB nHL for identification of effect on auditory function.

Key words: Distortion product otoacoustic emissions, Auditory brainstem response, Hearing threshold shift

논문접수일: 2015년 7월 13일

논문수정일: 2015년 10월 17일

게재확정일: 2015년 10월 19일

교신저자: 홍석민, 경기도 화성시 큰재봉길7(석우동 40)
한림대학교 동탄성심병원 이비인후과

Tel: (031) 8086-2670 Fax: (031) 8086-2681

E-mail: thecell@hallym.or.kr

INTRODUCTION

청성유발전위(auditory evoked Potential, AEP) 검사는 음향 자극 후 전극을 통해 신경의 전기생리학적 반응을 기록하여 간접적으로 청력역치를 측정할 수 있고

신경학적 진단이 가능한 객관적인 검사이다. 이런 청성 유발전위검사는 처음 90 dB nHL의 고강도 자극음을 이용하여 진단하며 전기와우도(electrocochleography, ECochG)검사, 청성뇌간유발반응(auditory brain stem response, ABR)검사, 청성지속반응(auditory steady state response, ASSR)검사 등이 임상에서 사용되고 있다. 또한 클릭(click)음이나 톤버스트(tone burst)음을 이용해 전정계(vestibular system)를 자극하여 목근육의 근전위반응을 이끌어내는 전정유발근전위반응(vestibular evoked myogenic potentials)검사에서도 90 dB nHL이상의 강도를 사용하고 있다. 특히 임상학적으로 널리 쓰이는 청성뇌간유발반응검사는 이신경학적 평가와 청각학적 평가로 역치는 난청의 크기를 평가 하는 등 다양한 목적으로 이용하고 있다(이재석 외, 2010; Musiek et al., 1986).

최근 Mhatre et al.(2010)의 동물실험 연구보고에 의하면 임상에서 널리 쓰이는 청성뇌간유발반응검사의 소리자극강도에 노출 되었을 때 외유모세포의 미세한 기능부전을 유발시켜 변조이음향방사(distortion product otoacoustic emissions, DPOAEs) 진폭이 일시적으로 감소하는 것으로 확인 되었다. 실제 소음 노출에 따른 외유모세포의 미세한 기능부전에 대한 평가는 비침습적이고 객관적 검사인 변조이음향방사를 통해 동물실험이나 임상에서 선행 연구에 의해 보고 되어 왔지만(이재석 외, 2005; Emmerich et al., 2000), 임상에서는 이런 청성뇌간유발반응검사의 소리자극강도가 외유모세포에 어떤 영향을 미치는지에 대한 선행 연구는 거의 보고 되지 않고 있다. 만약 Mhatre et al.(2010)의 동물실험처럼 임상에서도 청성뇌간유발반응검사의 소리자극강도가 와우의 생리적 변화를 일으켜 변조이음향방사의 일시적 감소를 유발시킨다면 청성뇌간유발반응검사가 변조이음향방사검사의 평가에 영향을 미칠 수 있을 것이다.

변조이음향방사는 와우 청각기능의 생리적 변화의 민감도를 순음청력검사보다 더 객관적으로 측정할 수 있으며 소음 노출에 따른 각 주파수의 특이 정보 제공을 통해 소음성난청의 감수성을 예측할 수 있기 때문에 소음에 노출된 집단을 선별하기 위한 도구로 임

상에서 널리 사용하고 있다(오상용 & 이원철, 2003; 이재석 외, 2005; Attias et al., 1998). 특히 군 복무 기간 동안 충격소음과 연속음 모두에 노출된 군필자의 경우 순음청력결과상 정상이지만 특정 주파수에서 변조이음향방사의 반응이 감소하거나 결여 되는 것으로 확인 되었다(이재석 외, 2005; Attias et al., 1998). 이런 고강도의 충격소음은 최대음압수준이 120 dBA이상인 소음이 1초 이상의 간격으로 발생하여 외유모세포와 내유모세포의 형태뿐만 아니라 내이의 전정계까지 영향을 미칠 수 있다(Shaddock et al., 1985).

