



청각 재활의 개인 맞춤형 접근 방법

신규하^{1,2} · 박무균^{1,2}

서울대학교 의과대학 서울대병원 이비인후과학교실¹
서울대학교 의학연구원 감각기관연구소²

Personalized Approach to Auditory Rehabilitation

Kyu Ha Shin^{1,2}, Moo Kyun Park^{1,2}

¹Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Seoul National University Hospital, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

²Sensory Organ Research Institute, Seoul National University Medical Research Center, Seoul, Korea

ABSTRACT

Personalized auditory rehabilitation is a critical aspect of helping individuals with hearing loss or auditory processing difficulties regain their communication abilities and improve their quality of life. Hearing loss and auditory challenges are unique to each individual, and patient outcomes can be significantly enhanced by tailoring rehabilitation programs to their specific needs. In this section, we discuss some critical components of a personalized approach to auditory rehabilitation. A comprehensive assessment is the first step in conducting a thorough evaluation of an individual's hearing and auditory processing abilities. This involves conventional audiometric testing, speech perception assessments, and specialized tests to identify the specific areas of difficulty. Based on the assessment results, it is necessary to establish clear and achievable goals with the individual and involve their family or caregivers. These goals should be tailored to the person's needs, preferences, and lifestyle, considering their communication demands. Personalized treatment plans should be developed that specifically address the areas of concern identified during the assessment. This may involve hearing aids, cochlear implants, bone conduction devices, personal sound amplification products, assistive listening devices, auditory training exercises, and/or speech therapy. Technological tools should be utilized tools to support auditory rehabilitation efforts. This could include apps, computer programs, or online platforms that offer personalized training exercises, hearing aid adjustments, or teleradiology services. Machine learning and big data analysis can accelerate personalized auditory rehabilitation.

KEY WORDS: Hearing loss; Rehabilitation; Personalized; Hearing aids.

서론

인구의 노령화와 소음노출의 증가로 인해 난청 인구의 급격한 증가가 예상되고 있으며, 이에 따라 청각재활의 필요성

이 늘어날 것으로 보인다. 난청은 노인에서 이미 관절염, 고혈압에 이어 3번째로 흔한 질환이다.¹⁾ 스마트폰의 보급과 개인용 음향기기의 사용 증가로 인해 소음성 노출의 증가로 인해 청소년에서의 경도 난청 혹은 고주파수 난청이 증가하고

Received: September 8, 2023 / Revised: October 10, 2023 / Accepted: October 29, 2023

Corresponding author: Moo Kyun Park, Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Seoul National University College of Medicine, Seoul 03080, Korea

Tel: +82-2-2072-2447, Fax: +82-2-745-2387, E-mail: aseptic@snu.ac.kr

Copyright © 2023. The Busan, Ulsan, Gyeongnam Branch of Korean Society of Otolaryngology-Head and Neck Surgery.

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.

있다. 또한 최근 전통적인 보청기 사용의 대상군에 해당되지는 않으나, 보청기를 통한 청각 재활로 이득을 볼 수 있는 경도난청 혹은 일측성 난청에서의 청각재활에 대한 관심이 증가하고 있다.²⁾ 경도 난청 혹은 일측성 난청 또한 의사소통과 학업에 영향을 주는 것이 알려지고 있고, 과거의 청각재활에 비해 사용의 편이성이 증가하고, 비용 효과면에서도 발전이 이루어지고 있다. 또한, 보청기, 인공와우 등의 전통적인 청각재활 방식 이외에 이식형 골도 보청기, 개인용 소리증폭기, 다양한 hearable 장비의 등장과 함께 기계학습과 인공지능, 빅데이터기술, 유전자치료의 활용에 따라 다양한 난청 정도와 난청 환경에 따른 청각재활 기기의 사용과 적응, 약물치료와의 병합 치료 등이 가능해지고 있다. 애플 아이폰이 소개된 이후 스마트폰은 급속히 대중화되었으며, 스마트폰에서 사용되는 다양한 앱은 보청기 기능을 제공하며, 의사소통 향상에 기여할 수 있는 음성 증폭 기능뿐만 아니라, 소리를 문자로 변환시켜 주거나 소리를 감지하여 사용자에게 알림을 통해 경고할 수 있다. 또한 위치 정도와 주변 소음을 분석하여 다양한 소리 증폭 전략을 제시할 수 있다. 이에 따라 기존의 난청 재활이 보청기를 먼저 시작하고 어떻게 착용할지에 초점이 맞추어져 있었다면, 최근에는 다양한 개인의 청력상태와 요구에 따라 개인 맞춤형 청각재활의 필요성이 대두되고 있다. 각 청각재활 방법을 각 귀의 난청 상태에 따라 혹은 주변 환경과 개인의 선호도에 따라 선택 혹은 조합을 통해 활용도가 증가할 것으로 보인다. 가령 잔청이 있는 귀에 보청기를 사용하며, 고도난청인 귀에는 인공와우를 사용하거나, 경도 난청에서 보청기와 스마트폰 앱을 같이 사용하여 소리 증폭과 문자 자막을 동시에 이용하여 의사소통의 효율성을 높일 수 있다. 유전자 기술의 발달에 따라 보청기의 사용중 혹은 인공와우 사용 전에 유전자 치료나 약물 사용에 대한 필요성도 소개되고 있다. 본 종설에는 개인형 맞춤형 청각재활에 활용 가능한 최근의 기술 발전을 살펴보고, 이들이 청각재활에 어떻게 활용될지 논의해보려고 한다.

