Methods and Application of Sound Therapy for Tinnitus Rehabilitation

Seungyeop Jeong¹, Sohee Heo¹, Hongyeop Oh¹, Jeeun Yoo¹, In-Ki Jin²

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

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

이명 재활을 위한 소리치료 방법과 적용

정승엽¹ · 허소희¹ · 오홍엽¹ · 유제은¹ · 진인기²

한림대학교 일반대학원 언어병리청각학과¹, 한림대학교 자연과학대학 언어청각학부 · 청각언어연구소²

Sound therapy is known to be a useful treatment option for tinnitus rehabilitation. The purpose of this paper was to review sound therapies that reported effects of tinnitus masking or tinnitus relief. Four sound therapies were reviewed: masking sound therapy, sequential sound therapy, sound therapy for Tinnitus Retraining Therapy, and notched sound therapy. Each sound therapy was reviewed for purpose of the therapy and definition, protocol of the sound therapy, effects of tinnitus relief or masking, usefulness, and limitations. Many researchers have investigated sound therapies using above mixing point sounds, at or below the mixing point sounds, and notched sounds. Most researchers reported that sound therapy is effective on tinnitus, but there is inconsistency regarding the extent of the masking or relief effects. Few researchers reported a sound therapy using sequential sounds. Although some studies have shown efficacy for these sound therapies, further studies are required for more reliable results. Although various sound therapies have identified positive effects of tinnitus relief or masking, information about selecting the appropriate rehabilitation method for each tinnitus sufferer is insufficient. However, the results of this paper will provide a basic guideline for audiologists or clinicians selecting a sound therapy for people who have tinnitus.

Key Words: Tinnitus, Sound therapy, Tinnitus rehabilitation.

Received: September 18, 2018 / **Revised:** November 1, 2018 / **Accepted:** November 13, 2018

Correspondence: In-Ki Jin, Division of Speech Pathology and Audiology, College of Natural Sciences, Hallym University, 1 Hallymdaehak-gil, Chuncheon 24252, Korea

Tel: +82-33-248-2221 / **Fax:** +82-33-256-3420 / **E-mail:** inkijin@hallym.ac.kr

INTRODUCTION

이명(tinnitus)은 외부의 소리 자극과 무관하게 이명을 경험하는 대상자가 주관적으로 소리를 지각하는 현상을 의미한다(Jastreboff, 1990). 이명은 분류 기준에 따라 다양하게 구분할 수 있지만 일반적으로 실제 이명 소리를 발생시키는 기전을 파악할 수 있는 객관적 이명과 본인만 지각할 수 있어 발생 기전을 파악할 수 없는 주관적 이명으로 분류할 수 있다. 대표적인 객관적 이명으로는 귀 주위의 종양 혹은 혈관 이상 등으로 인

해 나타나는 박동성 이명이 있다. 박동성 이명처럼 발생 기전을 확인할 수 있는 객관적 이명의 경우에는 원인을 찾아 제거하는 접근법(예: 약물치료 등)이 적용될 수 있지만, 원인을 알기 어려운 주관적 이명의 경우에는 치료적 접근법보다 이명으로 인한 심리적인 스트레스를 줄여주거나 이명 소리에 대한 습관화(habituation)를 유도하는 재활법이 주요한 접근법으로 적용되고 있다(Kreuzer et al., 2013).

주관적 이명 대상자를 위한 재활법에는 상담(counseling), 소리치료(sound therapy), 이명재훈련치료(Tinnitus Retraining Therapy, TRT) 등 다양한 재활법이 있으나 이명에 대한 반응의 변화를 직접적으로 유도하는 재활법은 소리치료가 대표적인 이명의 완화 또는 습관화를 유도할 수 있는 재활법 중 하

© 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.

나로 분류할 수 있다. 소리치료는 외부에서 발생하는 음원(예: 소음, 음악 등)을 활용하여 이명에 대한 대상자의 반응을 변화시키는 것을 목적으로 한다(Tyler, 2006). 소리치료를 통한 이명 재활의 주요한 효과는 이명 소리의 크기 감소, 불쾌음으로 지각되는 이명 소리를 소리치료 음원으로 대체 및 이명 소리에 대한 집중력 감소 등으로 볼 수 있다(Tyler, 2006). 소리치료의 종류는 협대역잡음(narrow band noise) 또는 광대역잡음(broad band noise)을 활용하여 이명주파수 대역을 중심으로 이명 소리의 차폐(masking)를 시도하거나 혼합점(mixing point) 이하의 강도로 소리치료 음원을 설정하여 습관화를 유도하는 방식(Coles & Hallam, 1987; Jastreboff, 1995), 대역제거필터(band rejection filter)를 활용하여 이명주파수 대역을 필터링하고 그 외의 주파수 대역에 소리 자극을 전달하여 이명주파수 대역에 과도하게 집중되어 있는 집중력을 다른 주파수 대역으로 분산하는 방식(Lugli et al., 2009; Okamoto et al., 2010), 두 가지 소리치료법을 결합하여 적용하는 방식(Hesse et al., 2001) 등 다양한 소리치료법이 제안되어 활용되고 있으며 그 효과 또한 다양하게 제시하고 있다.

본 종설은 다양하게 제안되고 있는 소리치료 방법 중 이명 완화 또는 차폐 효과가 나타난 재활법들의 제안 배경, 정의, 소리치료 방법, 선행연구 요약, 소리치료의 효과와 한계점에 관한 분석을 통하여 임상에서 소리치료를 적절하게 선택하여 적용하기 위한 정보를 제공하고자 한다.

