



Clinical Usefulness of Speech Mapping for Fitting of Hearing Aids

So Yean Kim, Jin Su Park, and Min-Beom Kim

Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Kangbuk Samsung Hospital, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

보청기의 적합 과정에서 스피치 매핑의 임상적 유용성

김소연 · 박진수 · 김민범

성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 이비인후과학교실

Received July 20, 2017
Revised August 25, 2017
Accepted August 28, 2017
Address for correspondence
 Min-Beom Kim, MD
 Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery,
 Kangbuk Samsung Hospital,
 Sungkyunkwan University
 School of Medicine,
 29 Saemunan-ro, Jongno-gu,
 Seoul 03181, Korea
Tel +82-2-2001-2264
Fax +82-2-2001-2273
E-mail minbeom.kim@gmail.com

Background and Objectives The aim of this study was to evaluate the usefulness of speech mapping based on real ear measurement for routine hearing aid fitting and to compare functional gains for evaluating subjective satisfaction of hearing aid users.

Subjects and Method Twenty two participants with bilateral symmetric (<10 dB HL difference) sensorineural hearing loss were enrolled in this study. All participants were fitted unilateral hearing aids with speech mapping using the National Acoustic Laboratories-Nonlinear 2 formula. After the initial fitting, patients were followed with the 2nd and 3rd fitting at two weeks and six weeks, respectively, and measured for aided pure tone average (PTA), aided speech discrimination score (SDS), the difference between target gain and real ear insertion gain (REIG) using speech mapping and subjective satisfaction via Korean Adaptation of the International Outcome Inventory for Hearing Aids (K-IOI-HA) questionnaire before further fitting was performed. We analyzed correlation of each parameter at 2nd and 3rd fitting with the K-IOI-HA score.

Results Every sequential aided PTA and SDS at 2nd fitting and 3rd fitting were significantly improved after repeated hearing aid fitting (all $p < 0.01$). In the correlation analysis between K-IOI-HA and each parameter, the aided PTA and aided SDS did not show significant correlations with subjective satisfaction from the 2nd and 3rd fittings. But the difference between the target gain and REIG in speech mapping showed significant negative correlations with the satisfaction scores at various speech level ($r = -0.609$ to -0.709 , all $p < 0.01$).

Conclusion Speech mapping using real ear measurement was useful to expect subjective satisfaction of hearing aid users and it would be a valuable tool for fine tuning to achieve individual preferences.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2018;61(6):287-94

Key Words Auditory threshold · Hearing aids · Hearing loss · Questionnaire.

서론

보청기의 적합(hearing aid fitting)은 환자 청력 손실의 특성을 고려하여 가장 적절한 형태의 보청기를 선택한 후 음향

이득과 출력 음압을 결정하는 과정이다. 보청기를 처방한 후에는 보청기 증폭 기능을 통한 음향학적 이득을 평가하기 위한 보청기의 기계적 검증(verification)이 필요하며 환자가 보청기를 착용함으로써 일상 생활에 얼마나 도움을 받고 만족하는지를 확인하는 보청기의 기능적 확인(validation)도 필요하다. 보청기를 착용한 후 환자가 얼마나 말소리를 정확하고 편안하게 잘 알아들을 수 있는지를 측정하고 환자의 귀

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

에 알맞게 조절해주는 과정은 필수적으로 중요한 일이다.

환자의 청력 역치에 근거한 처방법으로 보청기를 처방한 후에는 목표만큼 이득을 전달하는지 기계적 검증을 통해 보청기 자체의 기능을 확인해야 한다. 이를 측정하는 방법은 크게 세 가지로 방음실 내의 스피커를 통해 음이 방사되는 음장(sound field)에서 보청기를 착용하지 않은 상태와 착용한 상태에서 주관적인 청각 음향학적 측정을 하여 기능적 이득(functional gain)을 계산하는 음장 측정(sound field measurement), 실제 외이도 내에서 보청기를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 청력 역치를 객관적으로 측정하여 실이삽입 이득(real ear insertion gain, REIG)을 계산하는 실이 측정(real ear measurement), 2 cc 접합기를 사용하여 보청기의 음향학적 이득을 객관적으로 평가하는 접합기 반응(coupler response) 등이 있다.¹⁾

실이 측정은 실제 환자의 외이도 내부의 고막 가까이에 실리콘 재질의 probe microphone관을 삽입하여 보청기를 착용하지 않은 상태와 착용한 상태에서 각각 외이도 내부의 음향학적 특성의 dB sound pressure level을 측정하는 방법이다. 이 방법은 객관적인 검사로써 주관적으로 측정되는 기능적 이득과 달리 환자가 응답하지 않아도 되므로 어린 유소아에서도 시행할 수 있으며 검사 시간이 적게 소요되는 장점이 있다. 여러 가지 입력음과 음압에 있어 각 주파수에서 보청기에 의해 증폭된 음압이 보청기를 착용하지 않았을 때의 실이 공명반응(real ear unaided response, REUR)에 비해서 얼마나 증가하였는지 실이삽입이득(REIG)을 측정하여 목표 이득(target gain)과 얼마나 차이가 나는지를 구하여 보청기의 이득을 조절할 수 있다.²⁾

