

이식형 보청기

경북대학교 의과대학 이비인후과학교실

이 규 엽

Implantable Hearing Devices

Kyu-Yup Lee, MD

Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, School of Medicine, Kyungpook National University, Daegu, Korea

서 론

최근 난청환자들이 증가하는 추세이며 이런 현상은 사회의 고령화에 따른 노인성 난청환자의 증가, 현대의 산업화 등에 의한 산업장에서의 사고나 소음환경에 따른 난청자의 증가, 스마트폰과 같은 휴대음향기기와 이어폰의 사용에 따른 난청 등 많은 난청 유발 요인의 증가에 따른 원인을 들 수 있다. 이런 난청자들의 청력을 보조하기 위해 보청기가 개발되었고 최근에는 전자공학 기술의 발전으로 언어처리기의 지속적 발전과 보청기 크기의 소형화 등 기능이 비약적으로 발전하여 많은 난청환자들에게 이용되고 있다. 하지만 기존 보청기가 가지는 미용적인 문제, 경제적인 문제 등과 더불어 소리의 되울림(feedback)과 폐쇄효과, 한정된 소리증폭, 소리의 왜곡, 방향성 등의 문제 때문에 여전히 많은 환자들이 보청기의 사용을 꺼리고 있다.¹⁾

미국의 보고에 따르면 청력보상이 필요한 난청자 중에서 약 20%의 사람만 보청기를 사용하고 있으며 많은 난청자들은 보청기를 사용하지 않고 있다.²⁾ 이는 기존 보청기의 단점에 따른 결과로 기존 보청기의 단점을 해

결하고자 새로운 청력보조 기기에 대한 요구가 꾸준히 있어 왔다. 이러한 이식형 보청기로는 골 전도형 보청기(bone conduction hearing aid), 중이 이식형 보청기(implantable middle ear hearing device) 및 인공 내이(cochlear implant) 등이 있다. 이식형 보청기는 소리가이드와 dynamic range가 크며, 되울림과 폐쇄효과가 없고 착용에 따른 외형에 장점을 가진다. 이식형 보청기의 단점으로는 수술이 필요하다는 점과, 유지 관리, 비용 등을 들 수 있다. 뛰어난 기능과 더불어 많은 장점을 가진 이식형 보청기는 최근 건강보험요양급여가 결정되었으며 머지않아 난청자의 재활에 보청기를 대신할 것으로 생각된다. 여기에서는 이식형 보청기의 원리와 구성 등을 정리하고 현재 현황과 앞으로의 전망을 논해 보고자 한다.

본 론

전통적인 보청기의 한계점

일반 보청기로는 이득이 충분하지 못한 경우가 있다. 귀걸이형 보청기로는 최대 80 dB 정도의 증폭을 얻을 수 있으나 보청기의 크기가 작아질수록 그 이득은 줄어들어 외이도형 45~55 dB, 고막형은 35에서 50 dB 정도의 이득만을 얻을 수 있다.³⁾ 일반보청기의 단점 중 하나인 되울림 현상은 외이도와 보청기사이의 공간을 통해 소리가 새는 경우에 발생하며 보청기이득을 줄이게 되는 원인으로 특히 마이크로폰과 리시버가 가까운 귀속

교신저자 : 이규엽, 41944 대구광역시 중구 동덕로 130
경북대학교 의과대학 이비인후과학교실
전화 : (053) 420-5781 · 전송 : (053) 423-4524
E-mail : kylee@knu.ac.kr

