

A Study for Composition and Comparison of the Music Perception Tests for Normal Hearing and Cochlear Implant Users

Eunsung Lee¹, Yerim Shin¹, Sungmin Jo¹, Jinsook Kim^{1,2}

¹Department of Speech Pathology and Audiology, Graduate School, Hallym University, Chuncheon, Korea

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

Received: March 29, 2021

Revised: April 23, 2021

Accepted: April 29, 2021

Correspondence:

Jinsook Kim, PhD
Division of Speech Pathology and Audiology, College of Natural Sciences, Hallym University, 1 Hallymdaehak-gil, Chuncheon 24252, Korea

Tel: +82-33-248-2213

Fax: +82-33-256-3240

E-mail: jskim@hallym.ac.kr

Purpose: The aim of this study was to compose the test for music perception and analyze the characteristic of cochlear implant users' music perception. **Methods:** The test was made up with the pitch, melody, and timbre factors, using three low and high frequencies, six music genres, and four types of musical instruments correspondingly. The tests were conducted to 10 normal-hearing (NH) young adults and 10 young cochlear-implant (CI) users. **Results:** All the music perception tests showed significant differences between NH and CI group [$F(1, 4) = 0.018, p = 0.019$]. In the pitch test, CI group showed significantly lower correction rate (51.3%) than NH group (82.7%) did with higher correction rates in low frequencies. In the melody test, CI group showed significantly lower correction rate (29.7%) than NH group (95.8%) did with the highest performance in folk songs (51.7%). In the timbre test, CI group showed significantly reduced performance (22.5%) than NH group (65.8%) did. For both CI and NH groups, the pitched percussion showed the highest scores (45% and 100%) while the woodwind showed the lowest scores (13.3% and 48.3%). **Conclusion:** Out of three tests, CI group showed better performance in pitch perception than melody and timber perception. CI group showed better performances in low pitch sounds, melodies of familiar genre, and sound of pitched percussion instruments' timber showing complicated music perception ability. To enhance the music perception ability for CI users by aural rehabilitation, more specified and systematic music perception test material should be developed.

Key Words: Music perception, CI users, Pitch, Melody, Timbre.

INTRODUCTION

음악 지각에 필요한 기본 요소는 피치(pitch), 멜로디(melody), 음색(timbre), 리듬(rhythm)이다. 피치는 음의 높고 낮음을 의미하는데 소리의 주파수에 대한 심리 음향학적인 지각으로 표현된다. 소리의 피치 지각은 달팽이관 내에서 자극음에 반응하는 기저막의 위치에 따라 달라지는데 인간의 주파수 인지 영역인 20-20,000 Hz 중 기저막의 기저부에서는 고주파수 소리지각을 담당하고 첨단부에서는 저주파수의 소리 지각을 담당하여 다양한 주파수의 소리를 지각한다(Limb & Roy, 2014). 가락 또는 선율이라고도 불리는 멜로디는 두 개 이상의 음이 연속적으로

구성된 선율을 의미하고 피치가 연속적이고 체계적으로 변화하여 멜로디가 된다. 특히 이는 그 시대의 특성을 반영하거나 민족의 고유 가락을 보여주기도 한다. 같은 음계로 이루어진 멜로디라도 연주하는 악기에 따라 소리의 질을 뜻하는 음색이 달라지기도 한다. 이러한 음색은 각 악기들의 특성이나 사람의 음성을 구별할 수 있는 요소인데 악기에 따라 음파의 파형이 길거나 짧고 고유한 진동수가 달라 악기 고유의 음색이 나타난다. 리듬은 흐름이나 움직임 뜻하는 그리스어인 리트머스(rhythmos)에서 유래된 단어로 소리 진행이 일정한 규칙에 따라 흐르는 것을 의미한다. 음악에서는 시간적 요소와 관련되어 초나 분 단위로 나타나는 규칙적인 음의 흐름범위를 의미한다. 리듬은 음표의 장단, 악센트, 음의 쉼여림, 빠르기 등에 따라 반복되는 음의 특성을 표현하는데 소리의 박(beat)에 따라 규칙박, 불규칙박, 섹박, 여린박, 빠른박, 느린박 등의 박자(time)를 포함한다. 박자가 묵

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

음을 이루어 그 단위가 반복되면서 일정한 느낌을 주는 곡이 되므로 연속된 박자를 분석하면 리듬 구조를 알 수 있다(Yang et al., 2010).

일반적으로 정상적인 청각기관은 소리 자극의 패턴을 달팽이관과 청신경에서 분석하여 음의 높고 낮음을 지각하는데 말소리나 음악과 같은 복합음은 달팽이관의 기저막이 필터 역할을 하여 주파수로 구분 및 분석하고 청신경을 통해 전달한 후 청각 피질에서 정확한 음의 높낮이로 지각한다. 또한 두 가지 이상의 악기로 연주된 같은 강도의 동일한 멜로디도 각각 분별할 수 있는데, 이는 소리마다 시작되는 시점(rise time)과 주파수의 중심(spectral centroid)이 다르고 주파수의 분포(spectral flux)도 다르기 때문이다(Grey, 1977). 그러나 청력손실이 있는 귀는 정상 귀와 다르게 음악을 지각한다. 내이의 손상으로 인한 청각 장애는 음의 높낮이 지각이 어려워 음악 분석 능력이 부족할 수밖에 없다. 그러나 대부분의 청각 보조기기는 기본적으로 중요한 의사소통에 초점을 맞추어 개발되어 왔다. 기술개발의 발달로 청각장애가 있더라도 의사소통뿐만 아니라 음악을 즐기도록 하는 욕구가 출현되어 음악 지각과 관련된 연구가 다수 진행되고 있다. 예를 들어, 보청기 착용자를 대상으로 한 연구에서는 79%의 연구 참여자가 청력손실로 인해 음악을 즐기기가 어렵다고 보고하였는데(Feldmann & Kumpf, 1988) 특히 순음과 복합음의 높낮이를 구별하는 데 어려움을 보였다고 하였다. 이러한 어려움의 정도는 난청 정도에 비례하지는 않는데 난청인의 주파수분석의 어려움은 심리 음향학적 청각 필터가 둔감해져 기본 주파수분석이 어렵기 때문이라고 보고하였다(Sek & Moore, 1995). 음악의 멜로디 지각 능력은 잔존 청력의 보존 정도에 따라 다르게 나타날 수 있는데 저주파수 대역의 잔존 청력은 멜로디 지각과 일상생활에서 음자극 지각에 매우 중요하므로(Gfeller et al., 2008; Kong et al., 2004) 인공와우만 착용하였을 때보다 보청기와 하이브리드(hybrid)로 착용하였을 경우 멜로디 지각 수행력이 좋았다고 보고하였다(Kong et al., 2004). 대부분의 청각 보조기기는 리듬 정보를 충분히 전달할 수 있고 리듬 특성은 시간적 정보를 담은 포락선과 연관되어 정상인과 난청인이 유사한 지각능력을 보인다(Han et al., 2019). 또한 악기는 각각의 고유한 조화음으로 구성되어 음색을 구별할 수 있는 요소로 작용한다(Gfeller et al., 2002).

