



Efficacy of Implantable Bone Conduction Hearing Aids in Single-Sided Deafness

Ji Hyeon Lee¹ and Young Joon Seo^{1,2}

¹Research Institute of Hearing Enhancement, Yonsei University Wonju College of Medicine, Wonju; and

²Department of Otorhinolaryngology, Yonsei University Wonju College of Medicine, Wonju, Korea

일측성 난청 환자에서 골전도 보청기의 효능

이지현¹ · 서영준^{1,2}

연세대학교 원주의과대학 청각재활연구소,¹ 연세대학교 원주의과대학 이비인후과학교실²

Received May 18, 2020

Revised June 24, 2020

Accepted July 2, 2020

Address for correspondence

Young Joon Seo, MD
Department of Otorhinolaryngology,
Yonsei University Wonju
College of Medicine,
20 Ilsan-ro, Wonju 26426, Korea
Tel +82-33-741-064
Fax +82-33-732-8287
E-mail okas2000@yonsei.ac.kr

As the technology advances and bone conduction implant (BCI) use increases, implantable bone conduction hearing aids are regarded as a treatment method for single-sided deafness (SSD) and their efficacy on SSD must be discussed. Therefore, we organized the problems of SSD and types of implantable bone conduction hearing aids and explained their effectiveness in the treatment of SSD in terms of changes in 1) speech recognition in a noisy environment, 2) sound localization, 3) subjective satisfaction as assessed by questionnaire, and 4) tinnitus. Although bone conduction hearing aids do not significantly improve localization ability in SSD, they increase the ability to listen under noise, increasing subjective satisfaction. Tinnitus improvement was also reported. The active forms of BCI like MED-EL BONEBRIDGE[®]2 and Cochlear Osia[®]2 have been developed well. Based on these technological developments and effects, bone conduction hearing aids would be a good option for treatment option of SSD.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2020;63(7):293-300

Key Words Bone conduction hearing · Bone conduction implant · Hearing loss · Implant.

서 론

청각 자극들은 기도 경로와 골도 경로를 통해 내이로 전달된다. 기도 청각 자극은 외부 소리가 공기를 통해 전달되는 소리로 외이도와 고막, 이소골을 거쳐 증폭되어 달팽이관 내 기저막의 기계적인 진동을 일으키고, 청각 유모세포에서 물리적 신호인 음파를 청신경과 중추신경계를 통해 전도될 수 있는 전기 신호의 형태로 변환(mechano-electrical transduction)하게 된다.¹⁾ 반면에 골도 청력은 소리가 두개골 뼈, 연골, 피부, 연부조직 및 체액을 통해 전달되어 달팽이관의 기저막에 도달하는 과정을 거친다. Stenfelt 등^{1,2)}은 달팽이관 기저막

까지 소리의 진동이 전달되는 가능한 경로로 5가지를 열거했다; 1) 외이도 진동에 의한 전달 경로(sound pressure generation in the ear canal), 2) 중이내의 이소골들의 관성력에 의한 전달 경로(inertial forces on the middle ear ossicles), 3) 달팽이관 내의 림프액의 관력에 의한 전달 경로(inertial forces acting on the cochlear fluid), 4) 달팽이관 내의 내외 림프 공간들의 면적 차이에 따른 압력차에 의한 전달 경로(alteration of the cochlear space), 5) 두개저를 따라 발생하는 전달 경로(sound pressure transmission from the skull interior). 이 외에도 안구, 연부조직 혹은 뇌척수액 등을 통한 소리 전달 경로(soft tissue conduction)도 최근 제시되고 있다.³⁻⁵⁾ 예를 들어, 외이도를 막고 손가락으로 볼을 살짝 비벼볼 때, 비비는 소리를 들을 수 있는 것은 기도 청력도 아니고 골도 청력도 아닌 연부조직을 통한 소리 전달이 가능함을 알

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

수 있다.

이 두 경로 중 골도 청력을 활용하는 청력 보조기기를 골전도 보청기(bone conduction hearing aid)라고 하며, 측두골에 수술이 필요한 골전도 임플란트(bone conduction implant, BCI)를 이식형 골전도 보청기라 한다. 이식형 골전도 보청기는 귀 뒤쪽 두개골에 외과적 수술을 통해 이식되고, 외부 장치를 통해 들어온 소리를 진동으로 바꾸어 두개골을 진동시킴으로써 내이에 소리를 전달한다. 1977년 Cochlear사의 경피형 골 정착 보청기(percutaneous bone anchored hearing aid)인 Baha[®]가 처음 소개된 이후로 전 세계 3만여 명의 환자들에게 30년 넘게 사용되었으며, 형태와 기술적으로 많은 발전을 이루어 오고 있다. 전음성, 혼합성 난청을 가진 환자가 기도 보청기에서 효과를 볼 수 없을 때, 골전도 보청기는 고려할 수 있는 훌륭한 대안 중 하나이다.

일측성 난청(single-sided deafness)은 한쪽 귀는 정상적인 반면 다른쪽 귀는 고도 이상의 감각 신경성 난청을 보이는 상태를 말하는데, 한쪽 귀 전음성 혹은 혼합성 난청과는 다른 것으로 구별되며, 감각신경성 난청으로 인해 한측 귀가 음향 증폭으로 인한 효과를 얻지 못하는 상태를 말한다.^{6,7)} 이 환자들을 위한 치료 방법으로 양이 청력을 위한 이식형 골전도 보청기 혹은 contralateral routing of signal(CROS) 보청기, 그리고 인공와우(cochlear implant)가 치료 방법으로 제시되고 있다.⁸⁻¹⁰⁾

이러한 기술의 발전과 증례에 따라 일측성 난청인에게 최선의 치료 옵션을 제공하기 위한 골전도 임플란트에 대한 고찰이 필요한 시점이다. 이에 본 논문에서는 일측성 난청인이 갖는 문제점과 이식형 골전도 보청기의 종류를 정리하고, 골전도 보청기를 통해 일측성 난청인이 얻을 수 있는 효과를 방향성, 소음하 음성 인지, 주관적인 만족도 및 이명의 관점에서 살펴보고자 한다.