형에서 심해지며 이것을 방지하기 위해 외이도에 강하게 밀착시에는 되올림은 줄일 수 있으나 환자의 불편감이나 외이도염 등의 문제가 발생할 수 있다.⁴⁾ 일반 보청기에서는 증폭할 수 있는 주파수범위의 제한으로 음의 왜곡현상이 일어날 수 있는데 일반적으로 500에서 2,000 Hz에 해당하는 주파수에서는 좋은 효과를 얻을 수 있으나 200 Hz 이하나 4,000 Hz 이상에서는 이득을 얻기가 어렵다.⁵⁾ 그러므로 저주파수에 심한 난청을 보이는 경우나 고음에만 난청을 보이는 경우에는 국한된 주파수 부분만의 좋은 이득을 얻기는 어려운 실정이다. 500 Hz에서 2,000 Hz 사이에서도 급파강형의 난청인 경우에도 한계가 있다.⁵⁾ 또 비선형적 왜곡현상이 일어날 수 있는데 큰 소리에 대해서 보청기는 포화현상에 의해 음의 왜곡이 발생할 수 있고 이것은 디지털 보청기에 의해 어느정도 극복할 수 있으나 보청기의 기본적 한계는 아직 남아 있고 감각신경성 난청환자의 누가현상에 의한 한계점도 있다.⁴⁾ 일반 보청기의 폐쇄효과는 큰 문제점의 하나로 소리되올림과 폐쇄효과를 줄이기 위한 방법이 상충하는 효과를 보임으로써 해결에 어려움이 있고 보청기 착용에 따른 미용적인 문제도 환자들이 보청기 착용을 꺼리는 원인 중 하나이다.⁶⁾

이식형 보청기의 구조와 원리

이식형 보청기는 기본적으로 마이크로폰을 통해 소리는 받고 신호처리기(signal process)를 거쳐 진동체를 통해 소리를 중이로 전달하는 구조이다. 이식형 보청기에 있어서 가장 중요한 부분은 중이에 이식되는 진동체이다. 이소골에 부착되어 내이로 소리를 전달하는 기능을 하는 진동체는 압전 방식(piezoelectric type)과 전자기방식(electro-magnetic type)으로 구분된다. 전자기 방식은 자성체와 코일로 구성되며 전류를 흘려줄 때 코일주위에 형성된 전자기장이 이소골과 연결된 자성체를 진동시키는 방식이다. 이런 방식으로는 Med-EL사의 Vibrant Soundbridge(Med-EL, Austria)가 있다. 이것은 코일 속에 영구 자석을 삽입한 원통형 진동체가 이소골에 부착되거나 정원창에 위치하여 소리를 전달한다. 이 시스템은 부분 이식형으로 이소골을 손상 시키지 않고 이소골에 부착하므로 시술이 간단하지만 외부 자장 환경 하에서는 잡음 발생 등 비정상 동작 가능성이 내재되어 있다.⁵⁾

압전 방식은 전류에 따른 수축과 팽창을 하는 압전체의 진동이 압전체와 연결된 이소골로 전달되는 방법이다. 처음 일본의 Yanagihara 등에 의해 개발되었으며 최근에는 미국에서 완전 이식형으로 개발된 Esteem(Envoy Medical Corporation, USA)과 Carina(Cochlear, Australia)에서 적용하고 있다. 이와 같이 압전방식은 전자기 방식에 비해 진동 특성은 좋으나 지지점이 되는 지지대가 필요하여 복잡한 수술과 이소골에 가해지는 부하 등이 단점으로 제기된다.⁷⁾

골 전도 이식형 보청기는 측두골에 부착된 골전도 진동체를 이용하여 음향 신호를 기계적 진동으로 변환시켜 외이도와 이소골을 거치지 않고 내이로 음향 신호에 해당하는 진동을 바로 전달한다.^{8,9)} 따라서, 외이도 혹은 중이에 문제가 있는 전도성 난청(conductive hearing loss)에서 사용 가능한 장점이 있다.

이처럼 중이 이식형 보청기는 소리의 피드백이 일어나는 경로가 차단되기 때문에 소리되올림 현상이 발생하지 않고, 소리왜곡도 작은 장점이 있으며, 주파수 응답 특성이 우수하여 원음을 충실히 내이에 전달할 수 있기 때문에 어음 명료도(speech intelligibility)가 기존 보청기에 비해 우수하다.⁷⁾ 그러므로 감각신경성 난청(sensorineural hearing loss) 및 혼합형 난청자에게 사용 가능하다.