인공와우 착용자를 포함한 난청인이 음악을 들을 때 리듬 분석은 거의 정상인과 동일하다고 보고하고 있지만(Moore & Glasberg, 1988) 피치, 멜로디, 음색 지각은 분석능력이 저조하다. 그 외 화자의 성별 구분, 소음 속 말소리 인지, 성조 언어 인지 등도 수행력이 저조한 편이다(Zeng et al., 2014). 정상인의 달팽이관 청각 필터는 지속음의 중심 주파수에 비선형적으로 작용하고 소리크기에 따라 다르게 나타나지만, 인공와우의 음향 처리

기의 필터는 고정된 중심 주파수에서 넓은 필터로 소리를 분석하므로 복합음이나 조화음을 미세하게 분석하기 어렵기 때문이다(McDermott & McKay, 2007). 또한 인공와우는 12개에서 22개 정도의 전극으로 약 15,000개에 달하는 청각기관의 내외유모세포의 역할을 대체해야 하므로 전기신호 간의 상호작용이 많고 미세한 소리 특성을 지각해야 하는 음악 소리를 전달하는 데 한계가 있다(Crew et al., 2012). 그래서 인공와우를 통해 음악을 들으면 부자연스러운 소리나 기계음처럼 들린다고 한다.

음악 지각능력을 평가하는 도구로 처음에 1979년 Primary Measure of Music Audiation이 Gordon에 의해 유치원생을 대상으로 주관적 검사인 음조와 리듬을 검사하는 간단한 구성으로 개발되었다(Gordon, 2001). 이후 2006년에 Fitzgerald et al.에 의해 개발된 Musical Sounds In Cochlear implants perception test, 2008년 Nimmons et al.에 의해 개발된 University of Washington's Clinical Assessment of Music Perception (UW-CAMP), 2012년 Roy et al.에 의해 개발된 Music in Children with Cochlear Implant 등이 주관적 음악 지각 검사도구로 활용되었다. 이외에 Mismatch Negativity와 Acoustic Change Complex와 같은 객관적 도구를 함께 적용하여 피치, 음색, 화음과 불협화음 같은 다양한 음악적 특성을 뇌인지 영역으로 이해하고자 하였다(Brown et al., 2017; Hall, 2007; Martin & Boothroyd, 2000; Tervaniemi et al., 2005). 또한 양전자방출단층촬영(positron emission tomography)검사를 통해 인공와우 이식 후의 음악 소리에 대한 청각 중추의 재구성도와 활성화 정도를 평가하는 방법으로 인공와우 수술이 뇌 중추에서 음악 인지에 어떻게 작용하는지를 밝히 고자 하였다(Limb & Roy, 2014). 이러한 여러 검사도구 중 국내에서는 UW-CAMP를 번역하여 K-CAMP로 명명한 검사도구가 발표되었다(Jung et al., 2010). 피치, 멜로디, 음색검사로 구성된 K-CAMP로 12명의 인공와우 착용자와 정상 청력인에게 검사를 실시하여 인공와우 착용자의 정답률이 정상 청력인보다 유의미하게 낮은 UW-CAMP와 유사한 결과를 보고하였다. 그러나 음색 지각검사에서 정상 청력인의 UW-CAMP검사의 정답률은 $94.2\% \pm 4.0\%$ 였으나 K-CAMP는 66.7% 로 현저하게 낮은 수행력을 보여 해석본이 원본과 다른 결과를 보였다. 아마도 한국 성인이 유년기에 다양한 서양악기에 대한 노출이 적기 때문에 나타나는 문화·정서적 차이에 따른 결과로 생각된다. 이러한 한국 문화와 정서를 반영하여 청력손실에 따른 좀 더 체계적인 음악 지각능력을 평가할 수 있는 검사도구가 필요한 것으로 분석되었다. 특히 고주파수와 저주파수 대역을 구분한 피치 지각능력, 한국인에게 익숙한 음악 장르의 멜로디를 통한 장르별 지각능력, 악기 종류에 따른 음색 지각능력을 분석할 수 있는 음색 지각능력 등을 심화하여 평가할 수 있는 평가도구로 국내 청각장애인

의 음악 지각능력을 체계적으로 분석할 수 있는 검사도구의 필요성이 대두되었다. 따라서 본 연구는 이러한 음악의 기본 요소를 세부적으로 검사할 수 있는 평가도구를 구성하여 정상 청력과 인공와우 착용그룹의 음악 지각능력을 평가하고자 하였다. 이를 통해 인공와우 착용자의 음악 지각능력의 특성에 대한 이해도를 제고할 수 있다면 음악 청능재활에 필요한 부분을 확인하고 효율적인 음악 청능재활 프로그램 개발에 도움이 될 것이다. 이러한 결과를 바탕으로 국내 청각장애인의 음악 재활훈련의 가이드라인을 확인하고 음악 재활방법을 구현하고 청각장애인이 음악을 즐길 수 있는 가능성을 향상시키고자 한다.

