

변조이음향방사 억제 측정에 미치는 대측 자극 소음 강도의 영향

The Level Effect of Contralateral Acoustic Stimulation (CAS) on the Distortion Product Otoacoustic Emission (DPOAE) Suppression

¹한림대학교 일반대학원 언어병리청각학과, ²강원대학교 의학전문대학원 이비인후과학교실,
³한림대학교 자연과학대학 언어청각학부, 청각언어연구소
신진배¹ · 김지연¹ · 남의철² · 김진숙³

Jinbae Shin¹, Jiyeon Kim¹, Euicheol Nam² and Jinsook Kim³

¹Department of Speech Pathology and Audiology, Graduate School, Hallym University, Chuncheon
²Department of Otolaryngology, Kangwon National University, School of Medicine, Chuncheon
³Division of Speech Pathology and Audiology, Research Institute of Audiology and Speech Pathology, College of Natural Sciences, Hallym University, Chuncheon, Korea

ABSTRACT

As an objective and non-invasive method to evaluate functional state of medial olivo cochlear (MOC) system, there has been growing interest in contralateral suppression of distortion product otoacoustic emission (DPOAE). Also, MOC system can be quantified by measuring the difference DPOAE amplitude recorded in the presence of contralateral acoustic stimulation (CAS). The purpose of this study is to identify the optimal CAS level for measuring the DPOAE contralateral suppression. In order to do that, the effect of gender, direction of ear, and the CAS level of the DPOAE suppression for normal hearing adults were tested. Data were collected from the thirty six ears of the eighteen subjects with normal hearing in the both ears ranged from 21 to 26 years of age. DPOAE was tested by ILO 292 analyzer in DP-gram function. For each measurement, primary tones frequencies were ratio $f2/f1 = 1.22(f1 < f2)$ and intensities were $L1 = 65$ dB SPL, $L2 = 50$ dB SPL. $2f1-f2$ DPOAE was elicited using two pure tones and frequencies were measured in the range of 1,000 Hz to 6,727 Hz. Broad band noise was used for CAS of DPOAE. CAS was delivered through a TDH 39 headphone that was placed in the participant's contralateral ear. CAS level was randomly presented at 50, 60, 65, 70, and 80 dB SPL. The results showed that, first, there was no significant effect of the direction of ear for DPOAE suppression ($p > .05$). The results showed that the DPOAE suppression was not significantly different between male and female ($p > .05$). However, the means and SDs of DPOAE suppression for 5 different CAS levels, 50, 60, 65, 70, and 80 dB SPL, were $.66(\pm 1.20)$, $1.02(\pm 1.23)$, $1.47(\pm 1.73)$, $1.58(\pm 1.70)$, and $1.21(\pm 1.46)$ dB. As the CAS levels increased, the majority of DPOAE suppression increased generally until 70 dB SPL. Taken together, the results of this study showed that CAS at different levels induced mainly DPOAE amplitude suppression. The amount of suppression increased as the CAS level was increased with the rolling phenomenon at 80 dB SPL than 70 dB SPL in CAS level. Consequently, the 70 dB SPL or more level appears to generate the acoustic reflex in normal ears, and the 70 dB SPL or less CAS level is expected to be efficient for observing decent DPOAE suppression.

Key words: Acoustic reflex, Contralateral acoustic emission (CAS), Distortion product otoacoustic emission (DPOAE) suppression

논문접수일: 2015년 6월 10일

논문수정일: 2015년 7월 1일

게재확정일: 2015년 7월 19일

교신저자: 김진숙, 강원도 춘천시 한림대학길 1 한림대학교
자연과학대학 언어청각학부

Tel: (033) 248-2213, Fax: (033) 256-3420

E-mail: jskim@hallym.ac.kr

INTRODUCTION

상올리브복합체(superior olivary complex, SOC)는 뇌간의 아래쪽에 위치하고 있는 청신경핵의 집합체로 소리자극에 대해 신경전달의 교차작용이 처음으