SOUND THERAPY USING MASKING

차폐를 활용한 소리치료는 주로 백색 잡음(white noise) 또는 백색 잡음을 필터링(filtering)한 음원을 사용하며, 소리치료

의 주요한 목적은 이명 대상자의 이명에 대한 지각을 감소시키는 것이다(Vernon, 1977). 백색 잡음은 주파수별로 동일한 강도의 에너지가 저주파수에서 고주파수에 걸쳐 분포하는 특성을 가진 소음을 의미하며 광대역잡음과 혼용되어 사용되기도 한다. 이러한 광대역잡음을 필터링하여 특정 주파수 영역만을 추출하면 일정 주파수 영역에만 에너지가 분포하게 되며 이를 협대역잡음으로 구분할 수 있다. 차폐 방식의 소리치료는 주로 소음 발생기(noise generator) 또는 보청기에 소음 발생기 기능을 프로그래밍하여 시행해 왔으나, 최근에는 모바일 어플리케이션(mobile application)을 활용한 접근 방식도 많은 연구에서 제안되었다(Tyler et al., 2018). 소리치료가 제안된 초창기에는 이명이 더 이상 들리지 않을 때까지 이명 차폐음의 강도를 높이는 방식, 즉 완전 차폐(complete masking)를 주로 권고하였다(Coles & Hallam, 1987). 하지만 일부 이명 대상자는 이명을 완전히 차폐하는 수준의 강도보다 이명 소리가 간헐적으로 들리긴 하지만 이명 소리에 집중하지 않을 정도로 차폐음의 강도를 설정하는 방식에서 이명의 완화 효과가 나타났으며(Hazell & Wood, 1981), 이를 완전 차폐와는 다른 개념인 부분 차폐(partial masking)로 구분하였다. 이명을 완전히 차단하지 않는 부분 차폐의 경우 완전 차폐가 불가능하거나 완전 차폐 수준의 소리강도가 이명보다 오히려 불편함을 초래할 때 주로 적용할 수 있다. 또한, Vernon & Schleuning(1978)의 보고에 따르면, 효과적인 소리치료를 위해서는 차폐의 강도를 대상자가 직접 설정하여 청취하는 것이 중요한 요소로 나타났다. 완전 차폐와 부분 차폐의 예시는 Figure 1에 제시하였다. 주로 사용하는 차폐음의 형태는 백색 잡음 혹은 이명주파수를 포함한 협대역잡음 및 광대역잡음이다. 완전 차폐는 Figure 1A와 같이 대상자가 이명 소리를 인지할 수 없는 수준의 높은 강도의 차폐를 의

Figure 1. Examples of a complete masking (A) and a partial masking (B). Solid lines mean masking sounds and gray bars represent tinnitus sounds.

미하며, 부분 차폐는 이명에 대한 완화는 나타나지만 이명을 완전히 차단하지 않는 수준의 차폐를 의미한다(Figure 1B).

차폐 방식의 소리치료를 적용한 이명 재활 연구의 결과는 연구 조건에 따라 다양하게 보고하였다(Table 1). Tyler et al. (2012)에 따르면 19명의 이명 대상자에게 완전 차폐 방법과 상담을 병행한 소리치료를 18개월간 진행하였으며 소리치료 효과를 검증하기 위해 이명장애설문지(Tinnitus Handicap Questionnaire)를 사용하여 12개월과 18개월 시점에 재활의 효과 크기(effect size)를 측정하였다. 효과 크기는 개별 연구에서 나온 결과들을 통계 절차를 통해 표준화한 것을 의미한다. 일반적으로 효과 크기의 값이 0.5보다 크면 큰 효과(significant effect)를 의미하고 0.5~0.3은 보통 효과(moderate effect)를, 0.3~0.1은 작은 효과(small effect)를 나타낸다(Cohen, 1988). 완전 차폐와 상담을 병행한 소리치료 효과의 경우, 재활 12개월 후에 측정된 효과 크기의 값은 0.84였으며 18개월 후에 측정된 값은 0.35였다(Tyler et al., 2012). 따라서 재활 12개월 후에 측정된 소리치료를 효과는 큰 정도의 효과를 나타낸 반면에 18개월 후에 측정된 소리치료 효과는 작은 정도의 효과로 나타나 12개월 정도의 단기간에는 큰 효과가 나타났지만, 그 이상 기간에 따른 재활 효과는 다소 떨어진다고 해석할 수 있다. Henry et al.(2006)은 이명으로 인한 고통이 중도(moderate problem) 정도인 15명의 대상자, 고도(big problem) 정도의 이명을 가진 27명의 대상자 및 심도(very big problem) 정도의 이명을 가진 10명의 대상자에게 차폐를 활용한 소리치료를 18개월 동안 진행하였다. 소리치료 효과를 검증하기 위해 이명장애지수(Tinnitus Handicap Index)를 사용하여 재활 3개월 및 18개월 시점에 집단의 효과 크기를 측정하였다. 중도 정도의 이명을 겪는 집단의 경우, 3개월 후에 측정된 효과 크기의 값은 0.18로 매우 작은 정도의 효과를 보였고 18개월 후에는 0.32로 작은 정도의 효과를 보였다. 따라서 중도 이명을 겪는 집단은 3개월 후의 소리치료 효과보다 18개월 후의 소리치료 효과가 더 좋았다. 고도 정

도의 이명을 겪는 집단의 경우, 3개월 후에 측정된 효과 크기의 값은 0.46으로 보통 정도의 효과를 보였으나 18개월 후에는 0.86으로 큰 효과를 보였다. 따라서 고도 이명을 겪는 집단은 3개월 후의 소리치료 효과보다 18개월 후의 소리치료 효과가 더 좋았다. 심도 정도의 이명을 겪는 집단의 경우, 3개월 후에 측정된 효과 크기의 값은 0.71로 큰 정도의 효과를 보였고 18개월 후에는 0.62의 효과를 보였다. 따라서 심도 이명을 겪는 집단은 18개월 시점보다 3개월 시점에서의 재활 효과가 더 두드러졌다. 이 연구의 결과는 이명이 이명 대상자에게 미치는 영향의 정도에 따라 재활의 효과가 다를 수 있음을 시사한다. 요약하면, 중도, 고도, 심도 정도의 이명을 기준으로 나누어진 집단 간 비교 결과 차폐를 활용한 소리치료를 이명으로 인한 고통의 정도가 심할수록 단기간에 큰 효과를 얻을 수 있는 소리치료 방법으로 볼 수 있다.

차폐를 활용한 소리치료를 지각되는 이명을 완전히 차폐하는 완전 차폐와 이명에 대한 지각이 감소하지만, 완전히 차폐하지 않는 부분 차폐로 구분하여 시행할 수 있다. 적절한 차폐 강도는 소리치료를 시행하는 대상자가 직접 통제하는 것이 중요하며(Vernon & Schleuning, 1978), 이명 대상자 개인마다 차폐에 대한 효과는 다양하게 나타난다(Henry et al., 2006; Tyler et al., 2012; Vernon, 1977). 선행연구들의 결과를 요약하면 차폐를 활용한 소리치료를 가장 큰 효과는 이명 소리에 대한 즉각적인 지각의 감소로 볼 수 있으며, 주로 12개월 이하의 단기적 재활에서 가장 큰 효과를 기대할 수 있다.

