

인공와우를 통한 말지각과 반대편 귀 사용 효과에 대한 최근 연구 고찰

Speech Perception and Benefits from the Contralateral Device of Cochlear Implant Users: A Review of Recent Literature

¹남부 플로리다 주립대학 의사소통과학 및 장애학부

²한림대학교 자연과학대학 언어청각학부

오 수 희¹ · 김 진 숙²

Soo Hee Oh¹ and Jin-Sook Kim²

¹*Department of Communication Sciences and Disorders, University of South Florida, Tampa, Florida*

²*Division of Speech Pathology and Audiology, College of Natural Sciences, Hallym University, Chuncheon, Korea*

ABSTRACT

The goal of cochlear implants restores functional hearing by transmitting electrical pulses to auditory nerves and improves speech perception. Although current cochlear implant users showed greatly improved sentence recognition scores in a quiet environment, the issues of understanding speech in a noisy environment and listening to music are still challenging for them. Limitations of spectral and temporal resolution are thought to be related to these difficulties of cochlear implant users. As one of the approaches to resolve these challenging issues, benefits from the contralateral device of cochlear implant users were introduced. Two different types of binaural placements, bilateral and bimodal hearing, were continuously increased and they demonstrated some amounts of speech perception benefits. Bilateral hearing improves sound localization and speech perception in noise mostly due to the benefits from head shadow and redundancy effects. On the other hand, bimodal benefits are delivered by using acoustic low frequency information which is not represented in electric stimulation via cochlear implants. A review of the literature related to these topics was addressed.

Key words: Cochlear implants, Speech perception, Bilateral, Bimodal

논문접수일: 2014년 6월 19일
게재확정일: 2014년 7월 18일
교신저자: 김진숙, 강원도 춘천시 한림대학길 1 한림대학교
자연과학대학 언어청각학부
Tel: (033) 248-2213, Fax: (033) 256-3420
E-mail: jskim@hallym.ac.kr

INTRODUCTION

인공와우는 전기 자극을 통해 청신경을 자극함으로써 와우 기능이 손상된 고심도 난청인의 말지각을 향상시키고자 고안된 장치이다. 다채널 인공와우 이식

장치가 소개된 이후 인공와우 착용자들은 말지각 측면에서 많은 향상을 보여 왔으며 조용한 환경 혹은 소음 환경에서 청능평가 자극 단위에 따라 다양한 결과를 보이고 있다(Table 1). 조용한 환경에서 인공와우 착용자들의 평균문장 이해도는 80% 이상으로 나타났다(Gifford et al., 2008) 모든 인공와우 착용자들의 말지각 정도는 동일하지 않다. 말지각 검사 결과는 다양한 개인차를 보이는데 단어 검사에서는 10 ~ 95%의 범위를 보였고 문장 검사에서는 25 ~ 100% 범위를 보였다(Wilson et al., 2008). 이러한 개인차 이외에도, 대부분의 인공와우 착용자들이 소음 환경에서 말지각(Donaldson et al., 2009; Friesen et

al., 2001)과 음악 인지(Kong et al., 2004)에 아직 어려움을 겪고 있다.

Table 1은 여러 연구에서의 인공와우 사용자의 말지각 검사 결과를 보여준다. Table 1에서 확인할 수 있는 것처럼, 인공와우 사용자들은 조용한 환경에 비해 소음 환경에서 문장이나 음소 검사 점수가 저하되었다. 문장 검사 시 평균 점수가 대략 80 ~ 90%이고 음소나 단음절 검사 시 60% 이상인 것에 비해 소음 환경에서는 대부분 40% 이하로 평균 점수가 저하되었으며 일부 연구에서 보여준 것처럼 조용한 환경과 소음 환경 모두에서 대략 40 ~ 70%의 개인차를 보였다.

Table 1. 인공와우 말지각 검사 결과

연구논문	검사도구	평균점수 범위(%) / 환경	신호처리기법
Spahr et al., 2007	자음	71 ~ 77 / 조용한 환경	HiRes, ACE, CIS
	모음	52 ~ 70 / 조용한 환경	
	CUNY 문장	97 ~ 98 / 조용한 환경	
	AzBio 문장	79 ~ 85 / 조용한 환경	
	AzBio/+10SNR	42 ~ 64 / 소음환경	
	AzBio/+5SNR	22 ~ 44 / 소음환경	
Berenstein et al., 2008	음소	~ 70 (40 ~ 80) / 조용한 환경	HiRes
		~ 35(15 ~ 60) / Steady state 소음	
		~ 35 (10 ~ 60) / Fluctuating 소음	
Willson & Dorman, 2008	단음절	~ 55 (10 ~ 95) / 조용한 환경	CIS
	문장	~ 90 (25 ~ 100) / 조용한 환경	
Muller et al., 2012	자음	60 ~ 64 (33 ~ 90) / 소음환경	FSP, HD-CIS, CIS
		~ 65 / 소음환경	
	~ 60 / 소음환경		
	단음절	39 ~ 45 (7 ~ 85) / 소음환경	

- HiRes: Advanced Bionics의 High Resolution 어음처리기법
- ACE: Cochlear Corporation의 Advanced Combination Encoded 어음 처리기법
- CIS: Continuous Interleaved Sampling 어음 처리기법
- FSP: MED-EL의 Fine Structure Processing 어음 처리기법
- HD-CIS: MED-EL의 High Definition Continuous Interleaved Sampling 어음 처리기법
- CUNY: City University of New York 에서 개발된 문장
- AzBio: Arizona Biomedical Institute 에서 개발된 문장