Speech mapping은 실이 측정을 기반으로 한 보청기의 기계적 검증방법으로 검사를 위해서 순음 신호(pure tone signal)를 사용하지 않고 일상 생활에서 접하는 대화나 음악, 말소리 등을 활용하는 장점이 있다. 순음 신호의 경우 최근 디지털 보청기의 잡음 제거(noise reduction) 기능, 음향 되울림 제거(acoustic feedback cancellation) 기능에 의해 잡음이나 되울림으로 받아들여져 보청기의 적절한 성능의 평가에 어려움이 있을 수 있으나 말소리를 활용하는 경우 이러한 오류를 피할 수 있다. 또한 speech mapping의 결과가 청력도(audiogram)의 형태로 바로 보여지기 때문에 환자의 이해를 도와 순음도를 높이는 데 도움을 줄 수 있다.³⁾

저자들은 보청기의 적합 과정에 있어 오래전부터 통상적으로 사용되고 있는 음장청력검사(sound field audiometry)와 speech mapping을 비교하고, 어떠한 방법이 환자의 주관적 만족도를 예측하는 데 있어 우수한지 확인해 보고자 하였다.

대상 및 방법

대 상

2013년 5~7월 강북삼성병원에 내원하여 보청기를 착용하게 된 환자를 대상으로 후향적 분석을 진행하였다. 대상 기준은 40~70 dB의 청력 역치를 보이는 중등도 및 중등고도 난청이면서 양측 청력 역치의 차이가 10 dB 미만인 양측 대칭성 감각신경성 난청 환자들을 대상으로 하였다. 이 중 소아, 전음성 난청, 추적 소실, 뇌혈관 질환이나 인지 장애 등 신경학적 기저 질환을 가진 환자들은 제외하여 총 22명의 대상자를 선정하였다. 환자군의 평균 나이는 69.5세, 성별은 남자 7명, 여자 15명, 보청기 착용 방향은 우측 9명, 좌측 13명이었다.

검사방법

각 대상자에서 처음 보청기를 맞추기 위해 외래를 내원하였을 때(1차 fitting) 보청기 미착용 시의 음장순음청력검사[unaided pure tone average(PTA)]와 어음청력검사[unaided speech discrimination score(SDS)]를 시행하였다. 모든 대상자는 Aurical FreeFit[®](Otometrics, Taastrup, Denmark)을 이용하여 National Acoustic Laboratories-Nonlinear 2 formula를 통해 일측성의 보청기 적합과 speech mapping을 시행하였다. Speech mapping에서는 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz의 6개 각 주파수에서 목표 이득(target gain)과 실이삽입이득(REIG)의 차이를 구하여 더한 총합을 분석하였다.

대상자들은 1차 적합으로부터 2주 후(2차 적합)와 6주 후(3차 적합) 경과 시 외래로 내원하여 보청기 착용 시의 음장순음역치(aided PTA)와 어음명료도(aided SDS)를 측정하였으며, speech mapping에서는 250~8000 Hz의 각 주파수에서 목표 이득과 실이삽입이득(REIG)의 차이를 구하여 더한 총합을 분석하였다. 보청기로 증폭된 소리가 환자에게 얼마나 주관적인 만족감을 주는지를 확인하기 위한 기능적 확인으로서 Korean Adaptation of the International Outcome Inventory for Hearing Aids(K-IOI-HA) 설문지를 시행하였다. 우리는 2차 적합과 3차 적합 시 시행한 음장청력검사 및 speech mapping의 여러 측정값과 K-IOI-HA 설문지를 통한 주관적 만족감과 상관관계를 분석하였다(Fig. 1).

Sound field audiometry

음장에서의 주관적 역치(subjective threshold) 측정은 이중 방음벽으로 구성된 방음실 안에서 Madsen Astera² audiometer[®](Otometrics)와 이에 장착되어 있는 2개의 external free-field amplifier speaker를 사용하였다. 환자와 스피커

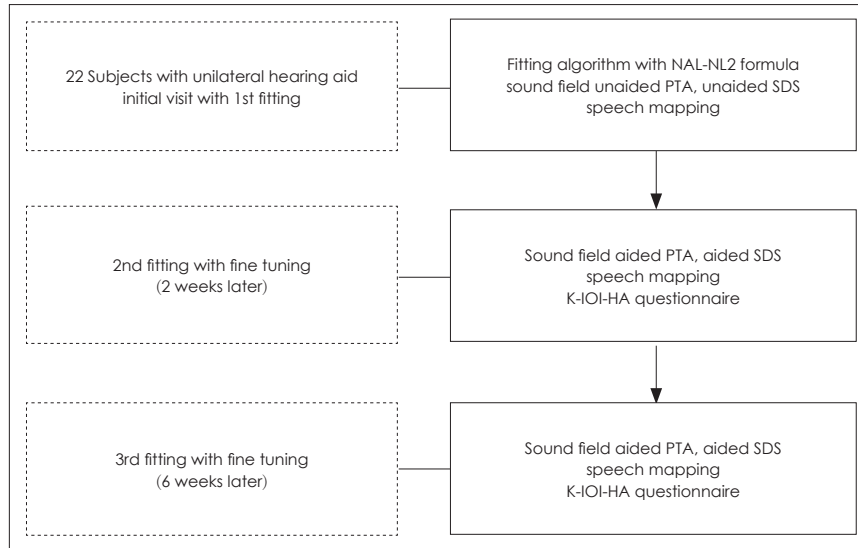


Fig. 1. Shown is the design of the study. NAL-NL2: National Acoustic Laboratories- nonlinear 2, PTA: pure tone average, SDS: speech discrimination score, K-IOI-HA: Korean Adaptation of the International Outcome Inventory for Hearing Aids.

