

인공와우 사용자의 심리음향적 음질평가 예비연구

A preliminary study of sound quality evaluation of cochlear implant users

방정화,¹ 오수희[†]

(Junghwa Bahng¹ and Soo Hee Oh^{1†})

¹한림국제대학원대학교 청각언어치료학과, 한림국제대학원대학교 청각언어연구소

(Received December 13, 2021; revised January 10, 2022; accepted January 21, 2022)

초 록: 음질평가는 물리적 음향 자극에 대해 주관적으로 지각되는 음색을 평가한다는 측면에서 심리음향학적 측정과 관련이 있다. 본 논문은 인공와우 사용자의 음질평가를 위한 예비연구로서 바이모달 인공와우 사용자를 대상으로 음질평가를 시행하고 인공와우만 착용했을 때와 바이모달을 착용했을 때의 음질평가 차이를 파악하고자 하였다. 총 13명의 바이모달 인공와우 사용자와 7명의 편측 인공와우 사용자가 연구에 참여하였고 순음 및 어음 청력검사, 보청기 기능이득과 실이삽입이득을 측정하였다. 음질평가에서는 바이올린소리, 남자와 여자 노래소리, 냉장고 소음의 4개 음향자극을 방음실에서 들려주고 6개 음질평가 항목에 대해 0에서 10까지의 척도로 표시하도록 하였다. 검사결과 바이모달 사용자는 편측 인공와우만 착용했을 때보다 바이모달을 착용했을 때 음질평가 5개 항목에서 0.8점 높았고, 바이모달 사용자와 편측 인공와우 사용자 그룹간 비교에서는 두 그룹 사이에 차이를 보이지 않았다. 주관적 측면의 바이모달 혜택 측정을 위해서 좀 더 체계적인 음질평가 도구와 방법에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다.

핵심용어: 음질, 인공와우, 바이모달 청각, 바이모달 혜택

ABSTRACT: Sound quality evaluation is one of the psychoacoustic methods to measure subjective judgements for sound color. The purpose of this study is to investigate sound quality benefits of bimodal users by comparing sound quality scores between bimodal hearing condition and unilateral cochlear implant(CI) condition as a preliminary study. Thirteen bimodal users and seven unilateral CI users were participated in this study. Audiologists performed pure tone and speech audiometry and measured functional gain and real-ear insertion gain. Subjective assessment of sound quality was followed with four sounds including violin sound, male and female voices, and refrigerator noise. Participants judged the sound quality with six sound quality index. Bimodal users showed mean 0.8 points more sound quality improvements in bimodal condition than unilateral CI condition. Group comparison between bimodal and unilateral CI users showed no differences. A follow-up study of sound quality tools and methods should be considered to evaluate subjective bimodal benefits of cochlear implant users.

Keywords: Sound quality, Cochlear implant, Bimodal hearing, Bimodal benefit

PACS numbers: 43.60.Bf, 43.64.Me, 43.66.Pn

1. 서 론

심리음향학에서는 물리적 음향 자극과 지각되는 크기 사이의 관계를 정량적으로 측정하며, 음질평가

는 이러한 심리음향학적 측정 방법과 밀접한 관계가 있다. 음질에 대한 지각은 말지각과 관련 있는 것으로 알려져 있으며,^[1] 음질평가는 다차원적 음질 속성에 대한 지각을 측정한다.^[2]

†Corresponding author: Soo Hee Oh (osh503@naver.com)

Department of Audiology and Speech Language Pathology, Hallym University of Graduate Studies, 405 Yeoksam-ro, Gangnam-gu, Seoul 06198, Republic of Korea

(Tel: 82-70-8680-6901, Fax: 82-2-3453-6618)



Copyright©2022 The Acoustical Society of Korea. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

심리음향학에서 사용하는 음질평가 측정 방법은 순위법, 의미 차별법, 범주척도 및 강도추정법 등이 있다.^[3,4] 이때노화, 난청 및 문화의 차이가 음질검사 결과에 영향을 미칠 수 있는데, 음질 지각에서 의미적 영향을 제거하기 위해 의미를 중립화하는 과정을 거치기도 한다.^[5]