이식형 보청기의 종류

이식형 보청기는 소리 이득이 크고 넓은 주파수범위를 가지며 되올림과 폐쇄효과를 줄일 수 있고 미용적인 장점도 가지고 있다.⁵⁾ 이식형 보청기는 소리를 전달하는 방식에 따라 골전도형과 진동체를 이용하여 이소골이나 내이에 음을 전달하는 방식으로 나눌 수 있으며 건전지와 마이크로폰 등 보청기 전체를 이식하는 완전 이식형과 외부기가 있는 부분이식형으로 나눌 수 있다.

골전도 형으로는 Baha[®](Bone anchored hearing aid, Cochlear, Australia), Bonebridge(MED-EL, Austria), Alpha 2(Sophonon, USA) 등이 있으며 Vibrant Soundbridge(Med-EL, Austria), Esteem(Envoy Medical Corporation, USA), Carina(Cochlear, Australia)는 이소골이나 정원창에 진동체인 트랜스듀서(Transducer)를 연결하는 방식의 이식형 보청기이며 특히 Esteem과 Carina

는 완전이식형 보청기이다.

Vibrant Soundbridge(MED-EL, Austria)

Vibrant Soundbridge(VSB)는 Symponix 사(미국)에서 2000년 8월에 미국 FDA의 승인을 받아 세계 최초로 상용화에 성공한 세계 최초의 전자기 방식의 부분 이식형 보청기이다. Symponix 사는 2002년 인공와우 회사인 MED-EL(Austria) 사에 인수되었으며, 1996년에 최초로 이식을 시작한 이후 미국과 유럽에서 상용화되어 현재까지 이 장치를 이식한 환자는 8천명이 넘는다.^{5,10,11)}

VSB 장치는 Fig. 1과 같이 크게 외부기와 체내기로 구분할 수 있다. Fig. 1에 나타나 있듯이 외부기는 음향처리장치(audio processor)와 마이크로폰, 배터리, 전송코일, 자석을 포함하고 있으며, 체내기는 FMT®(floating mass transducer)라는 진동체와 수신, 구동 장치, 자석으로 구성된다.

Fig. 2은 VSB가 이식된 모습을 보여주는 개요도이다. VSB의 동작 원리는 외부기의 마이크로폰에서 소리를 받아 신호처리를 한 다음, 이식된 체내기로 무선신호를 전달해주어 이소골에 설치되어 있는 FMT를 구동시켜 내이로 진동을 전달해 주어 소리를 듣게 하는 것으로 VORP(vibrating ossicular prosthesis)라고도 불리고 있다.

제조회사에서 제시하는 VSB의 적응증은 Fig. 3에서 처럼 정도(mild)에서 고도(severe)의 감각신경성 난청자를 대상으로 한다. 수술방법은 단순유양돌기 삭개술과 후고실개방술 후에 침골 장각이나 정원창에 FMT를 장착하는 방법을 많이 이용하고 있다. 단점으로는 트랜

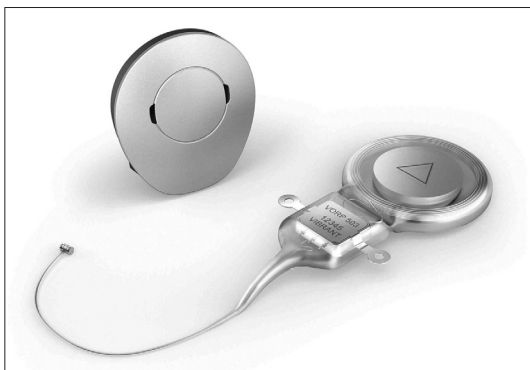


Fig. 1. Vibrant Soundbridge의 외부기와 체내기(Med-El Korea 제공).