의 거리를 1 m로 하고 각 스피커는 환자의 양측 45° 방위각 (azimuth)에 위치시킨 후 변조 순음(warble tone)으로 측정하였다. 검사 주파수는 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz로 하여 측정하였다. 보청기 착용 시 순음청력역치(aided PTA), 어음명료도(aided SDS), 보청기 착용에 따른 기능적 이득(unaided PTA-aided PTA), 보청기 착용에 따른 어음명료도의 호전 정도(aided SDS-unaided SDS) 등 총 네 가지 지표를 2차 적합과 3차 적합 시에 각각 측정하였다.

Speech mapping

실이 측정을 통한 객관적인 보청기의 기계적 검증은 Aurical FreeFit[®] system을 사용하였다. 이 시스템은 환자의 양이와 목에 거치하는 외부 장치(wireless speechlink 100 binaural neckset)와 프로그램(visible speech software)으로 구성되어 있으며, 양이에 거치하는 2개의 module은 reference microphone과 실리콘 재질의 유연한 probe microphone으로 이루어져 있다. 주변 잡음이 통제된 음장에서 환자는 정면을 바라보고 이마에서 약 1 m 떨어진 거리에 음장 스피커를 위치시켰다. 검사를 시행하기 전 probe microphone을 reference microphone에 연결시켜 보정(calibration)하였으며, 이정을 통해 환자의 외이도 상태와 길이를 파악한 뒤 probe microphone이 고막에서 2~5 mm 떨어진 곳에 위치할 수 있도록 환자의 외이도에 삽입하였다. 우리는 speech mapping system에 보청기 적합 소프트웨어인 NOAH link(HIMSA, Copenhagen, Denmark)를 연결하여 환자의 청력도와 목표 이득값을 반영한 보청기의 조절이 실시간으로 이루어지도록 하였다. Microphone의 신호 대역은 목에 거치하는 외부 장치의 무선 링크를 통해 컴퓨터에 전달되어 환자의 외이도 내에서의 신

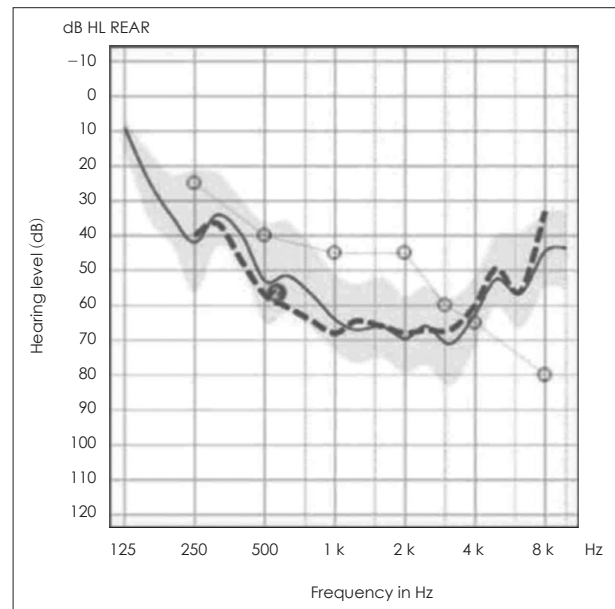


Fig. 2. Verification of unilateral hearing aid on 3 input levels for speech stimuli by the Aurical FreeFit[®], soft speech level (55 dB HL), comfortable speech level (65 dB HL) and loud speech level (75 dB HL). Figure shows example of speech mapping in comfortable speech level (65 dB HL). Shadow area shows spectrum of sounds in the ear canal, solid curve shows real ear aided gain and dotted curve shows real ear unaided gain+target gain. REAR: real ear aided response.

호 스펙트럼을 적합 과정 동안 실시간으로 조절자와 환자에게 보여주었다. 실제 말소리는 작은 소리 단계(soft speech level, 55 dB HL), 중간 소리 단계(comfortable speech level, 65 dB HL), 큰 소리 단계(loud speech level, 75 dB HL)로 구분해 제시하여 보청기의 이득을 측정하였다. 참조한 그림(Fig. 2)에서 점선은 보청기 착용 시 프로그램으로 처방된 목표 이득에서 실이공명이득(real ear unaided gain)을 합한 역치

값이며 실선은 보청기를 착용 후 실이증폭이득(real ear aided gain) 수치로 점선과 실선의 차이는 목표 이득과 실이삽입이득(REIG)의 차이를 나타낸다. 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz의 6개 각 주파수에서 목표 이득과 실이삽입이득(REIG)의 차이를 구하여 총합을 구하였다.