본 론

일측성 난청인이 갖는 문제점

일측성 난청 환자를 청각 재활 치료를 받도록 설득하는 일은 쉽지 않다. 왜냐하면 일측성 난청 환자는 조용한 환경에서는 큰 불편함을 느끼지 못하고, 오랜 시간 적응이 된 상태에서는 더욱 불편감을 가지지 못하기 때문이다.¹¹⁾ 일측성 난청은 한쪽 눈을 가리고 사물을 보는 것과 비슷한 상태이다. 한쪽 눈으로 사물을 보면 양측 시각 정보들의 조합을 통해 얻을 수 있는 깊이감을 상실하게 된다. 마찬가지로 일측성 난청 환자는 조용한 환경에서는 소리가 충분히 크기만 하면 대화를 잘 이어 나갈 수 있지만, 한측 귀 방향에서 말하거나 시

끄러운 상황에서는 어음이해도(speech perception in noise)가 떨어져 의사소통의 문제가 일어나고, 소리의 방향성 탐지(localization of sound)에 어려움을 호소한다.⁷⁾ 이러한 장애들은 소리가 머리를 기준으로 한쪽에서 다른쪽으로 이동할 때 나타나는 두영 효과(head shadow effect)¹²⁾ 때문으로, 정상인에서 양이 청력으로 뇌로 들어오는 청각 신호 손실로 인해 발생한다. 양이 청력에서 음원에 가장 가까운 귀는 신호를 더 일찍, 그리고 더 높은 강도로 받기 때문에 양측 귀에서 소리 신호의 인지 타이밍과 레벨의 차이는 소음 환경 하의 청취 능력과 소리의 방향성 탐지 능력에 영향을 준다. 두영 효과는 머리에 비해 주파수의 파장이 작은 1500 Hz와 2000 Hz 사이의 주파수에서 커지며, 저주파수는 머리 직경보다 긴 파장을 가졌기 때문에 한 개의 파장이 반대편 귀까지 단면에 넘어가서 두영 효과가 작아진다. 언어적 의미를 많이 담고 있는 자음은 주로 고주파수로 이루어져 있고, 고주파수는 두영 효과로 인해 감쇄되는 경향이 있다. 또한 양이 청력은 양이 가중 효과(binaural summation effect), 양이 소음억제(binaural squelch effect) 등^{13,14)}을 통해 소음 환경 하에서 의미없는 소음은 억제하고 말소리를 명확하게 구별하게 함으로써 말 지각력의 향상을 가져온다. 양이 가중 효과 이득은 양 귀로 들리는 소리가 중추에서 합해지면서 나타나는 현상으로, 뇌에서 정보가 처리될 때 한쪽 귀로만 들을 때보다 양 귀로 들을 때 더 많은 정보가 들어오게 된다. 양이 청취로 얻을 수 있는 또다른 이득인 양이 소음억제 현상은 목표어음과 배경 소음을 한 귀로 들을 때보다 양 귀로 들을 때 소음과 반향음을 더 효과적으로 분리시키고 소음의 차폐효과를 감소시키는 청각 시스템에 의한 것이다. 이로 인해 일측성 난청을 가진 환자는 소리의 방향을 찾는 능력이 상실되어 자동차 경적음이 들릴 때 올바른 방향으로 돌아보지 못하거나 전화를 찾지 못하는 등 실생활에서 필수적인 부분에서 어려움을 겪는다.^{8,15)}

이러한 어려움들은 환자에게 사회적, 신체적 및 심리적 스트레스를 주게 되고 결국 삶의 질을 떨어뜨릴 수 있다. 일측성 난청 환자에게 적용할 수 있는 치료 옵션은 CROS 시스템, 이식형 골전도 보청기(BAHA), 인공와우 등 다양하지만 청력 정도와 적응증 등에 따라 제한적으로 사용되고 있다.⁸⁾ 무선 CROS 보청기는 기도 전도를 통해 전방 방향에서 들어오는 소리를 마이크가 잡아서 좋은 귀의 원격 계측기 수화기 쪽으로 소리를 전달해 준다.^{16,17)} 과거 일반적 CROS 보청기는 미용적인 문제로 인한 사회적 낙인, 좋은 귀의 폐쇄 효과로 인한 환자 불편감, 전반적인 불완전한 청력 향상 등의 문제점 등이 있었지만 포낙(Phonak, Zurich, Switzerland)에서 무선 미니 오픈형(wireless mini RIC; receiver in the canal) 형태가 우리나라에 들어오면서 수술을 하지 않아도 된다는 점, 비용이

이식형 골전도에 비해 저렴하다는 점, 스파이스 칩(spice chip)의 개발로 무선으로도 양 귀의 시간 차이(time difference)를 마이크로 초(micro sec)로 줄여 방향성 구분이 유리한 점, bi-lateral microphones with CROS(BiCROS) 기능이 있어 좋은 귀에 경도에서 중등도의 난청이 있는 경우 도움을 받을 수 있다는 장점이 있으며 이식형 골전도 보청기 기술 전에 많이 시도되고 있다. 이 외에 일측성 난청 환자에서 환측에 인공와우는 실제 양이 청력이 가능하게 되어, 다른 치료법에 비해 특히 소리 방향성 효과에 대한 많은 긍정적인 연구가 보고되고 있다.^{15,16)} 이식형 골전도 보청기의 가장 흔한 적응증은 만성 이과 질환과 선천성 외이도 폐쇄증과 같은 전도성 난청이었으나, 2002년 일측성 난청 환자에 대해서도 Food and Drug Administration(FDA) 승인이 되면서 일측성 전농 환자에서 그 적용이 확대되고 있으며, 최근 고출력 어음처리기의 개발(Cochlear사의 Baha 5 Super Power fitting range up to 65 dB SNHL)¹⁸⁾ 및 능동적 이식형 골전도 보청기(MED-EL사의 BONEBRIDGE[®] 2와 Cochlear사의 Osia[®] 2)¹⁹⁾의 개발에 따라 이식형 골전도 보청기는 일측성 난청 환자에서 주요한 치료법이 되고 있다.