SEQUENTIAL SOUND THERAPY

차폐를 활용한 이명 소리치료를 크게 완전 차폐(Vernon & Schleuning, 1978) 또는 부분 차폐(Bentler & Tyler, 1987; Hazell, 1987)로 구분되어 사용되었다. 일부 연구자들은 완전 차폐 및 부분 차폐를 활용한 다양한 형태의 소리치료를 제안하

Table 1. Results of studies for sound therapies using masking

Reference	Group	Results (The duration from the starting point)	Criteria of results
Tyler et al. (2012)	Complete masking & counseling (n = 19)	0.84 (12 months) 0.35 (18 months)	Effective size of the THQ
Henry et al. (2006)	Masking		Effective size of the THI
	Moderate problem group (n = 15)	0.18 (3 months) 0.32 (18 months)	
	Big problem group (n = 27)	0.46 (3 months) 0.86 (18 months)	
	Very big problem group (n = 10)	0.71 (3 months) 0.62 (18 months)	

THQ: Tinnitus Handicap Questionnaire, THI: Tinnitus Handicap Index

고 있으며, 각 소리치료 방법의 효과에 대한 의견과 결과는 다양하게 제시하였다(Hesse et al., 2001; López González & López Fernández, 2004). 하지만 선행연구들의 상반된 결과 때문에 완전 차폐와 부분 차폐를 활용한 소리치료의 효과에 대한 우위를 결정하는 것은 다소 한계가 있다. 따라서 이 두 방법의 장점을 융합하고자 López González & López Fernández (2004)는 완전 차폐와 부분 차폐를 순차적으로 사용하는 순차적소리치료(sequential sound therapy)를 제안하였다. 순차적소리치료는 소리발생기 사용자의 적응 수준에 따라 차폐음의 강도를 조정하는 방법이다. 사용되는 차폐음으로는 백색 잡음을 주로 사용하며 차폐음의 강도로는 총 4개[+6 dB signal-to-noise ratio (SNR), +3 dB SNR, 0 dB SNR, -3 dB SNR]의 신호대잡음비(SNR)를 제시하였는데 이는 특정 SNR의 수치가 중요하다기보다는 대상자의 적응 수준에 따라 완전 차폐(+6 dB SNR)에서 점차 작은 강도로 차폐음을 적용하기 위해 점차 강도를 낮추어 차폐음의 강도를 설정하는 예를 의미한다. 순차적소리치료는 점차적으로 신호대잡음비를 높은 수준에서 낮은 수준으로 제시하는 것을 목표로 하지만 대상자의 적응 수준 또는 요구에 따라서 신호대잡음비의 수준은 달라질 수 있다. López González & López Fernández(2004)는 순차적소리치료 효과를 검증하기 위하여 순차적소리치료 그룹과 이명재훈련치료 그룹으로 나누어 이명 재환의 효과를 비교하였다. 그룹 간 비교 결과는 3개월간 재활 시행 이후에 이명으로 인한 고통이 줄어 소리발생기가 더 이상 필요 없다고 보고한 인원과 소리치료 기간 도중 소리발생기 사용을 포기한 인원으로 제시하였다. 두 결과 모두 이명재훈련치료 그룹보다 순차적소리치료 그룹의 재활 효과가 높은 것으로 나타났다. 소리치료 이후 이명으로 인한 고통이 줄어 소리발생기가 더 이상 필요 없다고 보고한 인원으로는 순차적소리치료 그룹의 경우, 총 26명 중 11명으로 42%였고, 이명재훈련치료 그룹의 경우에는 총 15명 중 5명으로 33%였으며, 이명재훈련치료에 비해 순차적소리치료가 약 9% 정도 높은 것으로 나타났다. 소리치료 기간 도중 소리발생기 사용을 포기한 인원으로는 순차적소리치료 그룹의 경우, 총 26명 중 0명이었으나, 이명재훈련치료 그룹의 경우에는 총 15명 중 8명으로 이명재훈련치료에 비해 순차적소리치료가 약 53% 정도 높은 것으로 나타났다. 하지만 본 연구는 이명설문지를 포함하여 수치적으로 확인 가능한 재활 효과에 대한 결과를 보고하지 않았으며, 후속연구를 통한 검증이 이루어지지 않았다. 따라서 더욱 정확한 순차적소리치료의 재활 효과에 대한 정보를 위해서는 다양한 후속연구의 진행이 필요한 실정이다.

SOUND THERAPY FOR TRT

소리치료가 제안된 초창기에는 차폐를 이용한 소리치료를 주로 권고하였다(Coles & Hallam, 1987). 하지만 그 이후의 여러 후속연구들은 차폐를 이용한 소리치료 방식이 이명 소리의 일시적인 제거에는 효과가 있으나 이명 소리에 대한 지각이 지속적으로 줄어들거나 이명 소리에 대한 대상자의 집중력에 변화가 거의 없는 점을 보고하였다(Jastreboff, 1995). Jastreboff & Hazell(1993)은 이명 소리를 억제하는 차폐 소리치료보다는 혼합점을 중심으로 소리치료를 시행하는 이명재훈련치료를 제안하였다. 일반적으로 소리는 잠재의식 고리(subconscious loop)에서 의식적 사고(conscious loop)까지 도달하여 인식되며 변연계(limbic system), 자율신경계(autonomic nerve system)의 작용에 따라 소리에 대한 반응이나 의식 단계를 조절할 수 있다. 이 재활방법의 목표는 피질하부(subcortical)와 피질중심(cortical centers)에서의 민감한 대상자의 의식 수준을 억제하여 대뇌피질(cortical)까지 도달하지 못하게 함으로써, 이명으로 인한 부정적인 반응으로 나타나는 변연계(limbic system)의 흥분 상태를 억제하고 자율신경계(autonomic nervous system)의 재훈련을 통해 이명 자체의 인식을 억제하는 습관화를 목표로 한다.

