



A Study of Music Training for Cochlear Implant Users: Mismatch Negativity and Music Listening Attitude and Satisfaction Questionnaire

Yerim Shin¹, Chaeyeon Yu¹, Sungmin Jo¹, Jeong-Sug Kyong², Jinsook Kim^{1,3}

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

²Department of Audiology and Speech-Language Pathology, Hallym University of Graduate Studies, Seoul, Korea

³Division of Speech Pathology and Audiology, Research Institute of Audiology and Speech Pathology, College of Natural Sciences, Hallym University, Chuncheon, Korea

Received: May 27, 2022

Revised: July 8, 2022

Accepted: July 10, 2022

Correspondence:

Jinsook Kim, PhD
Department of Speech Pathology
and Audiology, Graduate
School, Hallym University, 1
Hallymdaehakgil, Chuncheon
24252, Korea
Tel: +82-33-248-2213
Fax: +82-33-256-3420
E-mail: jskim@hallym.ac.kr

Purpose: The music rehabilitation program (MRP) promotes auditory, language, cognitive, and motor development of the brain. The significance of MRP was studied through mismatch negativity (MMN) and Music Listening Attitude and Satisfaction Questionnaire for hearing loss (MASQ_H). **Methods:** Fifteen adult cochlear implant (CI) users (34.5 years; standard deviation, ± 11.6) participated. MMN was tested before and after MRP training at the stimulus intensity level of 70 and 100 dB hearing loss (HL). In addition, MASQ_H was utilized. **Results:** For the pre- and post-tests of MMN, the average amplitudes of the waveforms were $-2.48 \pm 1.95 \mu\text{V}$ and $-6.11 \pm 4.21 \mu\text{V}$ and the areas were $208.16 \pm 211.59 \mu\text{V}\cdot\text{ms}$ and $527.87 \pm 360.42 \mu\text{V}\cdot\text{ms}$ with the significant difference when the stimulus level was presented at 70 dB HL. For MASQ_H, 90.9% of the participants responded that they felt satisfied with listening to music using CI or hearing aid. When asked about the musical factors that were improved in the music listening, the 'pitch perception' and 'timbre perception' were responded showing increased satisfaction rates. **Conclusion:** This study confirmed that MRP improved language processing by facilitating auditory processing, cognitive ability, and neural plasticity of the central auditory system through the increased amplitude and area of MMN after MRP application. Furthermore, providing a systematic music training such as MRP could change the music listening attitudes and satisfaction of the CI users'. The active implementation of music rehabilitation is strongly suggested.

Key Words: Music rehabilitation program, Cochlear implant user, Mismatch negativity, Music listening attitude, Music listening attitude and satisfaction questionnaire.

INTRODUCTION

음악은 비언어적 의사소통의 창구로 이를 감상하며 즐기는 행위는 하나의 문화생활로 삶의 질을 향상시킬 수 있고, 정서적 안정을 위한 수단으로 사용되기도 한다. 청각장애인 또한 음악 청취에 대한 욕구가 높지만 청력손실이 실질적인 음악지각 능력을 방해하는 것으로 알려져 있다(Brockmeier et al., 2011; Nimmons et al., 2008). 실제로 청각장애인의 음악지각 능력은 피치, 멜로디, 음색과 같은 기본 요소의 지각 능력뿐 아니라

여러 음악적 요소가 복합된 형태의 지각 능력에도 어려움이 있는 것으로 나타났다(Jiam & Limb, 2020; Looi et al., 2012). 따라서 이러한 청각장애인의 음악지각의 어려움을 해소시키고자 시행된 많은 선행 연구들은 음악 훈련을 개발하였고, 그 결과 긍정적인 효과가 보고되어(Chen et al., 2010; Galvin et al., 2007; Petersen et al., 2012; Putkinen et al., 2014) 음악 훈련의 효과가 입증되었다. 음악 경험은 음악지각 영역 외에도 청각, 인지, 운동 영역 등 두뇌 전체에 걸쳐 다른 영역들을 활성화시키므로(Black, 1997; Kim, 2000) 음악 훈련은 청각적, 언어적, 인지적, 운동적 발달을 촉진시키기 위한 목적으로도 널리 사용될 수 있다.

음악가와 보통 사람의 뇌가 구조적으로 어떠한 차이가 있는지

© 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.

확인 연구에서는 음악가는 보통 사람보다 소리를 처리하는 좌반구의 측두 평면(planum temporale)이 더 크고, 일차 청각 피질인 Heschl's gyrus 영역과 좌-우반구를 연결하는 신경조직인 뇌량(corpus callosum)의 회백질이 더 두꺼운 것으로 나타났다(Jäncke, 2009; Schlaug et al., 1995). 또한 음악가는 새로운 규칙을 갖는 청각 신호가 들어왔을 때에도 이를 이차 청각 피질에서 처리하는 신경 인코딩(encoding)의 속도가 비음악가보다 더 빠른 것으로 확인되어(Herholz et al., 2011) 음악이 뇌의 청각 영역을 촉진시키는 것으로 나타났다.

뇌 영상 연구에서는 복잡한 음악을 처리할 때 활성화되는 뇌 영역이 언어처리 영역과 연관성이 있음을 보고하였고(Vuust & Roepstorff, 2008), 음악 훈련이 음악의 피치, 멜로디, 음색 정보를 지각하는 데에 기여할 뿐 아니라 언어적 능력에도 영향을 미친다고 설명하였다(Choi et al., 2017; Yucel et al., 2009). 또한 인공와우 착용 아동을 대상으로 리듬, 멜로디, 박자, 악기 연주 및 노래 가사 익히기 활동을 포함한 음악청능 훈련을 10주간 실시하였을 때 단어인지도와 문장인지도에서 유의미한 점수의 향상을 보였다(Choi et al., 2017). 더욱이 음악 훈련은 말소리의 분절적 요소 외에 운율과 같이 비구어적 언어로 의미가 전달되는 초분절적 요소를 지각하는 데에도 긍정적인 영향을 줄 수 있고 멜로디 선율의 변화를 지각하는 수준이 말소리 운율의 변화를 지각하는 수준과 연관이 있는 것으로 나타나(Kim et al., 2017), 특정 음악 훈련은 음량, 속도 및 음고 차이로 조절되는 말소리의 운율적 정보 처리에 도움이 될 수 있다고 하였다(Petersen et al., 2012). Besson et al.(2007)은 피치와 멜로디 훈련을 실시한 정상 그룹이 연극 레슨을 받은 그룹보다 말소리의 운율적 신호를 지각하는 능력이 향상되었다고 보고하여 피치와 멜로디 훈련의 효과를 입증하였다.

