Effects of 3 Frequencies (226, 678, 1,000 Hz) on Tympanograms of the Children: For the Typical and Special School Children

Chunhyeok Kim¹, Gungu Kim¹, Seungwan Lee¹, Jinsook Kim²

¹Department of Speech Pathology and Audiology, Graduate School, Hallym University, Chuncheon, Korea

²Division of Speech Pathology and Audiology, Research Institute of Audiology and Speech Pathology, College of Natural Sciences, Hallym University, Chuncheon, Korea

아동의 중이 검사 주파수(226, 678, 1,000 Hz) 영향 분석: 일반 및 특수학교대상 아동을 중심으로

김춘혁¹ · 김건구¹ · 이승완¹ · 김진숙²

한림대학교 일반대학원 언어병리청각학과¹, 한림대학교 자연과학대학 언어청각학부 · 청각언어연구소²

Purpose: This study was to determine effects of three stimulus frequencies on tympanometry and to compare with Distortion Product Otoacoustic Emission (DPOAE) for regular and special school-age children. **Methods:** A total number of 182 school-age children, 152 recruited from regular elementary school and 30 from special school, participated. All participants were evaluated by tympanogram and DPOAE. Tympanograms were tested by 226, 678, and 1,000 Hz and analyzed with static compliance (SC) and ear canal volume (EV). **Results:** Depending on three stimulus frequencies, SCs and EVs were 0.49, 1.45, and 1.26 ml and 0.92, 2.98, 4.52 cm³ in regular school-age group and 0.56, 1.58, 1.29 ml and 0.98, 3.0, 4.48 cm³ in special school-age group. There were statistical significant differences among three frequencies but no difference between regular and special school-age groups for both SCs and EVs ($p < 0.05$). The pass and fail rate of DPOAE was 87.2% and 12.8% for regular school-age group and 57.6% and 42.4% for special school-age group, showing a statistical significant difference between groups ($p < 0.05$). Agreement rate between tympanograms and DPOAE results was the highest in 678 Hz. **Conclusion:** While there was no difference in middle ear status between groups, DPOAE results referred that the inner ear status could be poor for the special school-age group. Therefore, more interests of hearing status should be aroused to the special school-age children. Additionally, the 678 Hz seems to be more useful for screening school-age children. Further, more data with pure tone examination be supplemented for the certain conclusion.

Key Words: Stimulus frequencies, Tympanometry, Regular school-age group, Special school-age group.

Received: September 26, 2016 / **Revised:** December 14, 2016 / **Accepted:** January 5, 2017

Correspondence: Jinsook Kim, Division of Speech Pathology and Audiology, College of Natural Sciences, Hallym University, 1 Hallimdaehak-gil, Chuncheon 24252, Korea

Tel: +82-33-248-2213 / **Fax:** +82-33-256-3240 / **E-mail:** jskim@hallym.ac.kr

INTRODUCTION

사람의 청각기관은 크게 말초와 중추 청각기관으로 나눌 수 있으며, 말초청각기관은 외이, 중이, 내이로 구성되어 있다. 중이는 고막, 고실, 이소골, 이내근, 이관 등 다섯 가지의 구조물을 포함하고 있다. 그 중 중이의 시작 부분이며 소리 전달에 중요한 역할을 하는 고막은 외이도와 고실 사이에 존재하는 얇은 막으로 진동을 통해 소리를 고실 내의 이소골로 전달한다(Ko, 2009). 이러한 고막은 중이 상태에 따라 진동이 달라지므로 그

진동현상을 분석하여 중이의 상태를 확인할 수 있는 역할을 한다.

중이염(otitis media)은 세균의 감염 및 이관의 기능장애로 인한 중이의 염증성 질환이 고막의 움직임을 제한하고(Rovers et al., 2004), 특히 생후 6개월에서 4세 사이의 유소아에서 자주 나타난다(Paradise et al., 1997). 국내의 경우 국민건강보험공단의 보도자료에 따르면 중이염으로 진료를 받는 환자의 수는 2006년 212만명에서 2011년 250만명으로 연평균 3.3% 증가하였고, 중이염 환자의 절반 이상이 9세 이하의 아동이었으며

이로 인해 수술을 받는 환자도 전체 환자의 약 3%인 9만여 명으로 조사되었다(National Health Insurance Service, 2015). 해외의 경우 1세까지 62%, 3세까지 83%가 1회 이상, 46%가 3회 이상 중이염에 걸린다고 보고하였으며(Teele et al., 1989), 다운증후군 및 구순/구개열의 장애를 가진 아동들은 이관의 선천적 기형에 따른 중이 문제가 더욱 더 빈번히 발생한다고 보고하고 있다(Diefendorf et al., 1995; Handžić-Čuk et al., 1996). 다운증후군 아동의 경우 일반 아동에 비해 최소 3배 이상 높은 유병률을 보이며(Lewis et al., 2011), 구순/구개열의 경우 생후 1년 이내 90%, 2년 이내 97%의 유소아에게 중이염이 발병한다고 보고하고 있다(Kuo et al., 2014). 따라서 중이염은 아동에게서 가장 빈번하게 발생하는 질환 중 하나이며 특히 장애 군의 아동에게서 더 자주 나타나는 것이 확인되었다. 특히 아동기의 중이염으로 인한 난청은 추후 여러 발달 영역에 주요한 영향을 미친다는 내용도 보고된 바 있는데(Reed, 2005), 이는 학령기에 중이염으로 지체된 언어발달이 정서발달이나 사고 능력 및 개념형성에도 영향을 미치게 되어 아동 발달에 영향이 크다. 더욱이 장애가 있는 경우 학습활동에 어려움이 더 큰 것으로 보고하고 있다(Kwon, 2004; Min, 2004).