로 통합되는 곳으로서 외측올리브와우섬유다발(lateral olivocochlear bundle, LOB)과 내측올리브와우섬유다발(medial olivocochlear bundle, MOB)로 구성되어 있다. LOB와 MOB는 전올리브핵(pre-olivary nuclei)에서 방사되는 신경섬유의 원심성 경로로서, LOB의 가지돌기(dendrites) 부분은 청신경섬유와 연결되어 있으며 MOB는 와우의 외유모세포와 연결되어 그 역할을 수행한다(Warr & Guinan, 1979). 특히 MOB의 기능은 하부 전정 신경에 의해 와우의 외유모 세포 신경을 분산시켜 음향반사를 일으키는 최종 역할을 수행한다(Guinan, 2006). 이러한 MOB의 기능을 평가하기 위한 검사 중 하나인 이음향방사(otoacoustic emission, OAE) 검사는 외부의 음자극을 통해 와우의 기능을 평가하는 연구(Kemp, 1978)로 처음 소개된 이후, 비침습성, 객관성, 신속성 등 검사의 용이함으로 인해 활발한 연구가 이루어지고 있다(Abdala et al., 1999; Moulinet et al., 1993; Williams et al., 1994). 또한 OAE는 임상에서 유소아의 선별 청력검사, 미로성 난청의 진단, 위난청 감별 등 다양하게 이용된다. OAE 검사의 종류는 여러 가지가 있는데 대표적으로 일과성이음향방사와 변조이음향방사가 임상에서 널리 사용되어지고 있다. 특히 변조이음향방사는 와우의 기능적인 변화를 분석하는데 많이 사용되어지고 있다. 그 이유로는 첫째, 서로 다른 주파수를 가진 2개의 순음을 사용하여 측정함으로써 와우 내 특정한 부분의 반응을 확인할 수 있다는 점을 들 수 있으며, 두 번째는 다른 OAE보다 민감도(sensitivity)가 좋아 55 dB HL 이하의 청력 역치를 가지고 있는 사람에게서도 와우의 기능을 측정할 수 있다(장현경 외, 2006).

OAE 측정 시 검사귀의 반대쪽 귀, 다시 말해 대측 귀에 소음을 제시하면 검사하는 귀의 이음향방사의 진폭이 감소되는 현상을 확인할 수 있는데 이를 이음향방사 억제라고 하며, 이러한 현상은 대측 소음에 의해 생성된 신호가 기저부를 지나 검사 측 방향의 올리브와우섬유다발(olivocochlear bundle)의 원심성 섬유에 의해 외유모세포를 억제하기 때문에 일어난다. 올리브각을 절단한 경우에는 OAE의 억제 현

상이 일어나지 않았다는 Liberman(1989)의 연구는 이러한 기능에 대해 해부학적으로 증명을 해준다. 이와 같이 대측 귀에 소음을 제시하여 OAE의 억제를 측정함으로써 동측과 대측 와우내 신경경로의 이상 유무를 확인 할 수 있다. 또한 소뇌교각부종양(cerebellopontine angle tumor), 다발성 경화증(multiple sclerosis), 중증 근무력증(myasthenia gravis) 등 특정 질병에 대한 진단을 위해서도 OAE의 억제 검사가 시행되고 있다(Murdin & Davies, 2008).

많은 연구자들은 결과에 영향을 미칠 수 있는 다양한 변수를 고려하여 OAE의 억제를 측정하는 연구를 하고 있다. 동물을 대상으로 하는 실험(James et al., 2005; Wolter et al., 2014), 대측 자극 소음의 종류에 따른 실험(Lisowska et al., 2002), 연령과 성별을 비교하는 실험(김지연 외, 2012; Durante & Carvalho, 2002), 이음향방사의 종류에 따른 실험(Berlin et al., 1993; Collet et al., 1990; Puel & Rebillard, 1990) 등 국내외에서 활발한 연구가 이루어지고 있다. 선행 연구 결과, 인간보다 동물을 비교한 연구에서는 동물이 더 빠른 시간 내에 억제반응이 일어났다는 연구결과(James et al., 2005)가 있었으며 인간을 대상으로 한 실험(장문영 외, 2008; Zhang et al., 2007)에서는 변조이음향방사 검사에서 억제 측정이 잘 이루어 졌고 대측 자극 소음의 종류는 협대역소음 보다는 광대역 소음을 제시 한 경우 억제의 효과가 좋았다고 발표되었다(Lisowska et al., 2002). 또한 성별에 따른 억제의 차이는 없었으며, 연령이 증가할수록 억제의 정도가 낮아진다. 또한 외부로부터 소리가 전달되었을 때 등골근 수축 등과 같은 인간의 해부생리학적인 기능으로 인해 이음향방사의 억제에 영향을 미친다는 보고도 있다(Wolter et al., 2014). 이와 같이 대측 자극 소음을 이용한 OAE의 억제를 측정하는 것은 임상적으로 매우 유용할 수 있으나 결과에 영향을 미칠 수 있는 변수들이 다양하게 존재한다.