따라서 본 연구는 임상에서 가장 널리 쓰이는 청성뇌간유발반응검사의 소리 자극강도에 노출 되었을 때 동물실험결과와 같이 임상에서도 와우의 외유모세포에 미세한 생리적 변화를 일시적으로 유발시킬 수 있는 잠재성을 갖는지 변조이음향방사 검사를 통해 보고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

1. 연구 대상

본 연구는 기타 말초성 현기증 질환이 의심되거나 돌발성난청 질환으로 내원한 대상자 총 33명 중(남성:9명, 여성:24명) 순음청력검사 상 .25 ~ 8 kHz의 주파수에서 순음청력역치 15 dB HL이하를 보이는 정상 청력 57귀만 선정하였다. 대상자의 평균연령은 32.1세(12 ~ 52세), 선정된 57귀의 변조이음향방사는 모두 발현되었다. 그리고 대상자의 경우 결과에 대한 자료는 연구목적의 자료로 활용한다는 동의를 얻었다.

2. 연구 방법

대상자 모두 중이검사기(GSI Tymstar, Grason-Stadler Co, USA)로 고막운동성계측 검사를 226 Hz에서 실시하였고 대상자 모두 A형이었다. 변조이음향방사 검사는 대상자를 안락한 자세에서 각성상태를 유

지하도록 하고 ILO292 USB II (Otodynamics Ltd, Hatfield UK)에 연결하여 휴대용 컴퓨터에 ILOV6 소프트웨어를 설치하여 사용하였다.

자극음의 두 주파수 f_1 , $f_2(f_2 > f_1)$ 의 비율은 1.22, 강도는 $L_1 = 65$ dB SPL, $L_2 = 55$ dB SPL로 f_1 과 f_2 의 강도 차이를 10 dB로 하였다. 검사의 정확성을 위해서 모든 검사 전에는 보정을 실시하였으며 귀 탐침에는 적절한 탐침을 사용하여 외이도와 완전히 밀폐되도록 유지하였고 탐침은 검사하는 동안 동일위치에 있도록 하였다. 이음향방사는 소음에 영향을 많이 받기 때문에 방음실에서 측정하였고, 피검자의 생리적인 소음을 줄이기 위해서 피검자에게 검사 시 주의사항을 설명하였다. 그리고 피검자 자체 내에서 발생하는 생리적 소음뿐만 아니라 선별검사에서 발생 할 수 있는 배경 소음은 저주파수대에 영향을 줄 수 있기 때문에 신뢰도가 떨어지는 1 kHz미만의 변조이음향방사는 고려하지 않았고, 1 ~ 6 kHz의 주파수영역만 보았다.

청성뇌간유발반응검사는 Navigator Pro (Natus, USA)에 삽입형 이어폰(ER-3A)을 통해 13.3/s의 교대클릭(alternating click)음을 사용하여 자극하였고 차폐가 필요할 때에는 차폐 음으로 백색잡음(white noise)을 사용하였다. 짧은 지속시간을 갖으면서 많은 양의 청신경 뉴런을 동시다발적으로 자극할 수 있는 클릭음을 사용하였다. 청성뇌간유발반응검사는 각 유양돌기(reference electrode)와 정수리(active electrode) 그리고 이마(ground electrode)에 전극을 부착하여 기록하였고, 여과(filtering)는 전기적 배경 소음 속에서 클릭 청성뇌간유발반응(Click-auditory brain stem responses, C-ABRs)의 신호탐지를 향상시키기

위한 기술로 여과 방식은 100 ~ 3,000 Hz의 band-pass filtering을 사용하였다. 모든 전기저항은 5 k Ω 이하로 하되 항상 3 k Ω 이하를 유지하였다. C-ABRs 검사는 처음 고강도 90 dB nHL에서 시작하여 역치에 가까워질때까지 10 dB이나 20 dB 자극강도 단위로 증가시키거나 감소시키면서 역치를 찾아 갔고 정상인 경우 C-ABRs 역치는 정상 범위 30 dB nHL까지만 관찰하였으며 평균 검사시간은 대략 35분정도 소요되었다. 변조이음향방사 재검사는 청성뇌간유발반응검사가 끝난 즉시 시행하였다.

3. 통계학적 검증

통계분석은 SPSS (Version 21)의 대응표본 t 검정 (Paired t -test)을 통해 각 주파수에 따른 차이를 비교 분석 하였고 통계검증은 유의수준 .05이하로 하였다.

