

청성 뇌간 이식술

연세대학교 의과대학 이비인후과교실

이전미 · 최재영

Auditory Brainstem Implant

Jeon Mi Lee, MD and Jae Young Choi, MD, PhD

Department of Otorhinolaryngology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

서 론

심도 난청 환자에서 전기 자극을 이용한 청각 재활에 대한 발상과 시도는 18세기부터 시작되었으며 1984년 인공 와우의 상업화 이후로 다양한 적응증의 확대와 성공적인 결과를 보임에 따라, 점차 유모세포 손상에 의한 난청을 넘어 와우 신경 손상으로 인한 난청의 재활에 관심이 모아지기 시작했다. 그 결과물로 청성 뇌간 이식술이 고안되었다. 청성 뇌간 이식술은 직접 와우 신경핵(Cochlear nucleus, CN)을 자극하여 소리를 듣게 하는 방법으로 와우에서 와우 신경핵으로 이어지는 신경전도에 이상이 생겨 듣지 못하는 환자에게 적용할 수 있다. 청성 뇌간 이식술은 1979년 Dr. William House에 의해 최초로 시행되었으며,¹⁾ 1992년 다중채널 방식이 개발되어 초기의 단일채널 방식의 이식기에 비하여 훌륭한 결과를 보였다.²⁾ 현재 다중채널 방식의 청성 뇌간 이식술은 2000년 미 식품의약국 허가 승인을 받은 상태로,¹⁾ 제 2형 신경 섬유종 환자를 포함하여 양측성 측두골 골절이나 극심한 와우 골화로 인한 난청 환자, 선천성 내이 기형으로 인한 난청 환자 등으로 적응증이 확대되는 추세이다. 본 논문은 청성 뇌간 이식술의 적응증, 술

식과 합병증 및 이식 후 결과 등을 본인의 경험 및 문헌과 함께 고찰하고자 한다.

본 론

적응증

청성 뇌간 이식술의 가장 대표적인 적응증은 제2형 신경섬유종증(Neurofibromatosis type II, NF-II)이다. NF-II 환자의 약 90%에서 양측 청신경종양이 나타나며, 20%에서 난청이 첫 증상으로 나타난다. 청신경종양은 인접한 와우신경을 압박하거나 침범함으로써 청력 소실을 일으키게 되는데 종양의 크기나 성격에 따라 와우신경을 침범하는 정도에 차이가 있다. 산발성 청신경종양의 경우 와우신경보다는 전정신경에 호발하는 경향이 있으며 종양과 신경과의 유착이 적어 비교적 와우신경을 보존하기가 용이한 반면 제2형 신경섬유종증에서 발생한 청신경종양은 직접 와우신경에서 발생하거나 와우신경을 침범, 유착을 일으키는 경우가 많다.^{3,4)} 현재 미국 FDA의 허가 기준은 12세 이상의 NF-II 환자로 수술 결과에 적절한 기대치를 가진 경우에 한한다. 과거에는 두 번째 종양제거 수술 시 청성 뇌간 이식술을 함께 시행하였으나 최근에는 첫 종양을 제거할 때 동시에 청성 뇌간 이식술을 시행하며, 양측으로 이식을 하기도 한다. 현재까지 세계적으로 약 1,000명 이상의 NF-II 환자에서 청성 뇌간 이식술이 시행되었으며, 우리나라에서도 2015년부터 18세 이상의 NF-II 환자에서 보험급여가 시작

교신저자 : 최재영, 03722 서울 서대문구 연세로 50
 연세대학교 의과대학 이비인후과교실
 전화 : (02) 2228-3620 · 전송 : (02) 393-0580
 E-mail : jychoi@yuhs.ac

되었다.