작업기억(working memory)은 사건을 통계적으로 학습하여 다음 사건을 예상할 수 있는 능력으로 음악 듣기에서는 멜로디를 외우는 능력 또는 화음의 진행을 따라가며 듣는 능력으로 나타나는데 음악가는 이러한 작업기억 능력을 강화시킬 수 있는 것으로 나타났다(Pesnot Lerousseau et al., 2020). 그러나 인공와우 착용 아동들은 구어와 비구어 작업기억 능력이 손상되어 있는 것으로 알려져 있다(AuBuchon et al., 2015). 다행히 음악 훈련 프로그램 참여가 청각적 작업기억 능력 향상으로 나타난(Torppa et al., 2014) 연구 결과로 음악 훈련은 청각장애로 손상된 작업기억 능력에 긍정적 역할을 하는 것으로 입증되었다.

노래 리듬에 맞추어 움직이는 신체적 활동이나 악기를 연주하는 음악 훈련은 운동 기능과 결합된 활동이므로 운동 신경망에도 영향을 줄 수 있는데(Baumann et al., 2007; Chen et al., 2008), 15개월 동안 악기 연주 훈련을 받은 6세 아동들은 비훈련 아동 그룹과 비교하였을 때 연주법의 습득뿐만 아니라 연주

와 관련된 뇌 영역, 운동피질, 청각피질 및 교량에도 구조적인 변화가 나타났다고 보고하였다(Jäncke, 2009).

이렇게 음악 훈련은 뇌의 광범위한 영역을 발달시키며 특히 청력손실 후 활성화되어야 할 청각신경계의 가소성을 효율적으로 촉진한다. 음전위부정합(mismatch negativity, MMN) 반응은 자주 제시되는 기본음에 무작위로 제시되는 변이음의 차이를 전주의적 단계에서 변별 및 인지하는 능력을 전기생리학적으로 보여주는데, 학습, 훈련, 경험 등의 효과를 확인하는 객관적 지표로 훈련으로 발생하는 뇌가소성의 촉진 정도를 분석할 수 있는 검사이다(Hall, 2007). 정상 청력 아동을 대상으로 음악 훈련을 받은 그룹과 받지 않은 그룹으로 나누어 MMN 반응을 분석한 선행 연구에서는 음악 훈련을 받은 그룹이 받지 않은 그룹보다 피치, 리듬, 음색의 변이음에 대하여 더 큰 MMN 진폭을 보여 음악 훈련이 뇌에 미치는 긍정적인 영향을 확인하였다(Putkinen et al., 2014). 따라서 본 연구는 인공와우 착용자를 대상으로 Shin et al.(2022)이 개발한 음악 재활 프로그램(music rehabilitation program, MRP) 전후에 MMN 검사를 실시하여 음악 훈련이 청각적 처리와 인지 능력에 미치는 영향을 객관적 자료로 분석하고자 한다. 또한 주관적 평가로 음악 감상 태도 및 만족도 설문지와 MRP 효과 평가지를 이용하여 음악 훈련을 통한 음악 청취 태도 및 만족도의 차이를 확인하고자 한다. 이러한 객관적, 주관적 분석으로 청각장애인을 위한 음악 훈련이 뇌 발달 음악 감상 태도에 미치는 영향을 좀 더 구체적으로 분석하여 음악 훈련을 재활에 접목하여야 하는 중요성을 입증하고자 한다.

MATERIALS AND METHODS

연구 대상

본 연구는 인공와우 착용 성인 15명(남성 5명, 여성 10명)을 대상으로 실시하였다. 대상자의 평균 연령은 34.5 ± 11.6 세였고, 인공와우 이식 귀는 우측 귀 10명, 좌측 귀 7명으로 이 중 인공와우 양이 착용자는 2명, bimodal (cochlear implant [CI]+hearing aid [HA]) 착용자는 8명이었다(Table 1). 보장구 착용 후 순음 평균 역치는 우측 귀는 41.8 ± 18.8 dB hearing loss (HL), 좌측 귀는 44.4 ± 16.7 dB HL였다. 순음 평균 역치 기준으로 30~40 dB SL의 강도에서 어음인지역치(speech recognition threshold)를 측정된 결과 우측 귀는 50.5 ± 10.1 dB HL, 좌측 귀는 62.0 ± 7.1 dB HL였다. 대상자에게 가장 편안하게 들리는 강도에서 단어인지도(word recognition score)를 측정된 결과 우측 귀는 $70.9\% \pm 25.1\%$, 좌측 귀는 $67.7\% \pm 20.3\%$, 양측 귀는 $75.6\% \pm 18.7\%$ 였다. 참가 대상자는 이전에 음악 훈련을 받거나 음악 관련 학습을 받은 적 없다고 진술

Table 1. Demographic data of the subjects included in this study

Subject	Gender	Age (yr)	Onset of HL	Duration of HL	Aided type		Duration of device use		CI speech processor	
					Rt	Lt	Rt	Lt	Rt	Lt
C1	F	19	2	17	CI	-	17	-	Nucleus 7	-
C2	M	21	8	13	CI	HA	14	14	Nucleus 7	-
C3	M	46	10	36	CI	HA	14	29	Kanso 1	-
C4	F	37	13	24	CI	HA	15	22	Nucleus 6	-
C5	F	49	38	11	HA	CI	11	3	-	Nucleus 7
C6	M	48	5	43	CI	HA	15	43	Nucleus 6	-
C7	F	25	2	23	HA	CI	24	15	-	NaidaQ90
C8	F	40	2	38	-	CI	-	39	-	Kanso 1
C9	F	48	22	26	HA	CI	25	6	-	Kanso 1
C10	F	46	2	44	CI	CI	2	2	Kanso 1	Kanso 1
C11	F	19	1	18	CI	CI	10	1	Harmony	Kanso 1
C12	F	28	3	25	CI	HA	4	2	Nucleus 7	-
C13	M	21	0	21	CI	-	9	-	Nucleus 5	-
C14	M	37	19	18	CI	-	5	-	Kanso 1	-
C15	F	35	7	28	-	CI	-	5	-	Kanso 1

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

한 경우 선정하여 연구를 진행하였다. 본 연구의 내용 및 절차는 한림대학교 생명윤리위원회로부터 승인받았다(IRB 승인번호: HIRB-2021-005).