스듀서에 자석이 포함되어 트랜스듀스의 변위(displacement)가 발생할 수 있어 자기공명영상 촬영이 곤란한 단점이 있다. 미국의 phase III 임상시험결과에 따르면 침골에 장착된 FMT에 의한 청력에는 큰 영향이 없었으며 순음검사 전 주파수에서 기존의 보청기의 소리의 득과 비교 했을 때 의미있는 소리의 득의 결과를 얻었고

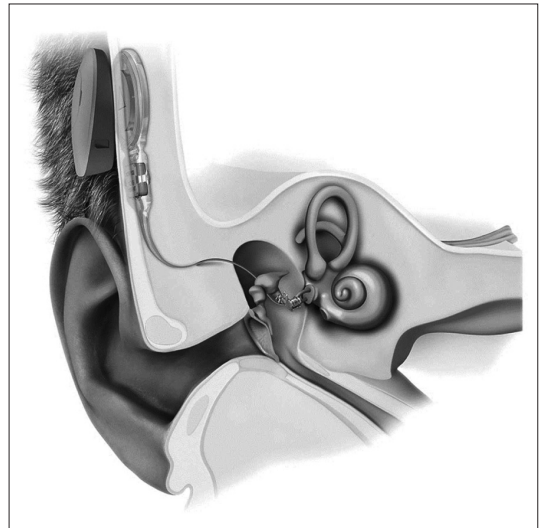


Fig. 2. Vibrant Soundbridge의 이식 개요도(Med-El Korea 제공).

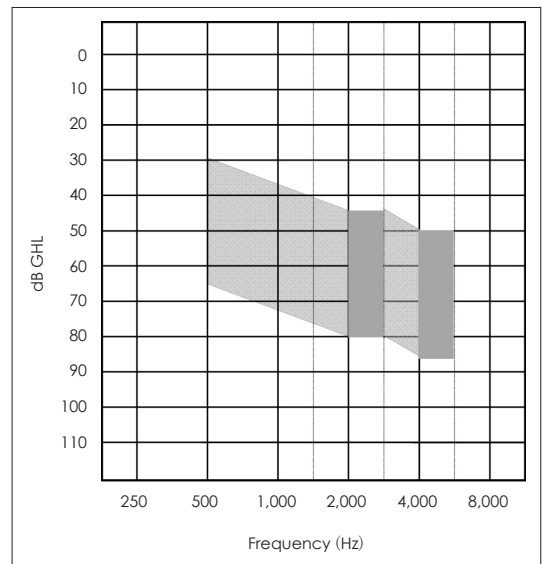


Fig. 3. Soundbridge 적응증. 감각신경성난청으로 회색범위의 순음청력역치. 어음명료도 50% 이상, 정상 중이, 18세 이상(Med-El Korea 제공).

특히 2, 4, 6 kHz에서는 10 dB 이상 기존보청기보다 나은 이득을 보였다.¹²⁾ 발표된 17개의 연구에서 총 643명의 이식환자를 조사한 연구에서는 VSB는 적은 합병증과 좋은 청력결과를 보임으로써 기존 보청기에 만족하지 못하는 환자에서 좋은 대안이 될 수 있을 것으로 생각된다.¹³⁾ 최근 보고에 따르면 VSB를 전도성 난청과 혼합성난청 환자에 적용하였을 때에도 좋은 결과를 보고하여 향후 후미로성 난청외의 거의 모든 난청환자에서 적용될 수 있을 것으로 예상된다.¹⁴⁾

Esteem®(Envoy, USA)