인공와우는 수술로 삽입된 이식체를 통해 난청인의 청각재활을 돕는 장치이다. 개인에 따라 다르지만, 적절한 시기에 인공와우 시술을 받고 집중적인 재활을 병행할 경우 조용한 곳에서의 어음 인지는 상당히 잘 되는 것으로 많은 연구에서 보고하였다.^[6] 한편, 인공와우를 통한 소리는 자연스럽지 않다는 제한점이 있는데,^[7-9] 이는 특히 음조지각에 영향을 미치며, 인공와우의 사용자는 음조 변별, 음조 변화, 음색 변별, 노래 및 멜로디 인지 등 다양한 영역의 음악 지각에도 영향을 받는다.^[10]

그 원인과 관련하여 와우의 기본 음조체계와 전극 간 음조인지에서 부조화를 들 수 있다.^[11,12] 또한, 인공와우의 음조 지각이 가능한 시간적 코딩 주파수는 300 Hz 정도로 이는 5,000 Hz인 정상청력의 시간적 코딩 주파수보다 낮으며, 이는 인공와우 착용자의 음조인지 차이를 발생시키는 또 다른 요인이 될 수 있다.^[13]

최근 인공와우 사용자 중 한쪽은 인공와우, 다른 한쪽은 보청기를 착용하는 바이모달 형태로 양귀에 전기와 음향 자극을 병합하여 소리를 듣는 사례가 증가하고 있다. 이는 방향성, 머리가림효과, 양이스켈치, 양이통합의 양이 착용 이득을 줄 수 있으며,^[14-20] 조용한 상황뿐 아니라 소음 하 어음인지 향상에 기여한다.^[21-23]

인공와우 사용자와 바이모달 사용자 결과에서 나타나는 말지각의 효과적 향상에 비하여 음악 혹은 음질의 지각은 개개인에 따라 매우 다양하게 나타난다.^[24,25] 또한, 음질은 삶의 질과도 연관이 있는 중요한 요소이다.^[26,27] 난청인은 정상청력을 가진 사람에 비해 음질평가에서 덜 긍정적으로 평가하는 경향이 있으며^[28] 난청인 대상의 음질평가 연구는 좀더 필요한 실정이다.^[27] 이와 관련하여 Looi *et al.*^[29]는 정상청력과 난청인 대상으로 자연스러움, 풍부함, 충만함, 날카로움, 거침 5개 영역으로 음질평가를 시행하

는 음질평가도구를 개발하였다.

바이모달 인공와우 사용자는 전기적 자극에서의 한계점을 보완하는 음향자극 단서를 활용한다는 점에서 장점이 있으며, 특히 음악지각이나 음질평가에 영향을 미치는 음향자극의 시간적 미세구조를 활용할 수 있다.^[30,31] 관련 연구에서는 이러한 점을 반영하여 바이모달 사용자의 이득 측정에서 사용자의 주관적 음질평가 시행의 필요성을 언급하였다.^[32,33] 주관적 음질평가는 바이모달 사용자의 주관적 착용효과 측정방법 중 하나로 활용 가능하다. 아직까지 바이모달 사용자의 체계적인 음질측정 도구와 방법에 대한 연구가 부족하고, 기존 연구에서도 소리 자극을 제시하지 않은 상태에서 언어 공간 음질 청취 평가^[34]와 같은 주관적 설문을 사용해서 음질을 평가하는 것으로 보고된 바 있다.^[35,36]

본 연구에서는 인공와우 사용자의 음질평가의 임상적 적용을 위한 예비연구로서 바이모달 사용자의 주관적 음질평가에서 이득을 확인하고 편측 인공와우 사용자와 인공와우와 보청기를 모두 사용하는 바이모달 사용자의 음질평가 차이점을 알아보았다. 연구의 목적은 다음과 같다.