선천성 내이 기형으로 인하여 인공와우 이식술이 불가능한 환자에서도 청성 뇌간 이식술을 적용할 수 있다.⁵⁾ 2000년, Colletti 등이 최초로 와우 신경이 관찰되지 않는 선천성 난청 소아에게 청성 뇌간 이식술을 시행하면서 NF-II 이외의 난청 환자에게도 그 적응증이 확대되는 추세이다. 현재까지 알려진 적응증을 정리해 보면 주로 인공와우 이식술 이 불가능한 환자들인데 선천적 난청으로는 와우 이형성증(Cochlear agenesis, Michel disease)과 와우신경 이형성증(Cochlear nerve agenesis)이 되겠으며, 인공와우 이식술에 반응하지 않는 청신경병증(Auditory neuropathy)의 경우도 고려할 수 있다. 선천성 내이 기형 환자에서 수술적 재활 치료를 고려할 때는 적응증 해당 여부를 확인하는 것이 중요하다. 와우신경 이형성증은 전산화 단층촬영에서 좁은 내이도 소견을 보이는 경우가 많지만, 전산화 단층촬영에서 내이도가 좁아져 있는 소견을 보여도 와우신경이 기능적으로 정상 소견을 보일 수 있고, 반대로 내이도가 정상 소견을 보여도 와우신경이 결여되어 있는 경우가 있을 수 있다.⁶⁾ 인공와우 이식술은 청성 뇌간 이식술에 비하여 우수한 결과를 나타내기 때문에 자기공명영상 촬영이나 갑각 전기자극검사 등을 이용하여 와우신경의 존재와 기능을 확인하여 환자에게 최선의 재활을 제공할 수 있어야 할 것이다. 청신경병증에서도 와우 신경핵 이후의 병변

가능성을 항상 염두에 두고 적응 대상을 설정해야 한다. 다음으로는 인공와우 이식술 후 예후가 불량한 군을 고려해 볼 수 있다. 낭포형공동(Common cavity anomaly), 와우신경 불완전형성(Cochlear nerve hypoplasia), 와우 불완전 형성(Cochlear hypoplasia)의 경우 기존의 보고에 따르면 인공와우 이식술 후 예후가 상당히 불량하고 환자마다 결과에 큰 차이를 보이기 때문에 뇌간 이식술을 고려해 볼 수 있으나 아직 까지 이러한 군에서 뇌간 이식술의 장기치료결과가 보고되지 않았으므로 신중해야 할 것이다.

후천적으로는 뇌수막염 이후 발생한 심한 와우 골화나 외상성 와우 손상 등에 의한 난청이 있다. 후천성 난청 환자 중에서도 이러한 비중양성 난청 환자는 종양에 의한 직접적인 신경의 압박이나 유착, 혹은 해부학적 왜곡에서 자유롭기 때문에 술기가 비교적 더 용이하다고 할 수 있으며 그 결과도 더 좋은 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 그러나 모든 경우에서 말초기관의 자극 즉 인공와우 이식술을 통한 청력 재활이 청성 뇌간 이식술보다 항상 좋은 결과를 보이기 때문에,⁸⁾ 만약 인공와우 이식술을 시행할 수 있는 여지가 있는 상황이라면 인공와우 이식술을 먼저 시도해보는 것이 옳다(Fig. 1).

