

외이도용적에 따른 외이도공명의 변화

Resonance Changes in the External Auditory Canal Associated with the Ear Canal Volume

최 아 현¹⁾ · 이 미 소²⁾ · 최 아 름³⁾ · 허 승 덕⁴⁾

Choi, AhHyun · Lee, MiSo · Choi, AhReum · Heo, SeungDeok, PhD

ABSTRACT

The external ear generates resonance gain because of anatomical characteristics. The ear canal resonance is influenced by the length and volume of the ear canal, the pinna, the concha cavity, the body trunk, and the speed of sound wave. This study is focus on the influence of the volume of ear canal. 17-healthy-adult (32 ears) were participated. They did not have any medical and ear disease history. The maximum resonance frequency of the ear canal was 2675 (± 265) Hz at azimuth 0° and 2784 (± 268) Hz at azimuth 45°. The resonance gain was 18.1 (± 3.9) dB at azimuth 0° and 17.9 (± 3.8) dB at azimuth 45°, respectively. The ear canal volume was 0.78 (± 0.2) cc and 1.32 (± 0.8) cc including static compliance. The ear canal resonance was changed depending on the ear canal volume. It was also statistically correlated at azimuth 0° ($p=0.038$) and 45° ($p=0.013$), respectively. The resonance gain was not correlated with the ear canal volume. The change of resonance frequency according to the ear canal volume will be useful information in the field of audiological rehabilitation especially for hearing aids fitting. In addition, we expected this study can provide the basic information for the study of the external ear resonance characteristics.

Keywords: 외이도공명, 외이도용적, 실이외이도응답, 보청기, ear canal resonance, ear canal volume, real ear unaided response, hearing aid

1. 서 론

인간의 청각기관은 에너지 변환기관이면서 증폭기관이다. 에너지 변환은 공기 중에서 변화하는 압력의 형태로 존재하는 소리가 우리 몸에서 생체화학적에너지 형태로 바뀌는 과정이며, 이 과정은 공기 압력의 변화가 생체전기로 직접 변하기 어렵기 때문에 고막과 이소골 연쇄 그리고 와우관 내부에 있는 유모세포와 림프액 등의 해부학적 구조물들이 유기적으로 관여하여 소리를 변환하고 증폭하여 전달한다. 청각기관이 소리를 수용하는 과정에서 일어나는 이러한 일련의 에너지 변환은 매

질 전달 특성이 서로 다른 해부학적 구조물들을 지나면서 대부분의 소리 에너지를 손실을 야기한다. 따라서 이를 보상하기 위하여 다양한 형태의 공명을 통해 증폭하는 생리학적 기능도 함께 이루어진다.

외이는 이개(auricle)와 이개가 형성한 이개강, 외이도(external auditory canal) 그리고 고막(tympanic membrane)으로 구성된다. 두개골에서 돌출되어 연골로 형성된 이개는 깔때기 모양을 하고 있고(김종선, 2002) 두개골로부터 돌출된 깔때기 형태에 의해 약 4 kHz 범위에서 약 3 dB 정도 증폭이 생긴다(flange 효과). 또 이개가 형성한 이개강 공명으로 5~6 kHz 대역에서 10 dB 정도 이득이 생기며(허승덕, 유영상, 2004), 특히 음원 쪽 귀에서의 음압 증강 효과가 커서 소리 방향을 구별하는 데 중요한 단서가 된다(허승덕 등, 2006). 외이도는 이개 연골과 연속된 관을 형성하는 연골부와 골부로 구분되며, 외이도의 나머지 한 쪽은 고막에 의해 막힌다(김종선, 2002). 이러한 외이도의 구조적 특성으로 2~5.5 kHz 주파수 범위의 소리가 증강되며 특히 2.5~2.7 kHz 범위에서 약 13 dB 정도의 공명이득이 발생한다(허승덕, 유영상, 2004).