이식형 골전도 보청기 종류

이식형 골전도 보청기의 종류는 진동을 전달하는 방식으로 분류할 수 있다(Fig. 1). 직접 구동(direct drive) 방식은 피부를 통하지 않고 두개골로 바로 진동을 전달하는 방법이고, 이를 다시 경피접합(percutaneous) 방식과 능동피하(active transcutaneous) 방식으로 나눌 수 있다. 경피접합 방식은 스크루(screw) 등의 접합부(abutment)를 통해 전통적 방식의 단점인 고음역 이득을 향상시키고 피부 압박 문제를 피하고자 개발되었으며 피부 위로 임플란트 접합부가 노출됨으로써

생기는 접합부 주변 피부 관리, 부작용, 미용상의 문제에도 불구하고 현재까지 많이 사용되고 있다. 대표적으로 Oticon Medical사의 Ponto[™]와 Cochlear사의 Baha[®]가 있다.

능동 피하 방식은 피부 아래 이식된 변환기(transducer)가 어음처리기의 전자기장(electromagnetic)을 받아 진동을 내어 두개골을 진동시키는 방식으로 경피접합 방식의 단점을 보완하였다. 이 방식은 스웨덴 샤를메르 공과 대학의 BCI 프로젝트로 1997년에 시작되어 다양한 사전 임상 연구를 거쳐 Oticon Medical이 Sentio라는 제품명으로 개발되었다. 또 MED-EL사의 BONEBRIDGE[®] 2는 국제적으로 상용화된 능동 피하 방식을 사용하는 이식형 골전도 보청기이다(CE 2012년도 승인, FDA 2018년도 승인). 최근 개발된 Cochlear사의 Osia[®] 2는 전자기장 트랜스듀서 대신 압전기(piezoelectric) 트랜스듀서를 사용하여 음성 이해에 중요한 부분인 고주파 음 증폭에 주목하였다.

피부 구동(skin drive) 방식은 피부에 접촉하여 진동을 전달하는 방법이다. 골전도 보청기에서 피부 구동 방식은 비자기장(non-magnetic) 방식과 피동피하(passive transcutaneous) 방식으로 구분되지만, 비자기장 방식은 이식형이 아닌 헤드 밴드 또는 소프트 밴드를 통해 골전도 보청기를 고정하고 압력을 주는 방식이다. 피동피하 방식은 외부음향처리기와 내부 이식장치 사이에 자기적 결합(magnetic coupling)을 사용해 진동을 전달하는 방식으로, Cochlear사의 Baha[®] Attract, Medtronic사의 Sophono[®]를 예로 들 수 있다. 최근 스웨덴의 Gothenburg 대학의 Håkansson 등²⁰⁾은 새로운 digital sound processor를 가진 능동적 피하 이식형 골전도 보청기(active transcutaneous BCI)를 개발하고, 임상시험에 성공했다.²¹⁾ 능동형 BCI는 수동형 BCI에 비해, 진동자를 피하로 위치시키고, 외부 장치의 무게를 줄이고, 이에 따라 골전도를

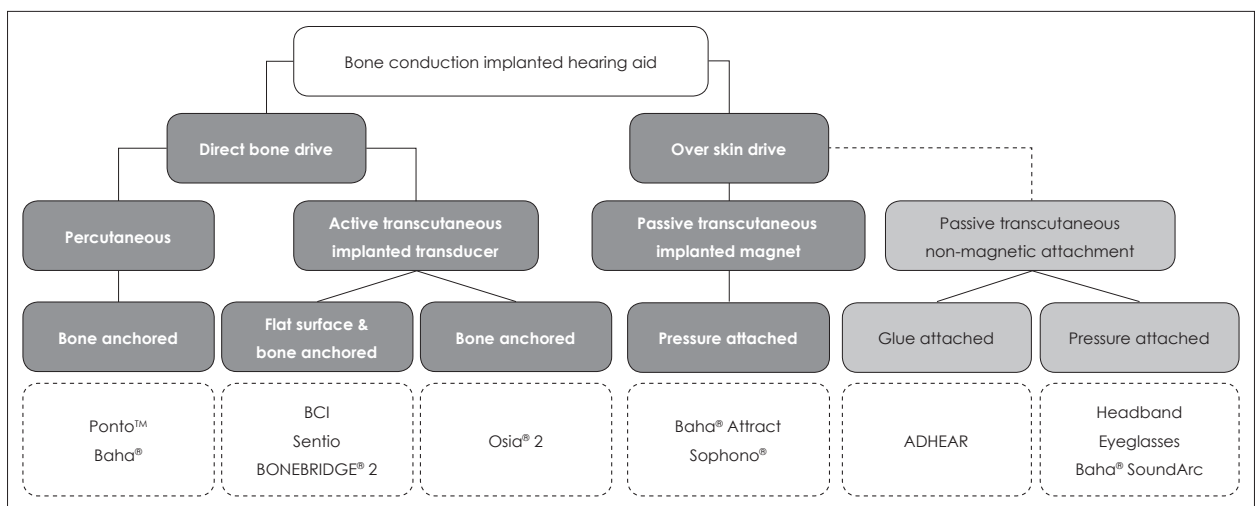


Fig. 1. Types of bone conduction implant (BCI).

통한 소리의 전달을 극대화 시켰다. 피하의 진동자의 크기를 얼마큼 줄이고, 성능을 좋게 하는지가 앞으로 개발의 관점으로 생각되어지며, 이를 위해 여러 연구 그룹이 개발에 참여하고 있다.