첫째, 바이모달 사용자가 인공와우만 착용했을 때와 바이모달을 착용했을 때 소리음질에 대한 차이가 있는지 알아보고 둘째, 바이모달 사용자와 편측 인공와우 사용자의 소리음질에 대한 두 그룹 간 차이가 있는지 알아보는 것이다. 연구의 결과를 통해 바이모달 이득 평가를 위한 음질평가의 활용 가능성을 확인하고, 향후 바이모달 사용자의 음질평가 도구와 방법 연구의 기반을 마련하고자 한다.

II. 방 법

2.1 연구 대상

바이모달 착용자 13명과 편측 인공와우 사용자 7명 총 20명의 인공와우 사용자가 연구에 참여하였다. 대상자의 평균 연령은 43세(24세 ~ 56세)로 남성은 7명 여성은 13명 이었다. Table 1은 인공와우 참여 대상자 정보를 보여준다. 본 연구는 한림국제대학원 대학교 생명윤리심의위원회의 승인을 받아 시행하였다(#HUGSAUD509467).

Table 1. Demographics of participants.

	type	Age	CI model	Age at implan-tation	HA model
1	BM	33	Rondo 2	33	Unitron Tempus Moxi
2	BM	48	Nucleus 7	29	Beltone Amaze 17
3	BM	24	Naida Q90	11	Phonak Naida Q
4	BM	46	Freedom	42	Beltone Amaze 17
5	BM	54	Opus 2	46	ReSound
6	BM	54	Nucleus 7	39	Beltone Amaze 17
7	BM	40	Sonnet	24	Beltone Booster Plus 695
8	BM	46	Rondo	46	ReSound/Linx
9	BM	25	Naida	10	Phonak Naida Q
10	BM	53	Kanso	49	Starkey Sound Lens sp3200
11	BM	38	Nucleus 5	30	Beltone Amaze 17
12	BM	56	Nucleus 7	48	Beltone Ally 3
13	BM	45	Nucleus 7	45	Beltone Alley 2
14	CI	45	Nucleus 7	44	-
15	CI	34	Nucleus 5	23	-
16	CI	48	Nucleus 6	35	-
17	CI	56	Freedom	44	-
18	CI	37	Naida 70	22	-
19	CI	41	Rondo 2	40	-
20	CI	31	Freedom	16	-

BM: bimodal CI; cochlear implant, HA: hearing aid

Fig. 1에서는 실험에 참여한 대상자의 인공와우 반대편 귀의 개인별 청력을 보여준다. 바이모달 착용자의 경우 250 Hz에서 4000 Hz까지 평균 약 77 dB HL ~ 103 dB HL의 청력을, 편측 인공와우 사용자의 경우 평균 약 100 dB HL ~ 120 dB HL의 청력을 보였다. 바이모달 착용자가 보청기를 착용했을 때 평균 청력은 250 Hz에서 4000 Hz까지 약 60 dB HL ~ 105 dB HL을 나타냈다.

바이모달 대상자와 편측 인공와우 대상자 모두 250 Hz에서 8000 Hz까지 전 주파수에서 인공와우만 착용했을 때 약 30 dB HL 전후의 평균 청력을 보였다.

2.2 연구 방법

연구 참여자는 검사에 대한 설명을 듣고 동의서와 배경정보 관련 설문을 작성 한 뒤 방음실에서 순음 및 어음청력검사, 기능이득검사를 시행하였다(GSI