이명재훈련치료는 이명 대상자의 이명 소리에 대한 습관화를 목표로 주로 광대역잡음을 이용한 소리치료와 상담을 중심으로 진행하는 재활 방식이다(Herraiz et al., 2005). 이명의 습관화란 이명 소리의 지각 자체의 변화와는 상관없이, 이명 소리가 더 이상 성가시거나 괴롭게 느껴지지 않는 심리적 적응 상태를 의미한다(Jastreboff et al., 1996). 예를 들어 시계 소리나 냉장고의 진동이 존재는 하지만 대상자가 일상생활을 영위하는데 크게 방해되지 않는 것과 비슷한 원리이다. 이명재훈련치료에 사용되는 소리치료 음원의 강도는 혼합점 수준 혹은 그 이하로 설정하는 것이 원칙이다(Henry et al., 2006; Jastreboff & Jastreboff, 2000). 혼합점이란 소리치료 음원에 의하여 이명 소리가 변화하기 시작하는 지점, 즉 부분 차폐가 시작되는 지점을 뜻하며 소리치료 음원과 이명 소리를 동시에 지각할 수 있는 강도로 습관화 효과가 가장 잘 나타나는 지점이다(Jastreboff & Jastreboff, 2000). 소리치료 음원의 강도와 습관화 효과 간의 상관성은 Figure 2에 제시하였다. Jastreboff & Jastreboff(2000)에서 환자들은 이명 소리와 소리치료 음원이 각각 들리지만 서로 간섭하는 것처럼 들리기 시작하는 지점을 혼합점이라고 묘사하였다. 또한 Huang et al.(2006)은 혼합점이 최소차폐수준(Minimal Masking Level)과 관련이 높으며, 두 값의 일치율을 83%로 보고하였다.

이명재훈련치료의 효과에 대한 선행연구는 Table 2에 정리하여 제시하였다. Tyler et al.(2012)은 이명을 경험하고 있는 37명

의 대상자 중 소리치료를 활용하지 않은 상담치료 집단(18명)과 소리치료 및 상담치료를 모두 진행한 이명재훈련치료 집단(19명)으로 나누어 18개월간 이명 재활을 진행하였다. 재할 12개월 후 이명장애설문지 점수를 바탕으로 측정된 효과 크기는 상담치료 집단이 0.51, 이명재훈련치료 집단이 0.57이었으며, 재할 18개월 후 측정된 효과 크기는 각각 0.54, 0.51이었다. 점수 감소율은 집단별로 각각 13%, 10%였으며, 통계적으로 집단 간의 유의미한 차이는 나타나지 않았다(Tyler et al., 2012). Bauer & Brozoski(2011)는 상담만을 진행한 집단과 이명재훈련치료를 진행한 집단 간의 재할 18개월 전후의 이명장애지수 점수를

Figure 2. Relation of the effectiveness of habituation as a function of the masking sound intensity. Asterisk indicates a theoretical mixing point.

바탕으로 재할 효과를 비교하였다. 그 결과 각 집단의 효과 크기는 0.78, 1.13으로 나타났으나, 통계적으로 집단 간의 유의미한 차이는 없었다. Henry et al.(2006)은 이명을 겪고 있는 사람들을 대상으로 이명재훈련치료를 통하여 재활을 진행한 집단의 재할 결과를 보고하였다. 또한, 각 집단 내에서 대상자들이 겪고 있는 이명을 중도, 고도, 심도 정도의 집단으로 나누어 재할 효과를 보고하였다. 그 결과 모든 집단에서 재할 효과가 나타났으며, 이명장애지수 설문지를 기준으로 재할 후 3개월 시점에서의 효과 크기는 중도 이명을 겪는 집단이 0.06, 고도 이명을 겪는 집단이 0.41, 심도 이명을 겪는 집단이 0.58로 나타났다. 12개월 시점에서의 효과 크기는 중도 이명을 겪는 집단이 0.66, 고도 이명을 겪는 집단이 1.01, 심도 이명을 겪는 집단이 1.51로 나타났으며, 18개월 시점에서의 효과 크기는 중도 이명을 겪는 집단이 1.26, 고도 이명을 겪는 집단이 1.36, 심도 이명을 겪는 집단이 2.05로 나타났다. 실험 결과 기간이 길어질수록 효과 크기가 커지는 양상을 보였다(Henry et al., 2006). Kim et al.(2014)은 38명의 이명을 겪고 있는 사람들을 대상으로 이명재훈련치료를 사용되는 소리치료음의 종류에 따른 효과를 비교하여 보고하였다. 사용된 음원은 협대역잡음, 광대역잡음, 혼합잡음이었으며 각 소리치료 음원에 따라 세 집단으로 나누어 재할을 시행하였다. 재할 시작 당시 이명 대상자들의 이명장애지수 설문지 점수 평균은 협대역잡음 집단이 48.25, 광대역잡음 집단이 54.22, 혼합잡음 집단이 42.5였다. 3개월 후, 이명 대상자들의 이명장애지수 설문지 점수 평균은 협대역잡음

Table 2. Summary of studies applying to TRT as sound therapy

Reference	Group	Results (the duration from the starting point)	Criteria of results
Tyler et al. (2012)	TRT (n = 19)	0.57 (12 months) 0.51 (18 months)	Effective size of the THQ
	Counseling only (n = 18)	0.51 (12 months) 0.54 (18 months)	
Bauer & Brozoski (2011)	TRT (n = 21)	1.13 (18 months)	Effective size of the THI
	Counseling only (n = 22)	0.78 (18 months)	
Henry et al. (2006)	Moderate problem group (n = 13)	0.06 (3 months) 1.26 (18 months)	Effective size of the THI
	Big problem group (n = 26)	0.41 (3 months) 1.36 (18 months)	
	Very big problem group (n = 9)	0.58 (3 months) 2.05 (18 months)	
Kim et al. (2017)	Narrow band group (n = 8)	48.25 (baseline) 42.00 (3 months)	Averaged score of the THI
	Broad band group (n = 18)	54.22 (baseline) 35.11 (3 months)	
	Mixed band group (n = 12)	42.50 (baseline) 29.00 (3 months)	

TRT: Tinnitus Retraining Therapy, THQ: Tinnitus Handicap Questionnaire, THI: Tinnitus Handicap Index

집단이 42.0, 광대역잡음 집단이 35.11, 혼합잡음 집단이 29.0으로 처음 점수와 비교하여 모든 집단에서 이명으로 인한 고통이 개선되었다. 또한 이명장애지수 기준으로 광대역잡음이 78.8%의 가장 높은 성공률을 보였다. 따라서 광대역잡음이 이명재훈련치료에 가장 효과적인 재활 결과로 나타났다(Kim et al., 2014).