술 식

청성뇌간 이식술의 원리는 인공와우 이식술과 비슷

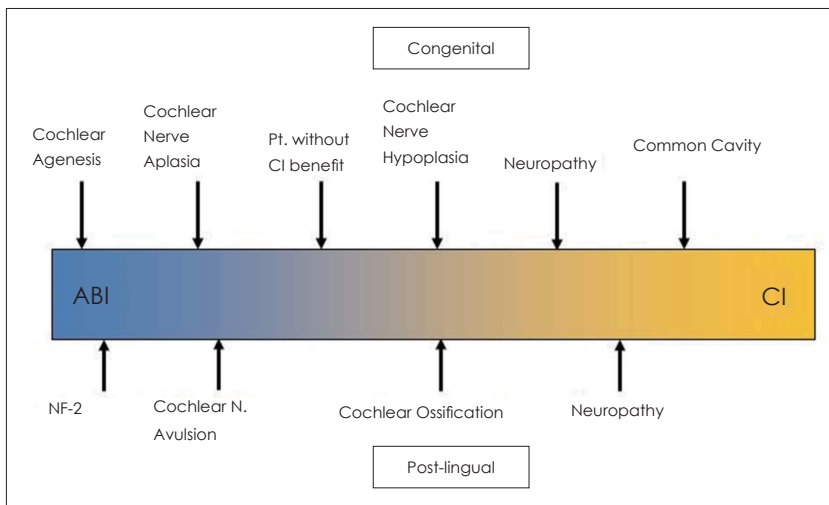


Fig. 1. Indications of ABI and CI. ABI : Auditory brainstem implant, CI : Cochlear implant.

하다. 인공와우 이식술은 와우 내부로 전극을 삽입하여 자극을 전달시켜 청각 신호를 인지하지만 청성뇌간 이식술은 뇌간에 위치한 와우 신경핵에 전극을 삽입하여 청각 신호를 전달, 인지하는데에 그 차이가 있다. 청성 뇌간 이식술의 목표지점은 연수 교뇌 이행부(Pontomedullary junction)의 외측 함요(lateral recess)에 있는 와우 신경핵이다. 이는 전복측 와우 신경핵(Anteroventral CN, AVCN), 후복측 와우 신경핵(Posteroventral CN, PVCN), 배측 와우 신경핵(Dorsal CN)으로 나누어 진다(Fig. 2). 와우 신경핵은 흥분 경로와 억제 경로를 가진 9가지 이상의 다양한 세포로 구성되어 있으며, 와우와는 달리 주파수 특이성이 표면에서부터 깊이에 따라 결정된다. 따라서 인공와우 이식술과는 달리 청성 뇌간 이식술은 표면 전극으로 주파수별 자극을 하는 것이 용이하지 않다.

청성 뇌간 이식술의 수술 접근법으로는 경미로 접근법(translabyrinthine approach) 와 하후두접근법(Suboccipital approach)이 있다. 그 중에서도 경미로 접근법은 외측함요로 직접적인 접근이 용이하고 수술 시야가 넓기 때문에 청성 뇌간 이식술을 위한 접근법으로 권유되고 있다.⁹⁾ 특히 청신경종양 환자들과 같이 구조물이 왜곡된 시야에서 타 접근법에 비하여 안면 신경을 확인, 보존하는 데에 유리하고 내이도의 기저부를 잘 노출할 수 있다는 점에서¹⁰⁾ 유용한 접근법으로 생각되며, 소뇌를 견인하는 등의 위험 부담이 적다는 장점이 있

다.¹¹⁾ 경미로 접근법은 이비인후과 의사에게 보다 익숙하며, 청신경종양등의 내이도 병변을 함께 제거할 수 있다는 장점이 있어 NF-II 환자에게서 주로 이용되지만, 전정기관의 기능이 손실될 수 있어 선천성 난청 환자에서는 전정기능이 소실된 경우에 적용할 수 있다. 경미로접근법으로 와우 신경핵까지 접근하기 위해서는 경정맥공(Jugular foramen)을 완전히 노출시켜야 한다. 경정맥공은 그 위치가 다양할 수 있으며 작은 유아동과 높은 경정맥구(High jugular bulb)를 가진 경우 이를 노출하는 것은 어려울 수 있으나, 그렇다고 해서 청성 뇌간 이식 전극을 위치하는 데에 장애가 되지는 않는다.