음악 재활 프로그램(MRP)의 진행

MRP는 한국의 고유한 문화를 바탕으로 한 독특한 음악 정서가 고려되어 청각장애인을 위해 개발된 한국형 음악 재활 프로그램으로 '아리랑', '푸른 하늘 은하수' 등 한국인에게 친숙한 멜로디와 가야금, 아쟁 등 우리나라 고유의 민속악기를 포함한 프로그램으로 구성하였다. 피치, 멜로디, 리듬, 음색, 음악 감정 훈련으로 음악의 기본 구성 요소별 훈련으로 나누어 총 16회기의 훈련으로 분석적 접근법, 종합적 접근법이 적용된 활동들로 구성되었다(Shin et al., 2022).

MRP는 2개월 동안 주 2회씩 진행되었고, 자기주도 재택 훈련(self-directed home training)으로 연구원이 제공하는 각 회기의 활동 자료를 대상자가 가정에서 직접 수행하는 방식으로 실시하였다. 활동 자료는 온라인 파일로 제공하였으며 파일에는 활동의 수행 방법을 알려주는 설명글과 시각 자료, 활동음을 자유롭게 듣고 연습할 수 있는 음원, 활동 과제가 포함되었다. 활동 과정은 답을 표시할 수 있는 선택지가 함께 제시되어 있어 대상자가 답안을 표시한 후 대상자에게 답지를 제공하여 대상자가 자가 채점 및 오답 정리를 하도록 하였다.

평가 방법

음악 훈련 전과 후에 음악지각 능력의 객관적 평가 도구로 MMN 반응검사와 주관적 평가로 Music Listening Attitude and Satisfaction Questionnaire for hearing loss (MASQ_H) (Shin et al., 2021)를 실시하였다.

MMN 반응검사는 Bio-Logic Navigator Pro (ver 7.2.1; Natus Medical Incorporated, Mundelein, IL, USA)와 헤드폰(TDH-39; Telephonics Corporation, Farmingdale, NY, USA)을 사용하였다. 활성 전극을 Cz에, 기준 전극을 Fpz에, 접지 전극을 Fz에 부착하였다. 기본음(frequent stimulus) 750과 2,000 Hz의 tone burst를 변이음(infrequent stimulus)으로 사용하여 제시 속도는 1.1/second, 80%와 20%의 비율로 무작위하게 총 50번 제시하였다. 두 가지 강도 조건에서 측정하였는데, CI 착용 시 70 dB, CI 미착용 시 100 dB이었다. 검사 시 대상자가 자극음에 집중하지 않도록 속으로 노래를 부르거나 구구단을 외우게 하였다. 수집된 반응은 1~30 Hz 대역통과 필터로 통과시켰고 90 μ V를 넘는 반응은 눈의 움직임과 근육 움직임 등으로 인한 잡파로 간주하여 제거하였다. 반응 기록시간은 자극 전 100 ms와 자극 후 319.8 ms로 자극 전 얻은 반응을 기초선(baseline)으로 하여 자극 후 반응을 확인하였다.

MASQ_H는 총 26개 문항이 세 개의 섹션으로 구성되었는데, 첫 번째는 청력손실과 보청기의 기본 정보 및 보청구 착용 후 각 음악 구성 요소에 따른 음악 감상 만족도를 묻는 10개의 문

항, 두 번째는 일상생활에서 음악 감상을 하는 빈도와 양상을 묻는 8개의 문항, 세 번째는 음악의 장르와 감상 환경에 따른 음악 감상의 만족도를 묻는 8개의 문항으로 구성하였으며 만족도 문항은 5개 척도(scale), 빈도 문항은 2개 척도의 객관식과 주관식으로 응답하도록 구성되어 있다(Shin et al., 2021).

자료 분석

자료 분석을 위해 SPSS 프로그램(version 25; IBM Corporation, Armonk, NY, USA)을 이용하였다. 음악 훈련 전과 후의 MMN 반응 차이를 비교하기 위해 대응 표본 *t* 검정(matched pair *t* test)을 실시하였다. 통계적 유의 수준은 $p < 0.05$ 에서 검정하였다.

RESULTS

MRP 전과 후의 음전위부정합(MMN) 반응 비교

자극음의 강도가 70 dB HL인 경우, 훈련 전과 후의 MMN 반응 영역은 $208.16 \pm 211.59 \mu\text{V}\cdot\text{ms}$ 와 $527.87 \pm 360.42 \mu\text{V}\cdot\text{ms}$ 였고, 정점의 잠복기는 $200.20 \pm 33.03 \text{ ms}$ 와 $242.60 \pm 31.60 \text{ ms}$ 였고, 진폭은 $-2.48 \pm 1.95 \mu\text{V}$ 와 $-6.11 \pm 4.21 \mu\text{V}$ 였다. 자극음의 강도가 100 dB HL인 경우, 훈련 전과 후 MMN 반응의 영역은 $248.51 \pm 355.87 \mu\text{V}\cdot\text{ms}$ 와 $248.69 \pm 275.57 \mu\text{V}\cdot\text{ms}$ 였고, 정점의 잠복기는 $209.67 \pm 32.54 \text{ ms}$ 와 $202.70 \pm 49.99 \text{ ms}$ 였고, 진폭은 $-2.93 \pm 3.46 \mu\text{V}$ 와 $-3.58 \pm 2.87 \mu\text{V}$ 였다. 훈련 전후 차이의 통계적 유의성을 분석한 결과, 자극음의 강도가 70 dB HL 일 때 파형의 진폭과 면적은 유의미한 차이가 나타났다($t[16] = 3.097, p < 0.01$; $t[16] = -3.028, p < 0.01$; Table 2, Figure 1).