객관적으로 중이의 상태를 확인할 수 있는 중이 검사(immittance test)는 고막의 진동현상을 측정하여 중이 상태를 간접적으로 분석하는 고막운동도(tympanometry)검사, 큰 소리에 의해 변화하는 외이도의 부피를 확인하여 등골근의 반사현상을 측정하는 등골근반사역치(acoustic reflex threshold)검사, 충분히 큰소리에 등골근반사의 지속성을 확인하는 반사피로(reflex decay)검사가 있다. 이 중 고막운동도 검사는 저항(impedance) 측정의 원리로부터 개발되었으며(Metz, 1946), 스웨덴의 Anderson et al.(1956)과 덴마크의 Terkildsen & Thomsen (1959)에 의해 도입되었다. 또한 학령기 아동을 대상으로 한 검사방법의 중요성이 Brooks(1968)에 의해 보고된 이래로 간편함과 효율성을 인정받아 학령기 아동의 청각선별검사 중 하나로 오랜 기간 사용되고 있다(Iacovou et al., 2013; Lidén et al., 1974). 고막운동도 검사는 중이에 압력과 소리를 동시에 제시하여 압력의 변화에 따른 고막운동도의 수치를 측정하는 정적 탄성(static compliance, SC), 고막이 움직이지 않는 상태에서 외이도의 부피를 측정하는 외이도 용적(earcanal volume, EV), 고막의 움직임이 최대인 지점에서 외이도 압력이 중이강의 압력을 간접적으로 측정하는 중이강 압력(pressure, P), 고막운동도의 폭(tympanometric width, TW)과 경사도(gradient)까지 확인하게 된다(Kim et al., 2014). 이러한 고막운동도 검사는 일반적으로 226 Hz의 저주파수 자극음을 이용하여 진행하지만 1,000 Hz의 고주파수 자극음을 사용한 고막운동도 검사가 이소골 연쇄 및 중이의 삼출액에 따른 병리학적 문제를 진단하는

데 높은 민감도를 보인다고 여러 연구자들이 제안하고 따라서 1,000 Hz를 이용한 고막운동도 검사의 효율성에 대한 연구들이 많이 보고되었다(Holte, 1996; Margolis et al., 2003; Wet Swanepoel et al., 2007). 일반적으로 중이는 공명주파수보다 낮은 주파수에서 경직성(stiffness)에 의해 진동을 전달하는 반면, 공명주파수보다 높은 주파수에서는 질량(mass)에 의해 단단한 고체처럼 움직여서 진동을 전달한다. 따라서 성인의 중이 공명주파수가 650~1,400 Hz인 점을 고려하였을 때 226 Hz는 경직성에 의해 진동을 전달하는 고막운동도를 반영한 결과를 측정할 수 있는 반면 신생아는 중이 공명주파수가 성인보다 높기 때문에 질량에 의해 진동되므로 226 Hz로는 고막운동도 결과를 정확하게 측정하지 못할 수 있다(Han & Lee, 2012). 따라서 4개월 이전의 신생아는 1,000 Hz로 선별검사를 실시할 것을 제안하고 있다(Alaerts et al., 2007; Calandruccio et al., 2006; Son et al., 2012). 예를 들어, Son et al.(2012)은 신생아 48명의 고막운동도 검사와 일과성 이음향방사(transient evoked otoacoustic emission)검사와 비교하여 1,000 Hz 고막운동도 검사가 신생아에서 226 Hz보다 더 민감하다는 결과를 보고하였다. 더 나아가 특정 주파수가 아닌 모든 주파수대역에서 다각적인 분석을 통해 더 효과적으로 중이의 상태를 평가할 수 있는 Wide Band Reflectance (WBR)방법에 대한 보고도 있어(Hunter, 2008; Vander Werff et al., 2007) 다양한 주파수로 아동 및 유소아의 중이 상태를 민감하게 평가하는 방법에 대한 관심이 높아지고 있으며 최근 선행논문에 의하면 678 Hz와 1,000 Hz 프로브 자극이 영아의 전음성 난청을 추적하는 데 유효하다고 보고하였다(Prieve et al., 2013). 또한 Harris et al. (2012)은 1~10세까지 중이 병변이 의심되는 학령기 아동을 포함한 선행연구에서는 고주파수 프로브 자극을 사용할 시 높은 민감도를 보인다는 결과를 보고하였다.

이음향방사(otoacoustic emission, OAE)는 소리 자극에 대한 내이의 와우 내 외유모세포(outer hair cell, OHC)의 능동적 증폭작용으로 나타나는데 와우에서 생성되어 이소골과 고막을 통해 외이도에서 측정된다. 여러 가지 OAE 중 변조 이음향방사(distortion product otoacoustic emission, DPOAE)가 가장 임상적으로 널리 사용되는데, 일반적으로 청각선별검사에서, 그 결과는 정상을 뜻하는 pass와 비정상 외유모세포의 활동을 의미하는 fail 혹은 refer로 표기한다. 그러나 이러한 결과는 이소골과 고막을 통하여 외이도에서 측정되므로 중이와 외이도의 건강상태와도 매우 상관이 있는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2006). 그러므로 고막운동도 검사와 DPOAE 검사 결과를 비교하면 중이나 내이의 건강상태를 분리하여 해석할 수 있어 아동의 청각선별검사 시 유용한 정보를 제공한다.

본 연구는 일반초등학교 대상 군과 특수학교 대상 군의 중이

상태를 비교하고자 고막운동도 검사와 DPOAE 검사를 실시하였다. 특히 고막운동도 검사의 자극주파수에 따른 효과를 분석하고자 세 주파수, 226, 678, 1,000 Hz로 자극주파수를 변화시켜 SC와 EV의 수치로 검사결과를 세부 분석하였다. DPOAE 검사결과는 pass와 refer로 구분하여 분석하고 이러한 결과를 고막운동도의 주파수에 따른 결과와 비교하여 일반과 특수학교 아동에게 일반적으로 사용되는 226 Hz의 고막운동도 검사에 한계점이 있는지 확인하고 고막운동도 검사에 사용되는 자극 주파수를 678 Hz나 1,000 Hz로 변화시켰을 때 중이의 건강 상태를 더 잘 파악할 수 있는지 확인하고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

연구 대상

본 연구는 한림대학교 생명윤리위원회의 승인을 받고 진행하였다(승인번호: HIRB-2015-037). 피검자의 보호자에게 검사에 대한 설명을 충분히 하고 연구동의서에 서명한 아동을 대상으로 강원도 지역 일반초등학교 대상 군 152명(남 74명, 여 78명)과 특수학교 대상 군 30명(남 19명, 여 11명) 등 총 182명의 참여로 연구를 진행하였다.

일반초등학교 대상 군 152명(304귀)은 1~6학년으로 연령은 8세에서 13세 사이로 평균 연령은 9.3세였으며, 학년별로 참여한 아동 수는 1학년이 23명(46귀), 2학년이 23명(46귀), 3학년이 17명(34귀), 4학년이 20명(40귀), 5학년이 33명(66귀), 6학년이 36명(72귀)이었다. 성장에 따라 중이 상태가 달라지므로 연령에 따른 중이 상태를 분석하기 위해 일반초등학교 대상 군 1, 2, 3학년은 저학년 군으로 4, 5, 6학년은 고학년 군으로 분류하였다. 저학년 군은 총 63명(126귀), 남학생은 30명(60귀), 여학생

은 33명(66귀)으로 평균 연령은 7.1세였다. 고학년 군은 총 89명(178귀), 남학생은 44명(88귀), 여학생은 45명(90귀)으로 평균 연령은 10.6세였다. 대상자 모두 양측 귀를 측정하였다.