- 1) 동아대학교, 대구대학교재활과학대학원, 부산청각언어연구회
- 2) 부산가톨릭대학교, 부산청각언어연구회
- 3) 부산가톨릭대학교, 부산청각언어연구회
- 4) 동아대학교, 부산가톨릭대학교, 부산청각언어연구회
audiolog@donga.ac.kr, 교신저자

접수일자: 2009년 7월 31일
수정일자: 2009년 8월 26일
게재결정: 2009년 9월 16일

외이도공명은 외이도 길이와 부피(용적) 그리고 소리의 속도 등에 영향을 받고, 상반신이나 이개 및 이개강 등에 의해서도 최대공명주파수와 공명이득이 영향을 받는다. 그러나 국내에서 시행된 선행 연구들의 경우 외이도 내부에서 음성의 특성을 분석하기 위한 기초 데이터나(허승덕 등, 2000) 외이도 길이에 따른 공명(장철호, 이진수, 1999) 그리고 중이염 수술 후 변형된 외이도와 비교하기 위한 연구(홍성화 등, 1997) 등이 있으나 외이도용적과 관련한 연구는 시행되지 않았다.

재활청각학적 관점에서 보청기의 사용은 외이도를 폐쇄하여 외이도용적을 감소시킨다. 외이도용적 감소는 공명 손실을 야기하고 이로 인하여 보청기의 전기음향학적 이득과 실제 이득은 차이를 보인다. 이들 차이를 규명하기 위해서는 일차적으로 외이도공명의 평가가 무엇보다 선행되어야 한다. 따라서 이 연구는 우리나라 성인의 외이도용적을 조사하고 외이도용적이 외이도공명에 영향을 주는지 확인하고자 한다.

2. 연구대상 및 방법

2.1 연구대상

연구 대상은 과거 병력이 없고 현재 외이 및 고막을 포함한 중이 질환이 없는 20세부터 47세까지 건강한 성인 17명 32귀(남:여=5:12)로 하였다. 대상자 중 2명의 경우 실험 예정 시간과 개인적 약속의 문제로 1귀씩만 검사를 시행하였으며, 이들 모두 평가하지 않은 귀의 외이도 및 고막 상태는 정상이었다. 대상자들에게는 이 연구의 목적과 방법을 충분히 설명한 후 동의를 구하였다.

2.2 연구방법

문진과 육안 및 이경을 통해 외이 및 고막의 상태를 평가한 후 Middle Ear Analyzer (GSI TymStar, GSI, USA)로 고막운동성(Tympanometry)과 외이도공명을 검사하였다.

2.2.1 외이도용적 검사

외이도용적은 고막운동성 검사(Tympanometry)를 이용하였다. 고막운동성 검사는 탐침으로 밀폐한 외이도에 압력을 주고 226 Hz, 85 dB SPL 소리를 주어 고막에서 반사되는 음압을 측정하여 외이도용적과 고막 및 이소골의 상태 그리고 이관의 상태 등을 평가하는 검사이다. 검사를 위해서는 +200 daPa부터 -400 daPa까지의 압력을 외이도에 가하는데, 이 때 압력은 초당 50 daPa의 속도로 변화시킨다. 고막에서 반사되는 음압은 압력이 변화할 때마다 기록하며, 이를 연속 기록한 것을 고막운동도(Tympanogram)라고 한다. 청각학적으로 외이도용적은 +200 daPa의 압력을 외이도에 가했을 때 반사 음향으로 결정하고, 고막운동도를 이용한 외이도용적은 고막을 팽팽하게 긴장시켜 구한다. 또 고막운동성 검사에서 탐침으로 밀폐한 외이도의 압력이

중이강 압력과 같아지면 고막이 가장 이완된다. 정적탄성(static compliance)은 고막이 가장 이완된 상태와 +200 daPa 압력으로 고막을 긴장시킨 상태에서 구한 음향반사량의 차이를 말한다. 이 연구에서는 이 값을 개방 외이도용적으로 정하고 외이도공명 변화 예측 변수의 하나로 사용하였다.