Esteem은 미국 Envoy 사의 압전방식의 이식형 보청기이며, 2006년에 유럽의 CE 인증을 받았고 2010년에 미국 FDA의 승인을 받은 세계 최초의 완전 이식형 보청기이다(Fig. 4). 이 장치는 고막으로 전달된 소리진동을 추골에 연결된 압전 센서를 이용하여 감지하고, 이 신호를 처리 증폭하여 등골에 설치된 압전 진동체를 이용하여 내이에 소리를 전달하는 구조이다.¹⁵⁻¹⁷⁾ 적응증으로는 500에서 4 kHz에서 80 dB까지 역치를 가지는 경우와 60% 이상의 어음명료도, 정상적 중이구조와 이관기능을 가지고 이식될 수 있는 정도의 유양동 공간이 있는 경우에 가능하며 중이염이 있을때는 불가능하다. 보청기 사용과 비교했을 때 이식 후 모든 환자들이 좋은 만족도를 나타내었으며 언어검사결과는 보청기와 비슷하거나 더 나은 결과를 보여주었다.¹⁵⁾ 마이크로폰 대신에 추골에 연결된 센스로 소리를 인식함으로써 정상외이와 고막의 소리전달과정의 장점을 모두 이용할 수 있는 장점이 있다. 배터리는 비충전식으로 인공심장에서 사용하는 것과 비슷한 것으로 5년마다 교체를 해야 한다. 그러나 수술 합병증으로 30%에서 고삭신경(chorda tympani) 손상과 8%에서 안면신경 손상을 보고하여 적지않은 수술합병증이 문제점으로 거론된다.¹⁵⁾



Fig. 4. Esteem 시스템 본체(<http://esteemhearing.com/>).

Carina(Cochlear, Australia)

Carina는 호주 Cochlear 사의 압전형 완전이식형 보청기이다(Fig. 5). 초기에는 Storz 사에서 개발하고 Otologics 사에서 상용화시켰고 현재는 호주 Cochlear 사에서 개발 판매하고 있다. 초기에는 MET(middle ear transducer)라는 부분이식형 보청기로 개발되었고 이후에 완전이식형의 Carina로 발전되었다. 압전 진동체는 침골에 연결해서 소리를 전달하며 충전용 배터리와 피부하에 위치시키는 마이크로폰으로 구성된다. 적응증으로는 다른 이식형 보청기의 적응증과 비슷하여 2~4 kHz에서 80 dB의 청력역치인 경우까지 가능한 것으로 제시하고 있다. 유럽에서 CE 마크를 승인 받았으며 미국에서는 2상 임상실험까지 진행된 상태로 유럽에서의 결과를 보면 전 주파수에서 10~20 dB의 소리이득을 얻을 수 있었다.¹⁶⁾ Esteem과 비교할 때 상대적으로 적은 수술 합병증을 보였으나 17% 정도의 기계 이상(device failure)을 보여 기계의 안정화가 좀 더 필요할 것으로 생각된다.¹⁶⁾

골전도 이식형 보청기

BAHA®(bone anchored hearing aid, Cochlear, Australia), Ponto(Oticon Medical)로 알려져 있는 골전도 이식형 보청기는 골전도 현상을 이용한 것으로 난청자의 측두골에 이식한 진동체에 의해 골전도를 통해 소리를 내이로 전달시키는 장치이며 주로 전도성 난청이나 혼합형 난청자에 주로 사용되며 최대 약 60~70 dB의 소리를 전달시킬 수 있다.⁹⁾ 골전도 이식형 보청기는 일반적인 공기전도형 보청기와는 달리 귀 뒤의 측두골에 부착되기 때문에 ear mold를 사용하지 않는다. 그러므로

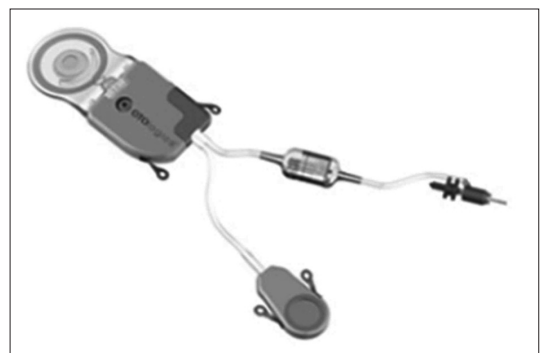


Fig. 5. OTologics Carina system (Cochlear Ltd. 제공).