성공적인 이식을 위해서는 와우 신경핵의 위치를 정확히 파악하여 전극을 삽입하는 과정이 중요한데 이 구조들은 정상적으로 소뇌의 소엽(flocculus)으로 가려져 있을 뿐 아니라 청신경종양 환자에서 이식술을 시행할 경우 종양으로 인하여, 혹은 종양 제거 시 해부학적 구조물의 왜곡이 발생할 수 있기 때문에 쉽지 않은 일이다. 이식하는 전극의 최적의 위치 선정을 위해 확인하는 해부학적 구조물은 제 8뇌신경(8th Cranial nerve, CN VIII, 청신경), 제 9뇌신경(9th Cranial nerve, CN IX, 설하신경), 제 7뇌신경(7th Cranial nerve, CN VII, 안면신경) 등이다. 대부분의 경우 설하신경은 고정된 위치에 존재하게 되며 종양 때문에 뇌간이 압박된 경우라고 하더라도 보통은 설하신경의 상방에서 루스카공(Foramen Lusichka, 4th ventricle)을 확인할 수 있다.¹²⁾ 또한 청신경의 근위부를 추적하면 소뇌의 소엽과 루스카공로부터 나오는 맥락총(Choroid plexus)이 보이며, 와우 신경핵이 위치하는 외측 함요를 확인할 수 있다(Fig. 3).¹¹⁾

인공와우 이식술과는 달리 확실한 해부학적 지표가 없기 때문에 청성 뇌간 이식술에서는 전극 삽입 후 시험 전극을 이용하여 수술 중 이식 위치를 확인하는 과정이 필수적이다.¹³⁾ 즉 청각신경세포를 전기 자극할 때 발생하는 제 3파(Wave III) 이후의 뇌파를 확인하여 가장 많은 전극에서 확실한 뇌파가 나오는 부위를 최종 이식 부위로 선정한다. 그 이외에도 안면신경 및 하부 뇌신경의 손상을 피하기 위해 안면신경 및 제 9, 10, 11 뇌신경 감시가 필요하다. 또한 수술 직후에는 전극의 위치를 확인하기 위해 단층촬영이 필요하다.

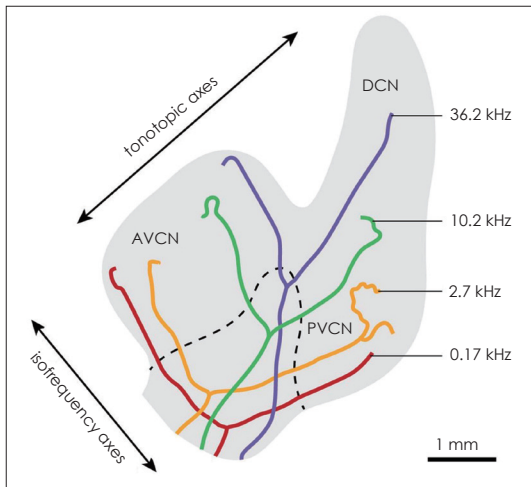


Fig. 2. Anatomy of Cochlear nucleus. AVCN : Anteroventral cochlear nucleus, PVCN : Posteroventral cochlear nucleus, DCN : Dorsal cochlear nucleus.