이명재훈련치료는 지시 상담과 혼합점 수준의 잡음을 이용한 소리치료로 구성되어 있으며 이명의 습관화를 목표로 시행하는 이명 재활법이다. 이명재훈련치료는 널리 보급되어 현재 전 세계적으로 보편적인 이명 재활법으로써 적용되고 있다. 그러나 다른 재활방법들과 마찬가지로 이명재훈련치료는 장단점을 모두 가지고 있다(Jastreboff & Jastreboff, 2000). 이명재훈련치료는 모든 유형의 이명을 겪고 있는 대상자에게 효과적인 재활방법으로 적용할 수 있으며, 클리닉 또는 병원에 자주 방문할 필요가 없고 부작용이 없는 것이 장점이다. 반면에 이명재훈련치료의 단점은 재활 프로토콜이 환자의 개별적인 요구와 개인의 특성에 초점을 맞추어야 하므로 재활을 제공하는 전문가의 상당한 시간적 관여가 필요하다. 또한, 이명의 습관화 유도에는 많은 후향적 연구로부터 관찰된 바와 같이 약 18~24개월의 다소 긴 재활 기간이 요구된다(Jastreboff & Jastreboff, 2000). 이명재훈련치료에 사용되는 소리치료는 이명 대상자가 이명 소리에 대한 습관화를 촉진하여 이명 완화 효과를 지속적으로 제공할 수 있는 것을 목적으로 한다. 또한, 단기적인 재활의 효과보다는 18개월 이상의 장기적인 재활하에서 더욱 효과가 좋으며, 차폐 소리치료에 비해 재활 제공 전문가의 적극적인 관여가 요구되는 재활법이라고 볼 수 있다.

NOTCHED SOUND THERAPY

주관적 이명은 원인이 불분명하고 대상자에 따라 이명 주파수 및 지속 시간 등에서 다양한 패턴으로 나타나지만, 만성 이

명은 주로 부적절한 피질의 재구성에 의해 유발된다고 보고된다(Eggermont & Roberts, 2004). 하지만 청각피질의 반응 특성은 소리 자극을 통해 재구성할 수 있으며 이명 발생 주파수 대역의 에너지를 필터링하여 제거한 노치형(notched) 타입의 소리가 이명주파수 대역의 신경 반응을 억제하고 다른 주파수 대역의 자극을 활성화하여 청각피질의 재구성에 기여하는 것으로 나타났다(Pantev et al., 2004). 노치형 소리에 따른 신경억제반응은 측면억제(lateral inhibition)로 표현되며, 노치형 소리치료(notched sound therapy)는 측면억제를 통해 이명에 집중된 신경 반응을 실제적으로 줄이는 것을 목표로 하는 소리치료법이다(Okamoto et al., 2010).

노치형 소리치료는 소음이나 음악을 음원으로 사용할 수 있으며 대역제거필터를 통해 이명주파수 대역의 소리 에너지를 제거하여 시행한다. 따라서 일반적인 소리치료와 다르게 이명을 직접적으로 차폐하지 않으며 노치형 소리의 측면억제 반응을 이용하여 이명주파수 영역의 신경 활동을 억제하는 방법이다. Lugli et al.(2009)은 소음을 이용한 노치형 소리치료로 windowed sound therapy(WST)를 제안하였다. WST는 Figure 3A에서 제시한 것과 같이, 50~15,000 Hz의 에너지를 포함하는 광대역잡음에서 대역제거필터를 통해 개인별 이명주파수 특성에 따라 제작된 노치형 소음을 사용하며, 매일 1.5~3시간씩 청취하는 것을 목표로 시행한다. 노치형 소음의 음량은 이명의 크기와 동일하게 설정하며 편측성 난청의 경우에는 양이 중에 좋은 청력을 기준으로 음량을 설정한다(Lugli et al., 2009). 또한, Okamoto et al.(2010)은 음악을 이용한 노치형 소리치료를 제안하였으며 tailor-made notched music training (TMNMT)이라고 명명하였다. TMNMT는 대상자가 평소에 듣는 음악을 사용하여 이명주파수 대역에 해당하는 소리 에너지를 제거한 음악을 통하여 시행하며 노치형 음악은 Figure 3B에 제시하였다. TMNMT는 대상자가 듣기 편한 수준으로 3시간 동안 노치형 음악을 집중적으로 듣는 것을 목표로 하며, 노치형 음악을

Figure 3. Intensity characteristics of notched sound therapies as a function of frequency. A: An example of frequency analysis for notched noise used in Lugli et al. (2009). Notched bandwidth is calculated as $2 \times 24.7 \times (4.37 \times F + 1)$, where F = frequency in kHz. B: An example of frequency analysis for tailor-made notched music training.

듣는 동안에는 간단한 작업(예: 인터넷 서핑)을 제외한 다른 작업은 하지 않는 것을 권고한다(Pantev et al., 2014).

일부 선행연구의 결과에 따르면 노치형 소리치료의 측면억제는 습관화 과정보다 효과적으로 이명주파수 대역에 집중된 대상자의 신경 반응을 억제하며(Pantev et al., 2004), 차폐를 이용한 소리치료보다 이명의 크기를 효과적으로 감소시킨다고 보고하였다(Lugli et al., 2009). 또한, TMNMT의 효과적인 필터링 방법을 확인하기 위해 지속적인 연구가 이루어지고 있으며 선행연구에서 제안된 필터링 방법을 Figure 4에 제시하였다. TMNMT는 대상자가 평소에 듣는 음악을 이용하여 대역제거 필터를 통해 이명주파수에 해당하는 대역의 에너지를 제거한 음악을 사용하여 시행하는 노치형 소리치료이다. Okamoto et al.(2010)은 음악이 갖는 에너지 스펙트럼을 그대로 사용하여 이명주파수에 해당하는 대역의 에너지를 제거해 TMNMT를 시행하였다(Figure 4A). 하지만 일반적으로 음악의 에너지 스펙트럼은 저주파수부터 고주파수까지 에너지가 동일하게 나타나지 않으며, 고주파수 대역의 에너지가 저주파수보다 비교적 적은 에너지 분포를 측정된다. 따라서 Pantev et al.(2012)은 더욱 효과적으로 TMNMT를 시행하기 위해 Figure 4B에 제시한 그래프와 같이 고주파수의 에너지 스펙트럼을 보완하고 전체적인 에너지 분포를 동일하게 설정하는 평탄화(flattened) 필터링 방법을 제안하였다. 평탄화 필터링은 음악의 에너지 스펙트럼을 저주파수 대역부터 고주파수 대역까지 동등한 에너지 스펙트럼을 나타낼 수 있도록 비교적 적은 에너지가 나타나는 고주파수 대역의 에너지를 보완하는 방법이다(Pantev et al., 2012). 또한, TMNMT에서 사용하는 대역제거필터의 주파수 범위와

