

이식형 골도 보청기의 최신 지견

소리이비인후과
신중욱 · 이호기

Implantable Bone Conduction Hearing Device

Joong-Wook Shin, MD, PhD and Ho-Ki Lee, MD, PhD

Soree Ear Clinic, Seoul, Korea

서 론

이식형 골도보청기로 가장 많이 사용되어 온 pBAHA (percutaneous bone-anchored hearing aid)는 1977년 스웨덴에서 처음 수술되었으며,¹⁾ 1987년부터는 제품으로 출시되어, 전음성 난청이나, 혼합형 난청을 가진 환자, 또는 일측성 난청이 있는 환자에서 수술되어 왔다. pBAHA는 2014년까지 150,000명 이상의 환자에서 수술될 정도로, 성공적인 청각재활 방법으로 생각되고 있으나, 접합부(abutment)가 피부를 뚫고 나와 있어, 이로 인해 접합부 주변 피부의 염증, 과증식, 임플란트(fixture) 소실 등이 나타나게 된다. 602명의 pBAHA 수술 환자들을 대상으로 한 연구에서 8%의 환자에서 접합부 주변 피부의 과증식이 있었고, 5.1%에서 피부에 염증 나타났으며, 12.1%에서 재수술이 필요했다는 보고가 있으며,²⁾ 장기간 추적관찰을 한 다른 연구에서는 150개의 pBAHA 임플란트 중 27%가 소실되었다는 보고도 있다.³⁾ 1,000명 이상의 환자를 대상으로 한 Dun 등의 연구에서도 평균 10년 정도의 추적관찰 후에 8.3%의 임플란트가 소실되었다.⁴⁾

기존 pBAHA의 다른 문제점으로는, 피부로 돌출되

어 있는 접합부 때문에 평생 주변 피부를 솔을 이용해 깨끗이 해야 하는 불편함이 있을 뿐 아니라, 이로 인한 미용적 문제로 수술이 필요한 환자가 수술을 거부하는 경우도 흔하게 경험하게 된다.

이를 해결하기 위해, 최근에는 환자에게 이식하는 임플란트와 외부장치를 자석을 이용해 고정해서, 기존 pBAHA의 접합부와 같은 피부노출이 없는 골도보청기가 개발되었다. 접합부를 사용하는 pBAHA를 percutaneous type으로 분류하고, 자석을 이용해 고정하는 것을 transcutaneous type이라 하는데, transcutaneous type에는 Sophono[®][Boulder, CO, USA(originally Otomag, Melle, Germany)], BAHA[®] Attract(Cochlear Bone Anchored Solutions AB), Bonebridge[™](MED-EL, Innsbruck, Austria)가 있다.

저자는 percutaneous type과 transcutaneous type 골도 보청기의 특성과 그 유용성을 알아 보고자 한다.

본 론

Bone conduction hearing aid(BCHA)- Percutaneous type

초기의 pBAHA 시술에서는 피부절제기(dermatome)를 이용해, 피하층을 제거한 피부 이식 피판을 사용하는 수술 방법이 많이 사용되었으나, 모공을 제거해서 탈모가 넓은 부위에 생기기 때문에 미용적으로 좋지 않고, 피부 및 연조직 합병증, 임플란트 소실이 있었다. 이

교신저자 : 이호기, 06068 서울 강남구 학동로 435
소리이비인후과
전화 : (02) 542-5222 · 전송 : (02) 542-5207
E-mail : earclinic@hanmail.net

러한 pBAHA의 기존 문제점을 해결하기 위해 수술방법의 발전과 임플란트의 개발이 있어 왔다. Hultcrantz⁵⁾와 Lee 등⁶⁾은 8.5 mm 이상의 접합부를 사용해서, 연조직 제거 없이 단순 수직절개를 통한 수술 후, 이 수술이 피부 합병증이 적고, 수술 시간 및 상처치유 기간이 감소한다고 발표 하였다. Hultcrantz는 이 수술 방법을 사용한 12명의 환자를 5년간 추적관찰 후 결과를 발표했는데, 1명에서 피부의 과증식이 있었으나 좀 더 긴 접합부 사용으로 해결이 가능했으며, 임플란트 주변의 감각 소실이 적고, 탈모가 발생하지 않았다고 발표하였다.