2.2.2 외이도공명 검사

외이도공명 측정을 위하여 이경으로 고막과 주간절흔(tragus notch)으로부터 고막까지의 거리를 육안으로 예측하였다. 실리콘 재질의 탐침관(probe tube)을 고막 가까이 10 mm 이내까지 삽입한 후, 탐침관을 이수(lobule)에 대고 의료용 반창고로 고정하였다. 탐침관의 끝은 귀걸이형 지지대에 부착된 측정용 송화기(measuring microphone) 탐침에 연결하였다<그림 1 좌측>.

실이계측은 Real Ear Analyzer (Fonix 7000 with Quick-Probe II, Frye Inc., USA)를 사용하였다. 소리 자극은 음원을 외이도 입구로부터 90 cm 거리에 두었으며, 두 귀 각각의 입사각을 0°와 45°로 한 후<그림 1 우측>, 200 Hz부터 8 kHz까지의 순음 75 dB SPL로 하였다. 외이도 내부 음압은 100부터 400 Hz의 주파수 간격을 두고 출력음압을 측정하였다.

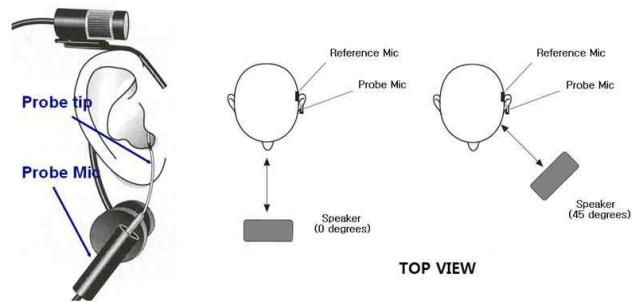


그림 1. 기준 및 측정송화기 배치와 입사각.

Figure 1. Placement of the reference and probe microphone.

2.2.3 공명이득의 계산과 통계적 검증

외이도의 최대공명주파수는 검사 주파수에 출력음압이 가장 높은 주파수로 하였다. 공명이득은 각주파수의 출력음압에서 입력음압 강도인 75 dB SPL을 뺀 값을 해당 주파수의 공명이득으로 하였다. 최대공명이득은 이들 이득 중 가장 높은 이득으로 하였다. 또 전체 검사 주파수에서 공명이득이 두 번째로 큰 주파수를 제2공명주파수로 하였다.

이 연구는 외이도용적이 외이도공명에 미치는 영향을 확인하고자 한 것으로, 연구 참여자의 성이나 연령 등 개체 특성에 대한 차이는 분석하지 않았다.

통계적 검증은 외이도용적 및 개방 외이도용적이 최대공명주파수 및 공명이득의 관계를 단순회귀분석(SPSS 16.0 for windows)하였다.

3. 결 과

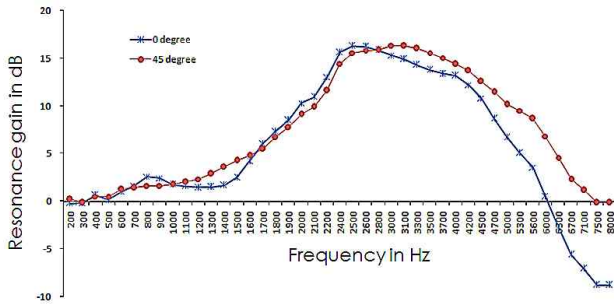


그림 2. 외이도 내부 음압.

Figure 2. Sound pressure level in the ear canal.

신체 각 부위에서 발생한 간섭과 공명 등이 포함된 외이도 내부 음압은 <그림2>와 같았다.

각 귀의 외이도 최대공명주파수는 0°에서 2,100~3,100 Hz까지, 45°에서 2,500~3,100 Hz까지 분포하였다. 최대공명주파수 대상자 평균은 0°에서 2,675 (±265) Hz, 45°에서 2,784 (±268) Hz이었다. 공명이득은 0°에서 10~27.1 dB, 45°에서 8.4~25.2 dB 범위를 보였으며, 대상자 평균은 0°에서 18.1 (±3.9) dB, 45°에서 17.9 (±3.8) dB를 보였다.