음악에 대한 에너지 증폭은 효과적인 소리치료를 위해 중요한 요소이다. 선행연구의 보고에 따르면 Figure 4C에 제시한 그래프와 같이 1/2 옥타브 범위로 에너지를 제거하여 TMNMT를 시행하였을 때 이명으로 인지되는 소리의 크기와 이명주파수의 신경 활동이 유의미하게 감소하는 것으로 나타났다(Stein et al., 2015; Wunderlich et al., 2015). 또한, Stein et al.(2015)은 이명주파수를 중심으로 제거한 1/2 옥타브 대역의 양방향을 기준으로 3/8 옥타브 범위에서 20 dB 증폭하는 방법을 제안하였다(Figure 4D).

노치형 소리치료의 효과에 대한 선행연구는 Table 3에 정리하여 제시하였다. Kim et al.(2017)은 이명을 경험하고 있는 26명의 대상자에게 스마트폰 어플리케이션을 통해 TMNMT를 3개월 동안 시행하였으며, 조용한 환경에서 하루에 30~60분씩 청취하도록 권고하였다. 스마트폰을 활용한 TMNMT의 효과는 이명장애지수를 통해 확인하였으며, 이명장애지수의 평균점수는 재활 전 33.9점에서 재활 후 23.1점으로 감소하였다. 또한, 재활 전후 이명장애지수 점수의 t 검정 결과 $p = 0.03$ 으로 나타나 통계적으로 재활 전후 이명장애지수의 점수에 유의미한 차이가 나타났다(Kim et al., 2017). Lee et al.(2017)은 이명을 경험하는 14명을 대상으로 TMNMT와 경두개 직류자극(transcranial direct current stimulation)을 동시에 시행하였으며, 경두개 직류자극은 양측 전두엽에 1.5 mA의 자극을 20분 동안 시행하였고, TMNMT는 하루 2시간 이상 노치형 음악을 청취하는 것을 권고하였다. 또한, 재활 전후 이명장애지수의 점수 비교를 통해 재활 효과를 확인한 결과 재활 전 59.6점에서 재활 후 33.1점으로 나타났으며, 만-휘트니 유 검정(Mann-Whitney

Figure 4. Results of frequency spectrum in notched music used in TMNMT. A: Okamoto et al. (2010) applied the notched filter to tinnitus frequency. B: Pantev et al. (2012) presented an equivalent energy spectrum. C: In Stein et al. (2015), the bandwidth applied to the notched filter was effectively half an octave. D: Stein et al. (2015) reported that the amplification of side band to notched band is effective for TMNMT. TMNMT: tailor-made notched music training.

Table 3. Summary of studies for sound therapy by using notched sound

Reference	Group	Results (The duration from the starting point)	Criteria of results
Kim et al. (2017)	TMNMT (n = 26)	33.9 (baseline) 23.1 (3 months)	Averaged score of the THI
Lee et al. (2017)	TMNMT & tDCS (n = 14)	59.6 (baseline) 33.1 (38 days)	Averaged score of the THI
Schad et al. (2018)	Notched noise (n = 10)	24.6 (baseline) 18.6 (2 weeks) 16.9 (4 weeks)	Averaged dB SL of tinnitus loudness matching

TMNMT: tailor-made notched music training, tDCS: transcranial direct current stimulation, THI: Tinnitus Handicap Index, dB SL: decibel sensation level

U test) 결과 $p = 0.001$ 로 나타나 재활 전후 이명장애지수의 점수에 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다(Lee et al., 2017). Schad et al.(2018)은 이명 환자 10명을 대상으로 2주간의 노치형 소리치료를 시행하였으며, 소리치료 전과 후, 소리치료 이후 2주 뒤에 이명으로 인지되는 소리의 크기를 비교하여 소리치료의 효과를 확인하였다. 노치형 소리치료에 사용한 음원은 1~12 kHz의 에너지를 갖는 광대역잡음에서 이명주파수를 중심으로 1 옥타브 범위의 에너지를 제거한 소음을 사용하였으며, 대상자가 이명으로 인지하는 소리의 크기는 소리치료 전 평균 24.6 decibel sensation level (dB SL), 소리치료 후 평균 18.6 dB SL, 소리치료를 마치고 2주 뒤 16.9 dB SL 수준으로 나타났다(Schad et al., 2018).

노치형 소리치료는 이명주파수의 에너지를 제거한 노치형 소리를 활용하는 이명 재활법이다. 따라서 노치형 소리치료는 대상자의 이명주파수를 정확하게 측정해야 하며, 대상자의 이명주파수에 맞추어 제작된 맞춤형 소리로만 시행할 수 있다. 또한, 노치형 소리치료는 대상자의 이명을 직접적으로 차폐하지 않으며 이명으로 인해 나타나는 심리적 문제(예: 우울증, 수면장애)에 대한 상담과 병행하여 시행한 재활 효과에 대해서는 아직 연구가 부족한 실정이다. 하지만, 노치형 소리치료는 차폐 및 상담을 통한 소리치료와 대조적으로 이명주파수 영역에서 측면억제 반응을 통해 신경 활동을 효과적으로 감소시키는 것으로 나타났으며(Pantev et al., 2004), 억제된 신경 반응으로 인해 이명의 강도를 낮추어 근본적으로 이명 증상을 완화하는데 효과적인 것으로 나타났다(Lugli et al., 2009; Schad et al., 2018). 또한, 노치형 소리치료에 대한 최근 연구는 대상자의 접근성을 위해 휴대전화와 같은 스마트 기기를 통해 시행하는 방법이 제안되기도 하였으며(Kim et al., 2017), 효과적으로 신경을 자극하여 청각피질 재구성에 기여하기 위한 경두개 직류자극을 노치형 소리치료와 병행하여 시행하는 방법도 제안되기도 하였다(Lee et al., 2017). 노치형 소리치료는 이명 소리 자체의 완화에 초점을 둔 재활법으로 기존 소리치료들의 목적(이명

소리의 차폐, 습관화 유도 등)과 비교하여 더욱 큰 재활 효과를 위해 제안되었지만 선행연구의 수가 적어 지속적인 후속연구 결과를 통한 명확한 근거가 필요하다고 볼 수 있다.