K-IOI-HA Questionnaire

보청기 효과의 주관적 평가를 위해 널리 사용되고 있는 설문지 중의 하나인 International Outcome Inventory for Hearing Aids(IOI-HA)의 한국어 번역판을 사용하였다. 총 7개의 질문 항목으로 구성되어 있고, 각각의 항목은 보청기 착용 후 일상 생활에서의 보청기 사용 시간(daily use), 이익(benefit), 보청기 사용에 따른 활동(residual activity), 만족도(satisfaction), 남아 있는 활동 제한(residual participation restrictions), 타인에 끼치는 영향(impact on others), 삶의 질(quality of life) 등으로 구성되어 각각 다른 결과 영역을 대변하고 있다. 각 질문 항목은 5개의 보기를 선택할 수 있도록

구성되어 있고, 가장 나쁜 결과를 의미하는 보기를 가장 좌측에 배치하여 1점으로 점수화하고, 우측으로 갈수록 점점 긍정적인 의미의 보기를 설정하고 1점씩 더하여 가장 우측의 보기 항목은 5점으로 정하였다. 각 질문 항목의 점수는 1점부터 5점까지, 총점은 최소 5점부터 최대 35점까지 표시할 수 있다(Fig. 3).⁴⁾

분석방법

통계 처리는 Windows용 SPSS version 18.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA), STATA version 14.0(STATA Corp., LP, TX, USA) 프로그램을 이용하여 분석하였으며 p value가 0.05 미만인 경우를 통계학적으로 유의한 것으로 정의하였다. 통계 분석에 앞서 모집단에 대한 정규성 검정을 시행하였으며, 정규 분포를 위배하지 않아 모수적 검정법(parametric statistical test)을 사용하였다. 보청기 적합이 거듭될수록 음장 청력검사에서의 청력 이득에 대한 경향성은 repeated measures ANOVA를 사용하였으며, speech mapping에서의 청력

1. 지난 2주간 현재 가지고 있는 보청기를 얼마나 자주 사용했는지 생각해 보십시오. 하루에 평균 몇 시간이나 보청기를 사용하십니까?				
사용하지 않음	1시간 미만	1~4시간	4~8시간	8시간 이상
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(2~3) 현재 가지고 있는 보청기를 사용하기 전에, 소리를 더 잘 듣기 원했던 상황을 생각해 보십시오.				
2. 지난 2주간 이런 상황에서 보청기를 사용하여 얼마나 도움을 받았습니까?				
전혀 도움이 되지 않았다	조금 도움이 되었다	보통이다	많은 도움이 되었다	아주 많은 도움이 되었다
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 현재의 보청기를 사용하고도, 같은 상황에서 얼마나 여전히 불편하십니까?				
아주 많이 불편하다	많이 불편하다	보통이다	조금 불편하다	전혀 불편하지 않다
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 모든 점을 고려할 때, 현재 사용하는 보청기가 그로 인한 불편함을 감수할 만한 가치가 있습니까?				
전혀 그렇지 않다	조금 그렇다	보통이다	많이 그렇다	아주 많이 그렇다
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 지난 2주간 현재의 보청기를 사용하고도, 청력으로 인한 불편함이 귀하가 할 수 있는 일에 얼마나 지장을 주었습니까?				
아주 많이 그렇다	많이 그렇다	보통이다	조금 그렇다	전혀 그렇지 않다
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. 지난 2주간 현재의 보청기를 사용하고도, 귀하의 청력 이상이 다른 사람들에게 얼마나 불편함을 주었다고 생각하십니까?				
아주 많이 그렇다	많이 그렇다	보통이다	조금 그렇다	전혀 그렇지 않다
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. 모든 점을 고려할 때, 현재의 보청기를 사용하여 귀하의 삶의 질이 얼마나 즐거워졌습니까?				
악화되었다	변화 없다	조금 즐거워졌다	많이 즐거워졌다	아주 많이 즐거워졌다
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fig. 3. Korean version of International Outcome Inventory for Hearing Aids questionnaire.

이득에 대한 경향성은 대응표본 t 검정(paired t-test of difference)을 사용하여 대표값으로 평균과 표준편차를 제시하였다. 음장청력검사 및 speech mapping 검사에서의 각 지표와 K-IOI-HA score와의 연관성은 피어슨 상관 분석(Pearson's correlation analysis)과 선형 회귀 분석(linear regression analysis)을 이용하였다.

결 과

음장청력검사(Sound field audiometry)

음장에서의 청력 역치는 1차 적합에서 보청기 미착용 시(unaided PTA) 평균 55.0 dB이었으며 2차 적합에서 보청기 착용 시(aided PTA) 37.4 dB, 3차 적합에서 보청기 착용 시(aided PTA) 31.4 dB로 점차 호전되는 양상을 보였다(Fig. 4A). 음장에서의 어음명료도의 경우에도 1차 적합 시 보청기 미착용 시(unaided SDS) 평균 78.5%, 2차 적합에서 보청기 착용 시(aided SDS) 91.0%, 3차 적합에서 보청기 착용 시(aided SDS) 94.0%로 호전을 보였으며 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Fig. 4B).

Speech mapping

2차 적합에서 목표 이득과 REIG의 차이는 작은 소리 단계에서 20.0 dB, 중간 소리 단계에서 18.0 dB, 큰 소리 단계에서

15.0 dB이었으며 3차 적합에서 목표 이득과 REIG의 차이는 작은 소리 단계에서 16.8 dB, 중간 소리 단계에서 12.5 dB, 큰 소리 단계에서 11.2 dB로 나타나 3차 적합 시에는 2차 적합 시에 비해 목표 이득과 REIG의 차이가 감소하는 경향을 보였다. 하지만 대응표본 t 검정을 이용한 통계 분석에서는 중간 소리 단계에서만 유의한 차이를 보였다($p=0.014$)(Table 1).