연조직 합병증을 줄이고 골융합을 향상시키기 위한 임플란트로는 BAHA dermalock이 있다. BAHA dermalock은 접합부와 피부가 닿는 부위를 hydroxyapatite로 코팅해서 연조직 합병증을 줄이고, 임플란트(fixture) 표면을 거칠게 만들어 골융합을 좋게 했다. BAHA dermalock을 이용해서 30명을 수술 후, 6개월 이상 추적 관찰한 연구에서는 4명에서 연조직 합병증이 발생했으나 보존적 치료로 모두 회복되었다.⁷⁾

Bone conduction hearing aid(BCHA)-
Transcutaneous type

접합부가 피부 밖으로 돌출되지 않는 transcutaneous BCHA은 피부를 통해 소리를 전달하는 passive type과 진동을 두개골에서 직접 발생하는 active type으로 나누는데, passive type에는 Sophono[®], BAHA[®] Attract가 있고, active type에는 Bonebridge[™]가 있다(Fig. 1). Passive type인 Sophono와 BAHA attract는 외부 장치에서 소리를 진동에너지로 바꾼 후, 진동을 피부를 통

해 두개골로 전달해서 소리를 듣게 되고, active type인 Bonebridge는 외부 어음처리기에서 처리된 신호를, 측두골에 이식된 BC-FMT(bone-conduction floating mass transducer)로 전달해서 이 BC-FMT가 진동하여 두개골을 직접 자극하게 된다. 피부를 통해 진동을 전달해야 하는 Sophono와 BAHA attract는 두 가지 문제점을 가지는데, 우선 피부가 1 kHz 이상의 고음역대 소리를 감소시켜 고주파수 이득이 낮을 수 있고, 소리 전달을 위해서는 외부장치가 피부에 잘 밀착되어 있어야 하는데, 이 과정에서 압력으로 인한 혈액순환 장애로 피부에 문제가 발생할 수 있는 점이다. 이와 달리 Bonebridge는 측두골 내에 삽입된 BC-FMT를 진동시켜 소리를 전달하기 때문에 피부로 인한 소리 감쇄가 발생하지 않는다.

Sophono[®]

Sophono의 외부장치는 골도진동체(bone conduction oscillator)와 이를 내부장치와 연결시켜 주는 두 개의 자석이 있는 acrylic baseplate로 되어 있고, 내부 장치는 티타늄에 싸여 있는 두 개의 자석과 이를 두개골에 고정시키기 위한 5개의 티타늄 나사로 구성되어 있다. 하나가 아닌 두 개의 자석을 사용하고 피부에 접촉하는 부위를 넓혀서, 고정시키는데 필요한 힘을 분산시켜 피부에 발생할 수 있는 문제를 줄일 수 있고, Transcutaneous Energy Transfer(TET) 기술을 이용해서 진동을 피부를 통해 전달하는데 효과적이다(Fig. 2).

Sophono 수술 적응증은 Table 1과 같으며, 골도청력의 평균이 45 dBHL보다 좋은 경우를 대상으로 하나,

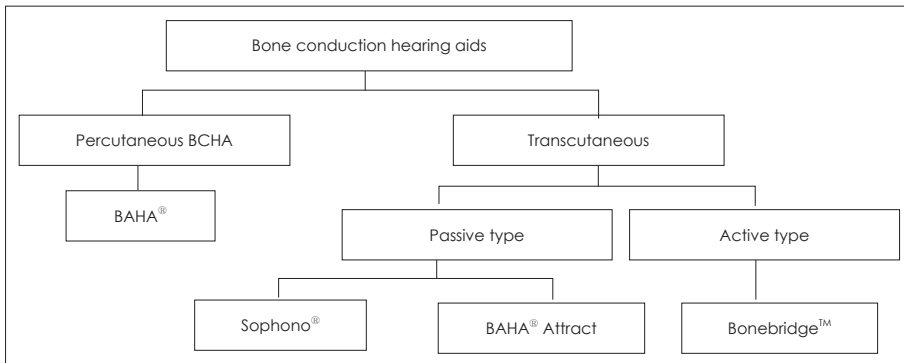


Fig. 1. Categorization of bone conduction hearing devices. BCHA : bone conduction hearing aid.

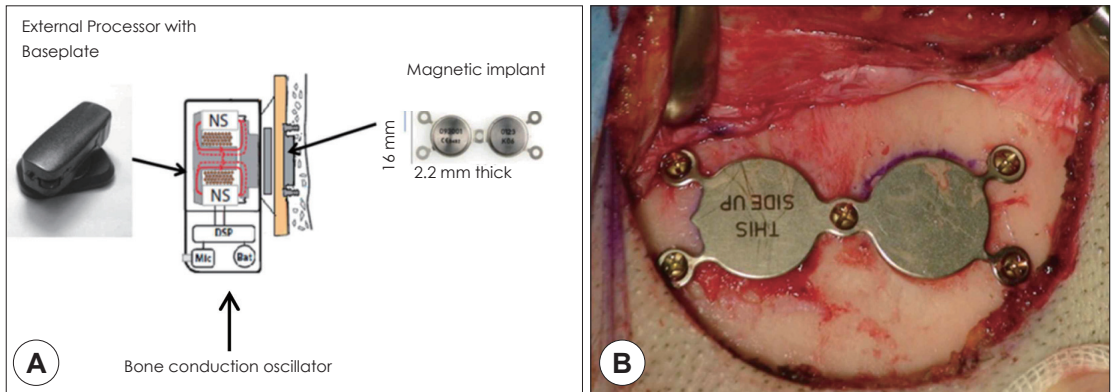


Fig. 2. Sophono is composed with external processor with baseplate and magnetic implant (A). Magnetic implant has five titanium screws and two magnets (B).