따라서 본 연구에서는 연구결과에 영향을 미칠 수 있는 여러 변인들을 통제하여 정상 20대 성인의 대측 자극 소음의 강도에 따른 변조이음향방사 억제의

정도를 알아보려고 한다. 이는 연구영역 뿐만 아니라 임상에서 자극 소음 강도의 정도가 결과에 어떠한 영향을 미치는지 확인하여 변조이음향방사 억제 측정시에 사용할 수 있는 적절한 대측 자극 강도의 소음 수준을 제시하고자 한다.

MATERIALS AND METHODS

1. 연구 대상

본 연구에 참여한 대상자는 총 18명으로(남자: 9명, 여자: 9명) 총 36귀를 측정하였다. 평균 연령은 23.7세(21 ~ 26)로 과거에 이과적 병력이 없었으며 이경 검사결과 정상이었으며 순음청력검사는 250 Hz에서 8,000 Hz까지의 범위에서 15 dB HL 이하의 역치를 나타냈으며, 고막운동성검사는 양귀 모두 “A”형을 보였고, 등골근반사검사 결과 또한 정상범위(70 ~ 100 dB)에서 나타났다.

2. 검사 도구

변조이음향방사의 측정은 ILO 292 OTO Acoustic Emission (Otodynamics사, UK)을 사용하였다. 순음청력검사는 GSI 61 audiometer (Grason Stadler사, USA)를 이용하여 측정하였으며, 고막운동성검사와 등골근반사검사는 Madsen Zodiac 901 Immittance (GN Otometrics사, Denmark)장비를 사용하였다.

3. 연구 절차

모든 검사는 방음실에서 진행하였으며 연구에 참여한 모든 피검자를 대상으로 이경검사, 순음청력검사, 고막운동성검사, 등골근반사검사를 실시하여 검사 결과가 정상범위에 있는 것을 확인하였다. 변조이음향방사의 측정은 8 pts/octave DP-gram을 측정하였으며 피검자는 각성상태를 유지하며 편안한 자세로 검사에 임할 수 있도록 착석시키고 검사 중에는 움직이지 않도록 사전 교육을 진행하였다. 검사 프로

브(probe)를 피검자의 외이도에 삽입하여 검사를 실시할 때 마다 외이도의 주파수 안정성을 확인하기 위해 “check fit”를 실시하였고, 프로브는 각 주파수를 검사할 때 마다 계속 착용할 수 있도록 하였다. 변조이음향방사의 측정은 두 개의 다른 주파수(f_1 , f_2) 특성을 가진 순음이 외이도를 통해 자극이 되어졌을 때의 반응을 측정하는 것을 기본으로 하는데 여러 선행연구들을 통해 밝혀진 결과 2개의 주파수 비율(f_1/f_2)은 1.21 ~ 1.22, 검사의 수학적 주파수 계산식은 $2f_1 - f_2$ 주파수에서 가장 강한 반응을 보이는 것으로 알려져 있으며(Brown & Kemp, 1984; Martin et al., 1990), 검사음의 강도(L1, L2)는 L1이 L2보다 0에서 15 dB 정도 강할 때 변조이음향방사의 측정치가 가장 잘 기록된다고 보고되어 진다(Gaskill & Brown, 1990; Harris et al., 1989; Musiek et al., 1994). 따라서 본 연구에서의 주파수 비율은 1.22 (f_1/f_2 , $f_1 < f_2$)로 하였고 자극강도는 L1은 65 dB SPL, L2는 50 dB SPL로 설정하여 측정하였다. 변조이음향방사는 대측에 소음을 제시하기 전/후 27개의 주파수($f_2 = 841, 917, 1,000, 1,091, 1,189, 1,297, 1,414, 1,542, 1,682, 1,834, 2,000, 2,181, 2,378, 2,594, 2,828, 3,084, 3,364, 3,668, 4,000, 4,362, 4,757, 5,187, 5,657, 6,169, 6,727, 7,336, 8,000$ Hz)를 측정하였는데, 그 결과 4개의 주파수 영역($f_2 = 841, 917, 7,336, 8,000$ Hz)에서는 대부분의 피검자들에게서 반응이 나타나지 않아 검사 결과의 확인은 1,000 ~ 6,727 Hz 영역인 23개의 주파수의 결과치를 가지고 분석하였다.