소음 환경 속 어음인지 능력 변화

본 연구진이⁸⁾ 14개의 연구 결과에 대해 체계적 고찰을 한 결과를 보면, 분명 일측성 난청 환자에서 이식형 골전도 보청기는 소음 환경 속 어음인지에서 유의미한 개선 효과를 보였다. 대부분의 연구에서 소음 환경에서 말소리를 알아듣는 정도를 측정하기 위하여 1991년 Nilsson 등²²⁾에 의하여 개발된 어음인지검사(speech reception test)를 변형한 Hearing in Noise Test(HINT)를 사용하였다. 국내에서는 2011년 한국어 문장을 이용한 HINT 검사(Korean HINT, KHINT)를 개발하여 16세 이상을 대상으로 사용되고 있다.²³⁾ 이식형 골전도 보청기는 두영 효과로 인해 감쇄되는 고주파수를 잡아내 좋은 쪽 귀로 보내줌으로써 소음 속에서 음성을 더 잘 이해할 수 있게 하는 동시에, 소음 억제 효과(squelch effect)로 신호대 잡음 비를 통해 원하지 않는 소리를 억제하여 음성 신호에 배경 소음이 섞여 있을 때 음성 강도를 3~6 dB까지 높인다.

HINT 검사를 통해 소음과 신호가 어느 방향에서 제시되었는지에 따라 일측성 난청 환자의 어음 분별력이 달라지는 것을 확인할 수 있다. 임상에서 HINT 검사는 보통 환자의 앞, 좌측, 그리고 우측 90도 1 m 거리에 스피커를 위치시키고 다른 방향에서 소음과 신호를 동시에 주면서 측정한다. 일측성 난청 환자가 이식형 골전도 보청기를 착용하고 있을 때, HINT 검사 상 어음인지도가 가장 높았던 'win' 시나리오는 소음이 환자의 앞쪽에서 나오고 신호가 보청기를 이식한 쪽에서 나올 때였으며, 가장 어음인지도가 낮았던 'lose' 시나리오의 신호가 앞쪽에서, 소음이 보청기를 이식한 쪽에서 나올 때였다.²⁴⁾

소음하 어음 분별력은 이식형 골전도 보청기의 종류에 따라 차이가 있다. Snapp 등²⁵⁾은 전향적으로 6개월 이상 경피(percutaneous) 이식형 골전도 보청기를 사용한 10명(34~73세)의 일측성 난청 환자에서 소프트 밴드(softband) 착용과 비교하여 경피 골전도 보청기를 착용했을 때 유의미한 어음 분별력 향상을 보여주었고, 특히 고주파수에서 이러한 현상이 두드러짐을 보고하였다. 피하(transcutaneous) 이식형 골전도 보청기는 경피 이식형 골전도 보청기에 비해 소음하 어음 분별력이 더 악화될 수 있는데, 이는 피부를 통해 고주파수 영역에서 25 dB 이상 감쇠가 일어나고, 두영 효과에 의해 일차적으로 일어나는 고주파수 소리 신호에 대한 감쇠를 가중시키기 때문이다.²⁶⁾ 따라서 최근 출시되는 능동적 피하 이식형 골

전도 보청기는 일측성 난청 환자에서 고주파수에 대한 소음하 어음 분별력을 높여줄 수 있는 해결책이 될 수 있다.

이식형 골전도 보청기는 일반 보청기처럼 착용 후에 바로 높은 개선 효과를 보이는데, 시간이 지나면서 어음 분별력의 지속적인 향상을 가져오는지에 대한 연구들도 이루어지고 있다. Newman 등²⁷⁾의 연구에 따르면 2년 이상까지 관찰했을 때 소음하 어음 분별력은 지속적으로 향상되는 것을 보여주었다. 보통 착용 후 1개월 이후에 급격한 향상 능력을 보이며, 2.2년까지도 어음 분별력 향상이 지속되며, 수술을 받고 2년 넘는 사람들 중에 64%의 환자가 하루에 8시간 이상 사용을 하며, 82% 환자가 하루에 4시간 이상의 사용을 한다고 보고하고 있다. Persson 등²¹⁾ 연구진은 능동적 피하 이식형 골전도 보청기를 시술 받은 환자에서 3년간 추적 관찰을 하였는데, 10명 중 9명의 환자에서 주관적인 설문지를 통한 만족감 향상과 동시에 유의미하게 향상된 SNR을 보여주었다고 하였다.

소리 방향성 탐지 능력 변화

소리의 방향감지는 포유류에 있어서 적이나 동료, 사냥감의 위치를 파악하고 주변의 환경을 감시하는 데 매우 필수적인 청각의 기능이다. 많은 연구에서 일측성 난청 환자에서 이식형 골전도 보청기는 소리 방향성 탐지 능력을 향상시키지 못하는 것으로 보고하였다. 저자가 분석한 6개의 연구들에서⁸⁾ 이식형 골전도 보청기 시술 전에는 13~65.8%의 방향성 탐지 정답률을 보이는 반면에 수술 후에는 15~68.5%의 정답률을 보이며 연구마다 연구 방법의 차이에 따라 큰 격차를 보였지만, 각 연구에서는 유의미한 차이는 없었다. 이론적으로 일측성 난청 환자에서 환측의 골전도 보청기는 두영 효과 없이 건측의 정상 달팽이관을 자극하기 때문에, 소리 방향성 탐지 능력의 향상을 가져 올 수 없다고 설명한다. 이식형 골전도 보청기뿐만 아니라 CROS 시스템은 두영 효과를 강화하는 것이 아니라 건측 귀에 소리를 그대로 전달하는 역할을 하기 때문에 방향성 향상에 도움을 주지 못한다. 방향성에 대한 CROS 기기나 골전도 보청기의 이점은 발견되지 않았다.¹⁵⁾ 대신에 일측성 난청 환자에서 인공와우 시술은 청력을 개선시켜 양이 청각 정보(binaural cue)를 사용할 수 있도록 해주기 때문에 방향성을 향상시킬 수 있는 궁극적인 방법으로 고려될 수 있다고 보고 된다.²⁸⁾