Table 1. Indications for Sophono alpha 2

Ages ;
Implanted Sophono : more than 5 year old
Headband/softband : all ages
Hearing loss
Conductive or mixed hearing loss
BC threshold (average of 0.5, 1, 2 and 3 KHz)
≤ 45 dB HL
Bilateral implantation-Difference between both
sides' BC ≤ 10 dB on average and ≤ 15 dB at
any frequency
SSD patients-AC in the good ear should be ≤ 20 dB
HL

BC : bone conduction, SSD : single side deafness, AC : air conduction

35 dBHL보다 좋은 경우가 이상적인 대상이 된다.

현재 사용되고 있는 외부장치는 Sophono alpha2이나 현재까지 보고되고 있는 논문들은 모두 Sophono alpha1을 이용한 결과들이다. Siegert는 2006년부터 Otomag라는 이름으로 Sophono를 수술했으며, 100명 이상의 환자를 대상으로 150에 이상을 수술 후 2013년에 결과를 발표했다. 약간의 피부자극을 보이는 환자도 있었지만, 외부장치를 착용하지 못 할 정도의 부작용이나, 재수술이 필요한 경우는 없었으며, 청력결과는 20명의 일측성 혹은 양측성 외이도폐쇄가 있는 환자를 대상으로 발표했는데 Sophono 착용 후 평균 28.6 dBHL의 이득을 보였다. 이들은 고찰을 통해 접합부가 있는 pBAHA에 비해 10 dB 미만의 이득감소가 있으나, 이는 정상 골도청력을 가진 환자나, 약간의 감각신경성 난청이 있는 혼합

성난청 환자라면, 결과에 큰 영향을 주지 않는다고 주장하였다.⁸⁾

그러나, Sylvester는, 18명의 환자를 대상으로 한 연구에서 수술 전 골도청력이 좋았던, 양측성 전음성 난청이 있는 환자에서는 이득이 평균 21.9 dBHL로, Sophono 착용시 음장검사에서 기도역치가 30.1 dBHL로 호전되었으나, 수술 전 골도역치가 평균 25.9 dBHL이었던 혼합성 난청 환자에서는 이득이 평균 6.2 dBHL로 나타났으며, 음장검사에서 기도역치가 51.9 dBHL로 만족스럽지 못한 결과를 보였다. 이 연구에서도 2명의 환자에서 일시적인 피부 발적이 나타났으나, 자세세기를 조정하면 모두 호전 되었다.⁹⁾

Hol 등은 한쪽 외이도폐쇄가 있는 소아에서, 6명의 Sophono 환자와 접합부가 있는 기존의 pBAHA를 수술한 6명의 결과를 비교하였다. 500 Hz와 1 kHz에서는 비슷한 결과를 보였지만, 2 kHz와 4 kHz에서는 5~10 dBHL 정도 pBAHA의 역치가 좋았다고 하며, skull stimulator를 이용한 실험에서도 Sophono가 pBAHA에 비해 10~15 dB 정도 출력이 낮았다고 발표하였다.¹⁰⁾

저자들의 연구에서도 pBAHA가 좀더 많은 이득을 줄 수 있는 것으로 나타났다. 저자들은 10명의 pBAHA 환자와 9명의 Sophono(alpha 2) 수술 환자를 비교하였다. 우선 양측 외이도 폐쇄가 있는 5명의 Sophono 환자와, 4명의 pBAHA 환자를 비교했을 때, pBAHA는 수술 전 기도청력 평균이 62.5 dBHL이었으며, pBAHA 착용 후 음장검사에서 기도청력 평균이 23.1 dBHL로 나와, 39.4 dBHL의 이득이 있는 것으로 나타났으며, Sophono