K-IOI-HA score와 각 지표와의 상관 분석

Speech mapping에서의 목표 이득과 REIG의 차이를 비롯하여 음장청력검사를 이용한 보청기 착용 시 순음청력역치(aided PTA), 어음명료도(aided SDS), 보청기 착용에 따른 functional gain(unaided PTA-aided PTA), 보청기 착용에 따른 어음명료도의 호전 정도(aided SDS-unaided SDS) 총 다섯 가지 지표와 주관적 만족감을 나타내는 K-IOI-HA questionnaire score 사이의 상관 분석과 회귀 분석을 시행하였다.

2차 적합에서는 speech mapping의 작은 소리 단계, 중간 소리 단계, 큰 소리 단계에서의 목표 이득과 삽입 이득 간의 차이가 모두 K-IOI-HA score와 통계적으로 유의한 음의 상관관계를 보여 목표 이득과 REIG의 차이가 감소할수록 K-IOI-HA score가 증가하는 경향을 보였고, 회귀 분석에서도 모두 음의 회귀 계수가 도출되었으며 통계적으로 유의하였다(Table 2A). 음장 청력검사에서 측정한 4개의 지표들에서는

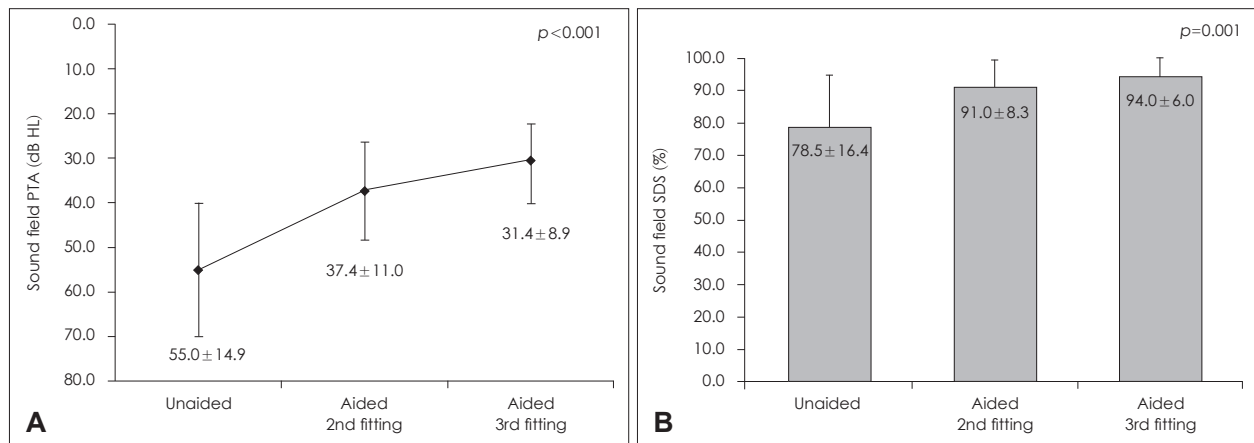


Fig. 4. Sound field PTA calculated using six-frequency average: unaided PTA, aided PTA at 2nd fitting and aided PTA at 3rd fitting (A). Sound field SDS: unaided SDS, aided SDS at 2nd fitting and aided SDS at 3rd fitting (B). PTA: pure tone average, SDS: speech discrimination score.

Table 1. The gap between target gain and REIG in speech mapping at 2nd and 3rd fitting

	Target gain-REIG (2nd fitting)	Target gain-REIG (3rd fitting)	p-value
Soft speech level (55 dB HL)	20.0 ± 12.9	16.8 ± 11.4	0.085
Comfortable speech level (65 dB HL)	18.0 ± 13.1	12.5 ± 9.9	0.014*
Loud speech level (75 dB HL)	15.0 ± 14.3	11.2 ± 10.8	0.074

Roughly, the more repeated hearing aid verification, the smaller gap between target gain and REIG. But this tendency has a statistical significance only in comfortable speech level (65 dB HL). * $p<0.05$. REIG: real ear insertion gain

Table 2. The analysis of correlation between K-IOI-HA score and variable parameter on sound field audiometry and speech mapping in 2nd fitting

Target gain-REIG	Pearson's coefficient		Linear regression		
	Correlation coefficient	p-value	Regression coefficient (95% CI)	p-value	R ²
A					
Soft speech level (55 dB HL)	-0.709	<0.001*	-0.736 (-1.077 to -0.395)	<0.001*	0.503
Comfortable speech level (65 dB HL)	-0.679	0.001*	-0.696 (-1.047 to -0.345)	0.001*	0.461
Loud speech level (75 dB HL)	-0.609	0.003*	-0.570 (-0.916 to -0.224)	0.003*	0.371
B					
Aided PTA	-0.225	0.313	-0.055 (-0.166 to 0.056)	0.313	0.051
Functional gain	0.139	0.536	0.028 (-0.065 to 0.122)	0.536	0.019
Aided SDS	0.080	0.725	0.026 (-0.125 to 0.176)	0.725	0.006
Gain of SDS	0.085	0.706	0.013 (-0.059 to 0.086)	0.706	0.007