하지만 저자는 일측성 환자에서 소리 방향성 탐지는 해결해야 할 중요한 문제점으로 생각하며, 골전도 보청기가 이를 해결해 줄 수 있음을 연구하고 있다. 소리 방향성 탐지는 두영 효과에 의해서만 이루어지는 것이 아니라, 뇌의 배움(learning)과 적응(adaptation)에 의해서도 만들어진다.²⁹⁾ Hol 등³⁰⁾

의 연구에서 선천적으로 일측성 난청 환자들은 이식형 골전도 보청기 이식 후에 후천적 환자에 비해 높은 소리 방향성 탐지 능력을 보여주었다. 소리 방향성 탐지 능력은 만 6세까지 발달하는 것으로 알려져 있으며, 6세 이전에 일측성 난청이 발생하여 양측 소리 방향성 탐지 능력이 형성되기 이전이어야 골전도 보청기 이식 후에 소리 방향성 탐지에 효과가 있을 것으로 생각된다. 이는 건축과 환측의 골전도 보청기의 피팅 방법에 대한 연구가 소리 방향성 탐지 향상에 대한 뇌의 적응 능력을 향상시켜 줄 것으로 믿으며, 골전도 보청기의 외부 소리 장치에 지향성 스피커(레이저처럼 원하는 곳에 소리를 전달하는 스피커) 같은 기술과 더해진다면 환자가 원하는 방향의 소리만을 선별하여 증폭시킬 수 있어, 분명 일측성 환자에서 골전도 보청기가 인공와우나 CROS 시스템보다 우선적인 치료 선택이 될 것으로 생각한다.

주관적인 만족도의 변화

청력 검사 외에 임상에서 일측성 난청 환자의 장애 정도를 평가하는 도구가 필요하다. 이식형 골전도 보청기를 착용하고 일상 생활에서 대화할 수 있는 능력의 향상이 보청기 처방의 가장 중요한 요인으로, 보청기 착용 후의 만족도를 평가하는 많은 연구가 진행되었다. 보청기 착용 후 이득을 평가하는 방법으로 일측성 난청 환자에서 골전도 보청기 효용성에 대한 주관적인 만족감을 측정할 수 있는 설문지는 Abbreviated profile of hearing aid benefit (APHAB), Glasgow Hearing Aid Benefit Profile (GHABP), Speech, Spatial, and Quality of Hearing Scale (SSQ) 등이 주로 사용되고 있다. 그 중 PHAP은 총 7개의 항목과 66개의 문항으로 구성된 보청기 착용 후 만족도를 평가하는 설문이고, APHAB은 PHAB의 7개 항목과 66개의 문항에서 검사-재검사(test-retest)의 신뢰도가 높은 4항목과 24문항을 선별적으로 선택하여 변형한 것이다. APHAB은 간단한 설문 문항(24문항)으로 검사하는데 소요되는 시간이 10분 이내로 비교적 짧으며, 동일 보청기의 만족도를 서로 다른 환자군에서 비교할 수 있으며, 동일한 환자군에서 서로 다른 보청기의 성능을 비교할 수 있고, 보청기 착용 전의 주관적인 청력 장애를 평가할 수 있는 장점이 있다.³¹⁾ 거의 대부분 일측성 난청 환자에서 이식형 골전도 보청기 연구에서 주관적인 설문지 만족도는 유의한 향상을 나타내고 있었다.⁸⁾ 이러한 설문을 통해 일측성 난청 환자에서 이식형 골전도 보청기 시술은 난청에 대한 수용적 태도의 긍정적인 변화, 여러 소음 환경 변화에 따른 청취 능력의 증가, 이식 후에 일상 생활 장애 개선에 따른 만족감 증대 등을 가져온다는 것을 알 수 있다.

이 외에도 Jang 등³²⁾의 이식형 골전도 보청기의 간편한 수

술적 방법들의 소개로, 20분 내외에 2.5 cm 내의 절개로 부분 마취 하에 고령의 환자에서도 수술이 가능해졌고, 이로 인해 다른 시술에 비해 주관적인 만족도가 높아졌다(Fig. 2). 일측성 난청 환자에서 건축의 청력 약화에 따른 골전도 보청기의 효용성이 떨어질 것이라는 단점이 지적되곤 했는데, 환측의 골전도 보청기와 약화된 건축(중등도 난청)에 골전도 보청기와 호환되는 일반 보청기 착용은 블루투스 마이크로폰을 통해 양측으로 동시에 소리가 전달됨에 따라 전화 혹은 TV 스트리밍의 효과를 극대화시킬 수 있다(Fig. 3).^{2,33)} 간편한 시술 방법 소개와 기술 집약적인 골전도 보청기의 발전, 그리고 스마트한 편리한 기능에 따른 주관적인 만족감 증대에 따라 일측성 난청 환자에서 이식형 골전도 보청기의 시술 선택이 증가될 것이다.

이명 개선의 변화

이명은 외부에서 들리는 소리가 없음에도 특정 소리를 인지하는 혼한 이과적 증상 중 하나이다. 일반적으로 골전도 보청기는 증폭 기기로서 이명을 차폐하는 기능으로는 사용하지 않는다. 골전도 보청기의 이명에 대한 효과 연구는 잘 이루어지지 않았다. 이명에 청각 소실에 따른 뇌의 보상적 작용에 의한 거라면, 건축만을 자극하는 치료 방법은 이명의 경로에 영향을 주지 않을 것이기 때문이다. 반면에 일측성 난청 환자 그룹에서 청력 회복을 위해 인공와우를 시술한 일측성 난청 환자 그룹에서 90%의 환자가 이명이 현저히 감소했다고 보고했다.³⁴⁾ Punte 등³⁵⁾은 심한 이명을 동반한 일측성 난청 환자에서 인공와우가 효과가 있다는 보고가 있다. 하지만 Holger와 Håkansson³⁶⁾은 골전도 보청기가 이명 치료에 사용될 수 있다는 파일렛 연구를 보여주었는데, 골전도 소리 전달이 기도 전달과 마찬가지로 작용하여, 8명의 중등도 이명 환자에서 이명 개선 효과를 보여주었음을 보여주었다. 이처럼 골전도 청력은 아직 많이 연구가 진행되지 않았지만, 앞으로 기초 연구를 통한 임상 연구의 적용에 따라 발전 가능성이 많은 분야라고 생각한다.