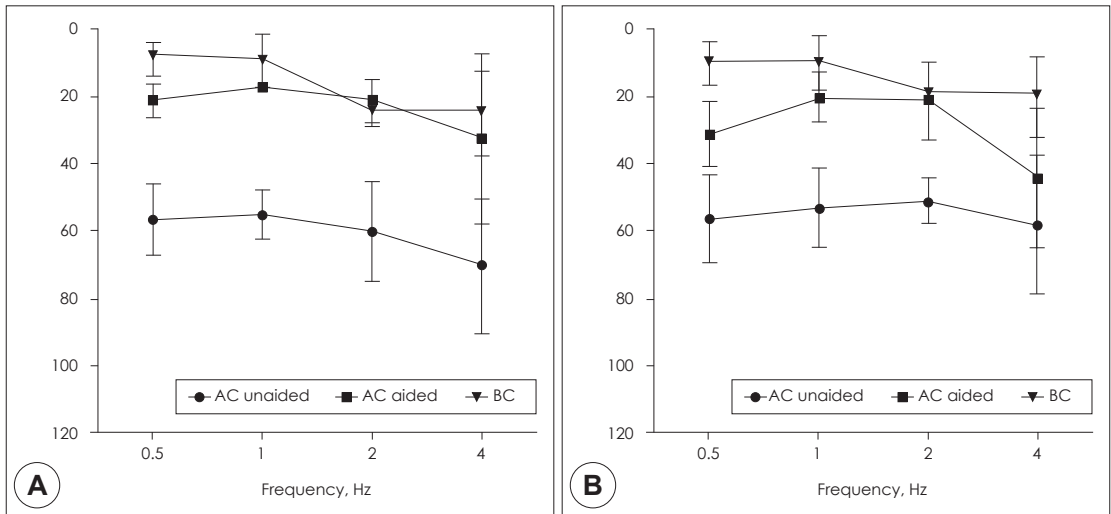


Fig. 3. The comparison of the bilateral aural atresia patients (Sophono, N=5 and pBAHA, N=4). A : Unaided mean AC hearing of pBAHA was 62.5 dB and aided mean free-field AC hearing was 23.1 dB. Postoperative hearing gain was 39.4 dB. B : Unaided mean AC hearing of Sophono was 54.5 dB and aided mean free-field AC hearing was 29 dB. Postoperative hearing gain was 25.5 dB. pBAHA was better than the Sophono in the post-operative hearing gain, but the difference was not statistically significant.

의 경우 수술 전 기도청력 평균이 54.5 dBHL이었으며, Sophono 착용 후 음장검사에서 기도청력 평균이 29 dBHL로 나와 25.5 dBHL의 이득이 있는 것으로 나타나서, pBAHA의 이득이 좋았으나 두 군간에 통계적 차이는 보이지 않았다. 그러나 전체 환자에서 수술 전 기도청력과 수술 후 음장검사 기도청력의 차이를 비교한 기도골도차에서 500 Hz와 4 kHz에서 pBAHA가 통계적으로 차이가 있게 좋은 것으로 나타났다(Fig. 3).¹¹⁾

현재까지 보고되고 있는 Sophono수술 후 청각이득은 21.9~43 dBHL로 다양하나,⁸⁻¹⁴⁾ 기존의 pBAHA와 비교했을 때 이득이 다소 낮은 것으로 생각된다. 그러나, 접합부가 있는 pBAHA에 비해 주변 피부에 문제가 발생하는 경우가 드물고, 임플란트가 소실된 경우는 보고되지 않았다. 접합부가 있는 pBAHA의 경우 특히 소아에서 임플란트 소실이 많은데, 이는 두개골이 성인에 비해 상대적으로 연하고 접합부 부위의 외상이 원인이 될 수 있다. 피부로 나와있는 접합부가 없는 Sophono는 소아에서 임플란트 소실이 보고되지 않았을 뿐 아니라, 술질이 필요 없고, 12세 미만에서도 한번 수술로 착용이 가능한 장점을 가지고 있다.

BAHA[®] attract

BAHA attract는 2013년 미국 FDA를 통과되어 현재까지 임상결과가 많지 않다. BAHA attract는 BI300 임플란트를 측두골에 골융합을 통해 고정하고, 임플란트 위에 BIM400 자석을 결합하게 된다. 외부장치는 기존의 pBAHA 장치와 외부자석으로 되어 있고, 외부자석을 soft pad를 통해 내부자석과 결합시켜 피부에 닿는 압력을 균등하게 배분할 수 있다. 골융합으로 연결된 하나의 임플란트를 이용하고 피부에 균등하게 압력을 배분하는 것으로 소리 전달의 효과를 높이고 피부에 발생할 수 있는 합병증을 줄일 수 있다고 한다(Fig. 4).

BAHA attract는 기도골도차가 평균 30 dBHL 이상인 전음성 난청, 경도의 혼합성 난청, 좋은 쪽 귀의 청력이 20 dBHL보다 좋은 일측성 난청 환자가 시술대상이 될 수 있다. 만일 중등도 이상의 혼합성 난청인 경우와 좋은 쪽 귀의 청력이 20 dBHL보다 좋지 않은 일측성 난청 환자는 접합부가 있는 pBAHA를 수술해야 한다. 수술 전에 softband를 이용한 시험착용을 먼저하고, 환자가 softband의 소리에 만족하는 경우 BAHA attract를 시술하는 것이 좋다(Fig. 5).

5세 이상에서 수술이 가능하며, 두개골의 두께가 3



Fig. 4. BAHA attract is osseointegrated to the skull with BI 300, and internal magnet is attached to BI 300. The BAHA sound processor is attached to a magnet plate on the skin via a soft pad to equalize the force distribution over the attachment surface.