대측 귀에 제시하는 소음의 종류는 광대역 소음의 한 종류인 백색잡음을 사용하였는데 그 이유는 협대역 소음보다 광대역 소음을 제시하였을 때 변조이음향방사의 억제가 더 유의하게 나타났다는 과거의 연구결과에 근거를 두었다(Chang et al., 2013; Lisowska et al., 2002). 소음은 Madsen Itera (GN Otometrics사, Denmark)장비를 이용하여 TDH39 헤드폰을 통해 전달하였으며, 자극 강도는 40, 50, 60, 65, 70, 80 dB SPL를 각각 사용하여 자극소음의 강도에 따라 변조이음향방사의 측정 수치를 확인하였다.

4. 자료분석

본 연구의 통계처리는 SPSS version 18.0을 사용하였으며, 자료처리를 위하여 반복측정 분산분석(repeated measures ANOVA)와 대응표본 *t*-검증(paired *t*-test)을 시행하였다.

RESULTS

본 연구에서는 정상청력을 가진 남녀 성인 20대의 36귀에서 대측 귀에 소음을 제시하여 변조이음향방사의 억제 정도가 얼마나 일어나는지에 대해 확인하였다. 첫째, 피검자의 성별에 따른 변조이음향방사 억제 수치는 남성에서는 .98(±1.09)이고, 여성은 1.39(±1.09)였다. 둘째, 검사 귀의 방향에 따른 변조이음향방사 억제 수치는 오른쪽 귀는 1.30(±1.09), 왼쪽 귀는 1.07(±1.09)이었다. 마지막으로 자극 소음 강도, 50, 60, 65, 70, 80 dB SPL에 따른 변조이음향방사 억제를 측정된 결과 각각 .66(±1.20), 1.02(±1.23), 1.47(±1.73), 1.58(±1.70), 1.21(±1.46)이었다. 자극 소음의 강도가 높아질수록 변조이음향방사의 억제 수

치는 증가하다가 자극 소음의 강도가 70 dB SPL이 넘어간 후부터는 오히려 억제 수치가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 변조이음향방사 억제가 가장 많이 일어나는 대측자극소음 강도를 확인하기 위해 60 dB SPL 과 70 dB SPL 강도 사이인 65 dB SPL에서 검사를 한 번 더 시행하였다.

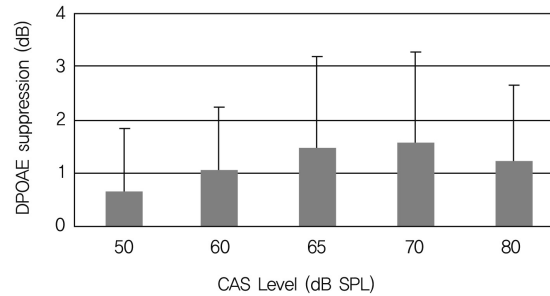


Figure 1. 대측 소음강도(Contralateral acoustic stimulation, CAS)에 따른 변조이음향방사의 억제(DPOAE suppression) 정도

Table 1은 변수에 따른 변조이음향방사 억제의 유의미함을 통계적으로 분석한 결과이다. 피검자의 성별, 검사귀의 방향에 따른 분석 결과 유의미한 차이가 없었다($p > .05$). 하지만 대측 자극 소음의 강도에 따른 변조이음향방사의 억제 수치는 유의미한 차이를 볼 수 있었다($p < .05$).

Table 1. 대상자의 성별, 검사귀의 방향, 대측 소음강도수준(CAS Level)에 따른 변조이음향방사 억제의 영향 분석

	Variables	df	Error	F-value	<i>p</i> -value
주효과	Gender	1	33	1,195	.283
	Direction of ear	1	33	.37	.547
	CAS Level	3,200	99,207	3,805	.011*
상호작용	CAS Level x Gender	3,200	99,207	1,199	.315
	CAS Level x Direction of ear	3,200	99,207	1,365	.257
	CAS Level x Gender x Direction of ear	3,200	99,207	3,497	.016*

* $p < .05$

변수 간 상호작용 또한 확인하였는데, 검사 귀의 방향과 대측 자극 소음의 강도 수준 그리고 피검자의 성별과 대측 자극 소음의 강도 수준 간의 상호작용 유의하게 나타나지 않았다. 반면, 3개의 변수 간(검사 귀의 방향, 피검자의 성별, 대측 자극 소음의 강

도 수준)의 상호작용은 유의하게 나타났다($p < .05$).