CONCLUSION

소리치료를 받는 대상자의 긍정적인 반응은 소리치료에 있어서 중요한 요소이며, 효과적인 소리치료를 위해서는 자극음에 대한 부정적인 반응 없이 편안하게 들을 수 있어야 한다(Hann et al., 2008). 또한, 소리치료에 사용하는 소리에 따른 효과는 개인에 따라 다양하게 나타날 수 있는데 특히, 대상자의 성격은 이명에 대한 반응 및 민감도에 영향을 주는 주요한 요인으로 보고하고 있다(Durai et al., 2015). 따라서 이명 재활은 개인 맞춤형 상담 이외에 소리치료에서 사용하는 소리가 대상자에게 적합하게 적용되어 부적절한 반응을 초래하지 않는 것이 중요하다(Jastreboff & Jastreboff, 2006). 일반적으로 소리치료는 상담과 더불어 소음을 사용하여 이명을 완전히 차폐하거나 부분적으로 차폐하여 이명에 대한 부정적인 반응을 줄여주고 습관화 과정을 통해 이명의 인지 수준을 낮추는 것을 목적으로 시행되었다(Jastreboff & Jastreboff, 2006; Vernon, 1977). 하지만, 소리치료에 사용하는 차폐음은 효과적인 재활을 위해 중요한 요소이다(Jastreboff & Jastreboff, 2006). 일부 연구에서 소음은 환경음보다 낮은 선호도를 보였으며(Handscomb, 2006; Henry et al., 2004), 소음보다 물소리(water sound)처럼 역동적인(dynamic) 소리가 이명에 대한 불편함을 효과적으로 줄여주는 것으로 나타나 환경음이 소음에 비해 효과적으로 나타났다(Henry et al., 2004). 또한 환경음과 소음을 사용한 소리치료의 효과가 유의미한 차이 없이 모두 이명 재활에 효과적으로 나타났다(Barozzi et al., 2016). 소리치료에 따라 근본적인 재활 효과는 상담을 통한 심리적인 효과를 배제하여 측정하기 어려우며 특정 소리에 대한 효과라고 나타내기는 어렵지만, 일반적으로 소리치료를 시행할 경우 대상자에게 부정적인 반응을

조래하는 소리는 사용하지 않는 것을 원칙으로 한다(Jastreboff & Jastreboff, 2006). 또한, 주로 단기간에 나타나는 효과보다 장기간 재활을 필요로 하는 이명 재활의 특성에 따라 대상자의 긍정적인 반응을 위해서 다양한 소리를 통해 대상자의 선호도를 고려하여 소리치료를 시행하는 것은 중요한 요소이다. 따라서 대상자가 선호하는 소리를 사용한다면 보다 효과적인 소리치료를 대상자에게 적용할 수 있을 것이다.

본 종설은 주관적 만성 이명 대상자를 위한 소리치료 재활법들의 방법, 선행연구 결과, 장점 및 한계점들을 분석하여 각 소리치료 재활법에 대한 기초적인 정보를 제공하였다. 또한 각 소리치료 재활법에서 사용하는 소리치료 음원의 종류와 적용에 따른 의견을 고찰에 기술하였다. 각 소리치료에 대한 이해를 토대로 재활 계획을 수립하여 재활을 시행한다면 더욱 효과적인 재활 효과를 기대할 수 있을 것이다.

중심 단어 : 이명 · 소리치료 · 이명 재활.

Ethical Statement

N/A

Acknowledgments

N/A

Declaration of Conflicting Interests

There are no conflict interests.

Funding

This work has supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (NRF-2018 R1C1B600 3765).