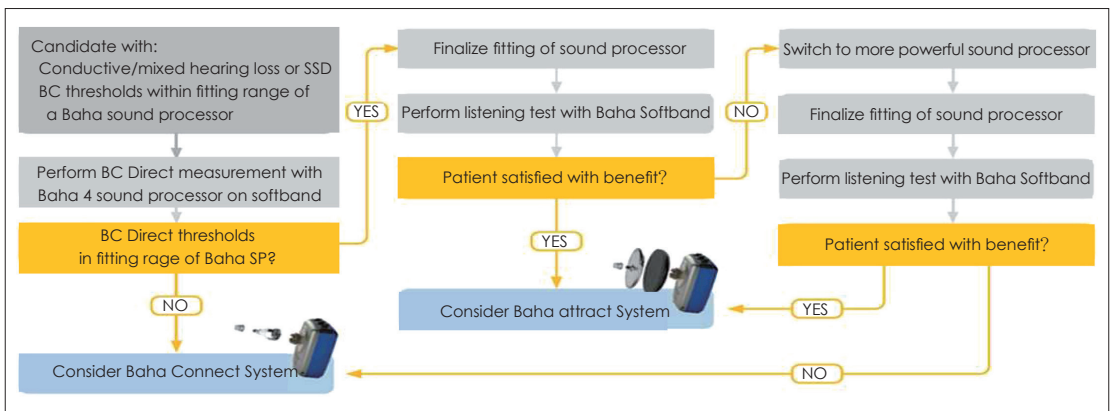


Fig. 5. Manufacture's guideline of BAHA attract and pBAHA. Preoperative softband tests are a good predictor of the patient's postoperative hearing performance.

mm 이상인 경우 1회 수술로 가능하다. 두개골 두께가 3 mm 이하인 경우나 두개골 상태가 골융합이 좋지 않을 것으로 생각되는 경우 임플란트(BI 300)만 이식 후 3~6 개월 후에 내부자석(BIM 400)을 연결하는 이차수술을 해야 한다. 피부 및 연조직의 두께가 3~6 mm 사이가 좋 으며, 6 mm 이상인 경우 연조직 일부를 제거해서 두께 를 줄여야 한다. 수술 후 4주 정도 후에 외부 장치를 착용하게 된다.

BAHA attract를 수술 한 27명의 환자를 9개월 간 추 적 관찰한 연구에 따르면, 500 Hz에서 3 kHz에서 평균 25.2 dBHL의 청각이득을 보였으며, 이는 soft band를

이용한 결과와 비슷했고, 피부나 연조직 문제로 기계착 용을 계속하지 못한 경우는 없었다고 한다. 이 연구에 서는 softband와 BAHA attract 수술 후 청력결과가 비 슷하기 때문에 수술 전 softband를 이용한 테스트를 통 해 환자의 만족도를 확인할 수 있다고 발표하였다(Fig. 6).^{15,23)} Iseri 등은 21명의 접합부가 있는 pBAHA를 수 술한 환자와 16명의 BAHA attract 환자를 비교했는데, pBAHA의 이득이 32.9 dBHL로, BAHA attract의 이득 31.0 dBHL보다 높았으나 통계적 차이는 없었다고 한 다. 모든 주파수에서 pBAHA가 더 좋은 이득을 보였지 만, 통계적 차이는 보이지 않았고, 4 kHz에서 두 그룹

간의 차이가 4.5 dBHL로 가장 큰 차이를 보였다고 발표하였다. 어음수용역치(Speech Reception Threshold)의 이득은 pBAHA가 36.7 dBHL로 BAHA attract의 24 dBHL보다 좋았는데, 이들은 이윅을 4 kHz의 이득 차이로 설명하고 있다. 이 연구에서도 25%의 환자에서 약간의 통증만이 나타났으며, 자석세기를 조절 후 모두 호전되었다.¹⁶⁾ Baker 등은 10명의 Sophono 수술 소아와, 5명의 BAHA attract 수술 소아의 비교에서 BAHA attract

가 평균이득이 41 dBHL로, Sophono의 37 dBHL보다 좋았고, 어음수용역치의 이득도 BAHA attract가 평균 56 dBHL로, Sophono의 39 dBHL보다 좋은 것으로 발표하였다. 이 차이가 통계적으로 의미 있는 정도는 아니었으나, 이들은 골융합이 소리 전달에 효과적인 것을 이유로 생각하였다.¹⁷⁾

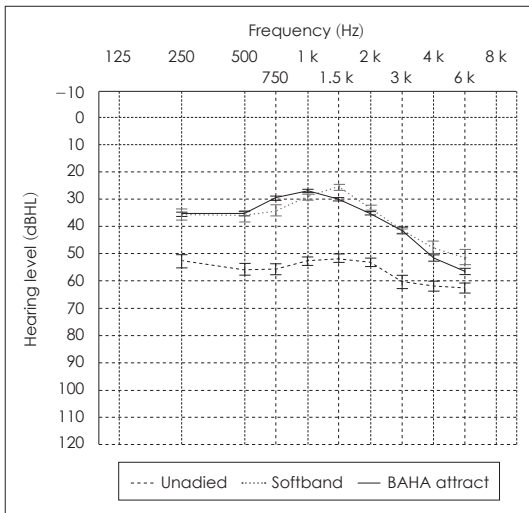


Fig. 6. Pure tone thresholds per frequency for the unaided situation (preop), softband (preop), and BAHA attract (postop 9 months) in decibels.