대측 자극 소음의 강도에 따른 변조이음향방사 측정 주파수(f_2)별 억제 수치를 분석한 결과를 Figure 3에서 제시하였다. 억제가 가장 많이 일어난 주파수 대역은 3,084 Hz에서 2.00(±3.08) dB의 억제가 일

어났고, 가장 적게 억제가 일어난 부분은 5,657 Hz에서 $.85(\pm 1.88)$ dB이었다. 하지만 주파수 대역과 자극 소음의 강도에 따른 상호관계는 유의미한 차이가 없었다 [$F(14, 94, 463.08) = .653, p > .05$]. 따라서 대측

자극 소음의 강도와 변조이음향방사 측정 주파수간에는 독립적인 의의를 가지고 있지 않다고 분석할 수 있다.

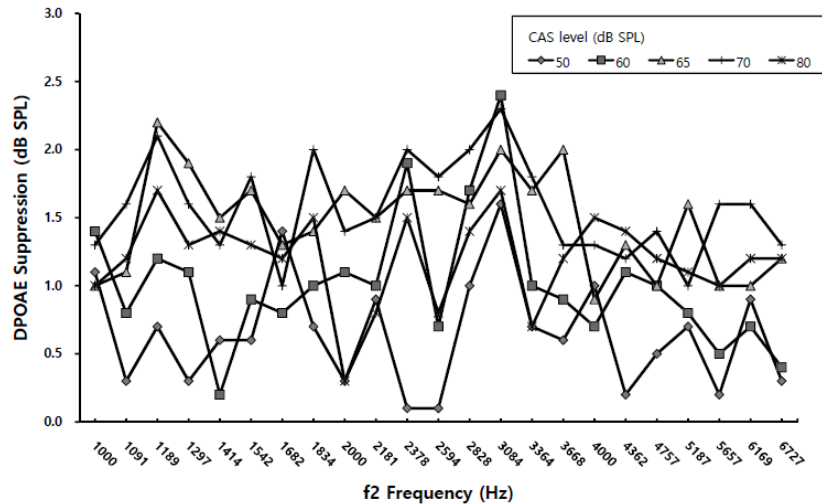


Figure 2. 대측 자극소음 강도에 따른 변조이음향방사 억제의 주파수별 진폭

DISCUSSIONS

변조이음향방사의 대측 억제를 측정하는 데 있어서 검사결과에 영향을 미칠 수 있는 여러 요인들이 존재한다. 본 연구에서는 대측에 제시하는 소음의 강도가 검사결과에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지 확인하였고 임상에서 변조이음향방사의 억제를 측정할 때 가장 적절한 강도의 소음수준을 제시하는 것이 주된 목적이었으며 검사 대상자의 성별, 검사 귀의 방향에 따라서 변조이음향방사 억제에 영향을 미치는지에 대해서도 확인해 보았다.

먼저 검사귀의 방향에 따른 검사결과 본 연구에서는 오른쪽과 왼쪽의 유의미한 차이는 보이지 않았다. 그러나 몇몇 선행연구에서는 귀의 방향에 따라 변조이음향방사 억제 측정 수치가 차이가 있다는 것을 언급하고 있다. 그 이유로는 첫 번째, 사용한 자극 소음의 종류에 따라 검사 귀의 방향에 따른 유의미한 차이가 있었다는 보고가 있다. 선행연구(장문영 외,

2008; Atcherson et al., 2008)에 의하면 대측 자극음으로 협대역소음을 사용하여 측정을 한 결과, 오른쪽과 왼쪽의 비대칭적인 결과를 볼 수 있었다. 하지만 본 연구에서는 광대역소음을 사용하여 검사를 진행하였으며 검사귀에 따른 차이는 보이지 않았다. 이러한 결과가 나온 배경으로는 광대역소음이 협대역소음에 비해 넓은 주파수영역을 가지고 있기 때문에 주파수 특성에 따른 검사결과와의 차이가 없었을 거라 예상된다. 두 번째는 검사대상자들이 주로 사용하는 손의 방향에 따라 측정치의 차이가 있을 수 있다고 언급하고 있는데 예를 들어 오른손잡이는 오른쪽 내측 올리브와우(MOC)에서 더 활발한 활동이 이루어지기 때문이라고 언급하고 있지만 왼손잡이의 경우 양귀의 차이가 없었다는 결과를 나타내고 있다(Khalfa et al., 1998; Philibert et al., 1998). 따라서 검사귀의 위치간의 연구는 좀 더 세부적인 변수들을 확인하여 연구가 지속적으로 이루어져야 한다.