Correlation between K-IOI-HA score and target gain-REIG (dB) in speech mapping (A), aided hearing threshold, functional gain, aided SDS and gain of SDS in sound field by Pearson's correlation analysis and linear regression analysis (B). * $p < 0.05$. K-IOI-HA: Korean Adaptation of the International Outcome Inventory for Hearing Aids, REIG: real ear insertion gain, SDS: speech discrimination score, PTA: pure tone average, CI: confidence interval

Table 3. The analysis of correlation between K-IOI-HA score and variable parameter on sound field audiometry and speech mapping in 3rd fitting

Target gain-REIG	Pearson's correlation		Linear regression		
	Correlation coefficient	p-value	Regression coefficients (95% CI)	p-value	R ²
A					
Soft speech level (55 dB HL)	-0.705	<0.001*	-1.548 (-2.274 to -0.821)	<0.001*	0.497
Comfortable speech level (65 dB HL)	-0.684	<0.001*	-1.736 (-2.601 to -0.871)	<0.001*	0.467
Loud speech level (75 dB HL)	-0.662	0.001*	-1.534 (-2.345 to -0.724)	0.001*	0.438
B					
Aided PTA	-0.463	0.030*	-0.260 (-0.491 to -0.028)	0.030*	0.215
Functional gain	0.077	0.734	0.147 (-0.143 to 0.436)	0.303	0.006
Aided SDS	0.155	0.491	0.029 (-0.148 to 0.207)	0.734	0.024
Gain of SDS	-0.053	0.813	-0.016 (-0.156 to 0.124)	0.813	0.003

Correlation between K-IOI-HA score and target gain-REIG (dB) in speech mapping (A), aided hearing threshold, functional gain, aided SDS and gain of SDS in sound field by Pearson's correlation analysis and linear regression analysis (B). * $p < 0.05$. K-IOI-HA: Korean Adaptation of the International Outcome Inventory for Hearing Aids, REIG: real ear insertion gain, SDS: speech discrimination score, PTA: pure tone average, CI: confidence interval

K-IOI-HA score와 통계적으로 유의한 상관관계가 나타나지 않았다(Table 2B).

3차 적합에서는 speech mapping의 작은 소리 단계, 중간 소리 단계, 큰 소리 단계에서의 목표 이득과 삽입 이득 간의 차이가 모두 K-IOI-HA score와 통계적으로 유의한 음의 상관관계를 보였고, 회귀 분석에서도 모두 음의 회귀 계수가 도출되었으며 통계적으로 유의하여 2차 적합 때와 유사한 경향을 보였다(Table 3A). 그러나 음장청력검사에서 측정된 4개의 지표 중 보청기 착용 시 순음청력역치(aided PTA)에서만 K-IOI-HA score와 통계적으로 유의한 음의 상관관계를 확인할 수 있었다(Table 3B).

고 찰

보청기의 조절은 우선 환자의 청력 상태를 측정하여 처방

공식(prescription formula)을 통해 보청기의 증폭 목표치를 산출하게 된다. 이를 토대로 적합하게 조절된 보청기는 목표 이득에 얼마나 가깝게 소리를 증폭시켜 주고 있는지 객관적으로 측정되어야 하며, 일상 생활에서 느끼는 주관적인 착용 효과를 알아보기 위하여 보청기 착용 전후의 수행 능력이나 만족도에 대한 평가도 병행되어야 한다.⁵⁾

보청기의 기계적 검증방법 중 음장 측정은 변조 순음(warble tone)이나 협대역의 신호(narrow band signal)를 사용하여 보청기 착용 시 각 주파수에서 역치가 얼마나 낮아졌는지 기능적 이득을 확인할 수 있다.⁶⁾ 검사방법이 일반 순음청력검사와 유사하여 비교적 간단하게 측정을 할 수 있어 보청기 적합 및 기계적 검증 시 고전적으로 가장 흔히 시행되는 검사 중 하나이다. 그러나 일종의 주관적인 검사방법이므로 청력 역치에 대한 근본적인 신뢰에 한계가 있으며, 검사 시간이 비교적 오래 걸리고 어린 유소아에서 시행이 어렵고 반대 측 귀를

차폐하고 시행해야 하는 제한점 등이 있다.⁷⁾ 또한 검사 재현성의 95% 신뢰 구간이, 실이측정검사가 3 dB인 데 비해^{8,9)} 음장 이득 측정은 약 15 dB인 점을 고려할 때¹⁰⁾ 재현성이 낮아 실이측정검사가 더 신뢰할 수 있는 검사라고 할 수 있다.¹¹⁾