특수학교 대상 군 30명(59귀)은 특수학교에 다니는 대상자를 모두 다 포함하여 8세에서 19세 사이로 평균 연령은 13.8세였으며, 장애별로 지적 장애 14명(28귀), 뇌 병변 장애 2명(4귀), 자폐 6명(11귀), 정신지체 6명(12귀), 발달장애 2명(4귀)이었다. 이 그룹의 남학생은 19명(37귀), 여학생은 11명(22귀)이었다. 자폐와 청각장애가 있는 인공와우 착용자 1명의 경우, 중이 검사는 편측만 측정하였고 인공와우 착용자이므로 내이에 이상이 있을 것으로 예상하여 DPOAE 검사결과는 분석에 포함시키지 않았다. 그 외는 모두 양측 귀를 측정하였다. 학교 및 학년별 분석 대상 귀에 대한 성별 분포도는 Figure 1과 같다.

검사 방법

먼저 고막운동도 검사와 DPOAE검사의 결과에 영향을 미칠 수 있는 외이 및 중이의 상태를 확인하기 위해 이경 검사를 실시하였다. 고막운동도 검사는 2014년에 보정한 GSI Tympanstar version 2.0 (Grason-Stadler, Eden Prairie, MN, USA) 장비를 사용하여 세 조건의 주파수, 226, 678, 1,000 Hz에서 SC와 EV를 측정하였다. 중이강 압력 범위는 +200에서 -400 daPa까지 하강형(+/-) 방식으로 측정하였다. 속도는 200 daPa/sec로 설정하였다. DPOAE는 AuDX Bio-logic (Natus Medical Inc., San Carlos, CA, USA)를 이용하여 3,000, 4,000, 5,000 Hz의 상대 진폭(절대진폭-소음 대)의 값을 측정하였다.

분석 방법

양성 기준으로 소음 대 보다 변조 음의 강도가 최소 3~11 dB

Figure 1. The total ears examined according to grades and gender.

(Popelka et al., 1995; Smurzynski, 1994) 차이가 날 경우에는 pass (P)로, 그 외에는 refer (R)로 구분하였다. DPOAE는 적어도 3회 측정된 후 일치된 결과를 보이는 경우 최종 결과로 분석하였다. DPOAE 결과는 청각장애로 밝혀진 특수학교의 1명을 제외하고 분석하였다. 고막운동도 검사는 226 Hz 자극음을 사용하였을 경우에 기존에 사용하는 기본 유형(Kim, 2014)인 Type A, B, C, Ad, As를 적용하여 분석하였고, 678 Hz와 1,000 Hz의 분석은 선행 연구에서 이미 분류된 유형 1, 2, 3, 4(Son et al., 2012)를 기준으로 분석하였는데, 본 연구에서 나타난 대표적 네 가지 유형의 형태는 Figure 2와 같다.

유형 1은 정상 고막운동도를 보여주는 기존의 Type A로 피크가 한 개인 경우이다. 유형 2는 피크가 나타나지 않는 기존의 Type B로 전체적으로 평평하거나 둥근 형태의 모습을 나타낸 경우이다. 유형 3은 두 개의 피크가 정확하게 나타나는 'Double-peak' 형태인 경우이고 유형 4는 세 개 이상의 피크이거나 명확한 확인이 어려운 'Indeterminate' 형태의 경우로 구분하였다.

통계 분석

통계분석은 SPSS version 21.0 (IBM Corp., Armonk, NY,

USA)을 이용하여 분석하였다. DPOAE 결과는 좌측과 우측 귀를 구분하여 일반초등학교 대상 군과 특수학교 대상 군의 차이를 보았고 연령에 따른 변화를 확인하기 위하여 일반초등학교 내 저학년 군, 고학년 군, 특수학교 대상 군 간의 차이를 분석하였다. DPOAE 결과에 따른 통계는 두 그룹 간 차이를 보기 위한 독립표본 *t* 검정을 시행하였다. 세 주파수에 따른 일반초등학교 대상 군과 특수학교 대상 군의 SC와 EV의 수치와 연령과 성별에 의한 SC와 EV의 차이를 비교 분석하기 위해 반복 측정된 이원배치 분산분석(two-way ANOVA with repeated measures)을 이용하였으며, 사후분석으로는 Bonferroni검정을 실시하였고 유의수준 0.05를 기준으로 설정하였다. 또한 반복 측정된 이원배치 분산분석 시 Mauchly 구형성 가정에 위배된 경우 Greenhouse-Geisser 자유도와 F값을 보고하였다.

RESULTS

일반과 특수학교 대상에 따른 이경검사 결과는 중이염(1귀)을 제외한 총 362귀의 결과는 Table 1과 같다.

주파수에 따른 SC의 평균은 일반과 특수학교 대상 군에서

Figure 2. Four types of tympanograms using 678 and 1,000 Hz stimulation sounds. Type 1: Conventional type 'A' that shows a single peak. Type 2: Conventional type 'B' that has no peak with flat appearance. Type 3: 'Double-peak' type that shows two clear peaks. Type 4: 'Indeterminate' type that has more than three peaks with no clear peak or appearance.

모두 226 Hz에서 678 Hz로 자극음 주파수가 높아질수록 수치가 커졌지만 678 Hz에서 1,000 Hz로 자극음 주파수가 높아졌을 때 수치가 약간 감소하였다(Figure 3). 일반초등학교 대상 군의 226, 678, 1,000 Hz의 SC 값은 0.49, 1.45, 1.26 ml였고 주파수에 따라 통계적으로 유의미한 차이가 있었다[F(1.94, 587.51) = 266.28, $p = 0.00$]. 특수학교 대상 군의 226, 678, 1,000 Hz의 SC 값은 0.56, 1.58, 1.29 ml였고 주파수에 따라 통계적으로 유의미한 차이가 있었다[F(1.78, 101.5) = 24.27, $p = 0.00$]. 그러나 일반초등학교 대상 군과 특수학교 대상 군의 그룹 간 SC의 수치는 통계적으로 유의미한 차이를 나타내지 않았다[F(1, 361) =

0.42, $p = 0.52$].