MATERIALS AND METHODS

예비 연구

본 연구에 사용할 최종검사 자료를 구성하기 위해 정상 청력을 지닌 20대 성인 10명을 대상으로 예비 연구를 실시하였다. 피치 지각검사에서 저주파수 대역 자극 음으로는 음악의 음 구성에 기준 음으로 자주 사용되는 C4 (도, 262 Hz) 그리고 C4와 3화음을 이루는 E4 (미, 330 Hz)와 G4 (솔, 391 Hz), 고주파수 대역의 자극 음으로 각 저주파수 대역보다 두 옥타브 위인 C6 (1,047 Hz), E6 (1,319 Hz), G6 (1,568 Hz)의 순음을 사용하였다. 저주파수와 고주파수 대역에 각각 세 개의 주파수 중 무작위로 1초 간격으로 두 가지 순음을 들려주어 어떤 소리가 더 높은 피치라고 생각하는지 묻는 방법으로 예비 연구를 실시하였다. 멜로디 지각검사는 민요, 동요, 대중가요, TV 광고, 클래식, 가곡 등 여섯 가지 장르를 사용하였고, 장르별로 세 가지 멜로디를 두 마디씩 들려주고 그중 가장 익숙하다고 생각하는 멜로디 두 가지를 선택하도록 하였다. 음색 지각검사는 금관악기, 목관악기, 현악기, 타악기로 악기 종류를 나누고 각 종류별로 세 가지 악기로 구성하였다. 악기마다 동일한 다섯 음계를 연주한 소리를 듣고 어떤 악기 소리인지 맞히도록 하였다. 음색검사의 악기소리는 Noteworthy composer 프로그램(<https://noteworthycomposer.com/>, ver. 2.75; NoteWorthy Software, Inc., Fuquay-Varina, NC, USA)을 통해 음원을 추출하였으며 검사에 쓰인 모든 자극 음은 Adobe Audition (ver. 2018; Adobe Systems, Inc., San Jose, CA, USA)을 통해 root mean square를 -20 dB로 동일하게 맞추어 제작하였다. 검사는 태블릿 PC (Surface Pro 6; Microsoft, King County, WA, USA)를 통해 진행하고, Super Lab 5.0 (Cedrus, San Pedro, CA, USA)을 통해 자극 음을 무작위로 제시하고, 그에 대한 답을 태블릿 화면상의 선택지에 반응하도록 하였다.

이러한 과정의 예비 연구를 통해 피치 지각검사는 저주파수와 고주파수 대역을 구분하여 다양한 주파수 대역에서의 피치 지각

능력을 평가할 수 있도록 저주파수 대역은 C4, E4, G4, 고주파수 대역은 C6, E6, G6가 선택되었다. 멜로디 지각검사에서 다양한 장르, 민요, 동요, 대중가요, 가곡, 클래식 등을 사용하였다. 이 중 민요로 '아리랑'과 '천안 삼거리', 동요로 '아기 염소'와 '산토끼 토끼야', 대중가요로 '붉은 노을'과 '애상', 가곡으로 '고향의 봄'과 '희망의 나라로', 클래식으로 '운명 교향곡'과 '밤의 세레나데', TV 음악으로 '오로나민 씨'와 '전국 노래자랑의 시그널곡'이 한국인에게 가장 친숙한 멜로디여서 자극 음으로 선정되었다. 리듬 정보를 배제하고 멜로디의 연속적인 음들의 변화를 지각하는 능력을 검사하기 위하여 리듬 단서를 제거하였다. 리듬 단서를 제거하기 위하여 음의 박자를 모두 4분 음표로 맞추고 각 음표당 4분 쉼표의 공백을 두어 두 마디씩 추출하여 제작하였다. 음색 지각검사에서 다양한 종류의 악기군에서 여러 종류의 악기 소리의 지각능력을 평가하도록 구성하였다. 따라서 예비검사 결과 각 악기군에서 정답률이 낮은 악기였던 금관 악기의 트럼펫과 호른, 목관 악기의 색소폰과 오보에, 현악기의 바이올린과 첼로, 타악기의 피아노와 기타를 사용 악기로 선정하였다(Figure 1).









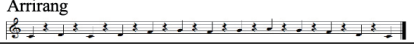
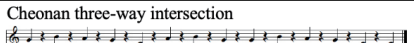
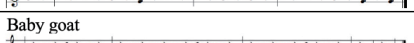
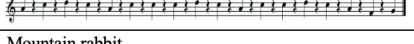

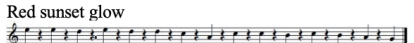

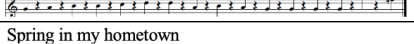
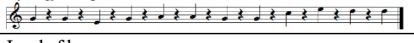
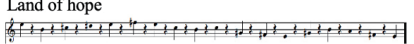
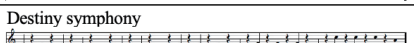
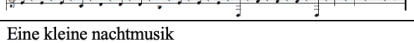
I. Pitch perception test			
Low-frequency band	262, 330, 391 Hz puretone		
High-frequency band	1047, 1319, 1568 Hz puretone		
II. Timbre perception test			
Brass	 trumpet	 horn	
Woodwind	 saxophone	 oboe	
String	 violin	 cello	
Pitched percussion	 piano	 guitar	
III. Melody perception test			
Folk	Arrirang 		
	Cheonan three-way intersection 		
Children's song	Baby goat 		
	Mountain rabbit 		
K-pop	Red sunset glow 		
	Sorrow 		
Aria	Spring in my hometown 		
	Land of hope 		
Classical music	Destiny symphony 		
	Eine kleine nachtmusik 		
TV music	Oronamin c 		
	National singing contest 		

Figure 1. The composition of the music perception test materials used in this study.

연구 대상

최종적으로 구성된 평가 도구로 20대의 정상 청력그룹 10명과 인공와우 착용그룹 10명에게 검사를 실시하였다. 연구에 참여한 총 20명의 평균 연령은 24.4 ± 2.96세, 정상 청력그룹의 평균 연령은 23.4 ± 1.84세, 인공와우 착용그룹의 평균 연령은 25.3 ± 3.62세였다. 인공와우 착용그룹의 인공와우와 관련된 내용 즉, 인공와우 착용 시기, 종류, 청력손실 기간, 인공와우 착용 기간, 착용한 인공와우의 종류 등은 Table 1에 정리하였다. 정상 청력 성인그룹 10명은 모두 125-8,000 Hz에서 20 dB HL 이하의 청력 역치를 보이는 건청인으로 구성하였다. 연구 참여자는 연구의 목적과 절차에 대하여 설명을 듣고 내용을 이해한 뒤 연구에 참여 의사를 보인 경우 연구참여동의서에 서명하고 연구에 참여하였다. 연구에 대한 절차 및 내용은 한림대학교 생명윤리연구회로부터 승인을 받았다(IRB 승인번호: HIRB-2018-074).