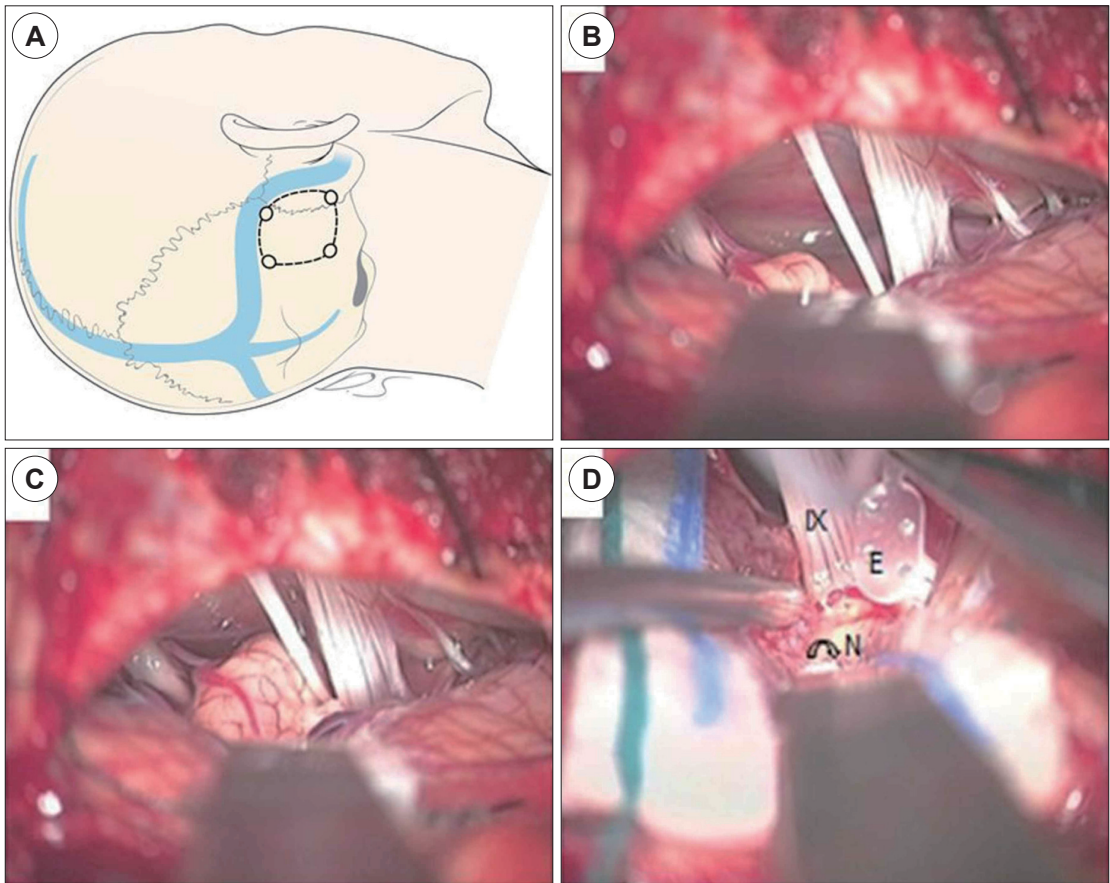


Fig. 3. Surgical field of auditory brainstem implantation (ABI, Right side). XI : 11st cranial nerve, hypoglossal nerve, E : electrode, N : cochlear nucleus.

합병증

술 후 가장 흔하게 겪는 합병증은 뇌척수액 유출, 전극 이동 및 청각 외 자극이다.¹⁾ 뇌척수액 누출은 지주막 하부터 피하까지 이어진 전극을 따라 뇌척수액이 흘러 발생하는 것으로 생각되며 보통은 보존적인 치료로 해결할 수 있어 재수술이 필요한 경우는 아주 드물다. 전극 이동은 보통 청신경종양 환자의 이식 후 일어나는데, 종양의 제거 등으로 인해 뇌간의 이동이 일어나면서 불안정하게 고정되어있던 전극이 이동하는 것으로 생각된다.¹⁴⁾ 전극의 위치는 고해상도 전산화 단층촬영을 통해 추적 관찰 할 수 있으며, 고해상도 전산화 단층촬영을 통해 전극의 이동을 발견, 이동한 전극의 위치 교정 후 반응이 회복된 증례가 보고되었다.¹⁵⁾

청각 외 자극 반응은 다중채널 방식 이식기를 이식 받

은 환자에서 42%까지 보고되고 있으며, 가장 흔한 것은 척추시상로(spinothalamic track)의 자극에 의한 팔다리의 저림 현상이다. 청각 외 자극 반응은 전극의 위치와도 관련이 있는 것으로 알려져 있는데 전극의 위치가 하방으로 치우친 경우 설하신경이 자극되어 목구멍이 수축되는 느낌이나 얼얼한 자극을 느낄 수 있으며, 상방으로 치우친 경우 청각 자극에 의한 안면 근육 경련이 나타날 수 있다. 소뇌의 소엽이 자극되는 경우 시야가 불안정해지는 현상이 나타날 수도 있다. 이런 증상들은 해당 채널전극을 끄거나 자극 시간을 연장하는 방법 등으로 해결할 수 있으며, 청각 외 자극은 시간이 지날수록 줄어드는 경향이 있으므로 시간이 지나 다시 꺼주었던 전극을 작동시켜 청각 외 자극 반응 없이 청각을 유지할 수 있다.