주파수에 따른 EV 값은 일반과 특수학교 대상 학생 군에서 모두 226 Hz에서 1,000 Hz로 주파수가 높아질수록 수치가 점 점 상승했다(Figure 4). 일반초등학교 대상 군의 226, 678, 1,000 Hz의 EV 값은 0.92, 2.98, 4.52 cm^3 였고 주파수에 따라 통계적으로 유의미한 차이가 있었다[F(1.17, 355.03) = 3606.05, $p = 0.00$]. 특수학교 대상 군의 226, 678, 1,000 Hz의 EV 값은 0.98, 3.0, 4.48 cm^3 였고 주파수에 따라 통계적으로 유의미한 차이가 있었다[F(1.09, 61.85) = 304.53, $p = 0.00$]. 그러나 일반초등학교와 특수학교 대상 군의 그룹 간 EV의 수치는 통계적으로 유의미한 차이를 나타내지 않았다[F(1, 361) = 0.02, $p = 0.9$].

세 주파수의 연령과 성별 그룹에 따른 차이를 확인하기 위해 일반초등학교의 저학년과 고학년 군 그리고 특수학교 대상 군으로 분류하여 남녀의 SC와 EV 수치를 비교하였다. 저학년, 고학년, 특수학교 대상 군의 주파수별 SC 값은 각각 0.99, 1.12, 1.15 ml였으며, 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다[F(2, 360) = 1.11, $p = 0.33$]. 또한 성별 차이를 분석하였을 때, 일반초등학교 저학년 군의 남녀 SC 값은 각각 1.0, 0.98 ml였으며 고학년 군의 남녀 SC 값은 각각 1.11, 1.31 ml였고 특수학교 대상 군의 남녀 SC 값은 각각 1.16, 1.11 ml로 통계적으로 세 그룹에서 모두 성별에 따른 유의미한 차이를 보이지 않았다[F(1, 124) = 0.02, $p = 0.88$]; [F(1, 176) = 0.03, $p = 0.87$]; [F(1, 57) = 0.03, $p = 0.86$]. 그러나 일반초등학교 저학년 군의 남녀 EV 값은 각각 2.75, 2.44 cm^3 로 통계적으로 유의미한 차이를 보였고 [F(1, 124) = 8.46, $p = 0.00$], 고학년 군의 남녀 EV 값도 각각 3.19, 2.74 cm^3 로 통계적으로 유의미한 차이를 보였다[F(1, 176) = 22.75, $p = 0.00$]. 또한 특수학교 대상 군의 남녀 EV 값은 각각 2.89, 2.79 cm^3 였으며 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다[F(1, 57) = 0.11, $p = 0.74$] (Figure 5, 6).

일반학교의 저, 고학년 및 특수학교에 따른 주파수별 중이강 압력의 결과는 Table 2와 같다. 226 Hz 자극 주파수에서 저학년 대상군은 총 126귀 중 5귀가 피크를 보이지 않았고 121귀에서 -18.3 daPa를 보였다. 고학년 대상군은 178귀에서 -8.9 daPa를 보였으며 특수학교 대상군에서는 59귀 중 4귀가 피크를 보이지 않았고 55귀에서 -7.9 daPa를 보였다. 678 Hz 자극 주파수에서 저학년 대상군은 총 126귀 중 4귀가 피크를 보이지 않았고 122귀에서 -11.1 daPa를 보였다. 고학년 대상군은 178귀에서 2귀가 피크를 보이지 않았고 176귀에서 -2.1 daPa를 보였으며 특수학교 대상군에서는 59귀 중 4귀가 피크를 보이지 않았고 55귀가 -11.4 daPa를 보였다. 1,000 Hz 자극 주파수에서 저학년 대상군은 총 126귀 중 10귀가 피크를 보이지 않았고 116귀에서 +9.5 daPa를 보였다. 고학년 대상군은 178귀에서 2귀가 피크를 보이지 않았고 176귀에서 +15.4 daPa를 보였으며

Table 1. Results of otoscopic examination between regular and special school

Otoscopy	Grade	
	Regular school	Special school
PIC (%)	295 (97.4)	53 (89.8)
IC (%)	8 (2.6)	6 (10.2)
Total (%)	303 (100)	59 (100)

IC: impacted cerumen, PIC: partially impacted cerumen

Figure 3. Comparison average values of the static compliance (SC) according to the 3 frequencies (226, 678, 1,000 Hz) between regular and special school aged groups.

Figure 4. Comparison average values of the ear canal volume (EV) according to the 3 frequencies (226, 678, 1,000 Hz) between regular and special school aged groups.

Figure 5. Comparison average values of static compliance (SC) according to gender and age groups. **Figure 6.** Comparison average values of earcanal volume (EV) according to gender and age groups. **Table 2.** Average values of middle ear cavity pressure according to frequencies

Grade	Frequency		
	226 Hz	678 Hz	1,000 Hz
Lower grade of regular school	-18.3	-11.1	+9.5
Higher grade of regular school	-8.9	-2.1	+15.4
Special school	-7.9	-11.4	+0.9

In daPa

특수학교 대상군에서는 59귀 중 4귀가 피크를 보이지 않았고 55귀에서 +0.9 daPa를 보였다.

본 연구에 참여한 대상자의 총 182명(363귀)을 DPOAE로 분석한 결과 299귀가 pass, 64귀가 refer로 나타났고 이를 일반과 특수학교 대상 군으로 구분하였을 때 pass와 refer는 일반초등학교 대상 군은 pass한 265귀 refer한 39귀, 특수학교 대상 군은 pass한 34귀 refer한 24귀로 일반과 특수학교 대상 군 간

에 통계적으로 유의한 차이를 보였다($t = -3.969, p < 0.05$). 또한 일반초등학교 대상 군의 경우 저학년 군 63명(126귀)과 고학년 군 89명(178귀) 간 DPOAE의 결과와 유의미한 차이를 보이지 않았다($t = -0.752, p > 0.05$). 일반초등학교 대상 군 152명(304귀)을 저학년 군 63명(126귀)과 고학년 군 89명(178귀)으로 구분하고, 특수학교 대상 군 29명(58귀)으로 분류하여 분석하였다. 일반초등학교의 저학년 63명(126귀) 중 112귀에서 pass하였으며 14귀에서 refer로 나타났고, 고학년 89명(178귀) 중 153귀에서 pass하였으며 25귀에서 refer로 나타났다. 특수학교 대상 군 29명(58귀) 중 34귀에서 pass하였고 24귀에서 refer로 나타났다. 따라서 DPOAE에서 가장 많은 수가 pass한 군은 일반초등학교 저학년 군이고 가장 많은 수가 refer한 군은 특수학교 대상 군이었다(Figure 7).