통계 분석

수집된 자료 분석은 SPSS 프로그램(version 25; IBM Corporation, Armonk, NY, USA)을 이용하였다. 인공와우 착용그룹과 정상 청력그룹 간 유의미한 차이를 확인하기 위해 일원 배치분산분석(one-way analysis of variance [ANOVA])을 사용하였다. 또한 각 검사 내 음악 장르, 악기 종류, 주파수 대역에 따른 지각 차이는 이원배치분산분석(two-way ANOVA)을 통해 분석하였다. 통계의 유의미 수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

RESULTS

피치 지각검사 결과 인공와우 착용그룹의 정답률은 51.3% ± 15.41%, 정상 청력그룹의 정답률은 82.7% ± 4.39%로 인공와

우 착용그룹이 정상 청력그룹보다 유의미하게 낮은 수행력을 보였다[F(1, 18) = 1.760, $p = 0.013$]. 인공와우 착용그룹과 정상 청력그룹의 정답률은 262 Hz에서 62% ± 14.76%와 88% ± 13.98%, 330 Hz에서 58% ± 17.51%와 86% ± 13.50%, 391 Hz에서 56% ± 28.60%와 88% ± 13.98%, 1,047 Hz에서 48% ± 20.66%와 72% ± 17.51%, 1,319 Hz에서 44% ± 23.09%와 78% ± 12.65%, 1,568 Hz에서 40% ± 15.41%와 84% ± 4.39%였다(Figure 2). 주파수를 262, 330, 391 Hz의 저주파수 대역과 1,047, 1,319, 1,568 Hz의 고주파수 대역으로 나누어 비교하였을 때, 인공와우 착용그룹과 정상 청력그룹의 정답률은 저주파수 대역에서 58.7% ± 3.06%와 87% ± 1.15%, 고주파수 대역에서 44% ± 4.00%와 78% ± 6.00%의 정답률을 보여 인

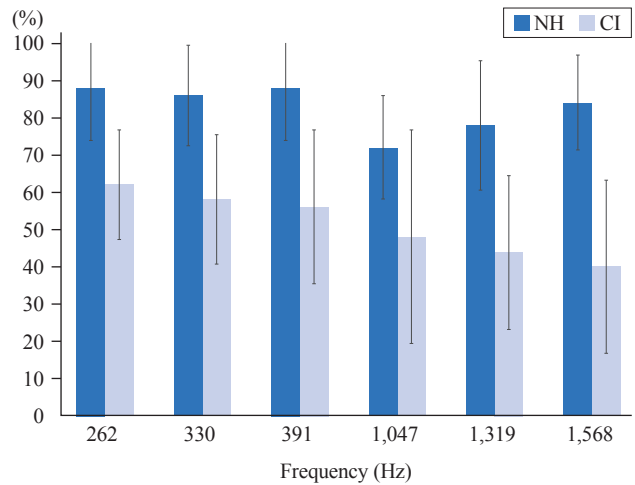


Figure 2. The percentage of the correct answers in pitch perception test according to the normal hearing (NH) and cochlear implant (CI) groups.

Table 1. Demographic features of participants with a cochlear implant

Subject	Age (yr)	Gender	Ear CI operated	Duration of hearing loss (yr)	Duration of implant use (mo)	CI model	Speech processor	Pre/post-lingual
C1	20	M	Lt	4	48	CI24RE	Freedom	Post
C2	20	F	Rt	20	136	CI24RE	Freedom	Pre
C3	21	M	Rt	21	147	CI24RE	Freedom	Pre
C4	29	M	Rt	14	37	CI512	Neucleus 6	Post
C5	26	M	Lt	26	49	CI24RCA	3G	Pre
C6	28	M	Rt	15	25	CI24RCA	3G	Post
C7	25	F	Lt	25	168	CI512	Neucleus 6	Pre
C8	28	M	Rt	6	47	CI512	Neucleus 5	Post
C9	28	F	Rt: HA Lt: CI	7	46	CI24RCA	Neucleus 7	Post
C10	28	F	Lt	15	25	CI24RCA	Neucleus 7	Post

CI: cochlear implant, M: male, F: female, Lt: left, Rt: right, HA: hearing aid

공와우 착용그룹에서는 저주파수 대역에서 유의하게 더 높은 정답률을 보였고[F(1, 18) = 1.332, $p = 0.033$] 정상 청력그룹은 고주파수 대역에서의 정답률이 조금 낮게 나타났지만 유의미한 차이는 없었다.

멜로디 지각검사에서 인공와우 착용그룹은 29.7% ± 20.01%, 정상 청력그룹은 95.8% ± 7.93%의 정답률을 보여, 인공와우

착용그룹은 정상 청력그룹에 비해 유의미하게 낮은 수행력을 보였다[F(1, 18) = 1.821, $p = 0.031$] (Figure 3). 인공와우 착용그룹은 '고향의 봄', '희망의 나라로', '밤의 세레나데'에서 6.7%로 가장 낮은 정답률을 보였고, '아리랑'에서 가장 높은 60%의 정답률을 보였다. 정상 청력그룹은 '고향의 봄'과 '희망의 나라로'에서 80%로 가장 낮은 정답률을 보였고, '아리랑', '천안삼거리',

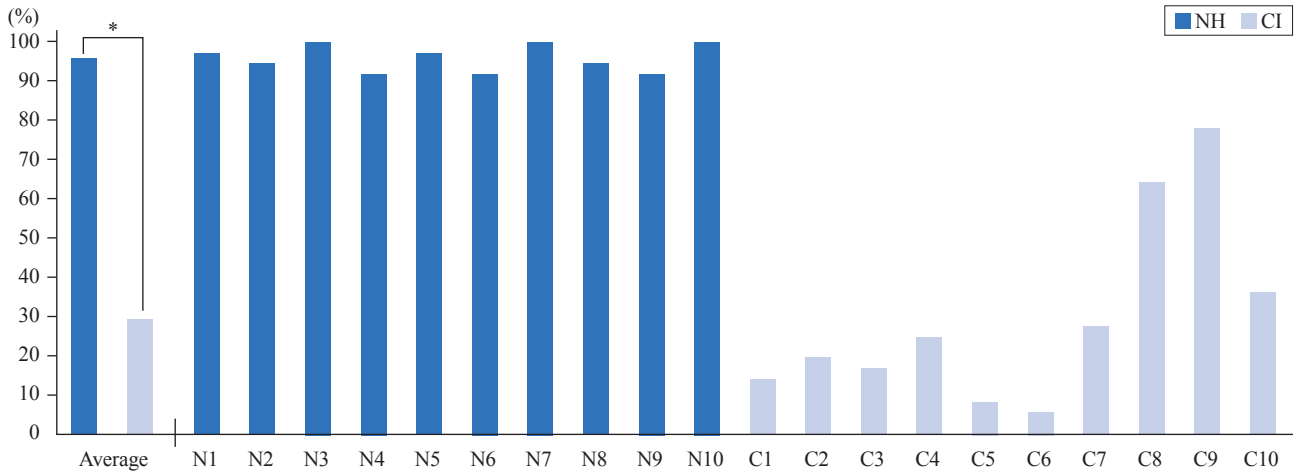


Figure 3. The percentage of the correct answer in melody perception test for individual participants. Normal hearing (NH) depicts the normal hearing group and cochlear implant (CI) depicts the cochlear implant group. * $p < 0.05$.