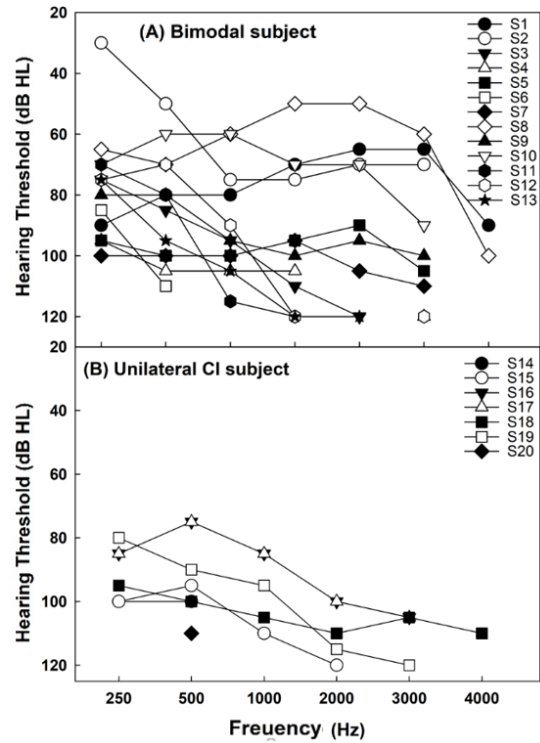


Fig. 1. Unaided hearing thresholds for the non-implanted ear of each subject.

Audiostar pro, Grason Stadler Inc., Eden Prairie, MN, USA). 순음청력검사는 250 Hz ~ 8000 Hz 주파수에서 청력역치를 측정하였다. 어음청력검사에서는 각 대상자의 쾌적레벨에서 녹음된 한국어표준어음청각 검사 음원을 이용하여 단어인지도와 문장인지도를 검사하였다. 단어인지도검사는 한국어표준 단음절 어표 일반용(Korean Standard monosyllabic word list for adults, KS-MWL-A)을 문장인지도 검사는 한국어표준문장표 일반용(Korean Standard sentence lists for adults, KS-SL-A)을 사용하였다. 보청기만 착용했을 때 바이모달 사용자의 단어인지도는 평균 18% 문장인지도는 40%였고 편측 인공와우 사용자의 단어인지도와 문장인지도는 0%를 보여 편측 인공와우 사용자의 반대편 귀 청력과 어음인지도가 바이모달 사용자보다 더 낮았다. Fonix 8000(Frye Electronics, Inc., Beaverton, OR, USA)을 사용하여 보청기 성능분석과 실이측정을 하였다. 보청기 실이측정에서 National Acoustic Laboratories' nonlinear fitting procedure, version 1(NAL-NL1)적합공식을 적용하여 50, 65 그리고 80 dB SPL의 입력음에 대한 삽입이득을 확인하였다. 각

입력음압과 주파수에 따른 차이는 있었지만 평균 삽입이득은 목표이득보다 약 11 dB ~ 16 dB의 차이를 보였다.

음질평가 설문에서는 Gabriellsson *et al.*^[37]의 8개 평가 항목을 기본으로 활용하여 난청인의 음질평가에 도움이 될 수 있는 부드러움, 명료함, 풍부함, 거리감, 쾌적함, 전체적인 느낌의 6개 항목을 사용하였다. 또한 각 항목별로 정도에 따라 0에서 10까지의 visual analogue scale(VAS)반응 척도를 사용하여 음질에 대한 주관적 느낌을 평가하여,^[29,37] 채점을 간편하고 빠르게 하고 검사자의 관여를 최소화할 수 있도록 하였다. 정상 청력 대상의 예비 연구를 근거로 임상에서 활용 가능한 바이올린 소리, 여자노래 소리, 남자노래 소리, 냉장고 소음을 들려준 뒤 각 해당 음원에 대한 주관적인 판단을 설문지에 표시하도록 하였다.

검사자는 방음실 밖에서 자극을 제시하였고 대상자는 방음실 내에 1 m 거리의 스피커(GRASON Stadler free field speakers, Grason Stadler Inc., Eden Prairie, MN, USA) 정면에 앉은 상태에서 65 dB Sound Pressure Level (SPL)로 제시되는 음원을 들은 후에 음질을 평가하도록 하였다. 검사자는 각 음질 항목에 대해 대상자가 충분히 이해하고 판단하도록 각 6개 음질 항목에 대한 검사지침서를 활용하여 설명한 뒤 검사를 진행하였다.

2.3 통계분석

음질검사 점수에 대한 정규성 검정(Shapiro-Wilk's)을 시행하여 정규 분포되어 있지 않아($p < 0.05$) Friedman과 Wilcoxon Signed-Rank 및 Mann Whitney 검증을 시행하였다. Statistical product and service solution 12.0 (SPSS 12.0 version, IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하여 유의수준 0.05를 기준으로 분석하였다.