검사 대상자의 성별 간 변조이음향방사의 억제 수

준은 통계적으로 유의미한 차이는 보이지는 않았지만 수치적으로는 남자에 비해서 여성 대상자가 좀 더 많은 억제를 보였다. 김지연 외(2012)의 연구에서도 본 실험과 동일한 결과를 보여주었으며 연령대 별 남녀 간의 차이도 확인하였지만 통계적 유의미성은 확인하지 못하였다고 언급하고 있다. 따라서 변조이음향방사의 억제를 확인하기 위해 고려되어질 변수가 아니라는 것을 확인할 수 있다.

대측 자극 소음의 강도에 따른 이음향방사 억제에 미치는 영향을 알아본 본 연구에서는 소음의 강도가 일정부분 증가 할수록 억제의 수치가 증가 하는 현상이 나타났다. 이러한 결과는 Guinan(2006)과 Lisowska et al.(2002)의 연구결과와 일치하며 대측 귀에 자극 되는 소리의 강도가 증가할수록 MOC가 더욱 활성화되어 외유모세포의 기능이 억제되면서 변조이음향방사의 측정 수치가 감소된다는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 현상은 인간이 아닌 동물을 대상으로 실시한 연구에서도 확인할 수 있었다(Harrison et al., 2008). 하지만 자극 소음의 강도가 70 dB SPL 이상 일 때는 오히려 변조이음향방사의 억제 수치가 낮아지는 “roll-over” 현상을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과가 나온 배경으로는 중이의 해부생리적인 기능을 예상해 볼 수 있다. 인간의 귀는 70 dB SPL 이상의 외부 큰소리로부터 귀를 보호하기 위해 등골근을 수축시켜 이를 보호하는 데, 검사에 사용되었던 70 dB SPL이상의 소음을 제시할 때는 소리가 뇌를 거쳐 검사귀의 외유모세포에 영향을 주기 전에 소음으로부터 자극을 받은 귀에 등골근반사의 기능을 했을 거라고 예상한다. 이와 관련된 현상은 선행논문들에서도 발견되는데, Deeter et al.(2009)와 Goodman & Keef(2006)은 대측 귀에 소음을 자극하여 이음향방사를 측정할 시에는 피검자의 등골근반사 역치에 대해 고려해야 하며 특히 고주파수영역으로 갈수록 영향을 많이 끼친다고 보고하고 있다. 또한 Wolter et al.(2014)는 대측에 자극을 제시하는 소음의 종류를 협대역소음을 사용하여 실험한 결과 MOB의 반응은 특정 주파수에서 반응을 하였으며 등골근반사는 저주파수 영역에서만 확인이 수축이 일어났다는 것을 발표

하였다. 하지만 연구의 대상자가 인간이 아닌 포유류이었으며, MOB가 반응하는 특정주파수가 개인차가 있다는 것을 예상해 볼 수 있어 향후 발전된 연구가 필요하다고 본다.

이와 같이 변조이음향방사의 억제를 측정할 때 외부적인 변수로 인해 정확한 검사 결과를 도출할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 적절한 대측 자극 소음의 강도를 확인하기 위한 실험을 진행하였는데, 변조이음향방사의 억제 확인 시 측정 주파수에 따른 대측 자극 소음 강도와 상관은 확인되지 않았기 때문에 검사 주파수의 영역에 상관없이, 변조이음향방사의 억제를 가장 잘 확인할 수 있는 대측 자극 소음 강도는 백색잡음을 기준으로 할 때 70 dB SPL 이하로 제안한다. 이러한 결과는 Abel et al.(2009)과 Zhang et al.(2007) 연구 또한 70 dB SPL 까지 측정하여 70 dB SPL의 제시 소음에서 가장 많은 억제가 일어났다는 연구결과를 보여준다. 본 연구에서는 70 dB SPL 이상까지의 소음강도를 제시하여 변조이음향방사 억제 수치를 확인하여 적정 수치를 좀 더 명확히 하였다. 또한 만일 70 dB SPL 이상의 소음을 사용하여야할 경우라면 등골근반사 검사를 함께 사용하여 “roll-over” 현상이 나타날 수 있는 변수를 줄여야 한다.

원심성기능을 평가하고 와우의 미세 움직임을 관찰하여 원심성신경계의 기능을 확인하는 데 용이하다고 알려진 변조이음향방사의 억제를 측정하는 데에 있어서는 피검자의 상태, 이음향방사의 종류, 자극 소음의 종류, 자극 소음의 강도 등 여러 변수가 존재한다. Kumar et al.(2013)은 임상에서 유용하게 사용하기 위한 이음향방사의 억제 측정은 대상자의 검사-재검사를 통해 많은 데이터를 확보하고 검사에 영향을 끼칠 수 있는 요인들에 있어 객관적인 표준 수치가 있어야 한다고 언급하였다.