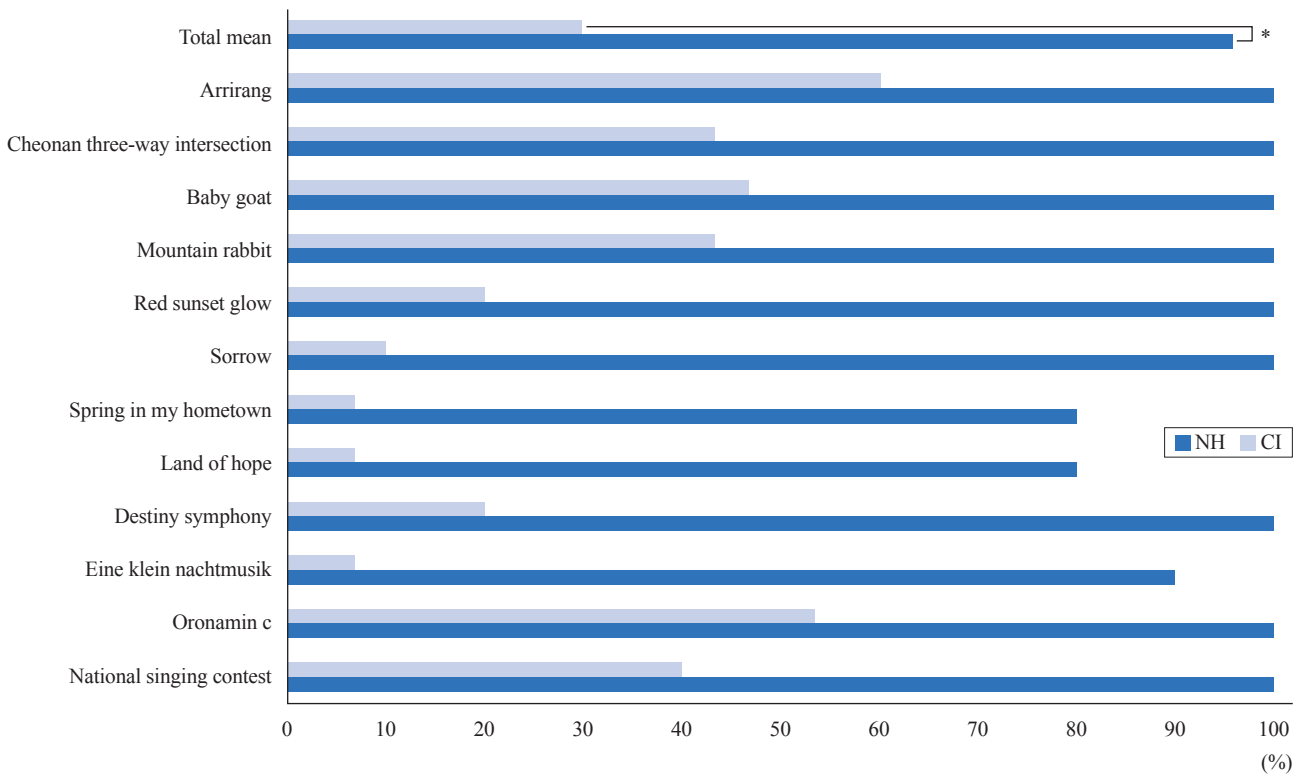


Figure 4. The percentage of the correct answer in melody perception test according to the normal hearing (NH) and cochlear implant (CI) groups. * $p < 0.05$.

‘아기 염소’, ‘산토끼’, ‘붉은 노을’, ‘애상’, ‘운명교향곡’, ‘오로나민 씨’, ‘전국 노래자랑의 시그널곡’에서 100%의 정답률을 보였다. 멜로디에 따라 인공와우 착용그룹과 정상 청력그룹의 정답률을 비교할 때, 정답률의 차이는 ‘애상’이 90%, ‘밤의 세레나데’가 83.3%, ‘붉은 노을’과 ‘운명 교향곡’이 80%, ‘고향의 봄’과 ‘희망의 나라로’가 73.3%로 가장 큰 차이를 보인 순으로 나타났고, 그 외 ‘전국 노래자랑의 시그널곡’은 60%, ‘천안삼거리’와 ‘산토끼’가 57.7%, ‘아기 염소가 54.3%, ‘오로나민 씨’가 47.7%, ‘아리랑’이 40%의 순으로 나타났다(Figure 4). 이를 음악 장르에 따라 비교하였을 때, 인공와우 착용그룹은 민요에서 51.7%로 가장 높은 정답률을 보였고, 이후 TV 음악에서 46.7%, 동요에서 45%, 가곡에서 6.7%의 순서로 정답률이 나타났다. 정상 청력그룹은 가곡에서만 80%이고 그 외는 100%의 정답률을 보였다.

음색 지각검사의 정답률은 인공와우 착용그룹은 22.5% ± 15.20%, 정상 청력그룹은 65.8% ± 23.22%로 유의미한 차이를 보였다[F(1, 18) = 1.731, p = 0.005] (Figure 5). 인공와우 착용 그룹에서는 색소폰이 3.3%로 여덟 가지 악기 중 가장 낮은 정답률을 보였고 기타가 50%로 가장 높은 정답률을 보였다. 정상 청력그룹에서는 색소폰이 33.3%로 가장 낮은 정답률을 보였고 기타와 피아노가 100%로 가장 높은 정답률을 보였다. 이를 악기의 종류에 따라 비교하였을 때, 인공와우 착용그룹과 정상 청력 그룹에서 타악기가 45%와 100%로 양 그룹 모두 가장 높은 정답

률을 보였고 목관 악기가 13.3%와 48.3%로 양 그룹 모두 가장 낮은 정답률을 보였다(Table 2).