III. 결 과

Fig. 2는 바이모달 사용자의 주관적 음질검사 평균을 보여준다. 부드러움을 제외한 명료함, 풍부함, 거리감, 쾌적함, 전체적인 느낌 5개 항목의 음질 평가에서 보청기 또는 인공와우만을 착용한 상태보다 바이모달 조건에서 향상된 평균을 보였다($p < 0.05$,

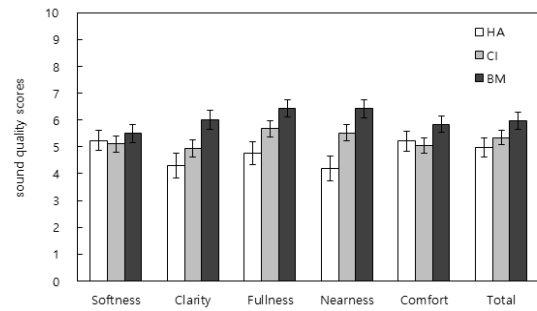


Fig. 2. Sound quality scores across three test conditions for bimodal CI users ($*p < 0.05$) ※ error bars indicate standard errors.

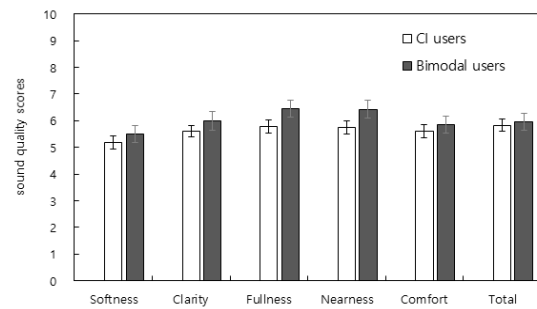


Fig. 3. Comparison of sound quality scores between unilateral CI users and bimodal CI users. ($p > 0.05$) ※ error bars indicate standard errors.

Friedman test). 바이모달 이득을 확인하기 위해 편측 인공와우만 착용했을 때와 바이모달을 착용했을 때를 비교한 결과 부드러움을 제외한 각 5개 음질 항목에서 0.4점 ~ 1.1점(평균 0.8점)의 향상을 보였다($p < 0.05$, Wilcoxon Signed-Rank test).

Fig. 3은 편측 인공와우 사용자와 바이모달 인공와우 사용자의 바이모달 착용 상태에서의 음질검사 점수를 그룹간 비교한 평균 결과이다. 6개 항목의 음질 평가에서 0.1 ~ 0.7(평균 0.4점)의 향상을 보였으나 그룹간 비교에서 두 그룹간의 음질검사 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p > 0.05$, Mann-Whitney test).

IV. 고 찰

본 연구에서는 인공와우 사용자의 음질평가 결과를 알아보고, 전기와 음향자극이 결합된 바이모달 인공와우 사용자의 음질평가 이득을 확인하고자 하였다. 연구 결과 바이모달 사용자의 음질평가는 인공와우만 착용했을 때 보다 명료함, 풍부함, 거리감,

쾌적함, 전체적인 느낌의 5개 항목에서 평균 약 0.8점 높은 점수를 보였다. 반면, 편측 인공와우 사용자와 바이모달 사용자의 그룹 간 음질평가 비교에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 바이모달 사용자의 그룹내 비교에서, 바이모달 조건일때 음질평가 점수가 향상된 것은 편측 인공와우 사용자가 반대편 귀에 보청기를 착용하는 경우 음질지각에 좀 더 도움이 될 수 있음을 뒷받침한다. 이는 시간적 미세구조와 같이 보청기 착용 귀의 보완적인 저주파수 음향자극 단서와 관련이 있을 것으로 볼 수 있다.^[17,30] 또한 선행연구에서 바이모달 착용 이득은 말지각과 음악지각 및 소음 하 말지각 측면에서 효과가 있는 것으로 보고한 바 있는데^[10,38] 본 연구에서 음질평가 시 음악자극을 사용한 것도 음질평가의 향상에 영향을 미쳤을 것으로 본다.