위에서 언급한 문제점들은 인공와우의 분광해상 능력(Spectral resolution)과 시간해상능력(Temporal resolution)에서의 한계와 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다. 인공와우의 분광해상능력에서의 문제점은 주로 와우 내부에서 지정학적으로 전달되는 전기 자극과 관련하는데, 이때 사용된 전극의 수나 전극의 위치, 혹은 와우 내의 불규칙한 잔존 신경 등의 문제뿐 아니라 전기 자극의 와우 내 확산이나 전기 자극의 채널 간 상호 간섭 문제와도 상관이 있다. 인공와우의 시간해상능력에서의 한계점은 주로 인공와우의 신호 처리 방법에서의 제한과 관련되어 있고, 특히 시간 축 선상에서의 주기적(periodicity) 말소리 신호와 미세구조(fine structure) 신호가 인공와우를 통해 잘 처리되지 못하는데서 비롯된다. 인공와우의 이러한 제한점을 보완하는 방법의 하나로, 일측 인공와우 사용자들의 반대편 귀에 보청기나 인공와우를 착용하는 사례들이 보고되었다. 일반적으로 두 개의 인공와우를 양 귀에 착용하는 양측 인공와우 착용(bilateral) 방법과 일측에 인공와우를 착용하고 반대편에 보청기를 착용하는 바이모달(bimodal) 방법이 대표적인 방법이다. 이 두 가지 방법 모두 지속적으로 증가하고 있는 추세이며 일측 인공와우 사용자들이 반대편 귀에 인공와우나 보청기를 착용함으로써 얻어지는 긍정적인 효과도 보고되었다(von Ilberg et al., 2011). 그러나 일측 인공와우 사용자들이 반대편 귀에 적절한 장치를 선택하고 적용할 수 있도록 돕는 임상적 도구나 지침은 아직 부족한 실정이다.

이러한 맥락에서 현재 사용되고 있는 인공와우의 한계점들을 짚어보고 이것들이 인공와우를 통한 말지각에 어떤 영향을 미치는지 알아보려고 한다. 또한 일측 인공와우 사용자들이 반대편 귀에 인공와우나 보청기를 착용했을 때의 효과에 대해서 알아보고 반대편 귀의 장치 선정에 임상적으로 적용할 수 있는 방법을 고찰해보고자 한다.

MATERIALS AND METHODS

1. 인공와우를 통한 말지각

현재 사용되고 있는 인공와우 신호 처리 방법은 다수의 대역필터(band pass filter)를 사용해 정상 청력의 와우기능을 모방하는 데 중점을 두고 있다. 먼저 인공와우에 입력된 신호들을 대역필터를 통해 일련의 주파수 대역으로 분리한 뒤, 정류(rectification) 방법이나 힐버트(Hilbert) 변환(Wilson et al., 2005)을 적용하여 시간 축을 따라 느린 속도로 변환하는 진폭 요소인 시간 축 엔벨로프(temporal envelope)를 추출한다. 각 채널에서 추출된 시간 축 엔벨로프는 고정된 속도로 전달되는 전기 펄스 자극을 매개체로 변조하는데 사용되며 시간 축 엔벨로프에 따라 변조된 전기 자극은 와우 내부의 전극으로 전달된다. 앞서 언급한 것처럼 인공와우의 통한 말지각은 크게 분광해상능력과 시간해상능력으로 나누어 이해할 수 있다. 일반적으로 분광해상능력은 주파수 대역을 세분화하는 채널수와 와우 내부에서의 전기 자극 확산 문제와 관련이 있고 시간해상능력은 인공와우 신호 처리 방법상의 제약과 밀접한 관련이 있다.

2. 분광해상능력

인공와우에서 분광해상능력은 말소리의 주파수적 특징을 파악하고 분리된 각 주파수 대역으로 해당하는 소리 요소들을 분배하는 것을 말한다. 이러한 능력은 말소리의 기본주파수, 제1포먼트, 그리고 제2포먼트와 관련된 모음 정보, 조음 위치에 따른 자음 정보와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 약 39개의 청각 필터를 가진 정상 청력에 비해(Moore, 2003), 현재 사용되고 있는 인공와우는 최대 22개의 채널을 사용하고 있기 때문에 인공와우 사용자들은 정상인보다 저하된 분광해상능력을 보였다. 인공와우에서 분광해상능력을 향상시키기 위해 주로 시도한 방법은 사용 가능한 채널수를 증가시키는 것이다. 그러나 대부분의 연구에서 인공와우 사용자는 7~10개의 채널 이상에서는 더 이상 말지각의 향상을 보이지 않았으며, 이는 더 많은 인공와우 채널을 사용하는데 제한점으로 작용하여 왔다(Friesen et al., 2001; Shannon et al., 1995). 인공와우 사용자들의 채널

사용을 제약하는 요인으로 인공와우 채널당 주파수 대역과 사용자의 와우 내 청각 음위 상 지도의 불일치, 전기펄스 자극의 제한점, 그리고 와우 내부의 불규칙한 잔존 청신경의 문제들이 관련되어 있다 (Moore, 2003). 이러한 복합적인 요인들은 채널 간 전류 확산 문제와 연관되어 인공와우 사용자들의 채널 수 증가에 제약을 주는 것으로 생각된다. 분광해상능력에서의 제한점을 개선하기 위하여 두 가지 대표적인 접근 방법이 보고되었다. 먼저 가상 채널에 관한 연구에서는 채널 간 전류량의 비율에 따라 주파수 대역을 세분한 뒤 사용 가능한 채널수를 120채널까지 증가시킴으로 인공와우의 분광해상력을 개선하고자 하였다(Donaldson et al., 2011). 또한 전류의 집속(current focusing)에 관한 연구에서는 와우 내부의 전기 자극 시 다른 전극으로의 전류량 확산과 전극간의 상호 간섭을 최소화하는데 중점을 두었으며 이를 위해 전기 펄스 자극의 종류를 달리하거나 전극 간 결합 형태의 변형을 시도하였다(Srinivasan et al., 2010). 두 가지 접근법 모두 분광해상능력을 개선하여 인공와우를 통한 말지각을 향상하고자 하였으나 말지각 측면에서 주목할 만한 많은 성과는 아직 보고되지 않았다.