RESULTS

청성뇌간유발반응검사 전과 검사 후 즉시 시행된 변조이음향방사 진폭의 차이 결과는 다음과 같다 (Table 1 & 2). 변조이음향방사의 진폭 차이는 청성뇌간유발반응검사 전에서 검사 후의 반응을 뺀 차이값이다. 변조이음향방사의 평균 절대 진폭 1 kHz에서는 .32 dB SPL의 양의 진폭 차이값을 보였지만 2, 3, 4, 6 kHz에서는 -.38, -.58, -.61, -.74 dB SPL 음의 진폭 차이값을 보였다(Figure 1).

Table 1. Statistical results for the difference of absolute amplitude between pre and post-ABR of DPOAEs levels(* $p > .05$, ** $p < .001$)

Frequency (kHz)	Absolute amplitude			Correlation coefficient (Pre-Post ABR)
	Pre ABR	Post ABR	Pre-Post ABR	
1	8.87(\pm 5.69)	8.56(\pm 5.81)	.31(\pm 3.83)*	.779**
2	8.33(\pm 6.31)	8.74(\pm 5.94)	-.42(\pm 3.14)*	.871**
3	4.27(\pm 5.75)	4.83(\pm 5.86)	-.56(\pm 3.19)*	.849**
4	6.63(\pm 5.45)	7.20(\pm 5.66)	-.56(\pm 3.35)*	.819**
6	8.35(\pm 4.87)	9.09(\pm 5.03)	-.74(\pm 2.82)*	.838**

Table 2. Statistical results for the difference of SNRs between pre and post-ABR of DPOAEs levels (* $p > .05$, ** $p < .001$)

Frequency (kHz)	SNRs			Correlation coefficient (Pre-Post ABR)
	Pre ABR	Post ABR	Pre-Post ABR	
1	18.04(± 6.79)	16.88(± 7.35)	1.16(± 6.09)*	.631**
2	22.16(± 6.55)	22.62(± 5.97)	-.46(± 4.29)*	.769**
3	19.84(± 6.31)	19.91(± 5.88)	-.07(± 4.04)*	.783**
4	20.92(± 5.38)	21.88(± 6.18)	-.96(± 3.96)*	.774**
6	21.35(± 5.07)	21.99(± 5.18)	-.63(± 3.72)*	.737**

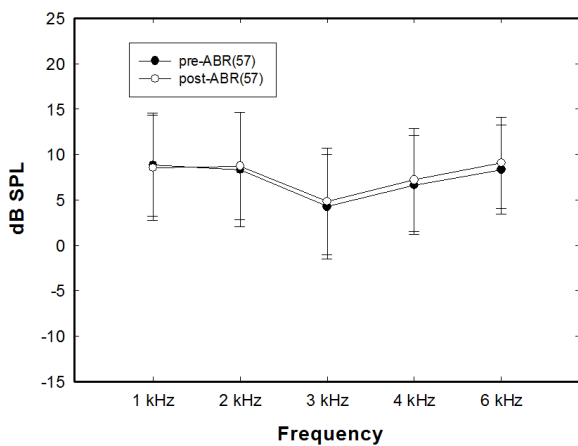


Figure 1. The mean absolute amplitude of DPOAEs obtained at each test frequency by before and immediately after ABR test ($p > .05$).

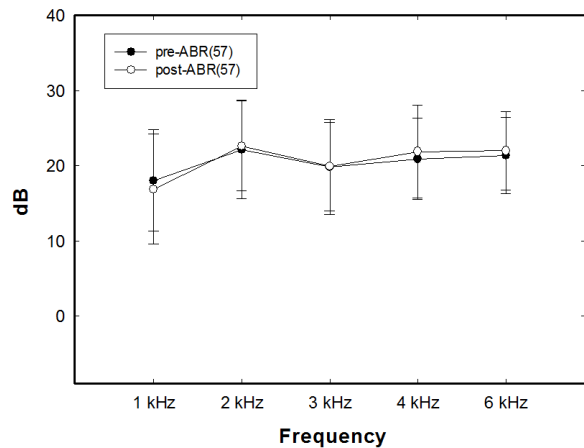


Figure 2. The mean SNRs of DPOAEs obtained at each test frequency by before and immediately after ABR test ($p > .05$).

평균 상대 진폭(SNRs) 1 kHz에서도 1.29 dB 양의 진폭 차이값을 보였고 주파수 2, 3, 4, 6 kHz에서는 -.36, -.05, -.98, -.69 dB 음의 진폭 차이값을 보였다(Figure 2). 주파수 2, 3, 4, 6 kHz에서는 청성 뇌간유발반응검사 시행 후 즉시 시행한 변조이음향방사의 평균 절대 진폭과 상대 진폭 모두에서 더 증가하였다. 그러나 변조이음향방사의 평균 절대 진폭과 상대 진폭 모두 통계학적으로 유의미한 진폭 차이는 보이지 않았다($p > .05$).