REFERENCES

- Barozzi, S., Del Bo, L., Crocetti, A., Dyrland, O., Passoni, S., Zolin, A., et al. (2016). A comparison of nature and technical sounds for tinnitus therapy. *Acta Acustica united with Acustica*, 102(3), 540-546.
- Bauer, C. A. & Brozoski, T. J. (2011). Effect of tinnitus retraining therapy on the loudness and annoyance of tinnitus: a controlled trial. *Ear and Hearing*, 32(2), 145-155.
- Bentler, R. A. & Tyler, R. S. (1987). Tinnitus management. *American Speech-Language-Hearing Association*, 29(5), 27-32.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. (2nd ed.), (pp. 20-26). New York, NY: Lawrence Erlbaum Associates.
- Coles, R. R. A. & Hallam, R. S. (1987). Tinnitus and its management. *British Medical Bulletin*, 43(4), 983-998.
- Durai, M., Kobayashi, K., & Searchfield, G. D. (2015). A preliminary examination of the roles of contextual stimuli and personality traits under the adaptation level theory model of tinnitus. *Acta Acustica united with Acustica*, 101(3), 543-551.
- Eggermont, J. J. & Roberts, L. E. (2004). The neuroscience of tinnitus. *Trends in Neurosciences*, 27(11), 676-682.
- Handscorn, L. (2006). Use of bedside sound generators by patients with tinnitus-related sleeping difficulty: Which sounds are preferred and why? *Acta Oto-Laryngologica*, (556), 59-63.
- Hann, D., Searchfield, G. D., Sanders, M., & Wise, K. (2008). Strategies for the selection of music in the short-term management of mild tinnitus. *Australian and New Zealand Journal of Audiology*, 30(2), 129-140.
- Hazell, J. W. P. (1987). Tinnitus masking therapy. In Hazell, J. W. P. *Tinnitus* (pp. 96-117). London: Churchill Livingstone.
- Hazell, J. W. P. & Wood, S. (1981). Tinnitus masking-a significant contribution to tinnitus management. *British Journal of Audiology*, 15(4), 223-230.
- Henry, J. A., Rheinsburg, B., & Zaugg, T. (2004). Comparison of custom sounds for achieving tinnitus relief. *Journal of the American Academy of Audiology*, 15(8), 585-598.
- Henry, J. A., Schechter, M. A., Zaugg, T. L., Griest, S., Jastreboff, P. J., Vernon, J. A., et al. (2006). Clinical trial to compare tinnitus masking and tinnitus retraining therapy. *Acta Oto-Laryngologica*, (556), 64-69.
- Herraiz, C., Hernandez, F. J., Plaza, G., & de los Santos, G. (2005). Long-term clinical trial of tinnitus retraining therapy. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 133(5), 774-779.
- Hesse, G., Rienhoff, N. K., Nelting, M., & Laubert, A. (2001). [Chronic complex tinnitus: therapeutic results of inpatient treatment in a tinnitus clinic]. *Laryngo-Rhino-Otologie*, 80(9), 503-508.
- Huang, C. Y., Wu, J. L., Cheng, C. C., Sher, Y. J., & Chung, K. C. (2006). Evaluation of the mixing point in tinnitus sound therapy by a psychoacoustic matching protocol with a digital tinnitus evaluation system. *Journal for Oto-Rhino-Laryngology and Its Related Specialties*, 68(2), 110-114.
- Jastreboff, P. J. (1990). Phantom auditory perception (tinnitus): Mechanisms of generation and perception. *Neuroscience Research*, 8(4), 221-254.
- Jastreboff, P. J. (1995). Proceedings of the fifth international tinnitus seminar: *Processing of the Tinnitus Signal Within the Brain*. Portland, OR: American Tinnitus Association.
- Jastreboff, P. J., Gray, W. C., & Gold, S. L. (1996). Neurophysiological approach to tinnitus patients. *American Journal of Otolaryngology*, 17(2), 236-240.
- Jastreboff, P. J. & Hazell, J. W. (1993). A neurophysiological approach to tinnitus: Clinical implications. *British Journal of Audiology*, 27(1), 7-17.
- Jastreboff, P. J. & Jastreboff, M. M. (2000). Tinnitus Retraining Therapy (TRT) as a method for treatment of tinnitus and hyperacusis patients. *Journal of the American Academy of Audiology*, 11(3), 162-177.
- Jastreboff, P. J. & Jastreboff, M. M. (2006). Tinnitus retraining therapy: A different view on tinnitus. *Journal for Oto-Rhino-Laryngology and Its Related Specialties*, 68(1), 23-29; discussion 29-30.
- Kim, B. J., Chung, S. W., Jung, J. Y., & Suh, M. W. (2014). Effect of different sounds on the treatment outcome of tinnitus retraining therapy. *Clinical and Experimental Otorhinolaryngology*, 7(2), 87-93.
- Kim, S. Y., Chang, M. Y., Hong, M., Yoo, S. G., Oh, D., & Park, M. K. (2017). Tinnitus therapy using tailor-made notched music delivered via a smartphone application and Ginkgo combined treatment: A pilot study. *Auris Nasus Larynx*, 44(5), 528-533.
- Kreuzer, P. M., Vielsmeier, V., & Langguth, B. (2013). Chronic tinnitus: An interdisciplinary challenge. *Deutsches Ärzteblatt International*, 110(16), 278-284.
- Lee, H. Y., Choi, M. S., Chang, D. S., & Cho, C. S. (2017). Combined bifrontal transcranial direct current stimulation and tailor-made notched music training in chronic tinnitus. *Journal of Audiology and Otology*, 21(1), 22-27.
- López González, M. A. & López Fernández, R. (2004). [Sequential sound therapy in tinnitus]. *Acta Otorrinolaringologica Española*, 55(1), 2-8.
- Lugli, M., Romani, R., Ponzi, S., Bacciu, S., & Parmigiani, S. (2009). The windowed sound therapy: A new empirical approach for an effective personalized treatment of tinnitus. *The International Tinnitus Journal*, 15(1), 51-61.
- Okamoto, H., Stracke, H., Stoll, W., & Pantev, C. (2010). Listening to tailor-made notched music reduces tinnitus loudness and tinnitus-related auditory cortex activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(3), 1207-1210.
- Pantev, C., Okamoto, H., Ross, B., Stoll, W., Ciurlia-Guy, E., Kakigi, R., et al. (2004). Lateral inhibition and habituation of the human auditory cortex. *European Journal of Neuroscience*, 19(8), 2337-2344.

- Pantev, C., Okamoto, H., & Teismann, H. (2012). Music-induced cortical plasticity and lateral inhibition in the human auditory cortex as foundations for tonal tinnitus treatment. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 6, 50.
- Pantev, C., Rudack, C., Stein, A., Wunderlich, R., Engell, A., Lau, P., et al. (2014). Study protocol: Münster tinnitus randomized controlled clinical trial-2013 based on tailor-made notched music training (TMNMT). *BMC Neurology*, 14, 40.
- Schad, M. L., McMillan, G. P., Thielman, E. J., Groon, K., Morse-Fortier, C., Martin, J. L., et al. (2018). Comparison of acoustic therapies for tinnitus suppression: A preliminary trial. *International Journal of Audiology*, 57(2), 143-149.
- Stein, A., Engell, A., Junghoefer, M., Wunderlich, R., Lau, P., Wollbrink, A., et al. (2015a). Inhibition-induced plasticity in tinnitus patients after repetitive exposure to tailor-made notched music. *Clinical Neurophysiology*, 126(5), 1007-1015.
- Tyler, R. S. (2006). Neurophysiological models, psychological models, and treatments for tinnitus. In Tyler, R. S. *Tinnitus Treatment: Clinical Protocols* (pp. 1-22). New York, NY: Thieme.
- Tyler, R. S., Noble, W., Coelho, C. B., & Ji, H. (2012). Tinnitus retraining therapy: Mixing point and total masking are equally effective. *Ear and Hearing*, 33(5), 588-594.
- Tyler, R. S., Owen, R. L., Bridges, J., Gander, P. E., Perreau, A., & Mancini, P. C. (2018). Tinnitus suppression in cochlear implant patients using a sound therapy app. *American Journal of Audiology*, 27(3), 316-323.
- Vernon, J. (1977). Attempts to relieve tinnitus. *Journal of the American Audiology Society*, 2(4), 124-131.
- Vernon, J. & Schleuning, A. (1978). Tinnitus: A new management. *Laryngoscope*, 88(3), 413-419.
- Wunderlich, R., Lau, P., Stein, A., Engell, A., Wollbrink, A., Rudack, C., et al. (2015). Impact of spectral notch width on neurophysiological plasticity and clinical effectiveness of the tailor-made notched music training. *PLoS One*, 10(9), e0138595.