실이 측정은 외이도에서 보청기의 증폭 특성을 측정하는 것으로 보청기 착용 전후의 음압 차이를 비교하여 보청기의 이득을 알아보는 데 사용한다.¹²⁾ 같은 크기의 소리 자극이라도 각 대상의 외이도 내에서 형성되는 음압의 크기가 외이도 공명 상태에 따라 달라지므로 소리 압력이 실제 고막 바로 앞에서 다른 값으로 바뀌게 된다. 성인에서는 대개 2700 Hz와 4000~5000 Hz에서 두 차례 실이 공명 현상이 일어난다.¹³⁾ 그로 인해 가령 폐쇄형 보청기를 착용하게 되면 외이도에 새로 형성되는 작은 용적으로 인해 더 큰 소리 압력이 발생할 수 있다. 외이도의 용적, 모양, 부피, 길이와 주위 조직의 물리학적 요소들이 관여하는 외이도 공명 상태에 의해 주파수별 음압이 개인마다 달라지게 되므로 실제 귀에서 보청기의 이득이 어떻게 나타나는지 알아보는 실이 측정의 중요성이 강조되어 왔다.¹⁴⁾

실이 측정방법으로 우선 보청기를 착용하지 않은 상태에서 실이공명반응(REUR)을 측정한 후, 같은 상태에서 보청기를 착용하고 실이증폭반응(real ear aided response)을 측정한다. 실이증폭반응과 실이공명반응과의 차이를 전 주파수 범위에서 연속적으로 기록한 곡선을 실이삽입반응(real ear insertion response)이라고 하며 각 주파수 별로 실이증폭반응과 실이공명반응과의 차이를 실이삽입이득(REIG)이라고 정의한다.²⁾ 실이삽입이득(REIG)의 값이 보청기의 처방 공식에서 예측한 목표 이득 및 음장에서 측정한 기능적 이득과 일치하는가를 확인하며 적합 시 이득을 조절해 주게 된다.²⁾

실이 측정은 보청기 조절 과정 중 환자에게 객관적인 자료를 보여 줄 수가 있고 함께 참여를 유도하므로 보청기 및 조절에 대한 신뢰감을 가지게 된다는 장점이 있다.¹⁵⁾ 그러나 기존의 실이 측정은 몇 가지 한계점을 가지고 있다. 우선 검사 시 사용되는 tone이나 noise를 통해 측정한 이득은 실생활에서의 말소리나 음악과 같은 복합음에 대한 이득과 상당한 차이를 보인다. 이러한 차이는 보청기 채널의 수, 압축의 속도, 압축의 역치 때문으로 알려져 있다.¹¹⁾ 또한 피드백 제어 기능이 장착된 고성능의 디지털 보청기에서는 순음으로 주어지는 검사 신호가 보청기에서 피드백으로 인식될 수 있고, 잡음 억제 기능이 보청기에 장착되어 있다면 측정 시 제시되는 신호가 잡음으로 간주되어 주파수별 이득을 낮게 책정할 우려가 있다.¹¹⁾

최근에는 tone이나 noise를 이용한 기존 실이 측정에서 나아가 실제 말소리를 신호음으로 제시하여 보청기 이득을 측정하는 speech mapping이 각광받고 있다. ‘Speech map’은

1992년 Audioscan사에서 처음으로 도입하여 등록한 보청기 매핑 환경 시스템이다.¹⁶⁾ 말소리가 실시간으로 보정 및 조정되어 제시되며 개개인에 맞는 말소리 가청 영역(speech banana)이 설정된다.¹⁵⁾ 외이도 실이 측정 장치를 삽입하고, 보정(calibration)된 말소리를 들려주면서 증폭된 소리의 장기평균어음스펙트럼(long-term average speech spectrum)이 환자의 청력에 따른 목표 이득 또는 말소리 가청 영역(speech banana) 범위에 일치하는지를 확인하여 보청기의 이득이나 다른 기능을 조절할 수 있다.¹⁷⁾

또한 이 검사는 실제 말소리를 작은 소리(soft speech level, 50~55 dB HL), 중간 소리(comfortable speech level, 65~70 dB HL), 큰 소리(loud speech level, 90 dB HL) 단계로 구분하여 제시하므로 다양한 강도의 실제 말소리가 편안한 수준에서 청취되도록 조절할 수 있어 기존 기기에 비해 정교하고 효율적이다. 이러한 측정 과정이 화면에 표시되므로 환자가 시각적으로 가청 영역을 확인하고 보청기 조절 과정에 직접 참여할 수 있다.¹⁸⁾

본 연구에서는 보청기의 기계적 검증에 위한 검사로써 speech mapping을 시행하고 보청기 적합이 이루어졌을 때 환자의 착용 만족도가 기능적 이득을 구하는 음장 측정결과와 비교하였을 때 어떠한 차이가 있는지 밝히고자 하였다.

적합을 거듭할수록 음장청력검사에서는 보청기 착용 시 청력 역치(aided PTA)와 어음명료도가 점차 호전되는 양상을 보이며 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 또한 speech mapping에서는 2차 적합 시에 비하여 3차 적합 시에 목표 이득과 REIG의 차이가 감소하는 경향을 보여 speech mapping을 바탕으로 한 적합을 반복할수록 목표에 근접한 이득을 줄 수 있음을 시사하였다.