외이도공명에서 최대공명주파수보다 제2공명주파수의 이득이 더 큰 경우는 0°에서 18.8%, 45°에서 40.6%가 관찰되었으며, 이 경우의 공명주파수는 0°에서 3,650 (±197) Hz, 45°에서 3,714 (±423) Hz로 공명이득은 0°에서 18 (±1.3) dB, 45°에서 17.4 (±3.5) dB를 보였다.

외이도용적은 0.78 (±0.2) cc이었으며, 정적탄성 0.54 (±0.7) cc를 포함한 개방 외이도용적은 1.32 (±0.8) cc를 보였다.

공명주파수는 외이도용적 및 개방 외이도용적이 커질수록 입사각 0° (p=0.038) 및 45° (p=0.013)에서 통계적으로 유의하게 낮아졌다. 그러나 두 입사각 모두에서의 공명이득은 외이도용적 및 개방 외이도용적 변화와 상관관계를 보이지 않았다.

4. 고찰 및 요약

음장의 소리가 외이도 내부로 전달되는 특성(Free-field-to-tympanic membrane transfer function)을 의미하는 실이 외이도 응답(Real ear unaided response; REUR)은 외이도 및 이개 등 신체 전반에서 발생한 음향 간섭과 공명을 외이도 입구를 개방한 상태에서 구한 값을 의미하며, 흔히 외이도공명(ear canal resonance)으로 표현하기도 한다. REUR은 안면 및 두개 등 신체 각 부분의 반사(reflection, body baffle)와 집음(collection) 그리고 공명 등의 영향으로 1,500 Hz 이하의 음역에서 약 4 dB 미만의 음압 증강이 생기고, 이개강 및 외이도공명에 의하여 2,500~3,000 Hz의 주파수 범위에서 15~20 dB 정도의 음압 증강이 생긴다. 특히 외이도공명에 의해 음향 전달 최대 공명점이

형성되며 이를 최대공명주파수라고 한다. 마지막으로 이개강 공명으로 인하여 4~5 kHz 주파수 영역에서 10~15 dB 정도의 음압 증강이 발생하고 이를 2차 공명주파수(전체 검사 주파수에서 공명이득이 두 번째로 큰 주파수)라고 한다. 나팔 모양으로 된 비전기적 보청기들은 집음을 하는 이개의 생리학적 기능을 활용하는 것으로 2,500~3,000 Hz 범위의 외이도 공명주파수를 1,500~2,000 Hz 범위로 이동시키고 약 15~20 dB 정도의 음압 증강 효과를 얻을 수 있다.

고막 천공이 없고 외이도 및 이개의 질환이 없는 건강한 성인의 경우 외이도공명은 최대공명주파수가 2,500~2,700 Hz 범위이고, 최대공명이득은 약 13 dB 정도이다(Keidel & Neff Eds, 1974). 우리나라 사람의 외이도공명은 최대공명주파수와 최대공명이득이 2,527 Hz, 7.8 dB(허승덕 등, 2000), 2,590 Hz, 18.5 dB(장철호 & 이진수, 1999), 2,610 Hz, 18.6 dB(홍성화 등, 1997), 3 kHz, 16.7 dB(이미소, 2002), 3.2 kHz, 17.7 dB(조양선, 고석주, 1999) 등으로 보고하였다. 이들 선행 연구는 모두 10여 년 전후에 시행한 연구로 조양선과 고석주의 연구(1999)는 9세 이하 소아를 대상으로 한 연구였으며, 이미소(2002)의 연구는 검사 주파수를 특정 음계로 한정하여 정확한 최대공명주파수를 확인할 수 없는 한계가 있다. 우리나라의 경제는 급격한 발전이 있었으며, 경제의 발전은 체격의 발달로 이어진다. 체격의 발달은 다양한 학문 및 산업분야의 표준 및 규격에 영향을 미친다. 이 연구에서 관찰된 최대공명주파수와 공명이득은 0°에서 2,675 (±265) Hz, 18.1 (±3.9) dB, 45°에서 2,784 (±268) Hz, 17.9 (±3.8) dB를 보여 선행 연구들과 차이를 보이지 않았다. 이는 우리나라 성인 체격변화와 외이도공명은 관련이 없는 것으로 판단할 수 있다. 다만, 저자들의 연구에서 제2공명주파수의 이득이 최대공명주파수 이득보다 높았던 점이다. 이러한 현상은 머리카락이 긴 남성과 여성 대상자에서 나타난 것이다. 두개골의 유양 돌기부분으로부터 약 2~3 cm 정도 돌출된 이개는 4 kHz 범위의 이득이 3 dB 정도 증강하는 flange 효과가 생긴다. 그러나 긴 머리카락을 귀 뒤로 넘기면 이개 뒤로 모아진 머리카락들이 집음 컵 역할을 하며, 집음 효과에 의한 공명이득이 flange 효과에 의한 공명이득과 합쳐져서 생기는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 보청기를 사용한 청각재활에서 머리카락의 상태에 대해서도 배려할 필요가 있다.