주관적 음질평가를 위한 도구와 항목은 연구마다 차이가 있으며 Cai *et al.*^[39]의 경우 음악의 장르별 선호음악과 비선호음악에 대해 즐거움, 자연스러움, 풍부함, 거침, 날카로움의 음질 영역을 평가하였다. Looi *et al.*^[40]의 경우 12개 악기, 오케스트라연주, 여성화자, 남성화자 및 환경음을 사용하였고, Devocht *et al.*^[41]는 Matrix 문장을 음질평가 도구로 사용하였다.

본 연구는 인공와우 사용자를 대상으로 임상적으로 활용 가능한 음질평가를 위한 예비연구로서 3개의 음악자극과 1개의 소음만을 사용하여 음질평가를 위한 다양한 소리를 사용하지 못한 한계가 있으며 이것이 그룹 간 음질평가에 차이가 없는 결과에 영향을 주었을 가능성이 있다. 또한 인공와우의 채널의 수, 인공와우 사용년수 등에도 음향의 음질에 영향을 줄 수 있음에도 이러한 부분을 이번 연구에서는 분석하지 않은 문제점이 있다.^[42] 이러한 한계에도 불구하고 바이모달 사용자가 편측 인공와우를 착용했을 때보다 양측 바이모달을 착용했을 때 음질평가에서 향상을 보인 것은 향후 인공와우 사용자 대상의 음질평가 연구에 활용할 수 있는 가능성을 보여주었다. 인공와우 사용자의 주관적 음질에 대한 지각을 좀더 객관적으로 평가할 수 있도록 음질평가의 활용과 검사 도구에 대한 연구는 앞으로 좀 더 진행되어야 할 과제이다.

감사의 글

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (2019S1A5A 8038153).

References

1. J. E. Preminger and D. J. V. Tasell, "Quantifying the relation between speech quality and speech intelligibility," *J. Speech. Lang. Hear. Res.* **38**, 714-725 (1995).
2. A. Gabrielsson, "Dimension analyses of perceived sound quality of sound-reproducing systems," *Scandinavian. J. Psychol.* **20**, 159-169 (1979).
3. H. Fastl, *Psycho-acoustics and Sound Quality. In Communication Acoustics* (Springer, Berlin, Heidelberg, 2005), pp.139-162.
4. S. Kuwano, S. Namba, A. Schick, H. Hoegel, H. Fastl, T. Filippou, M. Florentine, and H. Muesch, "The timbre and annoyance of auditory warning signals in different countries," *Proc. INTERNOISE*, 1-9 (2000).
5. H. Fastl, "Neutralizing the meaning of sound for sound quality evaluations," *Proc. ICA*, 1-2 (2001).
6. C. C. Dunn, E. A. Walker, J. Oleson, M. Kenworthy, T. Van Voorst, J. B. Tomblin, M. Hanson, and B. J. Gantz, "Longitudinal speech perception and language performance in pediatric cochlear implant users: the effect of age at implantation," *Ear. Hear.* **35**, 148 (2014).
7. M. F. Dorman, S. C. Natale, A. M. Butts, D. M. Zeitler, and M. L. Carlson, "The sound quality of cochlear implants: Studies with single-sided deaf patients," *Otol. Neurotol.* **38**, e268-e273 (2017).
8. M. W. Canfarotta, M. T. Dillon, C. A. Buchman, E. Buss, B. P. O'Connell, M. A. Rooth, E. R. King, H. C. Pillsbury, O. F. Adunka, and K. D. Brown, "Long-term influence of electrode array length on speech recognition in cochlear implant users," *Laryngo.* **131**, 892-897 (2020).
9. A.T. Roy, C. Carver, P. Jiradejvong, and C. J. Limb, "Musical sound quality in cochlear implant users: A comparison in bass frequency perception between fine structure processing and high-definition continuous interleaved sampling strategies," *Ear. Hear.* **36**, 582-590 (2015).
10. C. M. Sucher and H. J. McDermott, "Bimodal stimulation: Benefits for music perception and sound quality," *Cochlear. Implants. Int.* **10**, 96-99 (2009).
11. C. Boëx, L. Baud, G. Cosendai, A. Sigrist, M. I. Kós, and M. Pelizzone, "Acoustic to electric pitch comparisons in cochlear implant subjects with residual