외이도가 자연상태로 놓이게 되므로 귀를 막아서 발생하는 불쾌함 및 이폐쇄감이 없고 머리카락으로 진동체를 감출 수 있기 때문에 미용효과가 우수한 장점이 있다. 그리고 외이 또는 중이에 감염 등의 문제가 발생하여 공기 전도형 보청기를 사용할 수 없는 환자에게 사용할 수 있으며 선천적인 귀의 기형에 의한 난청자에게도 사용할 수 있다. 그러나 이식형 골전도 보청기는 측두골에 부착되어 전동을 전달해야 하므로 전달할 수 있는 진동력의 한계가 있어 70 dB 이상의 역치를 가지는 사람에게는 사용할 수 없고, 전도성 또는 혼합형의 난청자에게 사용할 수 있으나 난청자의 대부분을 차지하는 감각신경성 난청자에게는 사용할 수 없다. 또한 진동자의 진동에 의한 두통, 동통 등을 유발할 가능성이 있으며 보청기보다 전력소비가 크므로 배터리를 자주 교환해 주어야 하는 불편함이 있다. 골전도 보청기는 귀 뒤의 측두골에 인체적합성이 우수한 금속인 티타늄 또는 스테인레스 시틸 재료로 가공한 나사를 이식한 후 전자 유도 방식의 진동체를 연결한 후 진동체의 진동이 뼈로 전달되게 함으로써 골전도를 유발시키는 구조를 가진다. 특히 티타늄은 이식시에 이식된 뼈와 단단한 골

유착(osseointegration)을 형성하여 진동체의 힘을 효과적으로 전달할 수 있는 장점을 가지고 있다.¹⁷⁾ 이러한 골전도 보청기는 transcutaneous 방식과 percutaneous 방식으로 나뉘어 진다. Percutaneous 방식은 피부를 통하여 나사를 이식한 후 나사에 직접 진동자를 설치하도록 하는 방법으로 대표적으로 Cochlear사의 BAHGA가 있다 (Fig. 6). Percutaneous 방식의 경우에는 외부로 노출된 이식에 직접 진동력을 전달할 수 있기 때문에 상대적으로 큰 진동력을 전달시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 수술한 환자의 3~7%에서 이식부 주위의 피부에 문제를 일으키는 경우가 있어 수술시 주의를 요한다.^{9,18)} BAHGA의 적응증으로는 5세 이상으로 500 Hz에서 3 kHz 사이의 순음청력역치가 65 dB는 넘지 않는 경우, 어음명료도 60% 이상인 경우이다. BAHGA 수술후 결과는 순음청력역치가 45 dB 이하인 경우가 가능 좋은 결과를 보였다.¹⁹⁾ 골전도 이식형 보청기가 주로 전도성 혼합성 난청환자에게 적용되었지만 최근에는 일측성 감각신경성 난청환자를 대상으로도 적용되고 있다. 원리는 난청측에 골전도 이식형 보청기를 이식함으로써 골전도를 통해 정상인 반대측 와우를 자극함으로써 소리를 전달하는 방