3. 시간해상능력

인공와우를 통한 말지각과 관련된 또 하나의 요인으로 시간해상력을 들 수 있다. 일반적으로 인공와우의 시간해상력은 시간 축에 따라 변화되는 말소리의 다양한 진폭 변화를 감지하는 것과 관련이 있는데 시간상으로 변화되는 말소리는 다음과 같이 크게 세 가지 요소로 분리된다(Rosen, 1992). 첫째, 시간 축에 따라 변화되는 소리의 진폭이 2 ~ 50 Hz의 범위 내인 시간 축 엔벨로프(temporal envelope) 신호, 둘째, 50 ~ 500 Hz 범위 내에서 변화되는 주기적(periodicity) 신호, 셋째, 600 Hz 이상으로 매우 빠르게 변화되는 미세구조(fine structure) 신호이다. 시간 축 엔벨로프 신호는 말소리 특징을 파악하는 것과 관련이 있는데 주로 조음 방법과 관련된 말소리 이해나 박자 혹

은 리듬 등의 인지와 관련이 있다. 인공와우에서 시간 축 엔벨로프 신호는 말소리에서 추출된 뒤 전기펄스를 매개체로 변조되어 각 전극에 전달되기 때문에 다른 신호에 비해 비교적 안정적으로 인공와우를 통해 신호처리 된다. 일반적으로 20 Hz 이하의 시간 축 엔벨로프 신호가 말지각에서 가장 중요한 것으로 보고되었으며 느리게 변화하는 시간 축 엔벨로프 신호는 인공와우를 통한 말지각에 상당히 중요한 정보를 제공한다(Shannon et al., 1995). 주기적 신호는 시간상 규칙적으로 나타나는 말소리 진폭 변화와 관련되어 있는데 성대의 규칙적인 진동을 반영하는 기본 주파수나 음성 피치와 관련된 말소리의 억양이나 강약의 이해와 관련이 있다. 인공와우는 일반적으로 200 ~ 400 Hz의 엔벨로프 변조필터와 1,000 Hz 이상의 빠른 채널당 펄스 전달 속도를 통해, 어느 정도의 주기적 말소리 정보를 신호 처리할 수 있는 것으로 생각된다. 그러나 현재 사용되고 있는 인공와우는 주기적 말소리 정보를 신호처리 하는데 효과적이지 않다는 결과를 보였다(Green et al., 2002). 또한 심리 음향학적 연구에서 정상인의 경우 500 pps (pulse per second)까지 시간상으로 변화하는 피치를 인지할 수 있는 것에 비해(Burns & Viemeister, 1981), 인공와우 사용자들은 300 pps 정도까지의 시간적 피치를 인지할 수 있는 것으로 나타났고, 일부 인공와우 사용자들은 900 pps까지 변화하는 시간적 피치를 인지하기도 하였다(Kong & Carlyon, 2010). 이러한 능력은 각 개인이 인공와우를 통해 시간 축에 따라 변화하는 말지각 능력을 반영하는 것으로 보인다. 특히 주기적 신호는 성대의 기본주파수나 음성 피치 인식과 관련되어 조용한 곳이나 소음 환경에서의 말지각에 영향을 미칠 수 있으며 음성의 성별이나 여러 사람이 동시에 말할 때의 음성 구분 등에도 영향을 미칠 수 있다. 미세구조 신호는 한 주기 내에 불규칙적으로 빠르게 변화되는 말소리 진폭의 변화와 관련된 요소로 조음 위치와 관련된 말소리의 인지나 음성의 질 또는 음색을 파악하는 데 필요한 요소이다. 인공와우는 일정하게 고정된 속도의 전기 펄스 매개체를 사용함으로 시간상으로 변화하는 말소리의 미세구조 신호를

전달하지 못한다. 말소리의 미세구조 신호는 조음 위치와 관련된 자음 이해와 모음의 포먼트 신호 이해와 관련되어 있다. 특히 미세구조 신호는 음악에서 멜로디나 음색을 인식하는 데도 중요한 요소이다(Kong et al., 2004; Smith et al., 2002). 청각 이분법(auditory dichotomy)에 의하면 시간 축 엔벨로프와 미세구조 신호는 말지각과 멜로디 인지에서 상반된 패턴을 보이는데 시간 축 엔벨로프 신호는 말지각과 관련되어 있고 미세구조 신호는 멜로디 인지와 관련되어 있음을 보여주었다(Smith et al., 2002). 또한 미세구조 신호의 부재는 인공와우 사용자들이 소음 환경에서 어려움을 겪는 원인 중 하나일 것이라고 본다.

분광해상능력과 시간해상능력에서의 한계점을 극복하고자 인공와우의 어음처리기법(coding strategy)을 향상시키고자 하는 연구는 꾸준히 지속되어 왔다. 현재 사용되고 있는 어음 처리기법은 모두 시간 축 엔벨로프 신호를 추출하는 방식을 사용하고 있으며, 대부분의 연구는 어음처리기법 간의 차이가 말지각 측면에 크게 영향을 미치지 않았음을 보고하였다(Wilson & Dorman, 2008). 시간해상능력과 관련하여 최근 저주파수 대역에 시간 축 상의 미세구조 신호(temporal fine structure, TFS)를 코딩한 어음처리 기법을 통해 인공와우를 통한 말지각을 개선하고자 하였으나 인공와우 사용에 대한 주관적인 선호도 향상과 음악인지 등에서만 일부 효과를 보였고 말지각 측면에서 직접적인 향상은 보고되지 않았다(Muller et al., 2012).