외이도에서 최대공명주파수는 외이도 길이(속도/(4×길이))에 영향을 받는다. 외이도 길이를 0세부터(1.73 cm) 14세(2.66 cm)까지 연령별로 측정하면서 최대공명주파수를 측정하면 0세에 4,282 Hz, 9세에 2,738 Hz, 그리고 14세에 2,680 Hz 등으로 변하며, 이러한 변화는 외이도 길이 변화보다 빠르게 성인 정상치에 도달한다(정향숙 등, 2001). 외이도공명이 성인 정상치에 빠르게 도달하는 것은 외이도공명이 외이도 길이뿐만 아니라 직경과 굴곡 등에 의해서도 영향을 받기 때문이다.

성인의 외이도용적은 평균 1.1 cc로 90% 범위가 0.6~1.5 cc

이며(ASHA, 1990), 우리나라 성인은 1.02 (± 0.35)에서 1.3 (± 0.28) cc(허승덕 등, 2000) 정도이다. 정적탄성은 0.67 (± 0.44) cc 정도이며(허승덕 등, 2000), 이번 연구에서는 외이도용적(0.78 \pm 0.2 cc)과 정적탄성(0.54 \pm 0.7 cc) 모두 선행 연구들보다 다소 낮은 결과를 보였으며, 개방 외이도용적(1.32 \pm 0.8 cc)도 낮은 결과를 보였다. 그러나 최대공명주파수와 공명이득은 큰 차이를 보이지 않았다.