이식 후 결과

인공와우 이식술의 대상이 되지 않는 환자군에서 청성 뇌간 이식술은 청각 재활에 효과적이다. 1979년 최초의 청성 뇌간 이식술이 성공한 이후로 House Ear Institute (Los Angeles, CA)에서는 230명 이상의 NF-II 환자들이 이식술을 시행 받았으며, 그 중 85%의 환자가 청각 자극을 인지할 수 있었고 93%에서는 구화(lip reading) 병행 시 문장 이해력이 상승하였다고 보고하였다.¹⁶⁾ 또한 2002년 Lenarz 등은 전화 통화가 가능한 2명의 이식자를 보고하기도 하였다.¹⁷⁾ NF-II 환자에서는 많은 장기적 추적 관찰 결과가 보고되었는데, 초기의 수술 결과는 90% 이상의 환자에서 기기를 매일 사용하며, 80%의 환자들이 구화(lip reading)를 하는 데 도움을 받고 있으나, 10%의 환자만이 open-set 상황에서 언어 이해가 가능한 것으로 알려지고 있다. 그러나 최근 유럽 등에서는 이전보다 향상된 결과가 보고되어, 35% 이상의 환자가 open-set 상황에서 문장을 이해할 수 있는 것으로 보고되고 있다(Table 1).

그러나 인공와우 이식술의 결과와 비교해 보았을 때 청성 뇌간 이식 후 결과는 인공와우 이식술의 결과에 미치지 못한다. Vincenti 등은 단일 기관에서 청신경 종양 제거술을 시행한 뒤 인공와우 이식술과 청성 뇌간 이식술을 받은 환자를 비교하여 보고하였는데, 청각 자극과 함께 구화를 병행할 때에는 비슷한 결과를 보였으나 청각 자극만을 주었을 때에는 인공와우 이식술을 시행 받은 환자군이 월등한 결과를 보였다.¹⁸⁾ 이런 청각적 이득 및 수술 중이나 후로 발생할 수 있는 위험성을 고려했을 때, 청신경 종양 제거 수술 시 청각 재활을 위해서는 가급적 술 중 와우신경을 보존하여 인공와우 이식술을 시행하는 것이 유리하지만 부득이하게 와우신경을 보존하지 못하는 경우라면 청성 뇌간 이식술이 효과

적으로 청각 재활을 보조할 수 있을 것이다.

비종양성 난청 환자에서는 아직 장기적인 보고가 많지 않는데 비종양성 난청 환자는 종양에 의한 직접적인 신경의 압박이나 유착, 혹은 해부학적 왜곡에서 자유롭기 때문에 술기가 더 용이할 뿐만 아니라 그 결과도 우수한 것으로 알려져 있다. 종양성 환자와 비종양성 환자에서 청성 뇌간 이식술의 결과를 비교해보면 두 군에서 청력의 역치는 큰 차이가 없었지만¹⁹⁾ 구화 병행 조건에서 종양성 환자가 12.2%의 문장 이해력을 보인 것에 비하여 비종양성 환자에서는 63%의 이해력을 보였다.²⁰⁾ 이러한 차이는 종양성 환자에서 장기간 종양에 의한 뇌간 및 신경의 압박, 종양 제거 및 이식 후 구조물의 위치 변화에 의한 전극의 이동뿐 아니라 뇌척수액 배출이 패색되면서 주위 신경 구조물들에 부종과 섬유화를 포함한 허혈성 변화를 일으키기 때문인 것으로 추정된다.⁷⁾