226 Hz 자극음으로 고막운동도 검사를 실시한 결과, 저학년

군의 경우 84귀(66.7%)에서 Type A와 DPOAE에서 pass로 일치하는 결과를 보였고 11귀(8.7%)에서 Type A와 refer로 나타나 불일치하는 결과를 보였다. 그 외 내이나 OHC에 이상이 있어 DPOAE가 refer로 나타났으나 중이가 정상인 Type A로 나타난 경우는 총 14귀 중 11귀(78.6%)였고 중이가 비정상 형인 B, C, As, Ad 형 중 하나이면서 DPOAE가 정상인 pass로 나타난 경우는 총 112귀 중 28귀(25%)였다. 고학년 군의 경우 127귀(71.3%)에서 Type A와 pass로 일치하는 결과를 보였고 22귀(12.4%)에서 Type A와 refer로 불일치하는 결과를 보였다. 그 외 내이나 OHC에 이상이 있어 DPOAE가 refer로 나타났으나

Figure 7. DPOAE results of lower and higher grades of regular school and special school groups. DPOAE: distortion product otoacoustic emission.

Figure 8. Agreement between DPOAE results and tympanogram with Type A of 226 Hz, Type 1 of 678 Hz, and 1,000 Hz. DPOAE: distortion product otoacoustic emission.

중이가 정상인 Type A로 나타난 경우는 총 25귀 중 22귀(88%)였고 중이가 비정상 형 중 하나이면서 DPOAE가 pass로 나타난 경우는 153귀 중 26귀(14.6%)였다. 특수학교 대상 군의 경우 23귀(39.7%)에서 Type A와 pass로 일치하는 결과를 보였고 13귀(22.4%)에서 Type A와 refer로 불일치하는 결과를 보였다. 그 외 내이나 OHC에 이상이 있어 DPOAE가 refer로 나타났으나 중이가 정상인 Type A로 나타난 경우는 총 24귀 중 13귀(54.2%)였고 중이가 비정상 형 중 하나이면서 DPOAE가 pass로 나타난 경우는 34귀 중 11귀(18.9%)였다(Table 3).

678 Hz의 자극음으로 고막운동도 검사를 실시한 결과, 저학년 군의 경우 106귀(84.1%)에서 유형 1과 DPOAE에서 pass로 일치하는 결과를 보였으며 13귀(10.3%)에서 refer로 나타나 불일치하는 결과를 보였다. 유형 2는 2귀(1.6%)에서 pass하였고, 1귀(0.8%)에서 refer로 나타났고, 유형 3은 3귀(2.4%)에서 pass하였고 유형 4는 1귀(0.8%)에서 pass하였다. 고학년 군의 경우 151귀(84.8%)에서 유형 1을 보이며 DPOAE에서 pass하였으며 23귀(12.9%)에서 refer로 나타났다. 유형 2는 나타나지 않았으며, 유형 3과 4의 pass와 refer는 각각 1귀(0.6%)씩 나타났다. 특수학교 대상군의 경우 32귀(55.1%)에서 유형 1을 보이며 DPOAE에서 pass하였고 16귀(27.6%)에서 refer로 나타났다. 유형 2의 경우 pass는 없고 5귀(8.6%)에서 refer만 나타났고, 유형 3의 경우 pass와 refer는 각각 2귀(3.5%)씩 나타났으며, 유형 4의 경우 pass는 없고 1귀(1.7%)에서만 refer로 나타났다(Table 4).

1,000 Hz의 자극음으로 고막운동도 검사를 실시한 결과, 저학년 군의 경우 74귀(58.7%)에서 유형 1을 보이며 DPOAE에서 pass로 일치하는 결과를 보였고 10귀(7.9%)에서 refer로 나타나 불일치하는 결과를 보였다. 유형 2는 8귀(6.3%)에서 pass하였으며, 1귀(0.8%)에서 refer로 나타났고, 유형 3은 27귀(21.4%)에서 pass하였고 3귀(2.4%)에서 refer로 나타났다. 유형 4는 3귀(2.4%)에서 pass하였고 refer는 없었다. 고학년 군의 경우 116귀(65.2%)에서 유형 1을 보이며 DPOAE에서 pass하였으며 17귀(9.6%)에서 refer로 나타났다. 유형 2는 나타나지 않았으며, 유형 3은 18귀(10.1%)에서 pass하였고, 8귀(4.5%)에서 refer로 나타났

Table 3. Outcomes of DPOAE and tympanograms using 226 Hz stimulation

DPOAE, type	Grade (%)					
	Lower grades		Higher grades		Special school	
	Pass	Refer	Pass	Refer	Pass	Refer
A	84 (66.7)	11 (8.7)	127 (71.3)	22 (12.4)	23 (39.7)	13 (22.4)
B	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (1.7)
C	3 (2.4)	2 (1.6)	0 (0)	0 (0)	1 (1.7)	5 (8.6)
As	23 (18.3)	1 (0.8)	21 (11.8)	1 (0.6)	6 (10.3)	3 (5.2)
Ad	2 (1.6)	0 (0)	5 (2.8)	2 (1.1)	4 (6.9)	2 (3.5)
Total	112 (88.9)	14 (11.1)	153 (86.0)	25 (14.0)	34 (58.6)	24 (41.4)

DPOAE: distortion product otoacoustic emission

Table 4. Outcomes of DPOAE and tympanograms using 678 Hz stimulation

DPOAE, type	Grade (%)					
	Lower grades		Higher grades		Special school	
	Pass	Refer	Pass	Refer	Pass	Refer
1	106 (84.1)	13 (10.3)	151 (84.8)	23 (12.9)	32 (55.1)	16 (27.6)
2	2 (1.6)	1 (0.8)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	5 (8.6)
3	3 (2.4)	0 (0)	1 (0.6)	1 (0.6)	2 (3.5)	2 (3.5)
4	1 (0.8)	0 (0)	1 (0.6)	1 (0.6)	0 (0)	1 (1.7)
Total	112 (88.9)	14 (11.1)	153 (86.0)	25 (14.0)	34 (58.6)	24 (41.4)

DPOAE: distortion product otoacoustic emission

Table 5. Outcomes of DPOAE and tympanograms using 1,000 Hz stimulation

DPOAE, type	Grade (%)					
	Lower grades		Higher grades		Special school	
	Pass	Refer	Pass	Refer	Pass	Refer
1	74 (58.7)	10 (7.9)	116 (65.2)	17 (9.6)	24 (41.4)	10 (17.2)
2	8 (6.3)	1 (0.8)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	7 (12.1)
3	27 (21.4)	3 (2.4)	18 (10.1)	8 (4.5)	8 (13.8)	5 (8.6)
4	3 (2.4)	0 (0)	19 (10.7)	0 (0)	2 (3.5)	2 (3.5)
Total	112 (88.9)	14 (11.1)	153 (86.0)	25 (14.0)	34 (58.6)	24 (41.4)