그리고 청성뇌간유발반응검사 전과 후 변조이음향방사의 상관관계를 보았다. 절대 진폭과 상대 진폭 모두 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났으며, 절대 진폭의 상관계수가 상대 진폭보다는 더 크게 나타났

다(Table 1 & 2, $p < .001$).

우측 귀 평균 절대 진폭 차이는 1 kHz에서 0.10 dB SPL, 2, 3, 4, 6 kHz에서는 -.51, -.66, -.33, -.76 dB SPL이고 좌측 귀 평균 절대 진폭 차이는 1 kHz에서 0.56 dB SPL, 2, 3, 4, 6 kHz에서는 -.30, -.44, -.84, -.71 dB SPL를 보였다(Figure 3). 우측 귀 평균 상대 진폭 차이는 1 kHz에서 1.02 dB, 2, 3, 4, 6 kHz에서는 -.59, -.52, -.80, -.76 dB이며 좌측 귀 평균 상대 진폭 차이는 1 kHz에서 1.32 dB, 2, 3, 4, 6 kHz에서는 -.32, .47, -1.15, -.54 dB로 나타났다(Figure 4). 그러나 양 귀 평균 절대 진폭과 상대 진폭 모두에서 통계학적으로 유의미한 진폭 차이는 확인 할 수 없었다($p > .05$).

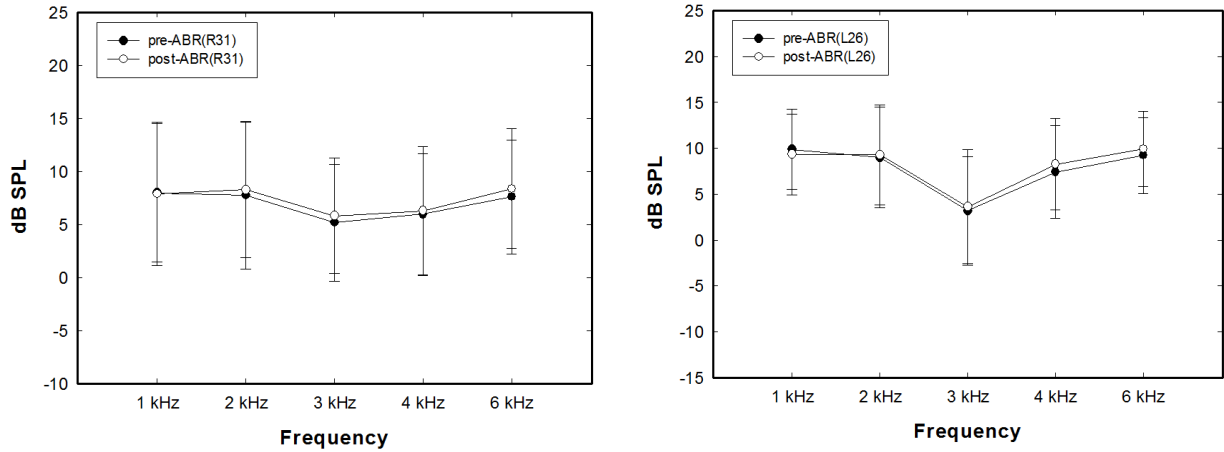


Figure 3. The mean absolute amplitude DPOAEs obtained at each test frequency by before and immediately after ABR test in ears ($p > .05$).