DISCUSSIONS

본 연구는 국내 청각장애 음악 지각 평가도구를 체계적으로 구성하여 이를 바탕으로 정상 청력그룹과 인공와우 착용그룹의 음악 지각능력을 비교 분석하였다. 인공와우 착용그룹은 피치 지각검사에서 멜로디와 음색검사보다 더 좋은 수행력을 보였다. 인공와우 착용그룹은 피치 지각검사에서 저주파수에서 고주파수로 올라갈수록 정답률이 낮아지는 경향을 보였다. 262 Hz는 62%, 330 Hz는 58%, 391 Hz는 56%의 정답률을 보였지만 1,047 Hz는 48%, 1,319 Hz는 44%, 1,568 Hz는 40%의 정답률을 보여 고주파수 대역에서(44%)보다 저주파수 대역에서(58.7%) 더 우수한 지각능력을 보였다. 이는 정상 청력과 인공와우 착용 성인그룹 각 12명을 대상으로 한 연구의 피치 지각검사 결과와 유사하였다(Jung et al., 2010). 주파수가 높아질수록 판별 역치(difference limen)가 커졌는데, 262 Hz에서 2.7반음, 330 Hz에서 4.4반음, 391 Hz에서 8.1반음의 판별 역치로 주파수의 변화에 대한 지각능력이 고주파수에서 더 저조하였다.

인공와우 착용그룹은 멜로디 지각검사 결과 전반적으로 낮은 수행력을 보였는데, 가곡에서 6.7%로 가장 낮은 수행력을 보였

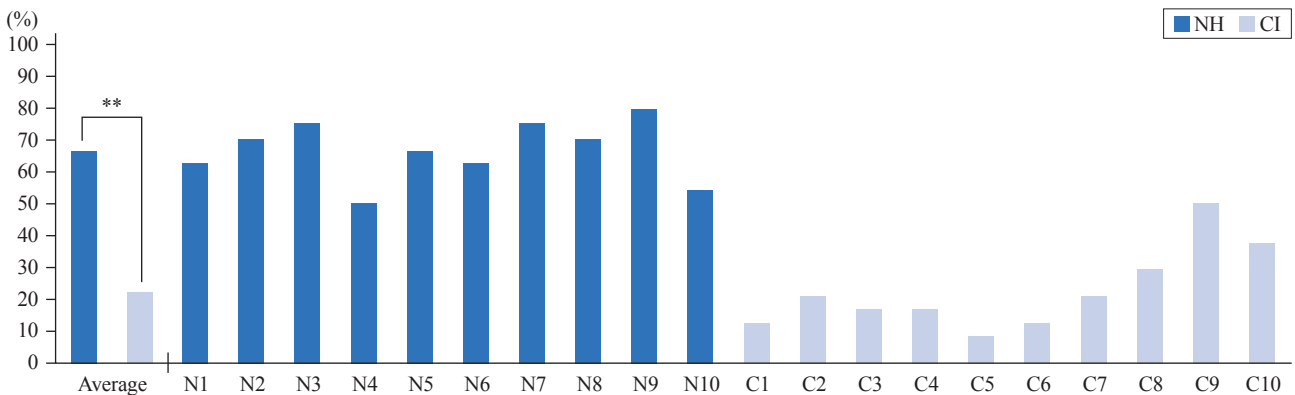


Figure 5. The percentage of the correct answer in timbre perception test for individual participants. Normal hearing (NH) depicts the normal hearing group and cochlear implant (CI) depicts the cochlear implant group. **p < 0.01.

Table 2. The percentage of the correct answer for each musical instrument

	Brass			Woodwind			String			Pitched percussion		
	Trumpet (%)	Horn (%)	Mean (%)	Saxophone (%)	Oboe (%)	Mean (%)	Violin (%)	Cello (%)	Mean (%)	Piano (%)	Guitar (%)	Mean (%)
CI	13.3	16.7	15.0	3.3	23.3	13.3	16.7	16.7	16.7	40.0	50.0	45.0
NH	50.0	56.7	53.4	33.3	63.3	48.3	63.3	60.0	61.7	100.0	100.0	100.0

CI: cochlear implant, NH: normal hearing

다. 이 결과는 멜로디에 대한 친숙도와 관련되었을 가능성이 있는데 본 연구의 대상자의 연령대가 20대임을 고려할 때, 다른 음악 장르에 비해 가곡에 대한 친숙도가 낮았을 것으로 생각되기 때문이다. 반면 민요에서는 51.7%로 가장 높은 수행력을 보였는데, 이는 민요가 우리 민족 고유의 가락으로 명절이나 일상생활에서 대중매체를 통해 오랫동안 익숙하게 들어왔던 멜로디여서 수행력이 높게 나타났을 가능성이 있다. 그 외 TV 음악과 동요도 46.7%와 45%로 비교적 높은 수행력을 보였는데, 이 역시 주변에서 자주 접할 기회가 있었기 때문인 것으로 생각한다. 그러나 선행 연구는 높은 친숙도를 보이는 '생일축하노래'가 15.7%로 가장 낮은 정답률을 보였고 이와는 반대로 전에 경험이 없었던 멜로디를 가진 노래에는 100%의 정답률을 보인 대상자도 존재하였다고 보고하여(Kang et al., 2009) 멜로디검사가 친숙도와 연관이 있는지에 대한 내용은 차후 더 확인이 필요할 것으로 생각한다.

본 연구 결과 음색 지각검사는 정상그룹도 대부분 90% 이하의 수행력을 보이며 다른 검사보다 상대적 어려움 보였고 인공와우 착용그룹은 22.5%로 낮은 수행력을 보였다. 이는 선행 연구의 25.7%의 수행력과 유사한 결과인데(Jung et al., 2010) 여러 악기에 대한 노출 경험이 적기 때문일 것으로 생각된다. 또한 본 연구검사 구성을 위한 예비 연구에서 혼동하기 쉬운 악기로 선정하였기 때문일 가능성도 있다. 본 연구 결과 악기 종류 중 타악기인 피아노와 기타는 정상 청력그룹은 두 개 악기 모두 모두 100%, 인공와우 착용그룹도 각각 40%와 50%로 가장 높은 정답률을 보였다. 두 가지 이유를 생각해볼 수 있는데, 우선 피아노와 기타는 주변에서 가장 쉽게 접할 수 있는 악기 종류이고, 또 하나는 타악기의 음색이 주파수 자극 범위가 좁아 분석하기 쉬운 범위 내에 있기 때문이다. 그러나 정확한 이유는 더 구체적인 연구가 필요할 것으로 생각한다. 선행 연구에서 인공와우를 착용한 경우, 목관악기를 제시하였을 때 금관악기나 현악기를 선택하여 악기 종류를 구분하지 못하는 사례가 있었는데(Nimmons et al., 2008), 본 연구의 인공와우 착용그룹도 그러한 현상이 나타났다. 이러한 현상은 청각장애가 있을 경우 보조기기를 착용하더라도 악기 종류에 따른 차이를 분별하기 어렵기 때문에 발생한 것으로 생각한다.