DPOAE: distortion product otoacoustic emission

다. 유형 4는 19귀(10.7%)에서 pass만 나타났고 refer는 없었다. 특수학교 대상군의 경우 24귀(41.4%)에서 유형 1을 보이며 DPOAE에서 pass하였고 10귀(17.2%)에서 refer로 나타났다. 유형 2의 경우 pass는 없었고 7귀(12.1%)에서 refer만 나타났고, 유형 3의 경우 8귀(13.8%)에서 pass하였으며, 5귀(8.6%)에서 refer로 나타났고 유형 4의 경우 각각 pass와 refer 2귀(3.5%)씩 나타났다(Table 5).

이러한 DPOAE 검사 결과와 자극 주파수별 고막운동도 검사 결과를 비교하여 Type A와 유형 1을 기준으로 일치도와 불일치도를 살펴보면 Figure 8과 같다. 모든 군에서 DPOAE 검사 결과와 일치도가 가장 높은 자극 주파수는 678 Hz로 나타났다. 특히 일반초등학교의 저학년과 고학년 대상 군 모두에서 매우 높은 일치도를 나타낸다.

DISCUSSIONS

226 Hz의 자극 주파수로 고막운동도 검사를 실시하였을 때 정상 범위는 SC의 경우 만 3~10세의 아동에서 0.25~1.05 ml, 19세 이상의 성인은 0.3~1.7 ml이며 EV의 경우 만 3~10세의 아동에서 0.3~0.9 cm³, 19세 이상의 성인은 0.9~2.0 cm³ 범위에 속한다고 보고하고 있다(Kim, 2014). 본 연구 결과 226 Hz 자극 주파수로 검사하였을 때 SC와 EV는 일반과 특수학교 대상의 경우 0.49와 0.56 ml와 0.92, 0.98 cm³로 모두 정상범위에 속하는 것으로 나타났다. 또한 SC의 경우 226 Hz보다 1,000 Hz가, 1,000 Hz보다 678 Hz에서 유의미한 차이를 보이며 높

아진 수치를 나타냈다. 일반적으로 성인의 경우 자극 주파수가 증가할 시 SC값이 증가하는 데 비해 신생아에서 자극 주파수가 226 Hz에서 1,000 Hz로 증가할 때 SC 값이 감소한다(de Resende et al., 2012). 이와 유사하게 학령기 아동의 경우 자극 주파수가 226 Hz에서 678 Hz까지는 SC 값이 증가하나 678 Hz와 1,000 Hz는 주파수 차이가 크지 않고 외이도 및 중이 공명주파수가 성인과 동일하지 않기 때문에 SC 값이 작거나 유사한 값이 나타난 것으로 생각된다. EV의 경우 226 Hz보다 678 Hz가, 678 Hz보다 1,000 Hz에서 유의미한 차이를 보이며 높아지는 것을 확인할 수 있었으며 이러한 현상은 일반초등학교나 특수학교 대상 군들 간 차이가 없었다. 외이도 용적을 나타내는 EV의 수치는 특수학교 대상 군을 제외하고 연령과 성별에 따라 유의미한 차이를 보이며 특히 일반초등학교의 저학년 군과 고학년 군에서 유의미한 결과를 보였다. 이는 EV는 신체의 성장과 비례하여 커지며, 남성의 외이도가 여성의 외이도보다 더 큰 용적으로 나타난다는 선행연구의 보고와 일치한다(Kim, 2003; Margolis & Heller, 1987; Wiley et al., 1996). 아마도 특수학교 대상 군에서는 대상자 수가 적고 연령대의 범위가 넓어 연령과 성별에 따른 유의미한 차이를 보이지 않았던 것으로 생각된다. 그러나 특수학교 대상 군에서도 저학년 군보다 고학년 군에서 그리고 남학생이 여학생보다 평균적으로 더 큰 외이도 용적 수치를 보이는 현상을 확인할 수 있었고, 이는 선행연구와 일치하는 결과이다.

검사 자극음의 주파수가 226 Hz에서 678 Hz와 1,000 Hz로 상승할수록 정상적으로 하나의 피크를 가진 유형 1의 고막운

동도 비율이 감소하고 여러 개의 피크를 가진 유형 3과 4가 증가하였다. 고막운동도 검사의 저주파수 자극음은 피크가 두 개인 경우가 나타나지 않으며, 그 이유는 중이의 생리적 특성에 의한 공명주파수는 주로 950 Hz 주변의 650~1,400 Hz에서 발생하여(Lilly, 1984), 226 Hz의 저주파수 자극음은 이러한 공명주파수에 영향을 주지 않기 때문에 정상 귀의 경우 두 개의 피크가 나타나지 않는다고 한 선행연구의 보고와 일치한다(Roeser et al., 2007; Vanhuysse et al., 1975).

내이와 중이 상태를 함께 평가하는 DPOAE 검사에서는 일반과 특수학교 대상 군의 pass 비율은 88%와 58%로 일반과 특수학교 대상 군의 고막운동도 검사결과와 다르게 나타났다. 이는 특수학교 대상 군의 중이 상태는 일반초등학교 대상 군과 유사하나 내이 및 OHC의 상태를 함께 평가할 때 특수학교 대상 군의 귀 건강상태는 더 좋지 못한 것으로 나타났다. 또한 DPOAE 검사와 자극 주파수에 따른 고막운동도를 비교하였을 때 정상인 Type A나 유형 1과의 일치도를 보인 자극음 주파수는 일반과 특수학교 대상 군에서 678 Hz가 84.4%와 54.2%로 226 Hz와 1,000 Hz의 일반초등학교 대상 군의 일치도 69%와 62%, 특수학교 대상군의 39%와 41%보다 높았다. 이는 비록 대상 군의 연령대는 다르지만 아동의 경우 비정상 OAE 검사대상 군에서 1,000 Hz의 자극주파수를 이용한 고막운동도가 226 Hz의 고막운동도보다 더 민감하게 중이 기능 이상을 보인 선행연구(Son et al., 2012)와 비교할 때 일치하는 결과이다. 즉 아동의 경우 고주파수 자극음이 더 민감한 고막운동도 검사결과를 보일 수 있다고 생각할 수 있다. 주로 신생아를 대상으로 중이 삼출액의 탐지에는 고주파수의 자극음인 1,000 Hz가 더욱 정확하다고 보고하고 있으나(Kei et al., 2003; Margolis et al., 2003), 진단검사 시 전음성 난청을 정확하게 확인할 수 있다는 보고가 있어(Prieve et al., 2006) 그러한 결론을 더욱 뒷받침할 수 있다. 더욱이 모든 주파수의 자극음으로 중이 상태를 검사하는 WBR 검사가 중이 문제의 검사를 더욱 효과적으로 측정할 수 있다(Feeney et al., 2003)는 WBR을 고려할 때 고주파수 자극음 검사의 실시는 더욱 중요한 논의 쟁점으로 해석할 수 있다. 특히 문헌에서 제시하는 WBR 검사는 다음과 같은 세 가지의 장점이 있다(Vander Werff et al., 2007). 첫 번째로, 외이도에 압력이 가해지지 않아 왜곡이 일어나지 않으며, 두 번째로, 넓은 주파수 대역에서의 측정으로 중이의 많은 정보를 얻을 수 있고, 세 번째로, 검사시간이 매우 짧다는 점이다.