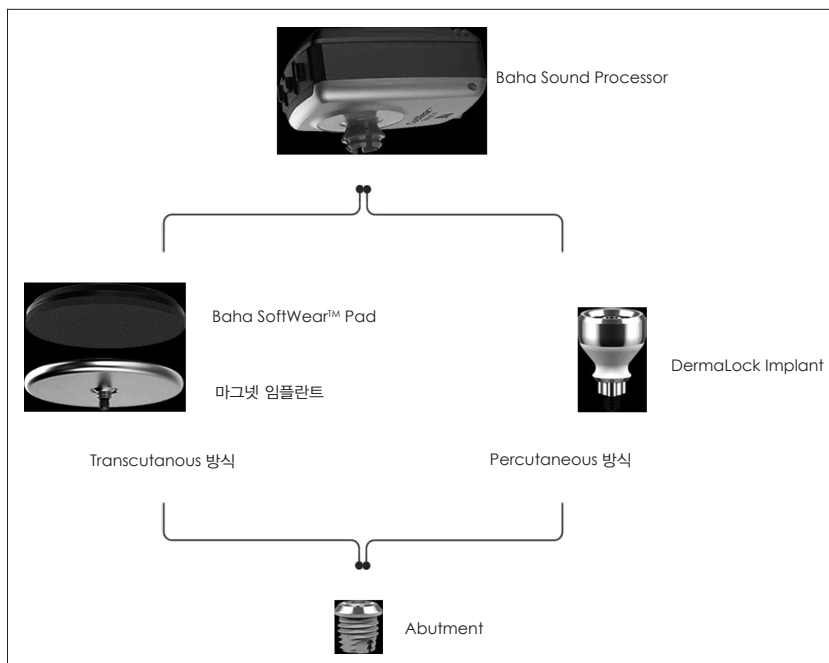


Fig. 6. 기존의 percutaneous 방식의 BAHGA[®]와 transcutaneous 방식의 Baha[®] 4 Attract System (Cochlear Ltd. 제공).

식으로 전통적인 CROS(contralateral routing of offside signal) 보청기와 비슷한 원리이지만 골전도를 이용한 것이다. Niparko 등의 연구에 따르면 CROS 보청기에 비해 월등히 좋은 결과를 보고 하였다.²⁰⁾

Transcutaneous 방식은 영구자석을 이식한 후 피부표면에 진동을 발생시키는 전자코일을 위치시켜서 소리를 전달하도록 하는 방식으로 감염의 위험이 적고 외부에서 장치의 사용여부를 알 수 없어 미용적인 측면에서 장점이 있다. 그러나 피부를 사이에 두고 전자유도를 일으키기 때문에 전동력의 한계가 있고 상대적으로 큰 전력 소비가 요구되는 단점이 있다. 현재 시술되고 있는 시스템으로는 Baha® 4 Attract System(Cochlear, Australia)(Fig. 6), Alpha 2(Sophonon, USA)(Fig. 7)의 경우에는 최근 한국에서 시술되어 사용 중에 있다. Alpha 2는 독일에서 처음 소개되어 2011년 미국 FDA 승인을 받았다. 또 다른 골전도 이식형 보청기로는 MED-EL사의 Bonebridge®(Fig. 8)가 있다. Bonebridge는 유럽 CE 마크를



Fig. 7. Sophono® 이식부(자석과 외부기) <https://sophonon.com/>.



Fig. 8. Bonebridge™ 이식기와 외부기(Med-El Korea 제공).

획득하였으나 아직 미국 FDA 승인은 받지 못한 상태이다. 이는 Soundbridge와 유사한 모양을 가지고 있으나 골도진동체로 구성되어 있다. 다른 골도 보청기에 비해 이식부위가 좀 큰 단점을 가지고 있다. 다양한 골전도 이식형 보청기는 전도성 난청이나 혼합성 난청 환자의 치료에 좋은 결과를 보임으로써 향후 많은 시술이 될 것으로 생각된다.

결론

중이 이식형 보청기의 전망

최근 기존 보청기의 단점을 극복할 수 있으며 난청 정도가 심한 환자를 대상으로 하는 새로운 청력 보조 기기에 대한 요구가 꾸준히 있어 왔고 이를 극복하기 위한 노력은 1970년대 이후 계속되어 왔다. 현재 인공 와우와 골전도 보청기는 상용화에 이르렀고 이식형 보청기도 상용화되어 시술이 이루어지고 있는 상태이다. 향후 보청기보다는 중이 이식형 보청기의 시장성이 더욱 크다고 예상하고 있으며 많은 발전이 이루어 질 것으로 예상된다.