음악 감상 태도 및 만족도 설문지(MASQ) 결과

음악 감상 태도와 만족도에 변화가 있는지 확인하기 위하여 훈련 전후에 MASQ_H를 실시하였다. 첫 번째 섹션에서 훈련 전후의 보장구를 통한 평상시 소리 듣기 만족도는 ‘매우 만족’은 18.2%에서 36.4%로 18.2%가 증가하였고, ‘만족’은 81.8%에서 45.5%로 36.2%가 감소하였고, ‘보통’은 0%에서 18.2%로 18.2%가 증가하였다. 보장구를 통한 음악 감상의 만족도는 ‘매우 만족’은 27.3%, ‘만족’은 63.6%, ‘보통’은 9.1%로 동일하였다. 보장구를 착용하지 않고 음악 감상을 한 경험은 ‘있다’가 45.5%, ‘없다’가 54.5%로 훈련 전후에 동일하였고, 이 중 ‘있다’라고 응답한 경우는 보장구를 착용하였을 때가 착용하지 않았을 때보다 음악 감상이 더 만족스러웠다고 하였다. 음악 감상을 할 때 가장 어려운 음악 듣기의 요소를 훈련 전후로 비교하였을 때, ‘음의 높낮이 인지’가 훈련 전후 27.3%에서 18.2%로 9.1% 감소하였고, ‘노래가사 이해력’이 36.4%에서 18.2%로 18.2% 감소하였으나, ‘멜

Table 2. The comparison of onset, peak, offset latency (msec), amplitude (μV), and area ($\mu\text{V}\cdot\text{ms}$) of MMN response between pre- and post-tests according to the intensity level

Intensity	Pre-test	Post-test	<i>p</i> -value
70 dB HL			
Latency			
Onset	158.52 ± 35.82	155.53 ± 29.70	0.802
Peak	200.20 ± 33.03	199.51 ± 31.60	0.954
Offset	243.92 ± 32.06	242.60 ± 41.02	0.918
Amplitude	- 2.48 ± 1.95	- 6.11 ± 4.21	0.007**
Area	208.16 ± 211.59	527.87 ± 360.42	0.008**
100 dB HL			
Latency			
Onset	173.71 ± 27.03	165.48 ± 48.65	0.553
Peak	209.67 ± 32.54	202.70 ± 49.99	0.621
Offset	250.10 ± 27.59	231.40 ± 62.03	0.220
Amplitude	- 2.93 ± 3.46	- 3.58 ± 2.87	0.617
Area	248.51 ± 355.87	248.69 ± 275.57	0.832

Values are presented as mean ± standard deviation. MMN: mismatch negativity, HL: hearing loss. ** $p < 0.01$

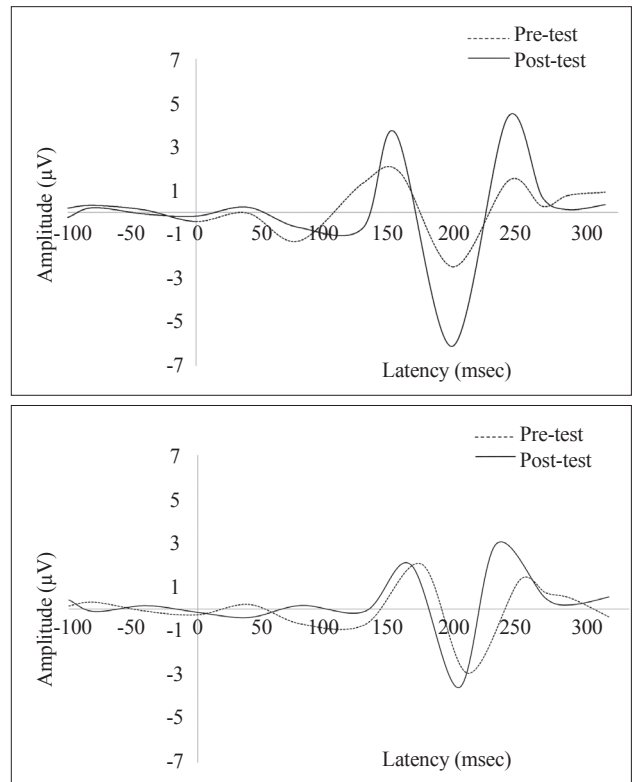


Figure 1. The average waveform of mismatch negativity (MMN) for pre- and post- music rehabilitation program (MRP) training. The dotted lines indicate the results of the pre-MRP and the solid lines indicate the results of the post-MRP. The upper and lower graphs indicate the results of 70 and 100 dB HL, respectively.

로디 인지'는 18.2%에서 36.4%로 18.2% 증가하였고, '음색 인지'도 18.2%에서 27.3%로 9.1% 증가하였다. 음악 감상에서 가장 좋아진 음악 듣기의 요소는 '음의 높낮이 인지'로 훈련 전과 후의 차이가 27.3%로 매우 향상되었고, '음색 인지'가 9.1%로 조금 향상된 것으로 나타났다. 음악 감상에서 가장 향상시키고 싶은 음악 듣기의 요소는 '음의 높낮이'와 '멜로디'로 훈련 전과 후의 차이가 9.1% 증가하였고, '음색'이 9.1% 감소하였고, '노래가사 이해력'이 9.1% 감소하였다.