현재 국내외의 임상 현장에서는 이음향방사의 억제를 측정함으로써 원심성 기능을 평가하는 목적 외에 전정기능의 이상 유무 평가, 특정 질병의 진단, 청각경로 이상 유무 검사 등에 사용될 수 있도록 다양한 실험이 이루어지고 있다(Kalluri & Abdala,

2015; Knudson et al., 2014; Sturm & Weisz, 2015). 따라서 이음향방사 억제에 영향을 줄 수 있는 여러 변인들을 확인하고 통제하여 규격화할 수 있는 연구가 더 진행될 필요성이 있다.

중심단어: 대측자극소음, 등골근반사, 변조이음향방사억제

REFERENCES

- 김지연, 심현용, 김진숙, & 남의철. (2012). 주파수 미세구조(frequency fine structure)에서 대측 억제의 변조이음향방사 측정. *청능재활*, 8(2), 165-176.
- 장문영, 홍성광, 박민우, & 구자원. (2008). 정상인에 서 3 kHz Narrow Band Noise 자극에 의한 반대측 변조이음향방사의 억제. *대한청각학회*, 12, 170-173.
- 장현경, 구성민, 김성은, & 임덕환. (2006). 정상성인에서 대역교차소음이 DPOAE Suppression 기능에 미치는 영향. *청능재활*, 2(2), 147-154.
- Abdala, C., Ma, E., & Sininger, Y. S. (1999). Maturation of medial efferent system function in humans. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 105, 2392-2402.
- Abel, C., Wittekindt, A., & Kössl, M. (2009). Contralateral acoustic stimulation modulates low-frequency biasing of DPOAE: Efferent influence on cochlear amplifier operating state? *Journal of Neurophysiology*, 101(5), 2362-2371.
- Atcherson, S. R., Martin, M. J., & Lintvedt, R. (2008). Contralateral noise has possible asymmetric frequency-sensitive effect on the 2f1-f2 otoacoustic emission in humans. *Neuroscience Letters*, 438(1), 107-110.
- Berlin, C. I., Hood, L. J., Wen, H., Szabo, P., Cecola, R. P., Rigby, P. et al. (1993). Contralateral suppression of non-linear click-evoked otoacoustic emissions. *Hearing Research*, 71(1), 1-11.
- Brown, A. M. & Kemp, D. T. (1984). Suppressibility of the 2f1-f2 stimulated acoustic emissions in gerbil and man. *Hearing Research*, 13(1), 29-37.
- Chang, M. Y., Song, J. J., Kim, J. S., & Koo, J. W. (2013). Contralateral suppression of distortion-product otoacoustic emissions: A potential diagnostic tool to evaluate the vestibular nerve. *Medical Hypotheses*, 81(5), 830-833.
- Collet, L., Kemp, D. T., Veillet, E., Duclaux, R., Moulin, A., & Morgon, A. (1990). Effect of contralateral auditory stimuli on active cochlear micro-mechanical properties in human subjects. *Hearing Research*, 43(2), 251-261.
- Deeter, R., Abel, R., Calandrucchio, L., & Dhar, S. (2009). Contralateral acoustic stimulation alters the magnitude and phase of distortion product otoacoustic emissions. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 126(5), 2413-2424.
- Durante, A. S. & Carvalho, R. M. M. (2002). Contralateral suppression of otoacoustic emissions in neonates. *International Journal of Audiology*, 41(4), 211-215.
- Goodman, S. S. & Keefe, D. H. (2006). Simultaneous measurement of noise-activated middle-ear muscle reflex and stimulus frequency otoacoustic emissions. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 7(2), 125-139.
- Gaskill, S. A. & Brown, A. M. (1990). The behavior of the acoustic distortion product, 2f1-f2, from the human ear and its relation to auditory sensitivity. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 88(2), 821-839.
- Guinan, Jr. J. J. (2006). Olivocochlear efferents: Anatomy, physiology, function, and the measurement of efferent effects in humans. *Ear and Hearing*, 27(6), 589-607.
- Harris, F. P., Lonsbury-Martin, B. L., Stagner, B. B., Coats, A. C., & Martin, G. K. (1989). Acoustic distortion products in humans: Systematic changes in amplitude as a function of f2/f1 ratio. *The Journal*