본론

다양한 청력검사를 통한 개인 맞춤형 청각분석

개인 맞춤형 청각재활을 위해서는 개개인의 청각학적 특성에 대한 분석과 요구를 정확히 파악하는 것이 중요하다. 기존의 순음 및 어음청력검사만으로 실제 일상 청취 환경에서 느끼는 다양한 상황을 반영하는 것에는 한계가 있다. 개인 맞춤형 청각재활을 위해 사용가능한 청력검사에는 최저

안정역치(most comfortable loudness level), 불편역치(uncomfortable loudness level) 등 외에도 소음하 청취 검사(hearing in noise test, HINT), 방향성 검사, central auditory process에 대한 검사 등 다양한 청력검사를 활용할 수 있다. 불편 역치가 낮은 경우 최대 출력을 이에 맞추어 낮게 조절하고, WDRC(wide dynamic range compression)를 사용해야 한다.³⁾ HINT는 소음 환경하에서의 청취 능력을 측정할 수 있다.⁴⁾ 소음 하에서 어음 분별력이 급격히 낮아지는 경우 소음 감쇄와 방향성 마이크로폰 사용을 활성화해야 하겠다. 방향성 검사를 통해서 양이사용에 대한 이득을 확인해 볼 수 있다. 방향성이 중요한 환자의 경우 양이 보청기 사용을 권장하고, 일측 난청에서 방향성에 대한 개선을 원하는 경우 CROS(contralateral routing of signals) 보청기나 이식형 골도 보청기보다는 인공와우를 권장할 수 있겠다. Dichotic listening test를 통해 주로 사용하는 귀를 확인하고, 선택적 집중(selective attention)과 양이 통합처리능력 등을 평가할 수 있다.⁵⁾ 노인에서 양이 간섭이 심한 경우에는 일측 보청기뿐만 청각 재활이 필요한 경우도 있다. 환자의 작업기억력(working memory)에 따라 서로 다른 청각재활 전략을 구사할 수도 있다. 일반적으로 작업 기억력 검사에서 높은 수행력을 보이는 경우 다양한 신호 처리를 선호한다. 음의 왜곡이 일부 발생해도 높은 작업 기억력이 이를 보상할 수 있다. 반면 작업 기억력이 낮은 경우 심한 소음 감쇄 기능이나 빠른 압축 비율 변화 등을 통해 음이 왜곡되는 경우 오히려 어음 분별력이 나빠질 수 있다.

설문지를 활용하는 방법은 해당 개인의 청력 상태와 청각 문제를 파악하고, 이를 기반으로 최적의 재활 전략을 수립하는 과정을 포함한다. 노인에서 청력소실로 인한 불편감을 측정하는 설문지로는 HHIE(hearing handicap inventory for the elderly)⁶⁾가 주로 이용되고 있으며, 보청기를 통한 이득을 정량적으로 평가하기 위해서는 APHAB(abbreviated profile of hearing aid benefit),⁷⁾ COSI(client oriented scale of improvement),⁸⁾ IOI-HA(international outcome inventory-hearing aids)⁹⁾ 등이 사용되고 있다. 난청 상황을 파악하기 위한 설문지에는 또한 환자의 의사소통 스타일과 선호도를 파악하여 어떤 유형의 청각 보조 기기나 시스템이 가장 적합한지를 고려한다. 환자와 함께 청각 재활에 대한 목표를 설정하여 어떤 상황에서 개선을 원하고, 어떤 결과를 기대하는지에 대한 명확한 이해를 도울 수 있다. 환자 개인의 선호도와 생활 방식을 고려하여 보청기나 청취 보조 기기의 디자인, 모양, 사용법 등을 선택한다. 환자의 반응과 청각 개선 정

도를 경과 관찰하고, 필요할 경우 재활 전략을 조정한다. 이와 같은 설문지 접근법으로 개인의 청력 상태와 요구에 맞춘 맞춤형 재활을 위해 중요한 기초를 제공한다. 이를 토대로 의료 전문가나 청각 전문가는 환자에게 최적의 보청기나 청각 보조 기기를 추천하고, 개인화된 사용 지침을 제공할 수 있다.