- hearing," *J. Assoc. Res. Otolaryngol.* **7**, 110-124 (2006).
12. N. T. Jiam, M. S. Pearl, C. Carver, and C. J. Limb, "Flat-Panel CT imaging for individualized pitch mapping in cochlear implant users," *Otol. Neurotol.* **37**, 672-679 (2016).
 13. F. G. Zeng, "Temporal pitch in electric hearing," *Hear. Res.* **174**, 101-106 (2002).
 14. A. Illg, M. Bojanowicz, A. Lesinski-Schiedat, T. Lenarz, and A. Büchner, "Evaluation of the bimodal benefit in a large cohort of cochlear implant subjects using a contralateral hearing aid," *Otol. Neurotol.* **35**, e240-e244 (2014).
 15. K. D. Brown and T. J. Balkany, "Benefits of bilateral cochlear implantation: a review," *Curr. Opin. Otolaryngol. Head. Neck. Surg.* **15**, 315-318 (2007).
 16. M. C. Flynn and T. Schmidtke, "Benefits of bimodal stimulation for adults with a cochlear implant," *Int. Congr. Ser.* 1273, 227-30. (2004).
 17. T. Y. C. Ching, E. van Wanrooy, M. Hill, and P. Incerti, "Performance in children with hearing aids or cochlear implants: bilateral stimulation and binaural hearing," *Int. J. Audiol.* **45**, S108-112 (2006).
 18. E. C. Schafer, A. M. Amlani, A. Seibold, and P. L. Shattuck, "A meta-analytic comparison of binaural benefits between bilateral cochlear implants and bimodal stimulation," *J. Am. Acad. Audiol.* **18**, 760-762 (2007).
 19. M. C. Van Loon, C. Smits, C. F. Smit, E. F. Hensen, and P. Merkus, "Cochlear implantation in adults with asymmetric hearing loss: benefits of bimodal stimulation," *Otol. Neurotol.* **38**, e100-e106 (2017).
 20. J. L. Vroegop, J. G. Dingemanse, M. P. van der Schroeff, and A. Goedegebure, "Comparing the effect of different hearing aid fitting methods in bimodal cochlear implant users," *Am. J. Audiol.* **28**, 1-10 (2018).
 21. P. Avan, F. Giraudet, and B. Büki, "Importance of binaural hearing," *Audiol. Neurootol.* **20**, 3-6 (2015).
 22. P. Senn, M. Kompis, M. Vischer, and R. Haeusler, "Minimum audible angle, just noticeable interaural differences and speech intelligibility with bilateral cochlear implants using clinical speech processors," *Audiol. Neurootol.* **10**, 342-352 (2005).
 23. J. M. Gaylor, G. Raman, M. Chung, J. Lee, M. Rao, J. Lau, and D. S. Poe, "Cochlear implantation in adults: a systematic review and meta-analysis," *JAMA Otolaryngol. Head Neck Surg.* **139**, 265-272 (2013).
 24. P. E. Riley, D. S. Ruhl, M. Camacho, and A. M. Tolisano, "Music appreciation after cochlear implantation in adult patients: a systematic review," *Otolaryngol. Head. Neck. Surg.* **158**, 1002-1010 (2018).
 25. C. PrevotEAU, S. Y. Chen, and A. K. Lalwani, "Music enjoyment with cochlear implantation," *Auris. Nasus. Larynx.* **45**, 895-902 (2018).
 26. G. Dritsakis, R. M. van Besouw, P. Kitterick, and C. A. Verschuur, "A music-related quality of life measure to guide music rehabilitation for adult cochlear implant users," *Am. J. Audiol.* **26**, 268-282 (2017).
 27. G. Dritsakis, R. M. van Besouw, and A. O' Meara, "Impact of music on the quality of life of cochlear implant users: a focus group study," *Cochlear Implants Int.* **18**, 207-215 (2017).
 28. K. H. Arehart, J. M. Kates, and M. C. Anderson, "Effects of noise, nonlinear processing, and linear filtering on perceived music quality," *Int. J. Audiol.* **50**, 177-190 (2011).
 29. V. Looi, H. McDermott, C. McKay, and L. Hickson, "Comparisons of quality ratings for music by cochlear implant and hearing aid users," *Ear. Hear.* **28**, 59S-61S (2007).
 30. Y.-Y. Kong, and L. D. Braida, "Cross-frequency integration for consonant and vowel identification in bimodal hearing," *J. Speech. Lang. Hear. Res.* **54**, 959-980 (2011).
 31. Z. M. Smith, B. Delgutte, and A. J. Oxenham, "Chimaeric sounds reveal dichotomies in auditory perception," *Nature*, **416**, 87-90 (2002).
 32. H. McDermott and K. Henshall, "The use of frequency compression by cochlear implant recipients with postoperative acoustic hearing," *J. Am. Acad. Audiol.* **21**, 380-389 (2010).
 33. J. L. Vroegop, N. C. Homans, M. P. van der Schroeff, and A. Goedegebure, "Comparing two hearing aid fitting algorithms for bimodal cochlear implant users," *Ear. Hear.* **40**, 98-106 (2019).
 34. S. Gatehouse and W. Noble, "The speech, spatial and qualities of hearing scale (SSQ)," *Int. J. Audiol.* **43**, 85-99 (2004).
 35. R. English, K. Plant, M. Maciejczyk, and R. Cowan, "Fitting recommendations and clinical benefit associated with use of the NAL-NL2 hearing-aid prescription in Nucleus cochlear implant recipients," *Int. J. Audiol.* **55**, S45-S50 (2016).
 36. L. C. E. Veugen, J. Chalupper, A. F. M. Snik, A. J. van Opstal, and L. H. M. Mens, "Matching automatic gain control across devices in bimodal cochlear implant users" *Ear. Hear.* **37**, 260-270 (2016).
 37. A. Gabrielsson, B. N. Schenkman, and B. Hagerman, "The effects of different frequency responses on sound quality judgments and speech intelligibility," *J. Speech. Lang. Hear. Res.* **31**, 166-177 (1988).
 38. M. F. Dorman, R. H. Gifford, A. J. Spahr, and S. A. McKarns, "The benefits of combining acoustic and electric stimulation for the recognition of speech, voice and melodies," *Audiol. Neurotol.* **13**, 105-112