두 번째 섹션인 일상생활에서 음악 감상을 하는 빈도와 양상을 훈련 전후로 비교하였을 때, 모든 대상자들은 훈련과 상관없이 음악 감상을 자주한다고 응답하였다. 훈련 전과 후를 비교할 때 음악 감상을 하는 평균 횟수는 일주일에 5.26일에서 6일로 증가하였으나, 하루 평균 시간은 2.73시간에서 2.56시간으로 다소 감소하였다. 음악을 주로 듣는 시간은 '휴식시간'이 27.2% 증가하였고, '대중교통 이용 중'이 9.1%가 증가하였고, '가벼운 가사일'을 하는 중이 9.1%가 증가하였고, '운동시간 중'이 9.1%가 증가하여 음악을 듣는 환경이 활동 중에 증가되었다. 그러나 '수면 전후'는 9.1%가 감소하였고, '집중하는 시간 중'은 9.1%가 감소하였고, '항상'은 18.2%로 감소하였고, '근무 중'은 변화가 없었다. 훈련 전후의 주로 감상하는 음악의 장르는 '발라드'가 9.1% 감소하였으나, '락'은 18.2%가 증가하였고, '트로트', '재즈', '클래식', '국악'은 9.1% 증가하였고, '댄스'와 '힙합&랩'은 변화가 없어서 감상하는 음악 장르의 폭이 조금 넓어졌다. 훈련 전과 후 선호하는 노래 소리는 '여성 노래 소리'가 45.5%, '남성 노래 소리'가 54.5%로 동일하였다. 노래하는 목소리 수에 대한 선호도도 '독창'이 81.8%, '2~3인'이 9.1%, '3~5인'이 9.1%로 훈련 전후의 결과가 동일하였다. 훈련 전후에 좋아하는 악기 소리를 주관식으로 자유롭게 적었을 때 '기타'와 '바이올린'이 18.2%가 증가하였고, '베이스 드럼'이 9.1%가 증가하였으나, '피아노'는 9.1%가 감소하였고, '비올라'와 '클라리넷'도 9.1% 감소하였다.

세 번째 섹션에서는 음악의 장르와 감상 환경에 따른 음악 감상의 만족도를 비교하였다. 훈련 전과 후를 비교하였을 때, 연주해본 적이 있거나 친숙한 악기로 연주된 음악을 들을 때의 감상 만족도는 '매우 만족'이 9.1%가 감소하였으나, '만족'은 18.1%가 증가하였고, '보통'은 9.1% 증가하여 전반적인 만족도가 증가하였다. 일상에서 자주 접했거나 친숙한 음악 감상 만족도는 '매우 만족'이 9.1%가 증가하였고, '만족'은 9.1%가 감소하였다. 연주해본 적이 없거나 생소한 악기로 연주된 음악을 들을 때의 감상 만족도는 '매우 만족'이 9.1% 감소하였고, '만족'은 9.1% 증가하였고, '보통'은 변화가 없었다. 일상에서 접해보지 못했거나 낯선 음악을 들을 때의 감상 만족도는 '매우 만족'은 9.1%가 감소하였고, '만족'은 9.1%가 증가하였고, '보통'은 18.1%가 감소하였고, '불만족'은 18.2%가 증가하였다. 훈련 전과 후의 음악을 들

을 때 선호하는 악기의 수는 '1개의 악기'가 27.3%, '2~3개의 악기'는 45.5%, '3~5개의 악기'는 27.3%로 동일하였다. 조용한 상황에서 음악 듣기의 만족도가 '매우 만족'은 훈련 전후에 9.1%가 증가하였고, '만족'은 9.1%가 감소하였다. 배경 소음이 있는 상황에서 음악 듣기의 만족도는 훈련 후 만족도가 많이 증가하였는데 '만족'은 훈련 전후에 18.2%가 증가하였고, '보통'은 36.3%가 증가하였고, '불만족'은 18.2%가 감소하였다. 그러나 라이브로 연주된 음악 듣기의 만족도는 훈련 전과 후에 변화가 없었다. 전자 기기 또는 핸드폰을 통해 녹음된 음악의 듣기 만족도도 '매우 만족'은 9.1%가 증가하였고, '만족'은 9.1%가 증가하였고, '보통'은 18.2%가 감소하여 훈련 후 만족도가 증가하였다. 마지막으로 음악 감상을 자주할 계획은 대상자 모두가 '있다'라고 동일하게 응답하여 음악 감상을 하고 싶은 의지가 있음을 표현하였다.

DISCUSSIONS

본 연구는 인공와우 착용자 대상으로 2개월 동안 MRP를 시행한 뒤 객관적 평가인 MMN 반응검사의 훈련 전후 결과 비교를 통해 음악지각 능력의 향상을 전기신경학적으로 확인하였다. 또한 주관적 평가인 MASQ_H 설문지를 통해 음악 감상 태도의 변화를 살펴보았다. 이를 통해 음악 재할이 뇌 발달과 음악 감상 태도에 미치는 영향을 주관적, 객관적으로 분석하였다.

음악 훈련 전후 결과 MMN 반응의 증가는 선행 연구에서 나타났다. 구체적으로, 음악 훈련을 받은 그룹과 받지 않은 그룹의 MMN 반응을 9세부터 13세까지 추적하여 확인한 종단적 연구에서, 두 그룹이 11세일 때, 음악 훈련을 받은 그룹은 받지 않은 그룹보다 피치, 리듬, 음색의 변이음에 대한 MMN 반응이 유의미하게 컸고, 13세일 때는 멜로디의 변이음에 대한 MMN 반응도 증가하였다(Putkinen et al., 2014). 이러한 현상은 음악 청취가 뇌를 긍정적으로 자극하는 것으로 해석되었는데, 음악이 여러 주파수 및 시간적 정보가 복합된 형태의 자극음으로 청각 피질과 해당 피질 하 영역을 자극하고 활성화시키며(Black, 1997; Koelsch, 2014), 이를 처리하고 해석하는 과정은 청각적 처리와 인지 능력을 향상시킨다고 보고되었기 때문이다(Herholz et al., 2011). 또한 음악적 요소를 변별하고 지각하는 훈련이 축적되어 중추 청각 시스템의 신경 가소성을 일으키는 것으로 나타났다(Putkinen et al., 2014). 추후 더 많은 대상자로 인공와우 착용구에 따른 좌우 MMN 차이를 분석하면 MRP를 통한 뇌 영역의 변화를 구체적으로 평가하는 데 도움이 될 것으로 생각한다.