다양한 난청 상황에서의 개인 맞춤형 청각재활 방법

최소 난청 혹은 정상청력

과거 중등도 이상에서 보청기 사용을 권장하는 것이 일반적이었으나, 최근 보청기 기술의 발달과 다양한 난청 재활 기기의 발달에 따라 최소 혹은 정상인에서 소리 증폭에 대한 관심과 요구가 증가하고 있다. PSAP(Personal sound amplification products)는 보청기와 유사한 기능을 가진 개인용 장치로, 주변 소리를 증폭하여 듣기 어려운 소리를 더 잘 듣게 도와주는 역할을 한다(Fig. 1).¹⁰⁾ 이는 사회 활동이나 야외에서 발생하는 소리를 더 잘 듣기 위해 사용할 수 있다. 또한 경도 난청 환자의 경우, 청력 손실이 경도 수준에 해당하므로 일상 생활에서 일부 소리를 더 확실히 듣기 위해 고려해 볼 수 있다. 이는 사용자의 청력 상태에 맞게 맞춤 설정이 가능하다. 특히 난청인에서 PSAP는 의료 전문가의 지도하에 사용되어야 하며, 초기에 청력 전문가가 소리 증폭 정도, 주파수 조절 등을 조정해 사용자에게 최적의 청취 환경을 제공할 수 있다.¹⁰⁾ PSAP 사용 중에도 청력 상태는 변할 수 있다. 주기적으로 의료 전문가와의 상담을 통해 PSAP의 설정을 조정하거나, 보청기 등 다른 대안을 검토할 수 있다. 환자의 청력 상태와 요구를 고려하여 적절하게 사용 계획을 수립하는 것이 중요하겠으며, 보청기보다는 간편하고 경제적인 대안이지만, 의료

전문가의 전문적인 조언과 함께 사용해야 최상의 결과를 얻을 수 있다.

경도 및 중등도 난청

경도 및 중등도의 난청에서 가장 우선적으로 고려해 볼 수 있는 청각재활 방법은 보청기이다. 또한, 보청기는 모든 형태의 난청에서 가장 먼저 시도해 볼 수 있는 비침습적이고 효과적인 청각재활방법이다. 보청기는 청력 손실을 보완하고 개선하기 위해 개발된 전자 기기로, 소리를 증폭하거나 처리하여 사용자가 더 잘 들을 수 있도록 도와준다. 보청기는 맞춤 설정되며, 사용자의 청력 상태와 선호도에 따라 다양한 기능을 제공할 수 있다. 디자인 다양성, 청력 개선, 자동화 및 프로그래밍, 블루투스 연결성 등의 다양한 특징을 가지고 있으며, 보청기는 의사나 청각 전문가와 함께 조정되며, 사용자의 청력 상태와 개인적인 요구에 따라 맞춤 설정된다. 개인의 편의와 라이프스타일을 고려하여 보청기 모델과 설정을 선택하고, 사용도중에는 정기적인 유지 보수와 조절이 필요하다.

중등-고도난청

중등-고도난청에는 전통적으로 보청기가 사용되어 왔으나, 보청기의 착용이 어려운 경우 중이 이식술을 고려할 수 있다. 또한, 저주파수 잔청이 있고 고주파수 난청이 심한 부분농 환자에서 저주파수 잔청을 보존하여 이를 보청기로 증폭하고, 고주파수는 인공와우로 자극하는 방법으로, 인공와우와 보청기를 동시에 사용하는 electric acoustic stimulation을 고려할 수 있다.¹¹⁾