선천성 난청의 경우 추적관찰에 필요한 기간이 길어 결과 예측이 더욱 힘들다. 지금까지 보고된 바로는 이식술을 받은 환자 중 가장 흔한 원인은 와우신경 이형성증이며(63%) 이식 후 2년 사이 청능이 발달, 안정되며 이식 후 5년째에는 50%정도가 CAP score 5점 이상에 도달한 것이 보고되었다.²¹⁾ Colletti에 의하면 심한 내이 기형이나 청신경결손을 가진 선천성 난청 환자에서 약 40%의 문장감별이 가능하다는 희망적인 보고를 하였으며, 이는 House Ear Institute에서의 평가에서도 확인되었다.¹⁶⁾ 터키의 Sennaroglu 등도 청성 뇌간 이식술을 시행 받은 11명의 내이형성부전 등의 선천성 난청 환자의 대부분이 Ling 6 sound의 탐지가 가능하였으며 이들 중 일부는 전화 사용이 가능할 정도의 우수한 언어수행 능력을 보였다고 보고하였다.²²⁾ 국내에서도 최등이 인공와우 이식술에 반응하지 않는 비종양성 선천성 난청 환자에서 긍정적인 결과를 보고한 바 있다.²³⁾ 지금까지

Table 1. 제2형 신경섬유종증 환자에서의 청성 뇌간 이식술의 결과

연구자	연도	항시 사용자	무반응 환자	문장이해비율	부작용
Sollmann (48)	2000	87% (48/55)	-	-	-
Lenarz (16)	2002	93% (13/14)	8%	0% (0/13)	Migration of ABI
Otto (21)	2002	90% (55/61)	5%	9% (6/61)	Non-auditory response in 9%
Behr	2006	90% (18/20)	-	42%	Non-auditory response in 45%
Grayeli (14)	2008	70% (16/23)	22% (5/23)	50% (8/16)	CSF leakage, hematoma
Sanna (1)	2012	83% (19/23)	13% (3/23)	35% (8/24)	-

보고된 바로는 환아에 따라 사용하는 전극의 개수나 그 결과에 차이를 보이지만 반응을 보이지 않는 환아는 아직까지 보고된 적 없으며,⁶⁾ 언어 습득 전 난청 환아에게 청성 뇌간 이식술은 충분히 언어 발달에 도움이 되는 것으로 생각된다.

결 론

청성 뇌간 이식술은 와우 신경이 손상되었거나 와우가 손상되어 인공와우 이식술이 불가능한 환자에서 유일하게 청각 재활을 할 수 있는 방법이다. 초기에 청성 뇌간 이식술은 제 2형 신경 섬유종증 환자를 대상으로 하였지만 현재는 비종양 환자에게도 적응증이 확대되어 다양한 환자군에서 좋은 결과가 보고되고 있다.

청성 뇌간 이식술은 와우 신경핵의 주파수 특이성이 완전히 파악되지 않았다는 점에서 아직까지는 특정전극에 전기자극을 주었을 때 어떠한 주파수의 소리를 들을 수 있을지 예측하기 힘들다는 한계가 있지만 인공와우 이식술의 적응증이 되지 않는 환자에서 훌륭한 재활의 기회를 제공할 수 있을 것이다.

중심 단어 : 청성 뇌간 이식술 · 인공 와우 이식술 · 청신경 종양 · 제 2형 신경 섬유종 · 청각 재활.

The authors would like to thank Dong-Su Jang, MFA (Medical Illustrator, Medical Research Support Section, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea), for his help with the illustrations.