인공와우를 착용한 상태에서 자극음을 70 dB HL의 강도로 제시하여 MMN 반응을 측정하였을 때, 진폭은 훈련 전과 후는 -2.48 μ V와 -6.11 μ V로 유의미하게 증가하였고, MMN의 영

역도 훈련 전과 후에 208.16 $\mu\text{V}\cdot\text{ms}$ 와 527.87 $\mu\text{V}\cdot\text{ms}$ 로 유의미하게 넓어져서 MRP 재활이 청각적 정보에 대한 변별 능력의 정도와 깊이가 증가한 것으로 해석될 수 있다(Sandmann et al., 2010).

따라서 훈련 후 MMN 파형의 진폭과 영역이 증가한 결과를 통해 MRP가 청각적 처리와 인지 능력을 향상시키고 중추 청각 시스템의 신경 가소성을 활성화시켜 언어 처리 능력이 향상되게 한다는 점을 객관적으로 확인하였다.

그러나 잠복기는 두 자극음을 변별하기 시작하는 시간을 나타내고 감소된 잠복기는 청각 피질의 신경학적 반응시간이 짧아진 것으로 청각적 변별의 처리 속도가 빨라진 것을 의미하는데(Kärgel et al., 2014), 음악 훈련 후 유의미한 변화가 나타나지 않아 음악 훈련이 청각적 신호 처리 속도에는 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

본 연구에서, 인공와우를 착용하지 않은 상태에서 자극음의 강도를 100 dB HL로 제시하여 MMN을 측정하였을 때 훈련 전후 파형의 잠복기, 진폭 및 영역에 유의미한 차이가 없었다. 실제로 MMN의 진폭은 자극음의 강도가 클수록 증가하는데(Salo et al., 1999), 청력손실이 클 경우 자극음의 전달이 어려워져 MMN 반응이 부재한다고 보고된 바 있어(Ortmann et al., 2017) 인공와우를 착용하지 않은 상태에서 제시한 100 dB HL의 자극음 강도는 기본음과 변이음 차이를 전달하기에 충분하지 않았으리라 생각된다.

본 연구에서 측정된 MMN 반응은 기본음 750 Hz와 변이음 2,000 Hz의 tone burst음을 사용하여 비교적 넓은 간격의 차이를 감지한 반응이라 할 수 있다. 그러나 MMN 측정 시, 자극음의 차이가 적을수록 MMN의 진폭이 감소한다고 보고하였다(Salo et al., 1999). Petersen et al.(2015)에 의하면 기본음과 변이음의 음의 높낮이 차이를 2반음과 4반음으로 두었을 때, 두 조건에서 모두 인공와우 착용자에게 MMN 반응이 부재한 것으로 확인하였고, 이는 행동적 검사에서도 해당 반응 차이에 대한 낮은 변별력을 보여 객관적 검사와 주관적 검사 간의 일치성이 확인되었다. 따라서 추후에는 MMN 측정 시 기본음과 변이음의 주파수 간격을 좁은 간격부터 넓은 간격까지 다양하게 프로토콜을 설정하여 음악 훈련의 효과를 세부적으로 분석하면 어느 정도 청각장애인의 MMN 검사에 간격이 적절한지 확인할 수 있을 것으로 생각한다.

MASQ_H 설문지 결과, 평소에는 듣는 일반적인 소리에 대한 듣기 만족도는 훈련 전후에 매우 만족한다고 응답한 비율이 18.2%에서 36.4%로 증가하였으나 음악 감상에 대한 만족도는 90.9%로 동일하게 나타나서 훈련과 상관없이 높은 것으로 나타났다. 훈련 전 음악 감상에서 어려운 부분으로 응답이 많았던 내용은 노래가사 이해력이 36.4%, 음의 높낮이 인지가 27.3%였는데 훈

련 후에는 멜로디 인지가 36.4%, 음색 인지가 27.3%로 나타났다. MRP 재활 후, 음악 감상에서 가장 좋아진 부분을 묻는 문항에서 음의 높낮이 인지 36.4%, 노래가사 이해력 27.3% 순으로, 훈련 후 음의 높낮이 인지와 특히 어려움을 호소했던 노래가사 이해력 향상에 도움이 된 것으로 나타났다. 특히 훈련 전 인지하지 못했던 멜로디와 음색 인지에 대해서도 민감하게 들을 수 있는 능력이 향상된 것으로 나타났다.

주로 감상하는 음악 장르는 훈련 전후에 종류가 다양해졌는데, 이는 음악을 즐기는 폭이 넓어진 것으로 해석할 수 있다. 또한 인공와우 착용자는 주로 발라드 음악을 감상하는 것으로 나타났다. 이는 인공와우 착용자가 느린 템포와 가수의 목소리나 악기 종류가 단순한 노래를 선호하는 특성에 의한 것으로 설명할 수 있다(Kwon, 2019). 그러나 노래를 들을 때 선호하는 목소리의 수는 독창을 선호한다고 81.8%가 응답한 반면에 악기의 수는 1개의 악기가 27.3%, 2~3개가 45.5%, 3~5개가 27.3%로 2~3개 악기 수의 연주를 가장 선호하는 것으로 나타났다. 이는 인공와우 착용자는 1개의 악기보다 2~3개 악기가 형성하는 화음을 더 선호하는 것으로 해석할 수 있다. 또한 음악 훈련은 노래하는 목소리의 수나 연주하는 악기의 수에 대한 선호도에 영향을 주지 않아 훈련 전후 응답률이 변화가 없었다. 모든 대상자들이 음악 감상을 자주할지에 대한 계획의 여부에 대해서 훈련 전과 후 모두 '있다'라고 응답하여 인공와우 착용자들은 음악 훈련과 상관없이 음악 듣기에 대한 높은 욕구가 높은 것으로 나타났다.