결론적으로 고막운동도 검사 결과로 본 연구결과에 의하면 건강한 귀를 가지고 있는 일반초등학교 대상 군과 그렇지 못한 것으로 문헌에서 밝혀진 특수학교 대상 군 간 중이 상태는 고막운동도로 평가할 때 유의미한 차이가 보이지 않았다. 이는 우리나라 특수학교 장애아동들에게 질 좋은 건강 관리가 제공

되고 있으며 개선된 의학적 서비스가 장애 군의 중이 질병에 적절한 치료를 제공하여 정상 아동과 다르지 않은 중이 상태를 보인 것으로 분석할 수 있다. 또한 이러한 결과는 자극 주파수에 따른 고막운동도 검사결과가 정상과 장애 그룹에 따른 영향이 없으므로 자극음 주파수를 자유롭게 활용하여 중이 상태를 파악할 수 있는 것으로도 생각할 수 있다. 그러나 중이와 내이 상태를 종합적으로 평가하는 DPOAE 검사결과와 pass 비율은 일반과 특수학교 대상 군에서 각각 87.2%와 57.6%로 나타나 특수학교 대상 군의 내이 상태는 일반초등학교 대상 군의 건강상태보다 좋지 못한 것으로 나타났다. 아마도 아동기의 잦은 중이 문제가 의학적으로 치료되었으나 내이의 건강상태에 영구적 영향을 미쳤을 가능성이 있는 것으로 생각된다(Lewis, et al., 2011; Yockel, 2002). 또한 고막운동도와 DPOAE의 일치도는 일반과 특수학교 대상 군 모두에서 678 Hz에서 가장 높게 나타났다. 따라서 좀 더 민감하게 중이 상태를 파악하기 위해서는 678 Hz나 1,000 Hz 등 고주파수 자극음을 사용한 고막운동도 검사도 고려해야 할 것으로 생각한다.

추후 연구에서는 순음청력검사를 통해 연구자가 난청의 유무를 파악하고 그 기전을 확인할 수 있다면 특수학교 대상 군의 귀 건강 상태를 조금 더 정확히 확인하고 청각장애에 대한 도움을 줄 수 있어 의사소통과 특수학교의 교육이 더욱 원활해질 것으로 생각한다. 또한 특수학교 대상 군을 포함한 학령기 아동의 더 많은 자료수집으로 중이검사의 주파수에 따른 민감도와 특이도를 연구하고 학령기 아동의 고주파수 자극음 사용의 효율성을 확인할 수 있을 것으로 생각한다.

중심 단어 : 자극주파수 · 고막운동도 검사 ·

일반초등학교 대상 군 · 특수학교 대상 군.

REFERENCES

- Alaerts, J., Luts, H., & Wouters, J. (2007). Evaluation of middle ear function in young children: Clinical guidelines for the use of 226- and 1,000-Hz tympanometry. *Otology and Neurotology*, 28(6), 727-732.
- Anderson, H., Holmgren, L., & Holst, H. E. (1956). Experiments with an objective method of testing the middle ear function: Preliminary report. *Acta Oto-Laryngologica*, 46(5), 381-385.
- Brooks, D. N. (1968). An objective method of detecting fluid in the middle ear. *International Audiology*, 7(3), 280-286.
- Calandruccio, L., Fitzgerald, T. S., & Prieve, B. A. (2006). Normative multi-frequency tympanometry in infants and toddlers. *Journal of the American Academy of Audiology*, 17(7), 470-480.
- de Resende, L. M., dos Santos Ferreira, J., da Silva Carvalho, S. A., Oliveira, I. S., & Bassi, I. B. (2012). Tympanometry with 226 and 1,000 Hertz tone probes in infants. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 78(1), 95-102.
- Diefendorf, A. O., Bull, M. J., Casey-Harvey, D., Miyamoto, R. T., Pope, M. L., Renshaw, J. J., et al. (1995). Down syndrome: A multidisciplinary perspective. *Journal of the American Academy of Audiology*, 6(1), 39-46.
- Feeney, M. P., Keefe, D. H., & Marryott, L. P. (2003). Contralateral acoustic reflex thresholds for tonal activators using wideband energy reflect-