- (2008).
39. Y. Cai, F. Zhao, and Y. Zheng, "Development and validation of a Chinese music quality rating test," *Int. J. Audiol.* **52**, 587-595 (2013).
 40. V. Looi, H. McDermott, C. McKay, and L. Hickson, "Comparisons of quality ratings for music by cochlear implant and hearing aid users," *Ear. Hear.* **28**, 59S-61S (2007).
 41. E. M. Devocht, A. M. L. Janssen, J. Chalupper, R. J. Stokroos, and E. L. George, "The benefits of bimodal aiding on extended dimensions of speech perception: Intelligibility, listening effort, and sound quality," *Trend. Hear.* **21**, 1-20 (2017).
 42. K. Berg, J. Noble, B. Dawant, R. Dwyer, R. Labadie, V. Richards, and R. Gifford, "Musical sound quality as a function of the number of channels in modern cochlear implant recipients," *Front. Neurosci.* **24**, 999 (2019).

저자 약력

▶ 방 정 화 (Junghwa Bahng)



2002년 8월: 한림대학교 재활학과 청각학 석사
 2008년 5월: University of Tennessee, Hearing Science, Ph.D.
 2010년 3월~현재: 한림국제대학원대학교 교수

▶ 오 수 희 (Soo Hee Oh)



2000년 2월: 한림대학교 재활학과 청각학 석사
 2014년 12월: University of South Florida Hearing Science, Ph.D.
 2018년 9월~현재: 한림국제대학원대학교 부교수