우리나라 성인의 외이도공명은 선행 연구자들의 결과를 크게 벗어나지 않는다. 그러나 기존 연구들과는 달리 최대공명주파수는 외이도용적에 영향을 받고, 머리카락에 의한 음향 간섭 현상이 있음을 확인하였다. 이는 보청기 사용이 외이도 잔류 용적 등에 영향을 미치고 이로 인하여 증폭음의 공명주파수 이동과 고음역 공명손실 등을 예상할 수 있다. 따라서 이 연구 결과는 비노출 외이도형(complete in the canal; CIC)을 포함한 보청기 외형상 종류별 처방과정에서 보청기 제공 등 청각학적 재활 서비스 과정에서 발생할 수 있는 문제들에 대한 접근 방법 연구에 도움이 되며, 외이의 다양한 공명 특성을 연구하는데 있어서 중요한 기초 자료가 될 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- American Speech-Language-Hearing Association. (1990). "Guideline for screening for hearing impairment and middle ear disorders", *American Speech-Language-Hearing Association Supplement*, Vol. 2, 17-24.
- Cho, Y. S. & Koh, S. J. (1999). "Changes in Exteranal Ear Resonance after Ventilation Tuve Insertion in Pediatric Patients with Middle Ear Effusion", *Korean Journal of Otolaryngology Head and Neck Surgery*, Vol. 42, pp. 13-16.
- (조양선, 고석주 (1999). "소아 장액성 중이염 환자에서 환기관 삽입 후 외이도 공명의 변화", *대한이비인후과학회지* 42 권, pp. 13-16.)
- Heo, S. D., Choi, A. H. & Kang, M. K. (2006). *Rehabilitative Audiology - Cochlear Implants, Hearing Aids, Binaural Hearing*, Seoul, Sigma Press.
- (허승덕, 최아현, 강명구 (2006). *재활청각학-인공와우, 보청기, 양이 청취*, 서울, 시그마프레스.)
- Heo, S. D., Kim, L. S., Ko, D. H., Lee, J. H. (2000). "The comparison of the voice between the free field and the external auditory canal", *Speech Sciences*, Vol. 7, No. 4, pp. 83-90.
- (허승덕, 김리석, 고도홍, 이정학 (2000). "음장과 외이도 내부에서의 음성 비교", *음성과학* 7권, pp. 83-90.)
- Heo, S. D. & Yoo, Y. S. (2004). *Audiology 3rd edition*, Busan, Dong-A University Press.
- (허승덕, 유영상 (2004). *청각학* 3판, 부산, 동아대학교출판부.)
- Hong, S. H., Woo, H. C., Cho, Y. S., Koh, S. J. & Shin, M. H. (1997). "REUR Performed before Hearing Aid Fitting", *Korean Journal of Otolaryngology Head and Neck Surgery*, Vol. 1, pp. 64-69.
- (홍성화, 우효창, 조양선, 고석주, 신명희 (1997). "보청기 처방전 시행한 REUR의 특성", *대한청각학회지*, 1권, pp. 64-69.)
- Jang, C. H. & Lee, J. S. (1999). "The effect on acoustic characteristics of surgical modification of the external ear", *Korean Journal of Otolaryngology Head and Neck Surgery*, Vol. 42, pp. 1501-1504.
- (장철호, 이진수 (1999). "유양동 폐쇄술이 외이도 공명주파수에 미치는 영향", *대한이비인후과학회지* 42권, pp. 1501-1504.)
- Jeong, H. S., Koo, H. E., Lee, S. M., Koo, S. K., et al. (2001). "Change in Resonance Frequency and Length of External Auditory Canal Related to the Age", *Korean Journal of Otolaryngology Head and Neck Surgery*, Vol. 44, pp. 144-147.
- (정향숙, 구한열, 이상민, 구수권 등 (2001). "연령에 따른 외이도 공명 주파수와 길이의 변화", *대한이비인후과학회지* 44 권, pp. 144-147.)
- Keidel, W. D. & Neff, W. D. Eds. (1974). *Handbook of Sensory Physiology*, NY, Springer-Verlag.
- Kim, J. S. Ed. (2002). *Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery*, Seoul, Ilchokak.
- (김종선 편저 (2002). *이비인후과학-두정부외과학*, 서울, 일조각.)
- Lalwani, A. K. (2004). *Current diagnosis & treatment in otolaryngology*, NY, Mc Graw-Hill Professional.
- Lee, M. S. "A comparison between 1 cc coupler gain and real ear aided gain for completely-in-the canal hearing aids in adults" MS dissertation, Hallym University 2002.
- (이미소 (2002). "성인의 외이도형 보청기 착용시 실이착용이득과 1cc 커플러이득 비교", *한림대학교 석사학위논문*.)
- **최아현 (Choi, AhHyun)**
 동아대학교병원 청각전문가
 부산시 서구 동아대1길 30
 Tel: 051-240-5422
 Email: ahhyunchoi@naver.com
 관심분야: 진단청각학, 재활청각학
 대구대학교재활과학대학원
 - **이미소 (Lee, MiSo)**
 부산가톨릭대학교 언어청각치료학과
 부산시 금정구 부곡3동 9번지
 Tel: 010-9556-8208
 Email: miso1196@nate.com
 - **최아름 (Choi, AhReum)**
 부산가톨릭대학교 언어청각치료학과
 부산시 금정구 부곡3동 9번지
 Tel: 010-4548-4927
 Email: baboga_-a@hanmail.net
 - **허승덕 (Heo, SeungDeok, PhD)**
 동아대학교병원 청각전문가
 부산시 서구 동아대1길 30
 Tel: 016-9667-7081
 Email: audiolog@donga.ac.kr
 관심분야: 청각학, 청각전기생리학, 청각음성학
 고신대학교보건대학원 외래교수
 부산가톨릭대학교 강사