인공와우 착용그룹 중 C9 대상자는 모든 음악 지각능력검사에서 높은 수행력을 보였는데, 이는 다른 대상자들은 모두 인공와우를 한쪽 귀에만 착용하였으나, 해당 대상자는 왼쪽 귀에는 인공와우, 오른쪽 귀에는 보청기를 착용하였기 때문인 것으로 생각된다. 선행 연구에서도 음악 지각능력 점수가 인공와우 착용그룹보다 보청기 착용그룹에서 더 높았던 사례가 보고되었다. 예를 들어, 보청기 착용그룹은 1.6반음의 차이를 구분할 수 있었던 반면 인공와우 착용그룹은 3.8반음 차이를 구분할 수 있다고 하

였고, 멜로디와 음색 지각검사에서 보청기 착용그룹은 72.5%와 48.8%, 인공와우 착용그룹은 23.6%와 29.2%를 보였다. 이러한 결과는 보청기가 인공와우보다 주파수 분석능력이 더 우수하고 주파수와 시간적 신호의 통합적 정보를 더 잘 전달하기 때문이라고 보고하였다(Choi et al., 2018). 또 다른 연구에서도 인공와우와 보청기를 하이브리드로 착용하였을 때 멜로디 지각능력 과 복합음 지각능력이 높은 점을 보청기를 통한 저주파수의 이득이 전체적인 음악 듣기능력에 보상적 역할을 하였기 때문인 것으로 해석하였다(Sucher & Mcdermott, 2009).

인공와우의 처리 전략 알고리즘은 음악 지각에 영향을 미칠 수 있다. 최근 인공와우 제조사는 음악 지각능력을 향상시키기 위한 전략 알고리즘을 개발하고 있다. 예를 들어 Cochlear사는 Advanced Combinational Encoder라는 처리 전략 알고리즘으로 더 중요한 주파수 밴드를 선별하여 처리하는 방식을 시도하고 있고, Med-El사는 Fine Structure Processing이라는 처리 전략 알고리즘으로 소리의 시간적 정보에 대한 선별 능력을 개선하고자 노력하고 있고, Advanced Bionics사는 Fidelity 120이라는 처리 전략 알고리즘으로 동시다발적인 전극 자극으로 채널 간 주파수 분포 자극을 개선하고 있고, Oticon Medical사는 CrystalisXDP라는 처리 전략 알고리즘으로 다양한 압축 비율을 통해 주파수 분석 전략을 개선하고 있다(Nogueira et al., 2018).

음악 지각능력은 음악 재활훈련을 통해 향상될 수 있다고 여러 연구자들이 보고하고 있다. Besson et al.(2007)은 음악훈련을 청능훈련의 일환으로 병행하면 음악 지각에 대한 뇌 가소성을 활성화할 수 있다고 하였다. 또 다른 연구자들은 언어와 음악을 담당하는 뇌의 부위가 대부분 겹치기 때문에 음악 재활훈련은 음악 지각능력뿐만 아니라 언어 영역 또한 개선될 수 있다고 보고하였다(Gfeller, 2016; Good et al., 2017; Hutter et al., 2015). 그러나 음악 재활훈련을 통한 음악 요소별 지각능력을 비교한 한 연구에서는 분야별로 재활훈련의 효과가 다르게 나타났다. 예를 들어, 피치의 판별 역치가 4.97반음에서 4.58반음으로 개선되고 음색 지각검사의 정답률이 23.6%에서 28.4%로 소폭 개선되는 결과를 보였지만, 멜로디 지각능력은 23.1%에서 22%로 오히려 감소하는 결과를 보였다(Ahn et al., 2019). 청각장애인의 음악 지각능력은 청력손실의 종류와 보조기기의 특성에 따라 다르기 때문에 개개인의 음악 지각 특성을 세부적으로 분석하여 필요한 부분과 향상 가능한 영역을 확인하고 그 특성에 따라 재활 방법을 세부적으로 계획하여야 한다. 본 연구 결과를 바탕으로 좀 더 체계적인 음악 지각능력을 평가하기 위해 피치, 멜로디, 음색 외에도 청력손실이 있어도 인지능력이 우수하다고 알려진 리듬의 구체적 분석능력을 포함하여 멜로디에 사용된 악기의 수, 불협화음과 화음의 구별, 음악에 실린 정서를 확인하는

검사, 조화음 판별능력검사, 음악 인지와 관련된 개별적 상황을 확인하는 설문검사, 언어능력검사, 객관적 검사 등이 보완되어야 할 것으로 생각한다. 추후 이러한 도구로 청각장애인의 음악 지각능력을 구체적으로 분석하고 실질적으로 도움을 줄 수 있는 음악 재활 방법도 체계화되기를 기대한다.

중심 단어 : 음악 지각, 인공와우 착용자, 피치, 멜로디, 음색.

Ethical Statement

The protocol of this study has been approved by the Institutional Review Board of Hallym University (HIRB-2018-074).

Acknowledgments

N/A

Declaration of Conflicting Interests

There are no conflict of interests.

Funding

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF- 2020S1A5A2A01044374).

Author Contributions

Conceptualization: Jinsook Kim. Data curation: Eunsung Lee, Yerim Shin, Jinsook Kim. Formal analysis: Eunsung Lee. Funding acquisition: Jinsook Kim. Investigation: Eunsung Lee, Yerim Shin, Sungmin Jo, Jinsook Kim. Methodology: Eunsung Lee. Project administration: Jinsook Kim. Resources: Eunsung Lee, Jinsook Kim. Software: Eunsung Lee, Jinsook Kim. Supervision: Jinsook Kim. Validation: Yerim Shin, Sungmin Jo. Visualization: Eunsung Lee, Yerim Shin, Sungmin Jo. Writing—original draft: Eunsung Lee. Writing—review & editing: Eunsung Lee, Yerim Shin, Sungmin Jo. Approval of final manuscript: all authors.