RESULTS

인공와우 착용자들의 말지각은 다양한 듣기 환경 속에서 분광해상도와 시간해상도상으로 전달되는 말 신호를 지각함으로써 이루어진다. 그러나 앞서 언급한 것처럼 인공와우를 통한 말지각에는 한계점이 있으며, 인공와우를 통한 말지각에서 제한점을 보강하기 위한 방법의 하나로 최근 일측 인공와우 사용자들의

반대편 귀의 사용 효과에 대한 연구가 증가하고 있다. 그 대표적인 방법으로 양 귀 모두 인공와우를 착용하는 양측 인공와우 착용과 인공와우를 착용한 반대편 귀에 보청기를 사용하는 바이모달 방법이 있다. 이 두 가지 방법 모두 양 귀 사용의 효과로 나타나는 양이 합산(binaural summation), 양이 진압(binaural squelch), 그리고 두영(head shadow) 효과로 인한 향상을 보인 것으로 보고되었다(Ching et al., 2007; Firszt et al., 2008). 이러한 향상은 소음과 말소리가 다른 방향에서 제시되었을 때 더 두드러졌으며 소리의 방향성 구별에 따른 효과가 큰 것으로 생각된다.

최근 인공와우 수술 기준의 확대로 잔존 청력이 어느 정도 남아 있는 대상자가 인공와우 수술을 받는 사례가 증가하고 있으며 이들의 예후도 좋은 것으로 보고되었다. 이러한 이유로 잔존 청력이 남아 있는 경우의 인공와우 착용자가 앞으로 더 증가할 것으로 예상된다. 한 예로 Dorman & Gifford(2010)에 의하면 60%의 인공와우 착용자가 수술하지 않은 반대편 귀에 250 Hz에서 80 ~ 85 dB의 잔존 청력을 보유하고 있음을 보고하였다. 이와 관련하여 바이모달 사용자들의 말지각을 향상시킬 수 있는 보청기 적합 방법에 대한 연구도 진행되고 있다.

1. 양측 인공와우

양측 인공와우는 잔존 청력의 음향 자극을 활용하지 않고 양측 인공와우를 통한 전기 자극을 사용함으로써 말지각을 향상하고자 하는 방법이다. 양측 인공와우는 점차 증가하고 있으며, Firszt et al.(2008)의 연구에서는 4% 이상의 양측 인공와우 이식률을 보고한 바 있다. 앞서 언급했던 것처럼 양측 인공와우 이식 효과는 주로 두영 효과, 양이 합산, 양이 진압의 효과로 인해 소리의 방향성 구별과 소음 상황에서 말소리인지에 도움이 되는 것으로 생각된다. 예를 들어 성인 양측 인공와우 착용자의 경우 소음과 말소리가 다른 방향에서 제시되었을 때 약 6 dB 정도의 신호대 잡음비(signal to noise ratio, SNR) 향상을 보였으나, 소음과 말소리가 모두 전 방향에서 제시되었을

때 양측 효과는 1~2 dB의 SNR향상을 보였고 양측 와우이식은 주로 소리의 방향적 위치에서 얻어질 수 있는 양측 착용효과로 설명됐다(Ching et al., 2007). 또한, 양 귀에 중복적으로 전달되는 말소리 정보는 두 영 효과와 함께 양측 인공와우 사용자들의 말지각 효과의 50% 이상을 차지하는 것으로 보고되었다(Ching et al., 2007; Firszt et al., 2008).

양측 인공와우 수술에서 고려되어야 할 사항은 두 번째 인공와우의 효과가 첫 번째와 다를 수 있다는 점이다. 일부 연구에서는 두 번째 인공와우 수술 후 첫 번째 인공와우 만큼의 말지각 향상을 보이지 않고 이명과 같은 부작용을 보이는 경우도 보고하였다. 양 귀간 전극 삽입 깊이의 차이나 양 귀에서 오는 정보를 처리하는 중추 청각계의 용량 부족 등이 대략적인 이유로 생각되었고 이를 극복하기 위한 적합 프로그램이나 기술적 대안들이 제시되기도 하였다(Ching et al., 2007). 또한 첫 번째 인공와우 수술과 두 번째 수술 간의 시간 차이도 고려되어야 한다. 아동의 경우 양측 인공와우 착용 효과는 처음 인공와우를 수술한 연령과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났고, 1년 이하의 짧은 기간 차이를 두거나 양측 귀에 동시 수술을 하는 것이 좀 더 효과적일 수 있다고 보고되기도 하였다(Gorden & Pepsin, 2009).

2. 하이브리드(hybrid)와 바이모달(bimodal)

인공와우 착용자 선정 기준이 잔존 청력이 남아 있는 대상자들로 점차 확대됨에 따라 인공와우 착용자들의 잔존 청력을 활용하여 사용자들의 말지각을 향상시키기 위한 연구가 지속되었다. 그 대표적인 방법으로 하이브리드와 바이모달 방법이 있다. 본문에서는 하이브리드 방법은 간단히 소개만 하고 바이모달 방법에 대해서 주로 다루고자 한다.

1) 하이브리드와 말지각

하이브리드 방법은 인공와우를 수술한 동일한 귀의 잔존 청력을 활용하는 방법을 말한다. 일반적으로

고주파수 영역에만 고심도의 난청이 있는 경우에 수술 시 와우의 침단부위를 보존하여 저주파수 대역의 잔존 청력을 활용하는 경우에 해당된다. 잔존 청력 보존을 위해, 세심한 수술 적 기술과 함께 일반적 전극 길이보다 짧은 길이의 전극이 사용되기도 한다. 전극의 삽입 깊이도 수술 후 말지각과 관련이 있을 수 있다. 한 예로 하이브리드 형태의 인공와우 수술 결과 중, 약 10~24 mm의 삽입 깊이에서 70~100%의 잔존 청력 보존률이 보고된 바 있다(von Ilberg et al., 2011). 그뿐 아니라 이 방법은 소음 환경에서 말지각을 향상시키고(Turner et al., 2004) 음악인지에도 도움이 되는 것으로 알려져 있다(Gfeller et al., 2006).