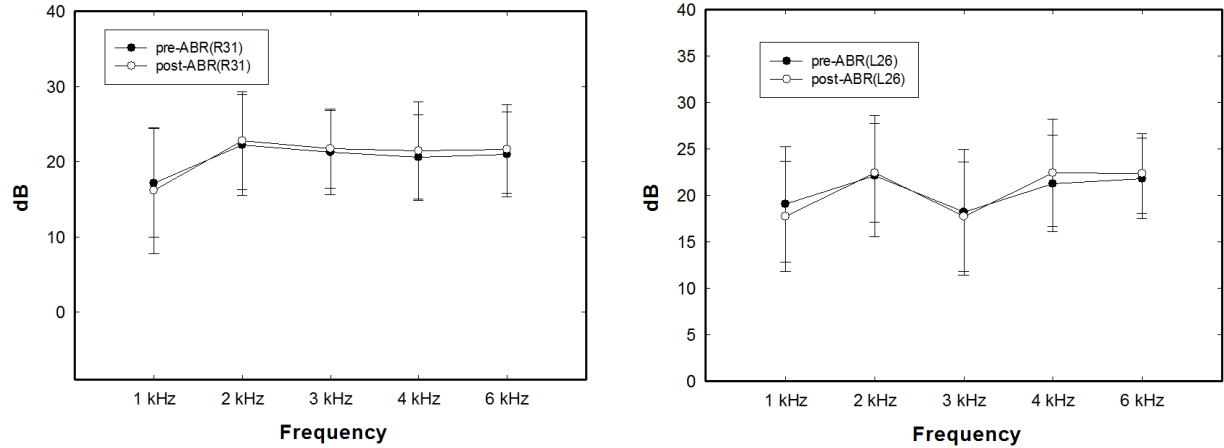


Figure 4. The mean SNRs of DPOAEs obtained at each test frequency by before and immediately after ABR test in ears ($p > .05$).

DISCUSSIONS

임상적으로 이음향방사는 이독성 약물이나 소음으로 인한 내이의 외유모세포변화를 비침습적이면서도 직접적으로 탐지하거나 확인이 가능하고(이재석 외, 2005; Lonsbury-Martin & Martin, 2001), 검사가 어려운 대상자나 난청의 정도, 병변의 위치를 청각학적으로 평가하는 데 객관적 진단 도구로 유용하게 사용하고 있다(Lonsbury-Martin & Martin, 2003). 그리고 최근 연구(노용현 외, 2013)보고에서는 돌발성난청환자(sudden sensorineural hearing loss, SSHL)의 경우 OAE sum값의 측정여부에 따라 돌발

성난청 치료효과의 유용성을 평가하였다.

소음은 와우의 모세포 내 고주파수를 담당하는 기저부에서 저주파수를 담당하는 첨단부로 진행하며 고강도의 소음은 와우의 기저부에 위치한 모세포 손상을 통해 청각경로(pathway)의 기능과 구조변화를 유발시킨다(Saunders et al., 1991). 이들 와우의 상태 변화는 노출강도, 노출시간, 소음의 일시적 패턴 등에 영향을 받을 수 있을 뿐만 아니라 같은 음향에너지의 경우라도 단속음(interrupted sound) 보다는 연속음(continuous sound)에 노출 될 경우 더 심한 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Fredelius & Wersäll, 1992). 실제 이재석 외(2005)연구 보고에 의하면

정상 청력의 20대 남성에서 군복무여부에 따라 순음 청력역치와 변조이음향방사를 비교 분석한 결과 군필자의 경우 모든 주파수에서 순음청력역치가 상승하는 것으로 나타났으며 통계학적 유의한 차이는 단지 주파수 3 kHz에서만 확인 되었다. 그리고 변조이음향방사에서 모든 주파수에서 진폭이 감소하였지만 3, 4 kHz의 주파수에서만 단지 진폭이 의미 있게 감소하는 것으로 나타났다. Emmerich et al.(2000)의 동물실험에서도 고강도 소음(최대 105 dB SPL)에 한 시간 정도 노출시켰을 때 변조이음향방사의 진폭이 의미 있게 감소하는 것으로 확인 되었고 소음노출 후 4개월 이내에 약 70% 정도가 부분 회복 되었지만 약 16% 정도는 회복 되지 않는 것으로 나타났다.