ORCID iD

Eunsung Lee <https://orcid.org/0000-0001-6525-3533>
 Yerim Shin <https://orcid.org/0000-0002-2914-6711>
 Sungmin Jo <https://orcid.org/0000-0002-6388-2114>
 Jinsook Kim <https://orcid.org/0000-0003-3440-2393>

REFERENECES

- Ahn, J., Ryu, G., & Cho, Y. S. (2019). Long-term changes in musical perception in Korean cochlear implant patients. *Otology and Neurotology*, *40*(3), 312-320.
- Besson, M., Schön, D., Moreno, S., Santos, A., & Magne, C. (2007). Influence of musical expertise and musical training on pitch processing in music and language. *Restorative Neurology and Neuroscience*, *25*(3-4), 399-410.
- Brown, C. J., Jeon, E. K., Driscoll, V., Mussoi, B., Deshpande, S. B., Gfeller, K., et al. (2017). Effects of long-term musical training on cortical auditory evoked potentials. *Ear and Hearing*, *38*(2), e74-e84.
- Choi, J. E., Won, J. H., Kim, C. H., Cho, Y. S., Hong, S. H., & Moon, I. J. (2018). Relationship between spectrotemporal modulation detection and music perception in normal-hearing, hearing-impaired, and cochlear implant listeners. *Scientific Reports*, *8*(1), 1-11.
- Crew, J. D., Galvin, J. J., 3rd, & Fu, Q. J. (2012). Channel interaction limits melodic pitch perception in simulated cochlear implants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *132*(5), EL429-EL435.
- Feldmann, H. & Kumpf, W. (1988). Listening to music in hearing loss with and without a hearing aid. *Laryngologie, Rhinologie, Otologie*, *67*(10), 489-497.
- Fitzgerald, D., Fitzgerald, H., Brockmeier, S. J., Searle, O., Grebenev, L., & Nopp, P. (2006). *Musical Sounds in Cochlear Implants (MuSIC) Test*. Innsbruck: MED-EL.
- Gfeller, K. (2016). Music-based training for pediatric CI recipients: A systematic analysis of published studies. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases*, *133* Suppl 1(Suppl 1), S50-S56.
- Gfeller, K., Oleson, J., Knutson, J. F., Breheny, P., Driscoll, V., & Olszewski, C. (2008). Multivariate predictors of music perception and appraisal by adult cochlear implant users. *Journal of the American Academy of Audiology*, *19*(2), 120-134.
- Gfeller, K., Witt, S., Adamek, M., Mehr, M., Rogers, J., Stordahl, J., et al. (2002). Effects of training on timbre recognition and appraisal by postlingually deafened cochlear implant recipients. *Journal of the American Academy of Audiology*, *13*(3), 132-145.
- Good, A., Gordon, K. A., Papsin, B. C., Nespoli, G., Hopyan, T., Peretz, I., et al. (2017). Benefits of music training for perception of emotional speech prosody in deaf children with cochlear implants. *Ear and Hearing*, *38*(4), 455-464.
- Gordon, E. E. (2001). *Music Aptitude and Related Tests*. Chicago, IL: GIA Publications, Inc.
- Grey, J. M. (1977). Multidimensional perceptual scaling of musical timbres. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *61*(5), 1270-1277.
- Hall, J. W. (2007). *New Handbook of Auditory Evoked Responses*. London: Pearson.
- Han, W., Kim, S., Lee, E., & Kim, J. (2019). A review of music perception with cochlear implantation. *Korean Journal of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery*, *62*(4), 207-215.
- Hutter, E., Argstatter, H., Grapp, M., & Plinkert, P. K. (2015). Music therapy as specific and complementary training for adults after cochlear implantation: A pilot study. *Cochlear Implants International*, *16* Suppl 3, S13-S21.
- Jung, K. H., Cho, Y. S., Cho, J. K., Park, G. Y., Kim, E. Y., Hong, S. H.,

- et al. (2010). Clinical assessment of music perception in Korean cochlear implant listeners. *Acta Oto-Laryngologica*, 130(6), 716-723.
- Kang, R., Nimmons, G. L., Drennan, W., Longnion, J., Ruffin, C., Nie, K., et al. (2009). Development and validation of the University of Washington clinical assessment of music perception test. *Ear and Hearing*, 30(4), 411-418.
- 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.
- Limb, C. J. & Roy, A. T. (2014). Technological, biological, and acoustical constraints to music perception in cochlear implant users. *Hearing Research*, 308, 13-26.
- Martin, B. A. & Boothroyd, A. (2000). Cortical, auditory, evoked potentials in response to changes of spectrum and amplitude. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(4), 2155-2161.
- McDermott, H. & McKay, C. (2007). *U.S. Patent No. 7,231,257*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Moore, B. C. & Glasberg, B. R. (1988). Gap detection with sinusoids and noise in normal, impaired, and electrically stimulated ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 83(3), 1093-1101.
- Nimmons, G. L., Kang, R. S., Drennan, W. R., Longnion, J., Ruffin, C., Worman, T., et al. (2008). Clinical assessment of music perception in cochlear implant listeners. *Otology and Neurotology*, 29(2), 149-155.
- Nogueira, W., Nagathil, A., & Martin, R. (2018). Making music more accessible for cochlear implant listeners: Recent developments. *IEEE Signal Processing Magazine*, 36(1), 115-127.
- Roy, A. T., Jiradejvong, P., Carver, C., & Limb, C. J. (2012). Musical sound quality impairments in cochlear implant (CI) users as a function of limited high-frequency perception. *Trends in Amplification*, 16(4), 191-200.
- Sek, A. & Moore, B. C. (1995). Frequency discrimination as a function of frequency, measured in several ways. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 97(4), 2479-2486.
- Sucher, C. M. & McDermott, H. J. (2009). Bimodal stimulation: Benefits for music perception and sound quality. *Cochlear Implants International*, 10 Suppl 1, 96-99.
- Tervaniemi, M., Just, V., Koelsch, S., Widmann, A., & Schröger, E. (2005). Pitch discrimination accuracy in musicians vs nonmusicians: An event-related potential and behavioral study. *Experimental Brain Research*, 161(1), 1-10.
- Yang, S. Y., Yun, H. R., Kim, N. Y., Kim, M. S., Kim, D. Y., Lee, H. S., et al. (2010). *Music and Art Concept Dictionary: A Clear View of Music and Art*. Paju: Owlbook.
- Zeng, F. G., Tang, Q., & Lu, T. (2014). Abnormal pitch perception produced by cochlear implant stimulation. *PLoS One*, 9(2), e88662.