Bonebridge™

피부를 통해 진동을 전달하는 passive type의 transcutaneous BCHA는, 앞으로 많은 기술 발전이 있더라도, 피부와 연조직의 소리 감쇄(attenuation)를 완전히 극복하기는 어려울 것으로 생각된다. 이와 달리, Bonebridge는 측두골을 직접 진동시켜 소리를 전달하기 때문에 연조직으로 인한 소리 감쇄가 발생하지 않는다. Bonebridge는 2012년부터 유럽에서 승인되어 수술이 가능하게 되었지만, 아직 미국 FDA 승인이 되지 않은 상태이다. 5세 이상에서 사용 가능하며, 골도청력의 평균(0.5, 1, 2, 3 kHz)이 45 dB보다 좋은 전음성 난청, 혼합성 난청 환자와 반대쪽 귀의 청력이 정상인 일측성 난청이 있는 환자에서 사용이 가능하다.

외부장치에서 소리를 전기 신호로 바꾼 후, 이를 라디오 주파수로 바꿔 내부 장치로 전달하면, 내부에 이식된 BC-FMT가 진동하게 되고 BC-FMT와 연결된 두 개의 나사를 통해 두개골을 진동시키게 된다. BC-FMT

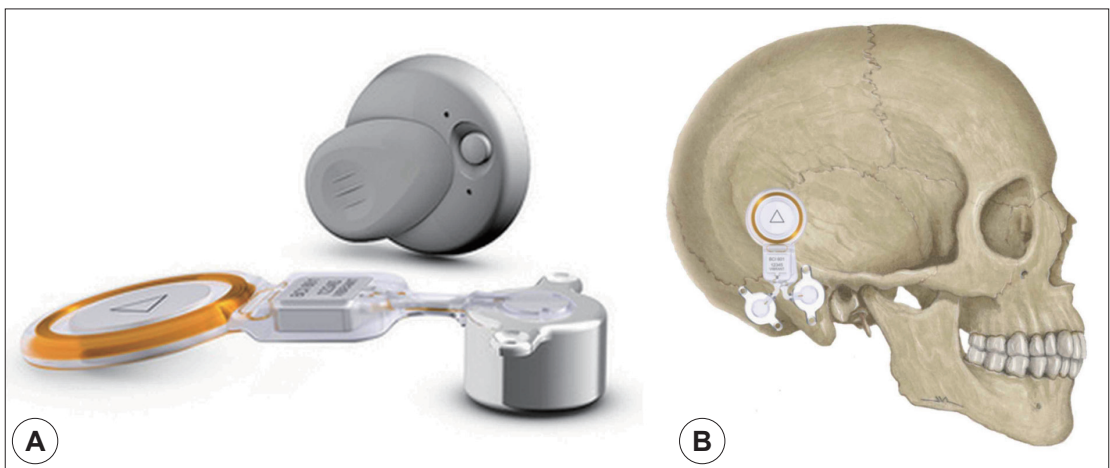


Fig. 7. Bonebridge™, an active transcutaneous direct-drive bone-conduction device (A). Careful preoperative investigations using CT are needed in order to find a possible site for implantation. This site could be retrosigmoidal if not enough space is found in the mastoid (B).

는 직경이 15.8 mm, 두께가 8.7 mm로 비교적 큰 편이라, 함기화가 잘된 유양돌기에서는 sigmoid sinus 앞쪽에 수술해서 넣게 되나, 뇌경막이나 sigmoid sinus의 위치에 번이가 있는 경우나, 유양동 수술로 인해 BC-FMT를 넣을 공간이 없는 경우, 또는 이개재건술이 계획된 경우 등에서는 sigmoid sinus 뒤쪽에 수술하게 된다(Fig. 7). 수술 전 CT촬영을 통해 어떤 부위에 수술할 지 결정해야 하며, 수술 후 2~4주 후에 외부 어음처리기를 착용하기 시작한다.