최근 보청기 분야에서는 소리 되울림 제거 기술, 소음 제거 기술, 크기의 소형화 등 다양한 기술적 발전이 있었음에

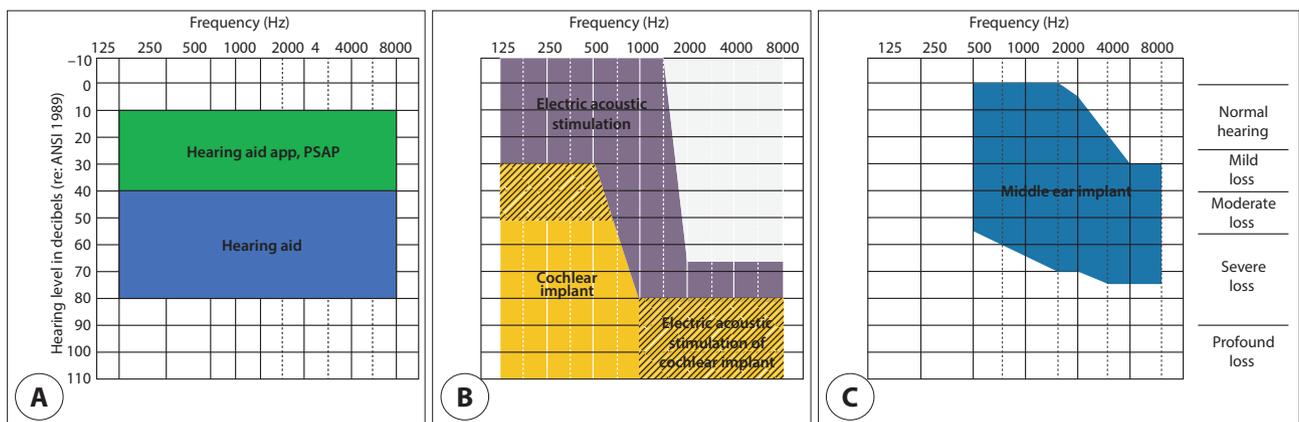


Fig. 1. Various auditory rehabilitation according to the degree of hearing. A: Indications of hearing aid, hearing aid app, and personal sound amplification product (PSAP). B: Indications of cochlear implant and electric acoustic stimulation. C: Indication of middle ear implant.

도 불구하고, 폐쇄효과와 소리의 되울림(feedback), 주파수 왜곡, 소리 방향성 확보 등의 본질적인 문제뿐만 아니라, 보청기 착용으로 인한 이통, 외관적인 문제, 이구 전색, 염증 등의 불편감이 나타날 수 있어, 많은 환자들이 여전히 보청기의 사용을 꺼리고 있다.¹²⁾ 또한 중고도 이상의 난청이 진행된 경우, 소리 증폭으로 얻을 수 있는 이득에 한계가 있을 수 있으며, 과도한 증폭으로 인해 불쾌감이 더 증가할 수 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 다양한 이식형 보청기들이 개발되고 있으며, 이는 이어몰드가 필요 없으며 소리를 증폭하는 것이 아니라 진동하는 것이기 때문에 기존의 보청기 문제를 일차적으로 해결할 수 있다.¹³⁾ 중이 이식기는 이소골을 진동시켜 소리를 전달해주는 장치로써 에너지 전달 형태에 따라 압전소자를 이용한 기구(piezoelectric device)와 전자기 기구(electromechanical device)로 나눌 수 있다.¹⁴⁾ 압전소자 기구는 압전소자결정(piezoceramic crystal)으로 구성된 진동자(vibrator)에 의해 소리를 전달한다. 소리 자극이 전기에너지로 변환된 후 압전소자를 통해 진동을 생성한다. 이 진동자인 압전소자는 이소골에 접촉하고 있으며, 그 진동이 이소골 내에서 발생하여 소리에너지가 내이로 전달된다.¹⁴⁾ 반면에 전자기 기구의 경우 소리에너지가 전기에너지로 전환되고, 이후 전자기장 변환기(electromagnetic transducer)를 통해 미세한 진동이 생성된다. 이 변환기는 클립(clip) 등을 통해 이소골에 부착된 상태로 직접 접촉하지 않고 진동을 생성한다. 일부의 기구가 체외로 나와 있는 부분적 이식 가능 기구(partial implantable device)와 모든 기구가 몸 안에 이식되는 전 이식가능 기구(total implantable device)로 분류할 수 있고, Envoy와 Carina device 등이 여기에 해당된다.¹⁵⁾ 중이 이식기는 ski-slope 형태의 감각신경성 난청 환자에게 큰 도움이 될 수 있다.¹⁴⁾ 이는 보청기와 비교하여 고주파수 영역에서 더 큰 이득을 제공하며, 어음감별력 측면에서도 기존 보청기보다 뛰어난 결과를 보여준다.

고도 난청

인공와우(cochlear implant)는 중등도부터 중증 이상의 감각 신경성 청력 손실을 가진 사람들을 위해 개발된 의료 기기이다. 인공와우는 내부 귀로 신경을 통해 소리를 전달하여 청각을 회복하거나 개선하는 역할을 한다. 일반적인 보청기와는 다르게 실제 소리를 증폭하는 것이 아니라, 소리를 전기 신호로 변환하여 뇌에 직접 전달하여 청각을 활성화시킨다. 마이크, 음성 프로세서의 외부 부분과 전극배열로 구성된 내부 부분으로 나눌 수 있다. 소리 수집과 처리의 과정을 거쳐 디지털

신호로 변환하게 되고, 이러한 디지털 신호는 내부 전극을 통해 청각 신경에 직접 전기 신호를 전달하여 뇌의 청각 중추에 도달하여 음성을 해석할 수 있도록 한다. 인공와우는 청력 손실 정도에 따라 의료 전문가의 평가와 수술을 통해 적절한 후보자를 선별한 후 삽입되는데, 이 기술은 심각한 청력 손실을 겪는 사람들에게 생활의 질을 크게 향상시켜주는 중요한 장치이다. 최근 인공와우기술의 개발과 함께 고도 난청외에도 중등도 난청과 일측 난청으로 점차 적응증이 확대되고 있다.