2) 바이모달과 말지각

바이모달 방법은 하이브리드 방법과 달리 인공와우 착용자들이 반대편 귀에 보청기를 착용하여 잔존 청력을 활용하는 방법을 말한다. 양 귀에서 신호 처리되는 두 가지 다른 종류의 소리 자극을 이해하기 위해서 인공와우 착용자들의 말소리 추출 능력과 서로 다른 소리를 통합하는 능력이 말지각에 영향을 미칠 수 있으며 이때 양 귀에 전달되는 신호가 중복적이지 않고 서로 보완적일수록 그 효과가 좀 더 큰 것으로 생각된다. 한 예로 바이모달 사용자들이 자음보다 모음 검사에서 향상된 결과를 보였는데 이는 양 귀에서 중복적이지 않은 말소리 지각할 수 있는 데서 효과로 설명 되었다(Kong & Braida, 2011). 또한 저주파수 대역의 잔존 청력은 소음 환경에서 말소리를 탐지하는 데 효과적이며 특히 소음의 종류가 안정적이지 않고 변동하는 경우에 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Li & Loizou, 2008). 한 예로 바이모달 사용자들은 조용한 환경에서 평균 17%의 문장이해도 향상을 보인 것에 비해 변화하는 소음 환경에서는 평균 22~23%의 향상을 보였다(Dorman et al., 2008). Table 2는 여러 연구에서의 바이모달 사용자들의 말소리 인지 검사 결과를 보여준다. 일부 연구결과(Dunn et al., 2005; Mok et al., 2006)를 제외하고 대부분의 연구에서는 반대편 귀의 잔존 청력을 사용하여 향상된 결과를 보였다. 일측 인공와우 착용자

와 비교했을 때, 조용한 곳에서의 단어나 음소 검사에 20%의 문장이해도가 향상되었다. 서 평균 약 15% 향상되었고 소음 환경에서는 평균

Table 2. 바이모달 인공와우사용자들의 말지각검사 결과

연구논문	검사도구/ 환경	평균 바이모달점수(%)	평균 일측 인공와우점수(%)	신호 처리기법
Dunn et al., 2005	CNC단어/ 조용한 환경	25 ~ 90	23 ~ 80	ACE, CIS, SAS
	CUNY문장/ 정면소음	40 ~ 90	40 ~ 90	
Mok et al., 2006	CNC 음소/ 조용한 환경	~ 50	< 65	ACE, SPEAK
	CNC 단어/ 조용한 환경	~ 70	< 65	
	CUNY문장/ 10 dB SNR	~ 80	~ 70	
	CUNY문장/ 5 dB SNR	~ 70	~ 70	
Gifford et al., 2007	CNC 단어/ 조용한 환경	~ 75	~ 57	ACE, HiRes
	AzBio문장/ 조용한 환경	~ 84	~ 68	
	AzBio문장/ 10 dB SNR	~ 67	~ 45	
	AzBio문장/ 5 dB SNR	~ 44	~ 22	
Dorman et al., 2008	자음/ 조용한 환경	~ 72	~ 63	Cochlear Corporation, Advanced Bionics, 및 MED-EL 3개사의 인공와우 사용자 대상
	모음/ 조용한 환경	~ 68	~ 49	
	CNC 단어/ 조용한 환경	~ 73	~ 54	
	AzBio 문장/ 조용한 환경	~ 84	~ 67	
	AzBio 문장/ 10 dB SNR	~ 65	~ 43	
	AzBio 문장/ 5 dB SNR	~ 44	~ 22	
	음성구별	~ 94	~ 88	
멜로디	~ 71	~ 52		
Berrettini et al., 2010	단어/ 조용한 환경	~ 85	~ 70	ACE
	단어/ 정면소음	~ 60	~ 45	

* CNC는 consonant-nucleus-consonant의 약자로 자음-모음-자음 결합의 단음절

3) 바이모달과 멜로디 인지

인공와우 착용자들은 시간적 미세구조 요소를 신호 처리하지 못하기 때문에 멜로디(melody) 인지에 어려움을 보인다. 일반적으로 음악인지는 음악과 관련된 여러 요소를 인지하는 것과 관련되어 있는데 주로 음악의 멜로디나, 박자, 리듬(rhythm), 혹은 음색(timbre) 등이 포함되며 각 음악적 요소들은 소리의 분광해상력과 시간해상력 선상에서 이해되어 질 수 있다. 예를 들면 리듬과 멜로디는 시간 축 상의 소리

진폭변화를 통해 전달될 수 있는데 리듬은 비교적 느린 시간 축 엔벨로프를 통해 멜로디는 주기적 신호나 미세구조 신호를 통해 전달될 수 있다.

그러므로 빠른 시간 축 선상의 주기적 신호나 미세구조 신호를 처리하지 못하는 인공와우의 특성상 인공와우 사용자들은 리듬인지보다 멜로디 인지에서 더 어려움을 겪게 되는 것이다. 한 연구에서 정상 청력은 약 83%의 멜로디 인지 결과를 보인 것에 비해 인공와우 착용자들은 약 19%의 멜로디인지 결과를

보고하였다(Gfeller et al., 2007). 이와 관련하여 바이모달 사용자들은 잔존 청력이 저주파수 영역에 포함된 소리의 미세구조 요소를 전달함으로써 멜로디인지에서 향상된 결과를 보였다(Dorman et al., 2008; Kong et al., 2005). 또 다른 연구에서도 바이모달 사용자들이 일측 인공와우 사용자보다 멜로디 인지에서 평균 약 10~25%의 향상된 결과를 보였다(McDermott, 2011).