본 연구는 성인 인공와우 착용자를 대상으로 음악 훈련을 실시하여 청각 정보 처리와 인지 능력이 증가하고 음악을 감상하는 태도와 만족도가 변화된 것을 확인하였으나, 추후에는 다양한 연령대의 청각장애인에게 시행될 필요가 있을 것으로 생각된다. Watanabe et al.(2007)에 따르면, 음악 훈련을 통한 뇌의 발달은 어린 나이일수록 효과적으로 나타나는데 7세 이전에 음악 훈련을 받은 그룹이 그 이후에 훈련을 받은 그룹이나 훈련을 받지 않은 그룹보다 시각운동성 시간적 동조화(visuomotor temporal synchrony)가 더 강화되었다고 보고되었다. 뿐만 아니라 여러 선행 연구자들은 신생아들이 선천적으로 가지고 있는 리듬을 지각하는 능력으로 양육자의 리드미컬하고 반복된 리듬 패턴의 말소리를 듣고 양육자와 상호작용하는 등 의사소통적 음악성(communitive musicality)을 갖고 있다고 보고하였다(Flohr & Trevarthen, 2008; Winkler et al., 2009). 게다가 신생아도 성인처럼 노래를 듣고 특정한 피치, 리듬, 화음을 선호한다고 보고하였는데(Flohr, 2005; Trainor & Zacharias, 1998), 이 또한 영유아도 음악을 들을 수 있는 선천적인 감각을 가지고 있는 것으로 해석할 수 있어 청각장애 영유아에게 조기 음악 청능 훈련을 실시하는 것은 매우 효율적인 청능 훈련 방법

일 수 있다.

음악 훈련은 노인에게도 효과적인 훈련 도구로서 활용될 수 있는데 Herholz & Zatorre(2012)는 음악적 경험이 말소리를 신경학적으로 분석하고 처리하는 능력, 청각 작업기억 용량, 소음 속 듣기 능력의 노화를 지연시킨다고 보고하였다. 다발성 경화증 환자들을 대상으로 한 연구에서는 노래 멜로디를 입혀서 단어들을 외웠을 때 단어들의 순서를 구어로 외웠을 때보다 더 잘 회상하고 기억한다고 보고하여 신경학적 질병이 있는 노인에게 음악을 활용한 훈련이 효과적인 기억법을 제공하는 것을 증명하였고, 이는 음악이 학습 중에 전전두피질에서 더 강한 신경 동조화를 일으키기 때문으로 설명하였다(Thaut et al., 2014). 이렇게 음악 훈련은 노인의 말소리 인지 능력, 소음 속 듣기 능력, 청각 작업기억의 노화를 지연시킬 수 있는 훌륭한 청능 훈련의 한 방법이 될 수 있다. 결론적으로 음악 재활은 뇌의 청각적 정보 처리와 인지 능력을 향상시키고 뇌의 가소성을 촉진하며 음악 감상 태도에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 생각되어 신생아부터 노인까지 청각장애의 모든 연령대에서 청능 재활의 중요한 요소가 되어야 할 것이다.

중심 단어: 음악 재활 프로그램, 인공와우 착용자, 음전위부정합, 음악 감상 태도, 음악 감상 태도 및 만족도 설문지.

Ethical Statement

This study was approved by the Institutional Review Board of Hallym University (HIRB-2021-005).

Acknowledgments

N/A

Declaration of Conflicting Interests

There is 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, Jeong-Sug Kyong. Data curation: Yerim Shin, Sungmin Jo. Formal analysis: Yerim Shin, Sungmin Jo. Funding acquisition: Jinsook Kim. Investigation: Jinsook Kim. Methodology: Jinsook Kim, Yerim Shin, Sungmin Jo, Jeong-Sug Kyong, Chaeyeon Yu. Project administration:

Jinsook Kim, Sungmin Jo. Resources: Jinsook Kim, Jeong-Sug Kyong. Software: Yerim Shin, Sungmin Jo. Supervision: Jinsook Kim, Jeong-Sug Kyong. Validation: Jinsook Kim, Sungmin Jo, Chaeyeon Yu. Visualization: Jinsook Kim, Jeong-Sug Kyong, Sungmin Jo. Writing—original draft: Jinsook Kim, Yerim Shin, Chaeyeon Yu. Writing—review & editing: Jinsook Kim, Yerim Shin, Sungmin Jo, Chaeyeon Yu.

ORCID iD

Yerim Shin <https://orcid.org/0000-0002-2914-6711>
 Chaeyeon Yu <https://orcid.org/0000-0001-9709-9761>
 Sungmin Jo <https://orcid.org/0000-0002-6388-2114>
 Jeong-Sug Kyong <https://orcid.org/0000-0003-0798-0059>
 Jinsook Kim <https://orcid.org/0000-0003-3440-2393>

REFERENCES

- AuBuchon, A. M., Pisoni, D. B., & Kronenberger, W. G. (2015). Short-term and working memory impairments in early-implanted, long-term cochlear implant users are independent of audibility and speech production. *Ear and Hearing, 36*(6), 733-737.
- Baumann, S., Koeneke, S., Schmidt, C. F., Meyer, M., Lutz, K., & Jancke, L. (2007). A network for audio-motor coordination in skilled pianists and non-musicians. *Brain Research, 1161*, 65-78.
- 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.
- Black, S. (1997). The musical mind. *American School Board Journal, 184*(1), 20-22.
- Brockmeier, S. J., Fitzgerald, D., Searle, O., Fitzgerald, H., Grasmeyer, M., Hilbig, S., et al. (2011). The MuSIC perception test: A novel battery for testing music perception of cochlear implant users. *Cochlear Implants International, 12*(1), 10-20.
- Chen, J. K., Chuang, A. Y., McMahon, C., Hsieh, J. C., Tung, T. H., & Li, L. P. (2010). Music training improves pitch perception in prelingually deafened children with cochlear implants. *Pediatrics, 125*(4), e793-e800.
- Chen, J. L., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cerebral Cortex, 18*(12), 2844-2854.
- Choi, W. J., Oh, S. H., & Bahng, J. (2017). Efficacy of music training on speech recognition and working memory in children wearing cochlear implants. *Audiology and Speech Research, 13*(1), 70-77.
- Flohr, J. W. (2005). *Musical Lives of Young Children*. Hoboken, NJ: Prentice Hall.
- Flohr, J. W. & Trevarthen, C. (2008). Music learning in childhood: Early developments of a musical brain and body. In Gruhn, W. & Rauscher, F. *Neurosciences in Music Pedagogy* (pp.53-99). New York, NY: Nova Science Publishers.
- Galvin, J. J., 3rd, Fu, Q. J., & Nogaki, G. (2007). Melodic contour identification by cochlear implant listeners. *Ear and Hearing, 28*(3), 302-319.