일측성 난청

최근 일측성 난청 환자에서 청각재활에 대한 요구가 증가하고 있어 이들의 요구에 적합한 개인 맞춤형 청각 재활이 중요하다. 먼저, 의료 전문가는 환자의 일측성 난청 정도와 원인을 평가한다. 각각의 경우에 따라서 치료나 재활 계획이 달라질 수 있다. 보청기를 사용하여 이상적인 청력 상태에 가깝게 들도록 도와줄 수 있으며, 소리를 증폭시켜 듣기 어려운 소리를 더 잘 들을 수 있도록 도와주며, 일상 생활의 편의성을 향상시킬 수 있다. 또한, 다른 귀의 청력이 정상이라면, CROS 보청기를 고려할 수 있다.¹⁶⁾ CROS 보청기는 소리를 건강한 귀로 보내 주어 일측성 난청을 보완하는 데 도움을 줄 수 있다. 개인의 청력 상태와 요구에 따라 청각 재활 프로그램을 수행할 수 있다. 이는 음성청취 향상을 위한 교육, 청력 훈련, 의사소통 전략 등을 포함할 수 있다. 이식형 골도 보청기 또한 일측성 난청의 청각 재활에 중요한 도구이며, CROS 보청기를 위해 정상 귀의 보청기 사용을 꺼리는 경우 좋은 대안이 될 수 있다.¹³⁾ 소리의 방향성과 이명이 주된 요인이라면 CROS 보청기나 이식형 골도 보청기보다는 인공와우가 적합한 청각재활 방법이 될 수 있다.

전음성 난청

전통적인 전음성 난청의 청각재활 방법은 수술을 통한 청각재활과 기도 혹은 골도 보청기이다. 하지만 최근 이식형 골도 보청기의 발전으로 인해 전음성 난청의 재활에 대한 선택의 폭이 넓어지고 있다.¹³⁾ Cochlear사의 BAHA(bone anchored hearing aid; Cochlear, Sydney, Australia)는 이식형 골도 보청기 중 최초로 개발된 제품으로, titanium 재질의 이식 screw, abutment, 그리고 진동기로 이루어져 있다. 피부를 관통하여 외부로 노출된 screw를 사용하는 피부관통형(percutaneous type) 기종이 먼저 등장했는데, Oticon사의 Ponto가 이와 같은 방식을 사용하는 대표적인 기기입니다. 또한, 피부 안과 밖의 자석을 활용해 진동을 전달하는

경피(transcutaneous type) 이식기인 BAHA Attract도 개발되었다.¹⁷⁾ Sophono는 골융합재질 대신 두개골에 고정된 screw로 소리를 전달하는 새로운 방식의 경피형 골도 보청기이다. 그 외에도 Bonebridge와 같은 골도형 부동 이식기(bone conduction floating mass transducer, BC-FMT)가 개발되었는데, 이는 중이 이식기와 비슷한 원리로 작동하며, 부동 이식기의 진동이 screw를 통해 전달되는 구조이다.¹⁷⁾ Bonebridge는 능동적으로 움직이는 능동적 기기(active device)로 분류되며, 다른 기기들은 외부 진동기의 진동을 내부의 이식기로 전달하는 수동적 기기(passive device)로 분류된다.¹⁷⁾

다양한 방법을 통한 개인 맞춤형 미세 조절

실이측정을 통한 개인 맞춤형 미세조정

최근의 보청기를 통한 난청 재활은 개인 맞춤의 미세 조절(fine tuning)이 가능하다(Fig. 2). 각 개인에 실제 전달되는 음압은 외이도의 크기와 모양, 머리와 어깨의 모양, 나이, 성별, 보청기의 종류, 환기구, 송화기의 위치 등에 따라 달라진다. 실이 측정을 통해 고막에 전달되는 음압의 강도를 정확히 측정하는 것이 가능하면 이를 통해 객관적으로 증폭을 결정할 수 있다. 또한, 방향성, 소음 감쇄기능, 피드백 제거기능, 주파수 전이기능, CROS 보청기의 성능 등도 객관적으로 측정이 가능하다.

향후 OTC(over-the-counter) 보청기를 통해 사용자가 직접 다양한 기능을 조절할 수 있는 있을 것으로 기대된다.¹⁸⁾ 청력 상태와 주변 환경에 따라 보청기를 최적화하고 편리하게 사용할 수 있을 것이며, 실내, 실외, 소음이 있는 장소, 조용한 장소와 같은 상황에 맞춰 사전에 설정된 음성 프로파일을 선택할 수 있어 다양한 환경에 최적화된 음질을 제공받을 수 있을 것이다. 주변 소음을 감지하고 억제하는 기능뿐만 아니라,

음성 강화 모드를 통해 소음이 있는 환경에서도 대화를 더 잘 이해하고 들을 수 있을 것으로 기대된다. 스마트폰 앱을 통해 보청기 설정이나 음성 환경을 조절할 수 있을 것이다. 또한, 자주 사용하는 설정을 기억하고, 주변 환경에 따라 자동으로 조절하는 기능을 통해 특정 상황에서 계속 조절할 필요 없이 최상의 청력을 유지할 수 있을 것이다. 이러한 자가 조절 기능을 통해 보청기를 자신에게 맞게 개인화하고 다양한 상황에서 직접 조절할 수 있을 것이다.