DISCUSSIONS

1. 양측 인공와우와 바이모달

Dorman & Gifford(2010)는 양측 인공와우와 바이모달과 관련된 연구들을 요약 비교하였는데 그들에 의하면 양측 인공와우 그룹은 조용한 상황에서 자음-모음-자음(consonant-nucleus-consonant, CNC)으로 구성된 단어 검사 결과 평균 61%의 평균점수를 보인 데 비해, 바이모달 그룹은 평균 74%로 향상된 결과를 보고하였다. 그러나 다른 연구에서는(Gifford et al., 2010) 양측 인공와우와 바이모달 그룹 모두 소음 환경에서 말지각에 특별한 차이를 보이지 않았다. 동일한 환자를 대상으로 양측 인공와우와 바이모달 중 어느 방법이 말지각 향상에 더 도움을 줄 수 있는지를 결정하기는 용이하지 않다. 또한 동일인이라 하여도 양 귀간 잔존 신경이나 음 크기 균형(loudness balance)에서 차이가 있을 수 있기 때문에 이 두 가지 방법의 효과 차이를 비교하고 해석하는 데는 어려움이 따른다. 동일인을 대상으로 양측 인공와우 착용과 바이모달 방법을 비교한 연구에서, Ching et al.(2007)은 바이모달 방법을 사용하다 양측 인공와우를 시술한 두 명의 사례를 보고하였는데 양측 인공와우 착용 시 시간이 지남에 따라 소리의 방향성과 관련된 말지각이 향상되는 경향은 보였으나 양측 인공와우와 바이모달의 차이를 뒷받침할 수 있는 결과는 보고하지 않았다.

요약하자면 양측 인공와우 착용효과는 양 귀에 중

복적으로 전달되는 전기 자극 효과로 설명할 수 있고 바이모달 착용효과는 서로 다른 보완적 신호의 결합에서 오는 착용 효과로 설명할 수 있다. 다시 말하면 대부분의 양측 인공와우 착용 효과가 양측 착용효과와 소리의 방향성효과로 설명할 수 있는 것에 비해 바이모달 효과는 주로 저주파수 영역에 존재하는 다양한 보완적 신호로 설명할 수 있다(Ching et al., 2007). 저주파수 영역의 말 신호에 바이모달 사용자들의 말지각을 향상 시키는 요소가 있다고 생각되며 저음 영역 말 신호의 세부적 역할을 알아보고자 하는 연구 또한 진행되고 있다.

2. 양측 인공와우와 바이모달 방법의 선정기준

일측 인공와우 사용자들이 반대편 귀에 또 다른 인공와우나 보청기를 착용하는 사례가 증가하는 추세임에도 불구하고, 이 두 방법의 선정 기준은 아직 확실하게 제시되어 있지 않은 실정이다. 바이모달 연구에서는 반대편 귀의 잔존 청력만으로는 말지각이 전혀 불가능한 경우에서도 인공와우와 함께 사용했을 때 말지각의 향상을 보일 수 있는 것으로 보고되었다(Kong et al., 2005; Zhang et al., 2010). 그러므로 반대편 귀의 인공와우 수술 여부에 대한 분명한 기준을 제시하고 적절한 검사 도구를 통해 각 인공와우 착용자들에게 좀 더 많은 향상을 가져다줄 수 있는 방법을 선택하는 데 도움을 줄 수 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

잔존 청력의 정도와 바이모달 사용자들의 말지각에 대한 연구결과는 아직까지 확실한 결론에 이르지 못하였다. 먼저 잔존 청력의 정도가 바이모달 사용자들의 말지각 향상에 도움을 줄 수 있을 것이라는 연구에서는(Yoon et al., 2012), 반대편 귀의 보청기 착용효과와 인공와우 시술 후의 말지각 향상 효과가 서로 관계가 있을 수 있다고 보고하였다. 저하된 말지각 결과를 보인 바이모달 사용자 그룹은 반대편 귀의 보청기 착용효과가 적은 것으로 보고하였다. 또한 보청기 착용 후의 역치가 자음 이해와 상관성이 있는 것으로 보고했으며 모음의 경우 잔존 청력 역치가 좋

은 경우에 모음의 제1포먼트 정보를 효과적으로 전달할 수 있을 것으로 생각했다. 이러한 결과를 바탕으로 1,000 Hz 이하에서 보청기 착용 후의 청력이 좋지 않을 경우 양측 인공와우 대상자로 고려될 수 있다고 보고하였다. 한편 다른 연구들에서는(Carroll et al., 2011; Kong & Braida, 2011) 잔존 청력의 정도와 바이모달 사용자들의 말지각 향상은 상관관계가 없다고 보고하였다. 잔존 청력 정도가 매우 제한되어 있고 말지각에 전혀 기여하지 못하는 경우에서도 인공와우와 함께 사용했을 때 말지각 이해 측면에서 향상을 보일 수 있는 것으로 보고하였다.