환자의 주관적 만족도와 상관계 분석에서 2차 적합과 3차 적합 시의 speech mapping에서는 작은 소리(55 dB HL), 중간 소리(65 dB HL), 큰 소리(75 dB HL) 단계에서의 목표 이득과 삽입 이득 간의 차이가 모두 K-IOI-HA score와 통계적으로 유의한 음의 상관계수를 보여 목표 이득과 REIG의 차이가 감소할수록 K-IOI-HA score가 증가하는 경향을 보였다. 반면 음장청력검사에서 측정한 4개의 지표 중에서는 3차 적합 시 보청기 착용 시 순음청력역치(aided PTA)에서만 K-IOI-HA score와 통계적으로 유의한 음의 상관계수를 확인할 수 있었으며, 이에 대한 상관 계수는 0.463으로 유의한 상관계수를 갖는 다른 변수들에 비해 상관계수가 다소 작음을 알 수 있었다. 따라서 speech mapping에서 측정한 보청기의 음향학적 이득과 주관적인 보청기 만족도와 상관계가 음장 측정결과와 주관적인 보청기 만족도와 상관계와 비교하였을 때 상회하는 유의성을 보였다.

본 연구의 한계점 중 하나는 본 연구에 참여한 피험자가 22명으로 표본의 크기가 비교적 작고, 양측의 대칭적 중등고도 감각신경성 난청 환자들만을 대상으로 하여, speech mapping의 임상적 유용성 정도를 일반화하여 적용하기는 어려울 수 있다.

또한 보청기 착용을 통한 주관적 만족감에는 보청기의 음향학적 이득뿐만 아니라 환자 개개인마다 다른 생활 패턴, 난청으로 인해 느끼는 활동 제약의 정도에도 영향을 미치게 되는데 본 연구에서는 그러한 피험자의 특성에 대한 고려가 배제되어 있다. 동일한 난청 정도를 가진 환자들이 동일한 이득을 주는 보청기를 착용하여도 소음이 심한 장소에서 많은 시간을 보내는 사람은 만족감이 높지 않을 것이고 조용한 곳에서 많은 시간을 보내는 사람은 비교적 높은 만족감을 보이게 될 것이다. 따라서 주관적인 보청기의 기능적 확인을 정량화한 설문지 평가와 보청기의 음향학적 이득을 통한 객관적인 보청기의 기계적 검증 간의 경향성을 확인함에 있어 한계가 있다. 따라서 speech mapping의 임상적 유용성을 입증하기 위해서는 추후 피험자 수를 늘리고 통계학적으로 표본의 층화 분석(stratification)을 포함한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) Kodera K, Hosoi H, Okamoto M, Manabe T, Kanda Y, Shiraishi K, et al. Guidelines for the evaluation of hearing aid fitting (2010). *Auris Nasus Larynx* 2016;43(3):217-28.
- 2) Yoon TH. Hearing aid fitting and verification. *Korean J Audiol* 1998; 2(1):17-22.
- 3) Swan IR, Gatehouse S. The value of routine in-the-ear measurement of hearing aid gain. *Br J Audiol* 1995;29(5):271-7.
- 4) Chu HS, Cho YS, Park SN, Byun JY, Shin JE, Han GC, et al. Standardization for a Korean adaptation of the international outcome inventory for hearing aids: study of validity and reliability. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2012;55(1):20-5.
- 5) Oh SH. Current opinion on hearing aids. 2nd ed. Seoul: Sejong academy;2017. p.447.
- 6) Cho YS. Clinical Settings for Hearing Aids. *Audiol Speech Res* 2016; 12 suppl 1:527-32.
- 7) Tecca JE. Use of real-ear measurements to verify hearing aid fittings. In: Valente M, editors. *Strategies for selecting and verifying hearing aid fittings*. 2nd ed, New York: Thieme Publishing;1994. p.88-107.
- 8) Valente M, Valente M, Goebel J. Reliability and intersubject variability of the real ear unaided response. *Ear Hear* 1991;12(3):216-20.
- 9) Valente M, Meister M, Smith P, Goebel J. Intratester test-retest reliability of insertion gain measures. *Ear Hear* 1990;11(3):181-4.
- 10) Hawkins DB, Montgomery AA, Prosek RA, Walden BE. Examination of two issues concerning functional gain measurements. *J Speech Hear Disord* 1987;52(1):56-63.
- 11) Cho YS. Management of Hearing Aids Clinic. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2010;53(6):333-9.
- 12) Chung JH. Rehabilitation of sensorineural hearing loss: hearing aid. *Hanyang Med Rev* 2015;35(2):97-102.
- 13) Hong SH, Woo HC, Cho YS, Koh SJ, Shin MH. REUR (real ear unaided response) Performed before hearing aid fitting. *Korean J Audiol* 1997;1(1):64-9.
- 14) Noh H, Heo MG, Park SN, Park KH, Yeo SW. Feasibility of Real Ear Measurement for Hearing Aid Fitting in Preschoolers. *Korean J Audiol* 2010;14(3):181-6.
- 15) Moore BCJ. Speech mapping is a valuable tool for fitting and counseling patients. *Hearing Journal* 2006;59(8):26-31.
- 16) Cole WA, Sinclair ST. The audioscan RM500 speechmap/DSL fitting system. *Trends Amplif* 1998;3(4):125-39.
- 17) Cunningham DR, Lao-Davila RG, Eisenmenger BA, Lazich RW. Study finds use of Live Speech Mapping reduces follow-up visits and saves money. *Hearing Journal* 2002;55(2):43-9.
- 18) Ross T, Smith KE. How to use live speech mapping as part of a hearing instrument fitting and verification protocol. *Hearing Review* 2005; 12(6):40-9.