23명의 성인 환자를 대상으로 한 연구에서 Riss 등은 Bonebridge 수술 후 평균 28.8 dBHL의 청각이득이 있었고, 외이도폐쇄 환자에서는 32.5 dBHL, 혼합성 난청 환자에서는 24.7 dBHL의 이득이 있었으며, 피부에 문제가 발생한 경우는 없었다고 발표하였다.¹⁸⁾ Rahne 등은 8명의 성인과 3명의 소아 환자에서, Bonebridge 수술 전 62 dBHL의 평균 기도청력이 수술 후 음장검사서 평균 28.2 dBHL로 호전되어, 33.4 dBHL의 이득을 보였다고 발표하였다.¹⁹⁾ Huber 등은 레이저 도플러를 이용한 카테바 연구에서 750 Hz 이하에서는 pBAHA가 더 좋고, 3~6 kHz에서는 Bonebridge가 더 좋은 결과를 보인다고 발표하였다.²⁰⁾

앞에서 설명한 Sophono, BAHA attract, Bonebridge는, 환자에게 수술되지 오래되지 않아 충분한 임상결과가 있지 않으며, 또한 전음성 난청, 혼합성 난청, 일측성 난청 환자를 모두 포함시킨 경우가 대부분이라서, 각각 환자의 비율에 따라 골도보청기의 이득이 달라질 수 있어 비교에 주의가 필요하다. 즉, Sylvester의 연구에서처럼⁹⁾ 골도청력이 좋은 경우는 이득이 크지만, 혼합성 난청의 경우는 이득이 크지 않기 때문에 각 질환의 비율에 따라 이득의 평균에 차이가 발생할 수 있기 때문이다. Reinfeldt 등은 골도보청기 착용 후 기도청력 평균이 30 dBHL 이상이 되어야 충분한 어음명료도를 가질 수 있기 때문에, 이를 위해 수술 전 기도청력의 평균이 Bonebridge는 32~37 dBHL, Sophono는 24 dBHL, BAHA Divino는 39 dBHL, BAHA Cordelle는 51 dBHL보다 좋아야 한다고 발표하였다.²¹⁾

MRI 적합성

Transcutaneous BCHA는 외부장치의 고정과 소리전

달을 위해 환자의 두개골 내에 자석이나 진동체를 이식하게 되어 MRI를 촬영할 때 제한이 있다. 다른 대안이 없는 인공와우 수술은 MRI에 제한이 있더라도 꼭 수술이 필요하지만, 이식형 골도보청기의 경우는 수술 전에 환자의 상태를 충분히 고려해서 수술을 결정해야 한다. Sophono는 2013년 외부장치를 제거한 상태에서 3.0T (tesla)까지 MRI 촬영이 가능한 것으로 미국 FDA 승인을 받았으며, 내부 장치 주변으로 약 4.5~7 cm 정도 영상 왜곡이 발생한다. BAHA attract는 제조사는 1.5T까지 안전하다고 하나, 미국이나 유럽에서 MRI 안전도에 대해 승인이 되지 않은 상태이며, 영상왜곡은 내부장치 주변으로 11.5 cm 이상 생긴다고 한다. Bonebridge 역시 미국, 유럽에서 승인되지 않은 상태로 제조사는 1.5T까지 안전한 것으로 발표하고 있으며, 내부장치 주변으로 15 cm 이상의 영상왜곡이 발생한다.²²⁾ 기존의 pBAHA의 경우는 MRI 촬영에 제한이 없고 영상왜곡도 15.1~17.4 mm 정도이다. 이식형 골도보청기가 적합한 환자들 중에도 향후 MRI 촬영이 필요한 환자들 이 있기 때문에, MRI 촬영을 고려해서 pBAHA를 수술을 해야 하는 경우도 있을 것으로 생각된다.

결론

이식형 골도보청기로 많이 사용되어온 pBAHA는 효과적인 청각재활 방법으로 사용되어 왔으나, 피부로 접합부가 나와있는 문제가 있었다. 최근 이를 해결하기 위해 transcutaneous BCHA가 개발되어 사용되고 있다. Transcutaneous BCHA는 현재까지의 연구 결과에서, 기존의 pBAHA에 비해 이득은 떨어지지만, 임플란트의 소실이나 피부에 발생하는 문제가 생기지 않고, 피부로 돌출된 접합부가 없어서 미용적으로 우수한 장점이 있는 것으로 생각된다. 그러나, MRI 촬영에 제한이 있고, 청각개선에서 pBAHA보다 좋지 않기 때문에 각 이식형 골도보청기의 적응증에 맞는 환자를 대상으로 수술하는 것이 중요할 것으로 생각된다.

중심 단어 : 골전도보청기 · 전음성 난청 · 혼합성 난청.