현재 인공와우 대상자 선정 기준은 점점 더 좋은 잔존 청력을 가진 대상자에게로 확대되고 있는데, 한 예로 인공와우 수술자들이 수술 전 문장검사에서 60% 이상의 결과를 보이거나 단어 검사에서 30~60%의 결과를 보이는 경우로 확대되었으며 이들은 수술 후 향상된 결과를 보인 것으로 보고되었다(Gifford et al., 2010). 한 가지 주목할 점은 수술 전 보청기 착용에서 좋은 결과를 보였던 인공와우 사용자들이 수술 후 보청기를 착용하지 않는 경우가 많이 보고되었다는 것이다. Fitzpatrick et al.(2009)의 연구결과에 의하면 약 25%의 인공와우 착용자들만 인공와우 수술 후 보청기를 정기적으로 착용하는 것으로 보고되었고 대다수의 인공와우 착용자들이 보청기를 착용하지 않는 것으로 나타났다. 인공와우 착용 전 보청기 착용에서 느꼈던 부정적인 경험, 보청기에 비해 인공와우가 좋다는 선입견, 그리고 인공와우를 통한 전기 자극과 보청기를 통한 음향 자극 즉, 두 개의 서로 다른 자극을 인지하고 통합하는 데의 어려움 등이 수술 후 보청기를 착용하지 않는 이유로 설명됐다. 이와 관련하여 바이모달 사용자들의 말지각을 향상시키기 위해 최적화된 보청기 적합과 향상된 성능의 보청기 사용 그리고 보청기와 인공와우 사이의 적절한 소리 크기의 균형 유지 등의 방법을 제시하였다. 또한 인공와우 시술 후 보청기 착용에 대한 인식을 돕기 위한 상담이나 바이모달 사용과 적응을 돕기 위한 좀 더 체계적인 프로그램을(Firszt et al., 2008) 제공하는 것도 앞으로 바이모달 사용자들의 말

지각을 향상할 수 있는데 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

CONCLUSIONS

현재 사용되고 있는 인공와우는 말지각 면에서 상당한 향상을 보여 왔으나 분광해상능력과 시간해상능력상의 제약으로 인공와우 착용자들의 효과에 다양한 개인차가 나타나고 소음상황에서 말지각이나 음악 인지 등에서의 어려움을 초래하였다. 분광해상능력은 모음의 포먼트 정보나 자음의 조음위치와 관련된 말지각과 상관성이 있고 시간해상능력은 시간 축 상에서 변화하는 말소리의 진폭 변화와 상관성이 있다. 시간 축 상의 말소리는 크게 시간 축 엔벨로프 신호, 주기적 신호, 그리고 미세구조 신호로 구분되는데 시간 축 엔벨로프 신호는 주로 조음방법과 관련된 말소리나 리듬인지와 관련되어 있고 주기적 신호는 성대의 기본주파수나 음성 피치, 그리고 미세구조 신호는 조음위치와 관련된 말지각과 멜로디 혹은 음색인지에도 관련이 있다.

인공와우를 통한 말지각에 영향을 미치는 분광해상능력과 시간해상능력상에서 제약을 보완하는 방법의 하나로, 반대편 귀에 인공와우나 보청기를 착용하는 사례가 증가하고 있으나 반대편 귀에 보청기와 인공와우 중 어느 것이 적합한지를 판단할 수 있는 임상적 지침과 검사도구 등은 부족한 실정이다. 양측 인공와우가 중복적인 말소리 신호를 양 귀에 전달하는 데 비해 바이모달은 인공와우의 제한점을 상호 보완할 수 있는 말소리 신호를 제공할 수 있다. 그러나 바이모달 사용 시 서로 다른 소리를 통합하고 인지하는 데서 오는 어려움도 있을 수 있다. 따라서 양측 착용의 선택에 도움을 줄 수 있는 적절한 지침과 검사도구 개발에 대한 연구가 필요하며 서로 다른 소리를 통합하는 데서 오는 어려움을 최소화하기 위해 바이모달 사용자들의 말지각을 최적화할 수 있는 방안들이 좀 더 구체적으로 연구되어야 할 것으로 생각한다.

중심단어: 인공와우, 말지각, 양측 인공와우, 바이모달

REFERENCES

- Burns, E. M. & Viemeister, N. F. (1981). Played-again SAM; Further observations on the pitch of amplitude-modulated noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 70, 1655-1660.
- Carroll, J., Tiaden, S., & Zeng, F. G. (2011). Fundamental frequency is critical to speech perception in noise in combined acoustic and electric hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 130(4), 2054-2062.
- Ching, T. Y., van Wanrooy, E., & Dillon, H. (2007). Binaural-bimodal fitting or bilateral implantation for managing severe to profound deafness: A review. *Trends in Amplification*, 11(3), 161-192.
- Donaldson, G. S., Chisolm, T. H., Blasco, G. P., Shinnick, L. J., Ketter, K. J., & Krause, J. C. (2009). BKB-SIN and ANL predict perceived communication ability in cochlear implant users. *Ear and Hearing*, 30, 401-410.
- Donaldson, G. S., Dawson, P. K., & Borden, L. Z. (2011). Within-subjects comparison of the HiRes and Fidelity120 speech processing strategies: Speech perception and its relation to place-pitch sensitivity. *Ear and Hearing*, 32(2), 238-250.
- Dorman, M. F., Gifford, R. H., Spahr, A. J., & McKarns, S. A. (2008). The benefits of combining acoustic and electric stimulation for the recognition of speech, voice and melodies. *Audiology and Neurotology*, 13(2), 105-112.
- Dorman, M. F. & Gifford, R. H. (2010). Combining acoustic and electric stimulation in the service of speech recognition. *International Journal of Audiology*, 49(12), 912-919.
- Dunn, C. C., Tyler, R. S., & Witt, S. A. (2005). Benefit of wearing a hearing aid on the unimplanted ear in adult users of a cochlear implant. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 48(3), 668-680.
- Firszt, J. B., Reeder, R. M., & Skinner, M. W. (2008). Restoring hearing symmetry with two cochlear implants or one cochlear implant and a contralateral hearing aid. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 45(5), 749-767.
- Fitzpatrick, E. M., Seguin, C., Schramm, D., Chenier, J., & Armstrong, S. (2009). Users' experience of a cochlear implant combined with a hearing aid. *International Journal of Audiology*, 48(4), 172-182.
- Friesen, L. M., Shannon, R. V., Baskent, D., & Wang, X. (2001). Speech recognition in noise as a function of the number of spectral channels: Comparison of acoustic hearing and cochlear implants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 110, 1150-1163.
- Gfeller, K. E., Olszewski, C., Turner, C., Gantz, B., & Oleson, J. (2006). Music perception with cochlear implants and residual hearing. *Audiology and Neurotology*, 11(Suppl 1), 12-15.
- Gfeller, K., Turner, C., Oleson, J., Zhang, X., Gantz, B., Froman, R., et al. (2007). Accuracy of cochlear implant recipients on pitch perception, melody recognition, and speech reception in noise. *Ear and Hearing*, 28(3), 412-423.
- Gifford, R. H., Shallop, J. K., & Peterson, A. M. (2008). Speech recognition materials and ceiling effects: Considerations for cochlear implant programs. *Audiology and Neurotology*, 13(3), 193-205.
- Gifford, R. H., Dorman, M. F., Shallop, J. K., & Sydlowski, S. A. (2010). Evidence for the expansion of adult cochlear implant candidacy. *Ear and Hearing*, 31(2), 186-194.
- Gorden, K. A. & Pepsin, B. C. (2009). Benefits of short interimplant delays in children receiving bilateral cochlear implants. *Otology and Neurotology*, 30(3), 319-331.