빅데이터를 활용한 피팅

빅데이터는 대량의 정보를 수집하고 분석하여 개인 맞춤형 청각 재활을 제공하는 데 도움을 줄 수 있다.¹⁹⁾ 환자의 청력 상태, 의료 기록, 의사소통 스타일, 일상 활동 등 다양한 개인 데이터를 수집하며, 이를 분석하여 어떤 청력 문제가 있는지와 어떤 환경에서 어려움을 겪는지를 파악한다. 이렇게 얻은 분석 결과를 바탕으로 개인에게 가장 적합한 보청기 설정이나 보조 기기 설정을 결정한다. 특히 일부 보청기는 실시간으로 사용자의 청력 상태와 주변 환경을 모니터링하여 설정을 조정할 수 있다. 이로써 보청기 사용자는 다양한 환경에서 최적의 청각 환경을 유지할 수 있다. 또한 사용자의 피드백과 데이터를 수집하여 계속해서 보청기나 보조 기기의 설정을 개선한다. 이런 노력을 통해 개인의 청력을 점진적으로 개선할 수 있다. 빅데이터를 활용한 개인 맞춤형 재활 피팅은 청력 재활 기술의 발전과 함께 확대되고 있는 분야이다. 이는 개인의 특별한 요구와 필요에 맞춰 청각 재활을 제공하는 중요한 도구로 활용될 수 있다.

기타 청각보조 기구의 활용

스마트폰을 활용한 맞춤형 청각 재활

개인 맞춤형 청각 재활에 스마트폰을 활용할 수 있다. 스마

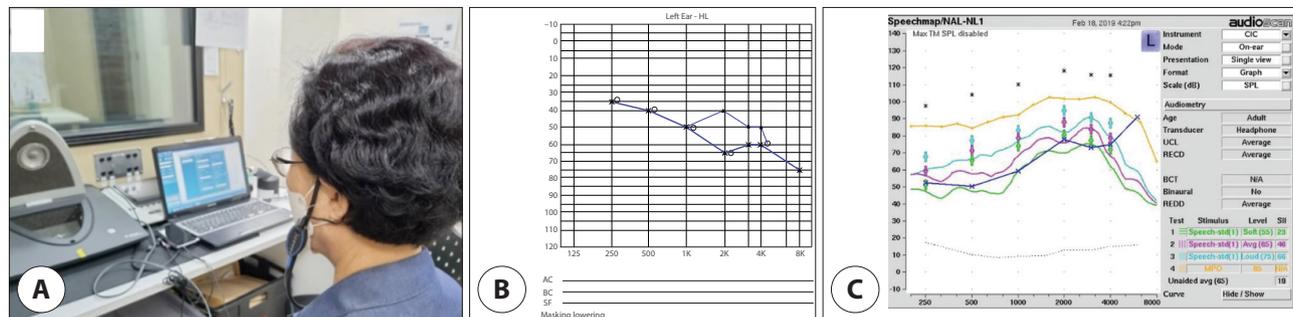


Fig. 2. Fine tuning of hearing aids using real ear measurement (REM). A: Performing a REM probe tube calibration. B: The audiogram showing the differences between aided and unaided thresholds. C: Sample case of of REM.

트폰을 활용하여 어플리케이션을 통해 청력 측정 및 평가가 가능하다.²⁾ 자신의 청력 상태를 간편하게 확인하고, 이를 기반으로 개인 맞춤형 재활 계획을 수립할 수 있다. 사용자의 청력 특성에 맞게 소리의 주파수, 볼륨, 음질 등을 조절하는 청취 프로필을 어플리케이션에서 설정할 수 있다. 이를 통해 사용자는 주변 환경에 맞게 최적의 청취 경험을 만들어낼 수 있다 (Fig. 3). 스마트폰은 주변 환경 소리를 증폭시켜 듣기 어려운 소리도 더 잘 들을 수 있도록 도와주는 기능을 가질 수 있다. 또한, 주변 소리 중 특정 소리를 감지하고, 이에 반응하여 알림을 주는 기능도 포함될 수 있다. 대화 내용을 실시간으로 인식하여 자막으로 제공하거나 필요에 따라 다른 언어로 번역해주는 기능을 제공할 수 있다. 이를 통해 청각 장애인들은 의사소통에 더 쉽게 참여할 수 있다. 또다른 기능으로, 주변 소리의 방향을 감지하고, 이를 시각적 또는 진동 신호로 변환하여 사용자에게 전달할 수 있다. 이를 활용하여 소리의 발생 위치를 파악하거나 주변 환경 소리에 대한 정보를 제공할 수 있다. 스마트폰을 활용하여 청각 재활을 위한 게임이나 교육 어플리케이션을 통해 사용자는 흥미롭게 훈련을 받으며 청력을 향상시킬 수 있다. 또한, 개인 맞춤형 음악 및 오디오 콘텐츠를 통해 사용자는 좀 더 풍부하고 편안한 청취 경험을 얻을 수 있다. 이러한 방안들은 스마트폰과 기술의 발전을 활용하여 청각 장애인들이 보다 더 풍부하고 참여할 수 있는 생활을 할 수 있도록 도와줄 수 있다. 개인의 청력 특성을 고려한 맞춤형 접근법을 통해 보다 나은 청각 재활이 가능해질 것이다.