중심 단어 : 보청기 · 이식 · 진동체.

REFERENCES

- 1) 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.
- 2) Chien W, Lin FR. *Prevalence of hearing aid use among older adults in the United States.* *Archives of Internal Medicine* 2012;172(3):292-3.
- 3) Naylor G. *Technical and audiological factors in the implementation and use of digital signal processing hearing aids.* *Scandinavian Audiology* 1997;26(4):223-9.
- 4) Lee KS. *Fitting and Post-Fitting Management in Hearing-aids.* *J Clinical Otolaryngol* 2003;14(2):232-43.
- 5) Haynes DS, Young JA, Wanna GB, Glasscock ME 3rd. *Middle ear implantable hearing devices: an overview.* *Trends in Amplification* 2009;13(3):206-14.
- 6) Henrichsen J, Noring E, Christensen B, Pedersen F, Parving A. *In-the-ear hearing aids. The use and benefit in the elderly hearing-impaired.* *Scandinavian Audiology* 1988; 17(4):209-12.
- 7) Ko WH, Zhu WL, Kane M, Maniglia AJ. *Engineering principles applied to implantable otologic devices.* *Otolaryngologic Clinics of North America* 2001;34(2):299-314.

- 8) Hough JV, Hough DA, McGee M. *Long-term results for the Xomed Audiant Bone Conductor. Otolaryngologic Clinics of North America* 1995;28(1):43-52.
- 9) Tjellstrom A, Hakansson B. *The bone-anchored hearing aid. Design principles, indications, and long-term clinical results. Otolaryngologic Clinics of North America* 1995;28(1):53-72.
- 10) Backous DD, Duke W. *Implantable middle ear hearing devices: current state of technology and market challenges. Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery* 2006;14(5):314-8.
- 11) Beutner D, Huttenbrink KB. *Passive and active middle ear implants. GMS Current Topics in Otorhinolaryngology, Head and Neck Surgery* 2009;88 suppl 1:S32-47.
- 12) Luetje CM, Brackman D, Balkany TJ, Maw J, Baker RS, Kelsall D, et al. *Phase III clinical trial results with the Vibrant Soundbridge implantable middle ear hearing device: a prospective controlled multicenter study. Otolaryngol Head Neck Surg* 2002;126(2):97-107.
- 13) Tysome JR, Moorthy R, Lee A, Jiang D, O'Connor AF. *Systematic review of middle ear implants: do they improve hearing as much as conventional hearing AIDS? Otol Neurotol* 2010;31(9):1369-75.
- 14) Luers JC, Huttenbrink KB, Zahnert T, Bornitz M, Beutner D. *Vibroplasty for mixed and conductive hearing loss. Otol Neurotol* 2013;34(6):1005-12.
- 15) Pulcherio JO, Bittencourt AG, Burke PR, Monsanto Rda C, de Brito R, Tsuji RK, et al. *Carina® and Esteem®: a systematic review of fully implantable hearing devices. PloS One* 2014;9(10):e110636.
- 16) Zenner HP, Rodriguez Jorge J. *Totally implantable active middle ear implants: ten years' experience at the University of Tübingen. Adv Otorhinolaryngol* 2010;69:72-84.
- 17) Albrektsson T, Branemark PI, Jacobsson M, Tjellstrom A. *Present clinical applications of osseointegrated percutaneous implants. Plastic and Reconstructive Surgery* 1987;79(5):721-31.
- 18) House JW, Kutz JW Jr. *Bone-anchored hearing aids: incidence and management of postoperative complications. Otol Neurotol* 2007;28(2):213-7.
- 19) Hakansson B, Liden G, Tjellstrom A, Ringdahl A, Jacobsson M, Carlsson P, et al. *Ten years of experience with the Swedish bone-anchored hearing system. The Annals of Otology, Rhinology & Laryngology* 1990;151:1-16.
- 20) 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.