REFERENCES

- Toh EH, Luxford WM. Cochlear and brainstem implantation. *Otolaryngologic clinics of North America* 2002; 35(2):325-42.
- Nevison B, Laszig R, Sollmann WP. Results from a European clinical investigation of the Nucleus multichannel auditory brainstem implant. *Ear and Hearing* 2002;23(3): 170-83.
- Linthicum FH Jr, Brackmann DE. Bilateral acoustic tumors. A diagnostic and surgical challenge. *Archives of Otolaryngology (Chicago, Ill. : 1960)* 1980;106(12):729-33.
- Hoffman RA, Kohan D, Cohen NL. Cochlear implants in the management of bilateral acoustic neuromas. *The American Journal of Otolaryngology* 1992;13(6):525-8.
- Colletti V, Fiorino FG, Carner M, Giarbini N, Sacchetto L, Cumer G. Advantages of the retrosigmoid approach in auditory brain stem implantation. *Skull Base Surgery* 2000;10(4):165-70.
- Sennaroglu L, Ziyal I, Atas A. Preliminary results of auditory brainstem implantation in prelingually deaf children with inner ear malformations including severe stenosis of the cochlear aperture and aplasia of the cochlear nerve. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otolaryngology and Neurotology* 2009;30(6):708-15.
- Colletti V, Fiorino FG, Carner M, Miorelli V, Guida M, Colletti L. Auditory brainstem implant as a salvage treatment after unsuccessful cochlear implantation. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otolaryngology and Neurotology* 2004;25(4):485-96; discussion 496.
- Sennaroglu L, Ziyal I. Auditory brainstem implantation. *Auris, Nasus, Larynx* 2012;39(5):439-50.
- Monsell EM, McElveen JT Jr, Hitselberger WE, House WF. Surgical approaches to the human cochlear nuclear complex. *The American Journal of Otolaryngology* 1987;8(5): 450-5.
- Kuchta J. Twenty-five years of auditory brainstem implants: perspectives. *Acta neurochirurgica. Supplement* 2007;97 (Pt 2):443-9.
- Laszig R, Marangos N, Sollmann WP, Ramsden RT. Central electrical stimulation of the auditory pathway in neurofibromatosis type 2. *Ear, Nose, & Throat Journal* 1999; 78(2):110-7.
- Fayad JN, Otto SR, Brackmann DE. Auditory brainstem implants: surgical aspects. *Advances in Oto-rhino-laryngology* 2006;64:144-53.
- Waring MD. Intraoperative electrophysiologic monitoring to assist placement of auditory brain stem implant. *The Annals of otology, rhinology & laryngology. Supplement* 1995;166:33-6.
- Behr R, Muller J, Shehata-Dieler W. The High Rate CIS Auditory Brainstem Implant for Restoration of Hearing in NF-2 Patients. *Skull base: official journal of North American Skull Base Society ... [et al.]* 2007;17(2):91-107.
- Grayeli AB, Kalamarides M, Bouccara D, Ambert-Dahan E, Sterkers O. Auditory brainstem implant in neurofibromatosis type 2 and non-neurofibromatosis type 2 patients. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otolaryngology and Neurotology* 2008;29(8):1140-6.
- Toh EH, Luxford WM. Cochlear and brainstem implantation. 2002. *Neurosurgery Clinics of North America* 2008; 19(2):317-29, vii.
- Lenarz M, Matthies C, Lesinski-Schiedat A. Auditory brainstem implant part II: subjective assessment of functional outcome. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otolaryngology and Neurotology* 2008;29(8):1140-6.

- Neurotology* 2002;23(5):694-7.
- 18) Vincenti V, Pasanisi E, Guida M, Di Trapani G, Sanna M. *Hearing rehabilitation in neurofibromatosis type 2 patients: cochlear versus auditory brainstem implantation. Audiology & Neuro-otology* 2008;13(4):273-80.
- 19) Colletti V, Shannon RV. *Open set speech perception with auditory brainstem implant? The Laryngoscope* 2005;115(11):1974-8.
- 20) Colletti V, Carner M, Miorelli V, Guida M, Colletti L, Fiorino F. *Auditory brainstem implant (ABI): new frontiers in adults and children. Otolaryngology--head and neck surgery: Official Journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery* 2005;133(1):126-38.
- 21) Noij KS, Kozin ED, Sethi R. *Systematic Review of Non-tumor Pediatric Auditory Brainstem Implant Outcomes. Otolaryngology--head and neck surgery: Official Journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*;2015.
- 22) Sennaroglu L, Colletti V, Manrique M. *Auditory brainstem implantation in children and non-neurofibromatosis type 2 patients: a consensus statement. Otolology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otolology and Neurotology* 2011;32(2):187-91.
- 23) Choi JY, Song MH, Jeon JH, Lee WS, Chang JW. *Early surgical results of auditory brainstem implantation in nontumor patients. The Laryngoscope* 2011;121(12):2610-8.