결론

이식형 골전도 보청기는 기술적으로 점점 발전하고 있으며, 적응증에서도 일측성 난청 환자에게 있어서 효과적인 재활 방법 중 하나로 각광받고 있다. 하지만 일측성 난청 환자들의 병에 대한 인지 및 치료에 대한 의지가 약하며, 심지어 이비인후과 전문의들의 일측성 난청 환자의 치료에 대한 소외된 관심이 이식형 골전도 보청기의 보급에 좋지 않은 영향을 미치고 있다. 이식형 골전도 보청기는 소리 방향성 탐지에 유

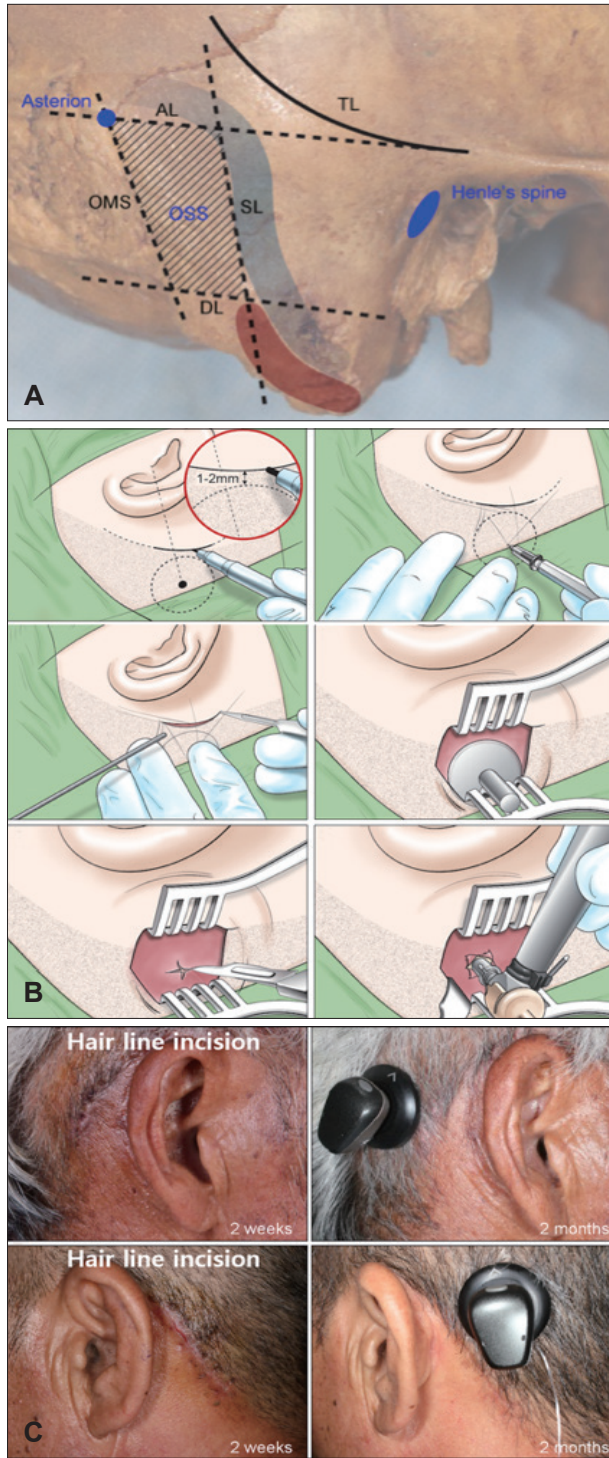


Fig. 2. A research for developing a simplified surgical technique for Baha® Attract implant through a small incision along the hairline under a local anesthesia.³³⁾ The OSS of the implant on the temporal bone have four borders that AL, SL, OMS, and DL (A). The implants were placed through a small surgical incision (<2.5 cm) (B). At 2 weeks after implantation, the scar of small incision was shown according to the hairlines, and at 2 months after the surgery, no scars were seen in the postauricular area (C). OSS: optimal surgical site, AL: Asterion line, SL: sigmoid sinus line, OMS: occipitomastoid suture line, DL: digastric groove line, TL: Temporal line.