- tance and admittance. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 46(1), 128-136.
- Han, K. H. & Lee, J. H. (2012). Diagnosis of middle ear effusion in neonate and infant: Pitfalls of conventional impedance audiometry using 226 Hz probe tone. *Korean Journal of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery*, 55(7), 410-414.
- Handžić-Ćuk, J., Ćuk, V., Rišavi, R., Katušić, D., & Štajner-Katušić, S. (1996). Hearing levels and age in cleft palate patients. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 37(3), 227-242.
- Harris, P. K., Hutchinson, K. M., & Moravec, J. (2005). The use of tympanometry and pneumatic otoscopy for predicting middle ear disease. *Am J Audiol*, 14(1), 3-13.
- Holte, L. (1996). Aging effects in multifrequency tympanometry. *Ear and Hearing*, 17(1), 12-18.
- Hunter, L. L., Bagger-Sjöbäck, D., & Lundberg, M. (2008). Wideband reflectance associated with otitis media in infants and children with cleft palate. *International Journal of Audiology*, 47(Suppl 1), S57-S61.
- Iacovou, E., Vlastarakos, P. V., Ferekidis, E., & Nikolopoulos, T. P. (2013). Multi-frequency tympanometry: Clinical applications for the assessment of the middle ear status. *Indian Journal of Otolaryngology and Head and Neck Surgery*, 65(3), 283-287.
- Kei, J., Allison-Levick, J., Dockray, J., Harrys, R., Kirkegard, C., Wong, J., et al. (2003). High-frequency (1000 Hz) tympanometry in normal neonates. *Journal of the American Academy of Audiology*, 14(1), 20-28.
- Kim, J. S. (2003). Effects of frequency, rate, and direction of stimuli on tympanometric measures. *Korean Journal of Communication Disorders*, 8(2), 179-195.
- Kim, K. S., Kim, J. S., Kim, H. J., Bahng, J. H., Lee, K. W., Lee, J. H., et al. (2014). *Introduction to Audiology*. (pp.121-140). Seoul: Hakjisa.
- Ko, D. H. (2009). *Anatomy and Physiology of Speech Organs*. (pp.363-421). Seoul: Soхва.
- Kuo, C. L., Tsao, Y. H., Cheng, H. M., Lien, C. F., Hsu, C. H., Huang, C. Y., et al. (2014). Grommets for otitis media with effusion in children with cleft palate: A systematic review. *Pediatrics*, 134(5), 983-994.
- Kwon, S. W. (2004). A case study on school adaptation of high school students with hearing impairment in inclusive settings. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 13(2), 27-48.
- Lee, M. S., Song W., Jang H. S., Moon K. J., & Chang H. J. (2006). The latency of distortion product otoacoustic emissions in patients with middle ear effusion. *Audiology*, 2(2), 155-159.
- Lewis, M. P., Bell, E. B., & Evans, A. K. (2011). A comparison of tympanometry with 226Hz and 1000Hz probe tones in children with Down syndrome. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 75(12), 1492-1495.
- Lidén, G., Harford, E., & Hallen, O. (1974). Automatic tympanometry in clinical practice. *Audiology*, 13(2), 126-139.
- Lilly, D. J. (1984). Multiple frequency, multiple component tympanometry: New approaches to an old diagnostic problem. *Ear and Hearing*, 5(5), 300-308.
- Margolis, R. H. & Heller, J. W. (1987). Screening tympanometry: criteria for medical referral: Original papers. *Audiology*, 26(4), 197-208.
- Margolis, R. H., Bass-Ringdahl, S., Hanks, W. D., Holte, L., & Zapala, D. A. (2003). Tympanometry in newborn infants—1 kHz norms. *Journal of the American Academy of Audiology*, 14(7), 383-392.
- Metz, O. (1946). The acoustic impedance measured on normal and pathological ears: Orientating studies on the applicability of impedance measurement in otological diagnosis. Einar Munksgaard.
- Min, B. R. (2004). The effects of language developmental delay on the understanding of emotion in hearing impaired children. *Communication Sciences and Disorders*, 9(3), 177-191.
- National Health Insurance Service. (2015). National Health Insurance Corporation. Need to be careful for "Tympanic membrane perforation" After water play during summer. Retrieved from <http://www.nhis.or.kr/bbs7/boards/B0039/14066>.
- Paradise, J. L., Rockette, H. E., Colborn, D. K., Bernard, B. S., Smith, C. G., Kurs-Lasky, M., et al. (1997). Otitis media in 2253 Pittsburgh-area infants: prevalence and risk factors during the first two years of life. *Pediatrics*, 99(3), 318-333.
- Popelka, G. R., Karzon, R. K., & Arjmand, E. M. (1995). Growth of the 2f1-f2 distortion product otoacoustic emission for low-level stimuli in human neonates. *Ear and Hearing*, 16(2), 159-165.
- Prieve, B. A., Vander Werff, K. R., & Georgantas, L. M. (2006). TB-ABR, OAE & middle ear measures in sleeping infants. Presented at the 18th American Academy of Audiology Convention. Minneapolis, MN.
- Prieve, B. A., Vander Werff, K. R., Preston, J. L., & Georgantas, L. (2013). Identification of conductive hearing loss in young infants using tympanometry and wideband reflectance. *Ear and Hearing*, 34(2), 168-178.
- Reed, V. (2005). *An Introduction to Children with Language Disorders*. Boston, MA: Allyn and Bacon.
- Roeser R. J., Valente M., & Hosford-Dunn H. (2007). *Audiology: Diagnosis* (2nd ed.). (pp.335-355). New York, NY: Thieme.
- Rovers, M. M., Schilder, A. G., Zielhuis, G. A., & Rosenfeld, R. M. (2004). Otitis media. *The Lancet*, 363(9407), 465-473.
- Smurzynski, J. (1994). Longitudinal measurements of distortion-product and click-evoked otoacoustic emissions of preterm infants: Preliminary results. *Ear and Hearing*, 15(3), 210-223.
- Son, E. J., Park, Y. A., Kim, J. H., Hong, S. A., Lim, H. Y., Choi, J. Y., et al. (2012). Classification of trace patterns of 226-and 1000-Hz tympanometry in healthy neonates. *Auris Nasus Larynx*, 39(5), 455-460.
- Teele, D. W., Klein, J. O., Rosner, B., & Greater Boston Otitis Media Study Group. (1989). Epidemiology of otitis media during the first seven years of life in children in greater Boston: A prospective, cohort study. *Journal of Infectious Diseases*, 160(1), 83-94.
- Terkildsen, K. N. U. T. & Thomsen, K. A. (1959). The influence of pressure variations on the impedance of the human ear drum. *The Journal of Laryngology and Otology*, 73(7), 409-418.
- Vander Werff, K. R., Prieve, B. A., & Georgantas, L. M. (2007). Test-retest reliability of wideband reflectance measures in infants under screening and diagnostic test conditions. *Ear and Hearing*, 28(5), 669-681.
- Vanhuyse, V. J., Creten, W. L., & Van Camp, K. J. (1975). On the W-notching of tympanograms. *Scandinavian Audiology*, 4(1), 45-50.
- Wet Swanepoel, D., Werner, S., Hugo, R., Louw, B., Owen, R., & Swanepoel, A. (2007). High frequency immittance for neonates: A normative study. *Acta Oto-Laryngologica*, 127(1), 49-56.
- Wiley, T. L., Cruickshanks, K. J., Nondahl, D. M., Tweed, T. S., Klein, R., & Klein, B. E. (1996). Tympanometric measures in older adults. *Journal of the American Academy of Audiology*, 7(4), 260-268.
- Yockel, N. J. (2002). A comparison of audiometry and audiometry with tympanometry to determine middle ear status in school-age children. *The Journal of School Nursing*, 18(5), 287-292.