- Hall, J. W. (2007). *New Handbook of Auditory Evoked Responses*. Boston, MA: Pearson.
- Herholz, S. C., Boh, B., & Pantev, C. (2011). Musical training modulates encoding of higher-order regularities in the auditory cortex. *The European Journal of Neuroscience*, *34*(3), 524-529.
- Herholz, S. C. & Zatorre, R. J. (2012). Musical training as a framework for brain plasticity: Behavior, function, and structure. *Neuron*, *76*(3), 486-502.
- Jäncke, L. (2009). Music drives brain plasticity. *FI000 Biology Reports*, *1*, 78.
- Jiam, N. T. & Limb, C. (2020). Music perception and training for pediatric cochlear implant users. *Expert Review of Medical Devices*, *17*(11), 1193-1206.
- Kärgel, C., Sartory, G., Kariofillis, D., Wiltfang, J., & Müller, B. W. (2014). Mismatch negativity latency and cognitive function in schizophrenia. *PLoS One*, *9*(4), e84536.
- Kim, E. Y., Moon, I. J., Cho, Y. S., Chung, W. H., & Hong, S. H. (2017). The relationship between perception of prosody, pitch discrimination, and melodic contour identification in cochlear implants recipients. *Journal of Music and Human Behavior*, *14*(2), 1-18.
- Kim, Y. M. (2000). Brain-physiological basis of early childhood music education and its implication. *Open Infant's Educational Studying*, *5*(2), 45-70.
- Koelsch, S. (2014) Brain correlates of music-evoked emotions. *Nat Rev Neurosci*, *15*(3), 170-180.
- Kwon, E. Y. (2019). Cochlear implanted teenagers' musical satisfaction related with their music education and activity (Unpublished master's thesis). Seoul: Ewha Womans University.
- Looi, V., Gfeller, K., & Driscoll, V. (2012). Music appreciation and training for cochlear implant recipients: A review. *Seminars in Hearing*, *33*(4), 307-334.
- 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.
- Ortmann, M., Zwitserlood, P., Knief, A., Baare, J., Brinkheetker, S., Am Zehnhoff-Dinnesen, A., et al. (2017). When hearing is tricky: Speech processing strategies in prelingually deafened children and adolescents with cochlear implants having good and poor speech performance. *PLoS One*, *12*(1), e0168655.
- Pesnot Lerousseau, J., Hidalgo, C., & Schön, D. (2020). Musical training for auditory rehabilitation in hearing loss. *Journal of Clinical Medicine*, *9*(4), 1058.
- Petersen, B., Mortensen, M. V., Hansen, M., & Vuust, P. (2012). Singing in the key of life: A study on effects of musical ear training after cochlear implantation. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, *22*(2), 134-151.
- Petersen, B., Weed, E., Sandmann, P., Brattico, E., Hansen, M., Sørensen, S. D., et al. (2015). Brain responses to musical feature changes in adolescent cochlear implant users. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*, 7.
- Putkinen, V., Tervaniemi, M., Saarikivi, K., de Vent, N., & Huotilainen, M. (2014). Investigating the effects of musical training on functional brain development with a novel Melodic MMN paradigm. *Neurobiology of Learning and Memory*, *110*, 8-15.
- Salo, S., Lang, A. H., Aaltonen, O., Lertola, K., & Kärki, T. (1999). Automatic detection of frequency changes depends on auditory stimulus intensity. *Ear and Hearing*, *20*(3), 265-270.
- Sandmann, P., Kegel, A., Eichele, T., Dillier, N., Lai, W., Bendixen, A., et al. (2010). Neurophysiological evidence of impaired musical sound perception in cochlear-implant users. *Clinical Neurophysiology*, *121*(12), 2070-2082.
- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, *267*(5198), 699-701.
- Shin, Y., Yun, J., Kyong, J. S., Jo, S., & Kim, J. (2021). Development of assessment of music perception for the hearing-impaired. *Audiology and Speech Research*, *17*(4), 331-343.
- Shin, Y., Kyong, J. S., Jo, S., & Kim, J. (2022). Development of Korean music rehabilitation program for persons with hearing loss. *Audiology and Speech Research*, *18*(2), 83-94.
- Thaut, M. H., Peterson, D. A., McIntosh, G. C., & Hoemberg, V. (2014). Music mnemonics aid verbal memory and induce learning - related brain plasticity in multiple sclerosis. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 395.
- Torppa, R., Faulkner, A., Huotilainen, M., Järvikivi, J., Lipsanen, J., Laasonen, M., et al. (2014). The perception of prosody and associated auditory cues in early-implanted children: The role of auditory working memory and musical activities. *International Journal of Audiology*, *53*(3), 182-191.
- Trainor, L. J. & Zacharias, C. A. (1998). Infants prefer higher-pitched singing. *Infant Behavior and Development*, *21*(4), 799-805.
- Vuust, P. & Roepstorff, A. (2008). Listen up! Polyrhythms in brain and music. *Cognitive Semiotics*, *3*(s1), 134-158.
- Watanabe, D., Savion-Lemieux, T., & Penhune, V. B. (2007). The effect of early musical training on adult motor performance: Evidence for a sensitive period in motor learning. *Experimental Brain Research*, *176*(2), 332-340.
- Winkler, I., Háden, G. P., Ladinig, O., Sziller, I., & Honing, H. (2009). Newborn infants detect the beat in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *106*(7), 2468-2471.
- Yucel, E., Sennaroglu, G., & Belgin, E. (2009). The family oriented musical training for children with cochlear implants: Speech and musical perception results of two year follow-up. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, *73*(7), 1043-1052.