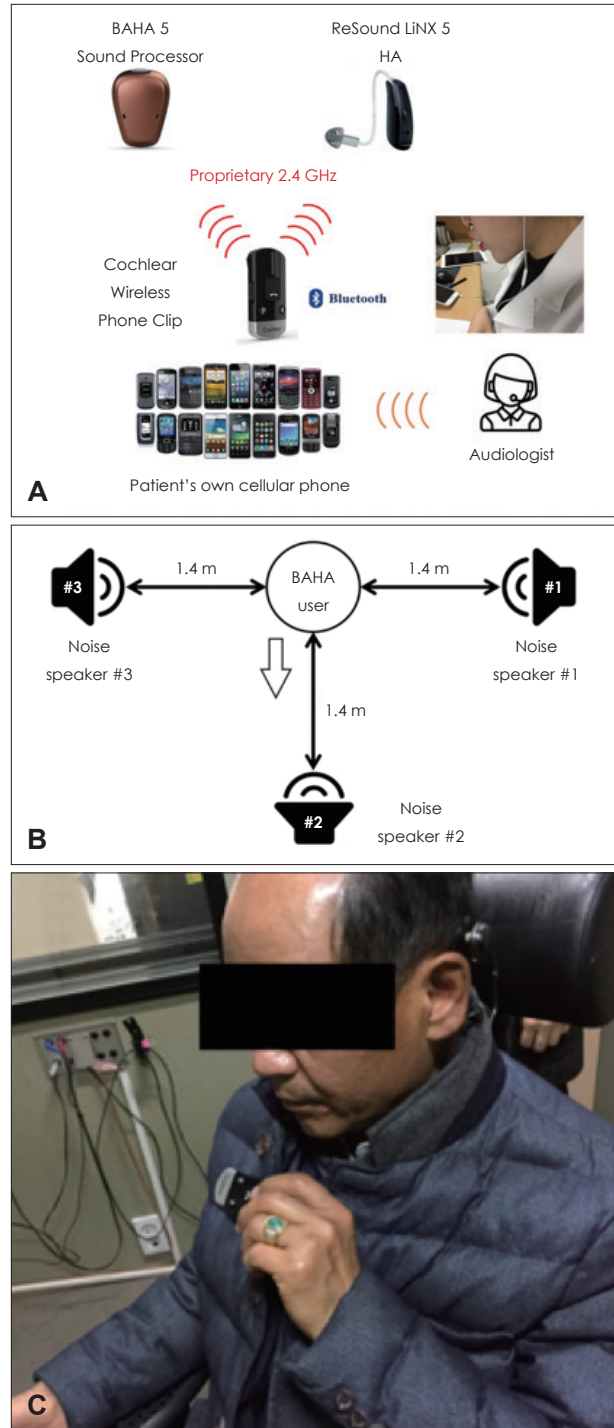


Fig. 3. A schematic of research for Baha® efficacy reported that Baha users have a benefit of speech and sentence recognition when they use Bluetooth device while talking in the phone.³⁴⁾ Cochlear Baha® group and Resound HA group were tested using Cochlear Wireless Phone Clip linked patient's own phone by Bluetooth (A). There was a total of three speakers for quiet and noise condition. All distance between each speaker and patient were 1.4 m (B). The patient sited opposite to the speaker #2 (white arrow) and was holding Cochlear Wireless Phone Clip (C). The simultaneous use of Baha® and HA through Bluetooth helped the patients to understand the sentences despite of noisy circumstances. Baha: bone anchored hearing aid, HA: hearing aid.

미한 개선효과를 보이지 못하지만, 소음하 청취 능력을 증대시켜, 주관적인 생활 만족도를 증가시키는 것은 틀림없다. 골전도 보청기에 대한 많은 연구와 관심이 국내에 필요한 시기이다. 간편한 수술 방법에 대한 보급과 기술 집약적인 능동적 이식형 골전도 보청기, 그리고 스마트 기능들은 앞으로 일측성 난청 환자들에게 이식형 골전도 보청기가 우선적인 치료 선택이 될 수 있을 것이라 생각한다. 아시아의 많은 골전도 보청기에 대한 연구 그룹 활성화와 OSSEO 등의 세계적인 골전도 학회가 국내에서 활성화 되기를 기대하며 이 글을 마친다.

Acknowledgments

None.

Author Contribution

Conceptualization: Young Joon Seo. Investigation: Ji Hyeon Lee. Methodology: Ji Hyeon Lee. Project administration: Young Joon Seo. Supervision: Young Joon Seo. Writing—original draft: Ji Hyeon Lee. Writing—review & editing: Young Joon Seo.

ORCIDs

Young Joon Seo <https://orcid.org/0000-0003-1169-0441>
 Ji Hyeon Lee <https://orcid.org/0000-0003-0896-9062>