FM(frequency modulation system) 시스템의 활용

FM(frequency modulation system)은 주로 환자의 청력이 약해 소리를 정확하게 듣기 어려운 상황에서 사용된다.²⁰⁾ FM 시스템은 송신기, 수신기, 보조 수신기로 이루어져 있어

환자의 음성을 무선으로 수신하고, 이를 개인의 보청기나 청취 보조 기기에 전송하는 시스템이다. 주로 교실, 회의실, 레스토랑 등 소음이 많은 환경에서 활용되며, 이를 통해 소음제거, 장거리수신, 개인의 청력 상태에 따라 소리를 조절하여 최적의 청취 환경을 제공할 수 있는 장점을 가지고 있어, 교육 및 사회 활동에 도움이 될 수 있다.

결론

보청기, 인공와우, 이식형 기기의 발달, 인공지능, 무선 데이터 기술, 스마트폰, 개인용 소리증폭기의 도입과 발달에 따라 현재 우리는 다양한 청각재활 도구를 가지게 되었다. 이를 통해 환자의 다양한 청각 정도와 요구에 대응할 수 있는 개인 맞춤형 청각 재활이 가능해지고 있다. 환자의 요구를 정확히 판단하기 위해 전통적인 청력검사법에 더해 소음하 청력검사, 방향성 검사, 난청과 보청기 설문지를 활용한 면담이 중요할 것으로 보인다. 간과하기 쉬운 경도 난청과 일측성 난청 등에 대해서도 환자의 불편감을 최소화하고, 의사소통의 효율을 향상시키는 여러 방법을 활용해 볼 수 있다. 스마트폰은 현대사회의 필수품이 되었고, 노령 인구 층에서도 대부분 스마트폰 활용이 가능해지고 있다. 앞으로 활용한 청각 재활 방법은 더욱 다양해지고 증가될 것이다. 일례로 보청기와 스마트폰의 조합을 통해 경도 난청에서 재활이 더욱 증가할 것으로 보인다.

또한, 개인용 소리 증폭기와 OTC 보청기의 사용이 증가할 것으로 보이며, 이에 따라 자가 피팅(self-fitting)도 늘어날 것이다.¹⁸⁾ 이비인후과 의사는 개인맞춤형 청각재활의 모든 도구 방법에 접근 가능한 유일한 청각 전문가이다. 청각 전문가로서 환자 개개인에게 적합한 난청 재활 방법을 제시하고 처방하기 위해서는 최신 기술 발전에 대한 지속적인 관심과 학습

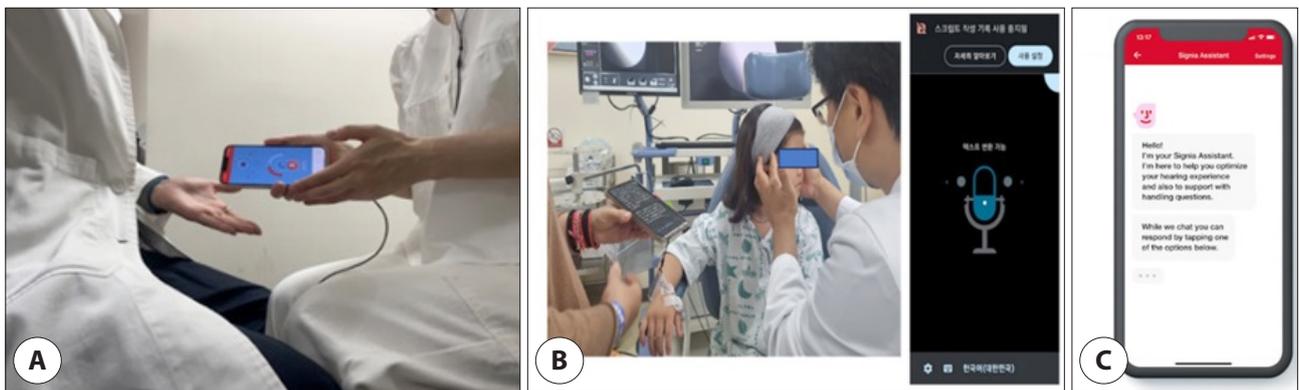


Fig. 3. Auditory rehabilitation using the smartphone. A: Smartphone-based hearing aids application. B: Speech to text application. C: Hearing aid fitting using the smartphone application.