REFERENCES

- 1) Tjellström A, Lindström J, Hallén O, Albrektsson T, Brånemark PI. *Osseointegrated titanium implants in the temporal bone. A clinical study on bone-anchored hearing aids. Am J Otol* 1981;2(4):304-10.
- 2) Hobson JC, Roper AJ, Andrew R, Rothera MP, Hill P, Green KMI. *Complications of bone-anchored hearing aid implantation. J Laryngol Otol* 2010;124(2):132-6.
- 3) Wallberg E, Granström G, Tjellström A, Stalfors J. *Implant survival rate in bone-anchored hearing aid users: long-term results. J Laryngol Otol* 2011;125(11):1131-5.
- 4) Dun CAJ, Faber HT, de Wolf MJ, Mylanus EA, Cremers CW, Hol MK. *Assessment of more than 1,000 implanted percutaneous bone conduction devices: skin reactions and implant survival. Otol Neurotol* 2012;33(2):192-8.
- 5) Hultcrantz M, Lanis A. *A Five-Year Follow-up on the Osseointegration of Bone-Anchored Hearing Device Implantation Without Tissue Reduction. Otol Neurotol* 2014;35(8):1480-5.
- 6) Shin JW, Park HJ, Lee SC, Park HQ, Lee HK. *Single Vertical Incision Technique without Skin Thinning for the Bone Anchored Hearing Aid Surgery. Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2012;55(3):151-4.
- 7) Wilkie MD, Chakravarthy KM, Mamais C, Temple RH. *Osseointegrated hearing implant surgery using a novel hydroxyapatite-coated concave abutment design. Otolaryngol Head Neck Surg* 2014;151(6):1014-9.
- 8) Siegert R, Kanderske J. *A new semi-implantable transcutaneous bone conduction device: clinical, surgical, and audiological outcomes in patients with congenital ear canal atresia. Otol Neurotol* 2013;34(5):927-34.
- 9) Sylvester DC, Gardner R, Reilly PG, Rankin K, Raine CH. *Audiologic and surgical outcomes of a novel, nonpercutaneous, bone conducting hearing implant. Otol Neurotol* 2013;34(5):922-6.
- 10) Hol MK, Nelissen RC, Agterberg MJ, Cremers CW, Snik AF. *Comparison between a new implantable transcutaneous bone conductor and percutaneous bone-conduction hearing implant. Otol Neurotol* 2013;34(6):1071-5.
- 11) Shin JW, Kim SH, Choi JY, Park HJ, Lee SC, Choi JS, Lee HK. *Surgical and audiological comparison between Sophono and Baha implantation. Clin Exp Otorhinolaryngol in press.*
- 12) O'Neil MB, Runge CL, Friedland DR, Kerschner JE. *Patient Outcomes in Magnet-Based Implantable Auditory Assist Devices. Otolaryngol Head Neck Surg* 2014;140(6):513-520.
- 13) Magliulo G, Turchetta R, Iannella G, di Masino RV, de Vincentiis M. *Sophono Alpha System and subtotal petrosectomy with external auditory canal blind sac closure. Eur Arch Otorhinolaryngol* 2015;272(9):2183-90.
- 14) Denoyelle F, Leboulanger N, Coudert C, Mazzaschi O, Loundon N, Vicaud E, Tessier N, Garabedian EN. *New closed skin bone-anchored implant: preliminary results in 6 children with ear atresia. Otol Neurotol* 2013;34(2):275-281.
- 15) Briggs R, Van Hasselt A, Luntz M, Goycoolea M, Wigren S, Weber P, Smeds H, Flynn M, Cowan R. *Clinical Performance of a New Magnetic Bone Conduction Hearing Implant System: Results From a Prospective, Multicenter, Clinical Investigation. Otol Neurotol* 2015;36(5):834-41.
- 16) Iseri M, Orhan KS, Tuncer U, Kara A, Durgut M, Guldiken Y, Surmelioglu O. *Transcutaneous Bone-anchored Hearing Aids Versus Percutaneous Ones: Multicenter Comparative Clinical Study. Otol Neurotol* 2015;36(5):849-53.
- 17) Baker S, Centric A, Chennupati SK. *Innovation in abutment-free bone-anchored hearing devices in children: Updated results and experience. Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2015;79(10):1667-72.
- 18) Riss D, Arnoldner C, Baumgartner WD, Blineder M, Flak S, Bachner A, Gstoettner W, Hamzavi JS. *Indication criteria and outcomes with the Bonebridge transcutaneous bone-conduction implant. Laryngoscope* 2014;124(12):2802-6.
- 19) Rahne T, Seiwerth I, Götze G, Heider C, Radetzki F, Herzog M, Plontke SK. *Functional results after Bonebridge implantation in adults and children with conductive and mixed hearing loss. Eur Arch Otorhinolaryngol* 2014 Nov 26. [Epub ahead of print].
- 20) Huber AM, Sim JH, Xie YZ, Chatzimichalis M, Ullrich O, Rösli C. *The Bonebridge: Preclinical evaluation of a new transcutaneously activated bone anchored hearing device. Hear Res* 2013;301:93-9.
- 21) Reinfeldt S, Håkansson B, Taghavi H, Eeg-Olofsson M. *New developments in bone-conduction hearing implants: a review. Med Devices* 2015;16(8):79-93.
- 22) Doshi J, Schneiders S, Foster K, Reid A, McDermott AL. *Magnetic resonance imaging and bone anchored hearing implants: Pediatric considerations. Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2014;78(2):277-9.
- 23) Chang SO, Song JJ. *Bone anchored hearing aid (BAHA). J Clinical Otolaryngol* 2008;19:3-12.