- of the *Acoustical Society of America*, 85(1), 220-229.
- Harrison, R., Sharma, A., Brown, T., Jiwani, S., & James, A. L. (2008). Amplitude modulation of DPOAEs by acoustic stimulation of the contralateral ear. *Acta Oto-Laryngologica*, 128(4), 404-407.
- James, A. L., Harrison, R. V., Pienkowski, M., Dajani, H. R., & Mount, R. J. (2005). Dynamics of real time DPOAE contralateral suppression in chinchillas and humans. *International Journal of Audiology*, 44(2), 118-129.
- Kalluri, R. & Abdala, C. (2015). Stimulus-frequency otoacoustic emissions in human newborns. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137(1), EL78-EL84.
- Kemp, D. T. (1978). Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 64(5), 1386-1391.
- Khalfa, S., Vuillet, E., & Collet, L. (1998). Influence of handedness on peripheral auditory asymmetry. *European Journal of Neuroscience*, 10(8), 2731-2737.
- Knudson, I. M., Shera, C. A., & Melcher, J. R. (2014). Increased contralateral suppression of otoacoustic emissions indicates a hyperresponsive medial olivocochlear system in humans with tinnitus and hyperacusis. *Journal of Neurophysiology*, 112(12), 3197-3208.
- Kumar, U. A., Methi, R., & Avinash, M. C. (2013). Test/retest repeatability of effect contralateral acoustic stimulation on the magnitudes of distortion product otacoustic emissions. *The Laryngoscope*, 123(2), 463-471.
- Liberman, M. C. (1989). Rapid assessment of sound-evoked olivocochlear feedback: Suppression of compound action potentials by contralateral sound. *Hearing Research*, 38(1), 47-56
- Lisowska, G., Smurzynski, J., Morawski, K., Namyslowski, G., & Probst, R. (2002). Influence of contralateral stimulation by two-tone complexes, narrow-band and broad-band noise signals on the 2f1-f2 distortion product otoacoustic emission levels in humans. *Acta Oto-Laryngologica*, 122(6), 613-619.
- Martin, G. K., Ohlms, L. A., Franklin, D. J., Harris, F. P., & Lonsbury-Martin, B. L. (1990). Distortion product emissions in humans. III. Influence of sensorineural hearing loss. *The Annals of otology, rhinology and laryngology*, 147(Suppl.), 30S-42S.
- Moulinet, A., Collet, L., & Duclaux, R. (1993). Contralateral auditory stimulation alters acoustic distortion products in humans. *Hearing Research*, 65, 193-210.
- Murdin, L. & Davies, R. (2008). Otoacoustic emission suppression testing: A clinician's window onto the auditory efferent pathway. *Audiological Medicine*, 6(4), 238-248.
- Musiek, F. E., Smurzynski, J., & Bornstein, S. P. (1994). Otoacoustic emissions testing in adults: An overview. *Otology and Neurotology*, 15, 21-28.
- Philibert, B., Vuillet, E., & Collet, L. (1998). Functional asymmetries of crossed and uncrossed medial olivocochlear efferent pathways in humans. *Neuroscience Letters*, 253(2), 99-102.
- Puel, J. L. & Rebillard, G. (1990). Effect of contralateral sound stimulation on the distortion product 2F1-F2: Evidence that the medial efferent system is involved. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 87(4), 1630-1635.
- Sturm, J. J. & Weisz, C. J. (2015). Hyperactivity in the medial olivocochlear efferent system is a common feature of tinnitus and hyperacusis in humans. *Journal of Neurophysiology*, jn-00948.
- Warr, W. B. & Guinan, J. J. (1979). Efferent innervation of the organ of Corti: Two separate systems. *Brain Research*, 173(1), 152-155.
- Williams, E. A., Brookes, G. B., & Prasher, D. K. (1994). Effects of olivocochlear bundle section on otoacoustic emissions in humans: Efferent effects in comparison with control subjects. *Acta Oto-Laryngologica*,

114, 121-129.

Wolter, N. E., Harrison, R. V., & James, A. L. (2014). Separating the contributions of olivocochlear and middle ear muscle reflexes in modulation of distortion product otoacoustic emission levels. *Audiology and Neurotology*, 19(1), 41-48.

Zhang, F., Boettcher, F. A., & Sun, X. M. (2007). Contralateral suppression of distortion product otoacoustic emissions: Effect of the primary frequency in DP-gram. *International Journal of Audiology*, 46(4), 187-195.