REFERENCES

- 1) Stenfelt S, Goode RL. Bone-conducted sound: Physiological and clinical aspects. *Otol Neurotol* 2005;26(6):1245-61.
- 2) Stenfelt S. Acoustic and physiologic aspects of bone conduction hearing. *Adv Otorhinolaryngol* 2011;71:10-21.
- 3) Sohmer H, Freeman S, Geal-Dor M, Adelman C, Savion I. Bone conduction experiments in humans - a fluid pathway from bone to ear. *Hear Res* 2000;146(1-2):81-8.
- 4) Ito T, Röösli C, Kim CJ, Sim JH, Huber AM, Probst R. Bone conduction thresholds and skull vibration measured on the teeth during stimulation at different sites on the human head. *Audiol Neurootol* 2011;16(1):12-22.
- 5) Brantberg K, Verrecchia L, Westin M. Enhanced auditory sensitivity to body vibrations in superior canal dehiscence syndrome. *Audiol Neurootol* 2016;21(6):365-71.
- 6) Chiossoine-Kerdell JA, Baguley DM, Stoddart RL, Moffat DA. An investigation of the audiologic handicap associated with unilateral sudden sensorineural hearing loss. *Am J Otol* 2000;21(5):645-51.
- 7) Welsh LW, Welsh JJ, Rosen LF, Dragonette JE. Functional impairments due to unilateral deafness. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2004;113(12):987-93.
- 8) Kim G, Ju HM, Lee SH, Kim HS, Kwon JA, Seo YJ. Efficacy of bone-anchored hearing aids in single-sided deafness: A systematic review. *Otol Neurotol* 2017;38(4):473-83.
- 9) Niparko JK, Cox KM, Lustig LR. Comparison of the bone anchored hearing aid implantable hearing device with contralateral routing of offside signal amplification in the rehabilitation of unilateral deafness. *Otol Neurotol* 2003;24(1):73-8.
- 10) Snik AF, Mylanus EA, Proops DW, Wolfaardt JF, Hodgetts WE, Somers T, et al. Consensus statements on the BAHA system: Where do we stand at present? *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 2005; 195:2-12.
- 11) Giolas TG, Wark DJ. Communication problems associated with unilateral hearing loss. *J Speech Hear Disord* 1967;32(4):336-43.
- 12) Oberzut C, Olson L. Directionality and the head-shadow effect. *Hear J* 2003;56(4):56,58,60,62,64.
- 13) Fourcin AJ. Binaural pitch phenomena. *J Acoust Soc Am* 1962; 34(12):1995.
- 14) Colburn HS, Shinn-Cunningham B, Kidd G Jr, Durlach N. The perceptual consequences of binaural hearing. *Int J Audiol*. 2006;45 Suppl 1:S34-44.
- 15) Wazen JJ, Spitzer JB, Ghossaini SN, Fayad JN, Niparko JK, Cox K, et al. Transcranial contralateral cochlear stimulation in unilateral deafness. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2003;129(3):248-54.
- 16) Agterberg MJH, Snik AFM, Van de Goor RMG, Hol MKS, Van Opstal AJ. Sound-localization performance of patients with single-sided deafness is not improved when listening with a bone-conduction device. *Hear Res* 2019;372:62-8.
- 17) Baguley DM, Bird J, Humphriss RL, Prevost AT. The evidence base for the application of contralateral bone anchored hearing aids in acquired unilateral sensorineural hearing loss in adults. *Clin Otolaryngol* 2006;31(1):6-14.
- 18) Bosman AJ, Kruyt IJ, Mylanus EAM, Hol MKS, Snik AFM. On the evaluation of a superpower sound processor for bone-anchored hearing. *Clin Otolaryngol* 2018;43(2):450-5.
- 19) Zernotti ME, Sarasty AB. Active bone conduction prosthesis: Bonebridge(TM). *Int Arch Otorhinolaryngol* 2015;19(4):343-8.
- 20) Håkansson B, Reinfeldt S, Persson AC, Jansson KF, Rigato C, Hultcrantz M, et al. The bone conduction implant - a review and 1-year follow-up. *Int J Audiol* 2019;58(12):945-55.
- 21) Persson AC, Reinfeldt S, Håkansson B, Rigato C, Fredén Jansson KJ, Eeg-Olofsson M. Three-year follow-up with the bone conduction implant. *Audiol Neurootol* 2020;1-13.
- 22) 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.
- 23) Lim HW, Hong SM, Choi SW, Jung JW, Shin J, Chae SW. Availability of Korean Hearing in Noise Test (KHINT) in children. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2011;54(7):462-6.
- 24) Andersen HT, Schröder SA, Bonding P. Unilateral deafness after acoustic neuroma surgery: Subjective hearing handicap and the effect of the bone-anchored hearing aid. *Otol Neurotol* 2006;27(6): 809-14.
- 25) Snapp HA, Morgenstein KE, Kuzbyt B. Speech perception outcomes in transcutaneous versus percutaneous bone conduction stimulation in individuals with single-sided deafness. *Otol Neurotol* 2019;40(8): 1068-75.
- 26) Kurz A, Flynn M, Caversaccio M, Kompis M. Speech understanding with a new implant technology: A comparative study with a new nonskin penetrating Baha system. *Biomed Res Int* 2014;2014: 416205.
- 27) Newman CW, Sandridge SA, Wodzisz LM. Longitudinal benefit from and satisfaction with the Baha system for patients with acquired unilateral sensorineural hearing loss. *Otol Neurotol* 2008;29(8): 1123-31.
- 28) Galvin JJ 3rd, Fu QJ, Wilkinson EP, Mills D, Hagan SC, Lupo JE, et al. Benefits of cochlear implantation for single-sided deafness: Data from the House Clinic-University of Southern California-University of California, Los Angeles clinical trial. *Ear Hear* 2019; 40(4):766-81.
- 29) Keating P, King AJ. Sound localization in a changing world. *Curr Opin Neurobiol* 2015;35:35-43.
- 30) Hol MK, Kunst SJ, Snik AF, Bosman AJ, Mylanus EA, Cremers CW. Bone-anchored hearing aids in patients with acquired and congenital unilateral inner ear deafness (Baha CROS): Clinical evaluation of 56 cases. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2010;119(7):447-54.
- 31) Cox RM, Alexander GC. The abbreviated profile of hearing aid

- benefit. *Ear Hear* 1995;16(2):176-86.
- 32) Jang DS, Shin DH, Han W, Kong TH, Seo YJ. Baha attract implantation using a small incision: Initial report of surgical technique and surveillance. *Clin Exp Otorhinolaryngol* 2020;13(1):15-22.
- 33) Kong TH, Kwak C, Han W, Seo YJ. Evaluation of wireless bluetooth devices to improve recognition of speech and sentences when using a mobile phone in bone conduction device recipients. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2019;276(10):2729-37.
- 34) Holder JT, O'Connell B, Hedley-Williams A, Wanna G. Cochlear implantation for single-sided deafness and tinnitus suppression. *Am J Otolaryngol* 2017;38(2):226-9.
- 35) Punte AK, Vermeire K, Hofkens A, De Bodt M, De Ridder D, Van de Heyning P. Cochlear implantation as a durable tinnitus treatment in single-sided deafness. *Cochlear Implants Int* 2011;12 Suppl 1: S26-9.
- 36) Holgers KM, Håkansson BE. Sound stimulation via bone conduction for tinnitus relief: A pilot study. *Int J Audiol* 2002;41(5):293-300.

정답 및 해설

답 ④

해설 환아 8세로 이개재건술의 재료로 자가능골연골의 사용을 고려할 수 있는 나이이다. 외이도성형술의 경우 측두골 CT상 Jahrsdoerfer 8점 이상이면 예후가 좋고 5점 이하이면 예후가 불량할 가능성이 높다. 내이 기형이나 감각신경성 난청을 동반하지 않은 경우 편측성 외이도 기형은 8점 이상, 양측성 외이도 기형은 5점 이상이면 외이도 성형술의 적응증이 된다. 해당 해부학적 구조의 발달이 양호하지 않거나, 환자 및 보호자가 외이도 재건을 원하지 않을 경우 그 선호도에 따라 이식형 보청기 수술을 시행할 수 있다.

참고 문헌: 대한이비인후과학회. 이비인후과학:이과. 파주: 군자출판사;2018. p.369-85.