이 필요하다.

Acknowledgements

Not applicable.

Funding Information

This research was supported by a grant of the Korea Health Technology R&D Project through the Korea Health Industry Development Institute (KHIDI), funded by the Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (grant number : HI19C0481 and HC19C0128).

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Kyu Ha Shin, <https://orcid.org/0000-0002-3121-6993>

Moo Kyun Park, <https://orcid.org/0000-0002-3621-4524>

Author Contribution

Data curation: Shin KH, Park MK.

Formal analysis: Shin KH, Park MK.

Methodology: Shin KH, Park MK.

Software: Shin KH, Park MK.

Validation: Shin KH, Park MK.

Investigation: Shin KH, Park MK.

Writing - original draft: Shin KH, Park MK.

Writing - review & editing: Shin KH, Park MK.

Ethics Approval

Informed consent for publication of the images was obtained from the patient.

References

1. Tumolo J. Chronic disease and hearing loss require customized patient care. *Hear J* 2018;71(12):20,22,23.
2. Chen CH, Lin HYH, Wang MC, Chu YC, Chang CY, Huang CY, et al. Diagnostic accuracy of smart-phone-based audiometry for hearing loss detection: meta-analysis. *JMIR mHealth uHealth* 2021;9(9):e28378.
3. Jenstad LM, Pumford J, Seewald RC, Cornelisse LE. Comparison of linear gain and wide dynamic range compression hearing aid circuits II: aided loudness measures. *Ear Hear* 2000;21(1):32-44.
4. Nilsson M, Soli SD, Sullivan JA. Development of the hearing in noise test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise. *J Acoust Soc Am* 1994;95(2):1085-99.
5. Colin Cherry E. Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *J Acoust Soc Am* 1953;25(5):975-9.
6. Newman CW, Weinstein BE. The hearing handicap inventory for the elderly as a measure of hearing aid benefit. *Ear Hear* 1988;9(2):81-5.
7. Cox RM, Alexander GC. The abbreviated profile of hearing aid benefit. *Ear Hear* 1995;16(2):176-86.
8. Dillon H, James A, Ginis J. Client oriented scale of improvement (COSI) and its relationship to several other measures of benefit and satisfaction provided by hearing aids. *J Am Acad Audiol* 1997;8(1):27-43.
9. Cox RM, Alexander GC, Beyer CM. Norms for the international outcome inventory for hearing aids. *J Am Acad Audiol* 2003;14(8):403-13.
10. Chen CH, Huang CY, Cheng HL, Lin HYH, Chu YC, Chang CY, et al. Comparison of personal sound amplification products and conventional hearing aids for patients with hearing loss: a systematic review with meta-analysis. *eClinicalMedicine* 2022;46:101378.
11. Woodson EA, Reiss LAJ, Turner CW, Gfeller K, Gantz BJ. The Hybrid cochlear implant: a review. *Adv Otorhinolaryngol* 2010;67:125-34.
12. Klein K, Nardelli A, Stafinski T. A systematic review of the safety and effectiveness of fully implantable middle ear hearing devices: the carina and esteem systems. *Otol Neurotol* 2012;33(6):916-21.
13. Korean Society of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery. *Otorhinolaryngology-head and neck surgery*. 3rd ed. Paju: Koonja; 2018, p. 779-87.
14. Butler CL, Thavaneswaran P, Lee IH. Efficacy of the active middle-ear implant in patients with sensorineu-

- ral hearing loss. *J Laryngol Otol* 2013;127(S2):S8-16.
15. Seidman MD, Janz TA, Shohet JA. Totally implantable active middle ear implants. *Otolaryngol Clin North Am* 2019;52(2):297-309.
 16. Snapp H. Nonsurgical management of single-sided deafness: contralateral routing of signal. *J Neurol Surg B Skull Base* 2019;80(2):132-8.
 17. Ray J, Wanees E, Dawoud MM, Abu Elnaga H, Abdelhafez TA. Evaluating the effectiveness of bone conduction hearing implants in rehabilitation of hearing loss. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngol* 2023;280(9):3987-96.
 18. De Sousa KC, Manchaiah V, Moore DR, Graham MA, Swanepoel DW. Effectiveness of an over-the-counter self-fitting hearing aid compared with an audiologist-fitted hearing aid: a randomized clinical trial. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 2023;149(6):522-30.
 19. Raton Mondol SIMM, Kim HJ, Kim KS, Lee S. Machine learning-based hearing aid fitting personalization using clinical fitting data. *J Healthc Eng* 2022;2022:1667672.
 20. Norrix LW, Camarota K, Harris FP, Dean J. The effects of FM and hearing aid microphone settings, FM gain, and ambient noise levels on SNR at the tympanic membrane. *J Am Acad Audiol* 2016;27(2):117-25.