본 연구는 객관적이면서도 간접적으로 청력역치를 평가하고 이신경학적(neurodiagnosis)병변의 진단에 유용하여 임상에서 보통 널리 사용되는(이재석 외, 2010; Musiek et al., 1986) 청성뇌간유발반응검사의 검사자극 음에 노출 되었을 때 청각기관의 생리적 변화에 의미 있는 변화가 있는지 변조이음향방사를 통해 확인 하였다. 실제 Mhatre et al.(2010)의 연구에 의하면 톤버스트음이나 클릭음을 처음 85 dB SPL 강도에서 5 dB 자극강도를 감소시키면서 역치에 도달 할 때까지 대략 25분정도 노출 시킨 결과 6.5 ~ 24 kHz 모든 주파수에서 통계학적으로 유의한 차이가 있는 것으로 확인되었다. 그리고 청성뇌간유발반응검사 한 시간 후에는 거의 대부분의 주파수에서 변조이음향방사의 진폭차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구는 Mhatre et al.(2010)의 연구와 달리 1 ~ 6 kHz 모든 주파수에서 통계학적으로 변조이음향방사의 유의한 진폭차이는 확인 할 수 없었다($p > .05$). 이런 결과의 차이는 청성뇌간유발반응검사의 역치를 찾아가는 과정에서 사용되는 자극강도 단위차이가 소리자극강도의 노출차이 뿐만 아니라 노출시간에 영향을 미친 것으로 보인다. 또한 Mhatre et al.(2010)의 연구와 본 연구에서 확인 하고자 하는 주파수 선정의 차이에 따른 영향으로 보인다.

최근 Trzaskowski et al.(2014)연구를 보면 휴대용카세트(personal player)를 통해 86.6 dB SPL 음

악 소음강도에 30분 동안 노출시킨 후 즉시 시행한 이음향방사 검사에서 검사 전과 후 일과성 이음향방사와 변조이음향방사의 평균 절대 진폭과 상대 진폭 모두에서 본 연구와 마찬가지로 통계학적으로 유의한 차이는 확인 할 수 없었다. 또한 양쪽 귀에서도 본 연구와 같이 통계학적으로 의미 있는 차이는 없는 것으로 나타났다. Trzaskowski et al.(2014)연구를 보면 Mhatre et al.(2010)연구 보다 노출 강도나 노출 시간이 더 컸음에도 불구하고 와우의 미세한 기능변화를 확인 할 수 없었다. 이런 결과의 차이는 소리자극의 스펙트럼이나 개개인의 민감도 차이가 있듯이 사람과 동물의 소음 노출에 따른 민감도 차이에 기인한 것으로 보인다.

본 연구는 청성뇌간유발반응검사 전과 후 즉시 시행된 변조이음향방사의 평균 절대 진폭과 상대 진폭 모두 1 kHz에서는 진폭이 감소되고 2, 3, 4, 6 kHz에서는 진폭이 오히려 더 증가하는 것으로 나타났지만 시행된 모든 주파수에서 통계적으로 의미 있는 진폭 차이는 보이지 않았다($p > .05$). 그러나 청성뇌간유발반응검사 전과 후의 변조이음향방사 절대 진폭과 상대 진폭 모두에서 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다($p < .01$). Trzaskowski et al.(2014)연구에 의하면 음악 소음노출 후 일과성 이음향방사는 모든 주파수에서 평균 절대 진폭은 오히려 증가하였고 평균 상대 진폭은 감소하였다. 그럼에도 불구하고 본 연구와 마찬가지로 통계학적으로 유의한 차이는 확인 할 수 없었으며 일과성 이음향방사의 절대 진폭과 상대 진폭 모두 수많은 귀에서 음악 소음노출 후 더 크게 나타나기도 하였다. 그리고 변조이음향방사에서는 몇몇 주파수에서만 음악소음노출 후 약간의 감소를 보였지만 본 연구와 마찬가지로 통계학적 유의미한 차이는 없는 것으로 확인 되었다. 또 다른 연구(Emmerich et al., 2000)결과에 의하면 소음노출 후 고주파수에서 변조이음향사의 진폭이 일시적으로 더 크게 나타나는 양상을 보이기도 하였지만 전체적으로는 통계학적으로 의미 있게 감소하는 것으로 나타났다. Keppler et al.(2010)연구에 의하면 일과성 이음향방사의 검사 재검사에서 탐침(probe) 재피팅(refitting)과

재피팅(refitting)없이 검사했을 때 신뢰도(reliability)는 탐침 재피팅 측정에서 감소하는 것으로 나타났다. 게다가 측정사이 시간 간격이 클수록 신뢰도는 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 변조이음향방사의 절대 진폭과 상대 진폭 모두 재검사 후 진폭이 더 큰 것은 탐침 재피팅이나 피검자의 영향으로 보인다.