- Green, T., Faulkner, A., & Rosen, S. (2002). Spectral and temporal cues to pitch in noise-excited vocoder simulations of continuous-interleaved-sampling cochlear implants. *Journal of the Acoustical Society of America*, *112*, 2155-2164.
- Kong, Y. Y., Cruz, R., Jones, J. A., & Zeng, F. G. (2004). Music perception with temporal cues in acoustic and electric hearing. *Ear and Hearing*, *25*(2), 173-185.
- Kong, Y. Y., Stickney, G. S., & Zeng, F. G. (2005). Speech and melody recognition in binaurally combined acoustic and electric hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, *117*(3 Pt 1), 1351-1361.
- Kong, Y. Y. & Carlyon, R. P. (2010). Temporal pitch perception at high rates in cochlear implants. *Journal of the Acoustical Society of America*, *127*(5), 3114-3123.
- Kong, Y. Y. & Braida, L. D. (2011). Cross-frequency integration for consonant and vowel identification in bimodal hearing. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *54*(3), 959-980.
- Li, N. & Loizou, P. C. (2008). A glimpsing account for the benefit of simulated combined acoustic and electric hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, *123*(4), 2287-2294.
- McDermott, H. (2011). Benefits of combined acoustic and electric hearing for music and pitch perception. *Seminars in Hearing*, *32*(1), 103-114.
- Mok, M., Grayden, D., Dowell, R. C., & Lawrence, D. (2006). Speech perception for adults who use hearing aids in conjunction with cochlear implants in opposite ears. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *49*(2), 338-351.
- Moore, B. C. (2003). Coding of sounds in the auditory system and its relevance to signal processing and coding in cochlear implants. *Otology and Neurotology*, *24*(2), 243-254.
- Muller, J., Brill S., Hagen, R., Moeltner, A., Brockmeier, S. J., Stark, T., et al. (2012). Clinical trial results with the MED-EL fine structure processing coding strategy in experienced cochlear implant users. *ORL; Journal for Oto-rhin-laryngology and Its Related Specialties*, *74*(4), 185-198.
- Rosen, S. (1992). Temporal information in speech: acoustic, auditory and linguistic aspects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *336*(1278), 367-373.
- Shannon, R. V., Zeng, F. G., Kamath, V., Wygonski, J., & Ekelid, M. (1995). Speech recognition with primarily temporal cues. *Science*, *270*(5234), 303-304.
- Smith, Z. M., Delgutte, B., & Oxenham, A. J. (2002). Chimaeric sounds reveal dichotomies in auditory perception. *Nature*, *416*(6876), 87-90.
- Spahr, A. J., Dorman, M. F., & Loiselle, L. H. (2007). Performance of patients using different cochlear implant systems: Effects of input dynamic range. *Ear and Hearing*, *28*(2), 260-275.
- Srinivasan, A. G., Landsberger, D. M., & Shannon, R. V. (2010). Current focusing sharpens local peaks of excitation in cochlear implant stimulation. *Hearing Research*, *270*(1-2), 89-100.
- Turner, C. W., Gantz, B. J., Vidal, C., Behrens, A., & Henry, B. A. (2004). Speech recognition in noise for cochlear implant listeners: Benefits of residual acoustic hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, *115*(4), 1729-1735.
- Yoon, Y. S., Shin, Y. R., & Fu, Q. J. (2012). Clinical selection criteria for a second cochlear implant for bimodal listeners. *Otology and Neurotology*, *33*(7), 1161-1168.
- Wilson, B. S., Schatzer, R., Lopez-Poveda, E. A., Sun, X., Lawson, D. T., & Wolford, R. D. (2005). Two new directions in speech processor design for cochlear implants. *Ear and Hearing*, *26*(Suppl 4), 73S-81S.

- Wilson, B. S. & Dorman, M. F. (2008). Cochlear implants: A remarkable past and brilliant future. *Hearing Research, 242(1-2)*, 3-21.
- von Ilberg, C. A., Baumann, U., Kiefer, J., Tillein, J., & Adunka, O. F. (2011). Electric-acoustic stimulation of the auditory system: A review of the first decade. *Audiology and Neurotology, 16(Suppl 2)*, 1-30.
- Zhang, T., Dorman, M. F., & Spahr, A. J. (2010). Information from the voice fundamental frequency (F_0) region accounts for the majority of the benefit when acoustic stimulation is added to electric stimulation. *Ear and Hearing, 31(1)*, 63-69.