Mhatre et al.(2010)는 청성뇌간유발반응검사를 먼저 시행하기 전에 이음향방사를 먼저 시행하는 것이 바람직하며, 만약 청성뇌간유발반응검사를 먼저 시행 하였다면 최소 2시간의 간격을 두고 이음향방사를 시행하도록 연구에서는 권하고 있다. 그러나 본 연구의 결과는 동물실험결과와 달리 청성뇌간유발반응검사의 소리자극음이 청각기능의 미세한 변화에 영향을 미치지 않는 것으로 확인 되었다. 이런 결과는 본 연구의 청성뇌간유발전위검사에 사용된 소리자극음에 대한 노출강도와 노출시간으로는 통계학적으로 의미 있는 결과를 도출하기에는 충분하지 않았다고 보여 진다. 따라서 청각기능의 미세한 상태변화 확인을 위해서 지속적으로 90 dB nHL의 자극강도를 사용하는 다른 청성유발전위검사에 대해 추가적 연구가 필요할 것으로 보인다.

중심단어: 변조이음향방사, 청성뇌간유발반응, 청력역치변화

REFERENCES

- 노용현, 최관, 박찬우, 권재환, & 이환호. (2013). 돌발성 난청 환자에서 Otoacoustic Emission Sum의 임상적 유용성. *대한이비인후과학회지*, 56, 212-216.
- 오상용 & 이원철. (2003). 변조이음향방사 검사를 이용한 경도 소음성난청의 청력손실 예측. *대한직업환경의학회지*, 15(3), 290-298.
- 이재석, 김범규, 김용복, 박일석, & 오상용. (2005). 군복무여부에 따른 청력역치와 변조이음향방사의 비교. *대한청각학회지*, 9(1), 56-63.
- 이재석, 김범규, 박일석, 김용복, 장태원, & 오상용. (2010). 소음성난청에서 순음청력역치와 클릭청성뇌간반응역치의 비교. *대한청각학회지*, 14, 110-114.
- Attias, J., Bresloff, I., Reshef, I., Horowitz, G., & Furman, V. (1998). Evaluating noise induced hearing loss with distortion product otoacoustic emissions. *British Journal of Audiology*, 32(1), 39-46.
- Emmerich, E., Richter, F., Reinhold, U., Linss, V., & Linss, W. (2000). Effect of industrial noise exposure on distortion product otoacoustic emissions (DPOAEs) and hair cell loss of cochlea-long term experiments in awake guinea pigs. *Hearing Research*, 148(1-2), 9-17.
- Fredelius, L. & Wersäll, J. (1992). Hair cell damage after continuous and interrupted pure tone overstimulation: A scanning electron microscopic study in the guinea pig. *Hearing Research*, 62(2), 194-198.
- Keppeler, H., Dhooge, I., Maes, L., Dhaenens, W., Bokckstael, A., Philips, B., et al. (2010). Transient-evoked and distortion product otoacoustic emissions: A short-term test-retest reliability study. *International Journal of Audiology*, 49(2), 99-109.
- Lonsbury-Martin, B. L. & Martin, G. K. (2001). Evoked otoacoustic emissions as objective screeners for ototoxicity. *Seminars in Hearing*, 22, 377-392.
- Lonsbury-Martin, B. L. & Martin, G. K. (2003). Otoacoustic emissions. *Current Opinion in Otolaryngology and Head and Neck Surgery*, 11, 361-366.
- Mhatre, A. N., Tajudeen, B., Welt, E. M., Wartmann, C., Long, G. R., & Lalwani, A. K. (2010). Temporary reduction of distortion product otoacoustic emissions (DPOAE) immediately following auditory brainstem response (ABR). *Hearing Research*, 269(1-2), 180-185.
- Musiek, F. E., Josey, F., & Glasscock III, M. E. (1986). Auditory brainstem response-interwave measurements in acoustic neuromas. *Ear and Hearing*, 7(2), 100-105.

- Saunders, J. C., Cohen, Y. E., & Szymko, Y. M. (1991). The structural and functional consequences of acoustic injury in the cochlea and peripheral auditory system: A five year update. *Journal of Acoustical Society America*, *90*(1), 136-146.
- Shaddock, L. C., Hamernik, R. P., & Axelsson, A. (1985). Effect of high intensity impulse noise on the vascular system of the chinchilla cochlea. *Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*, *94*(1 Pt 1), 87-92.
- Trzaskowski, B., Jedrzejczak, W. W., Pilka, E., Cieslicka, M., & Skarzynski, H. (2014). Otoacoustic emissions before and after listening to music on a personal player. *Medical Science Monitor*, *20*, 1426-1431.