

声学治疗噪声性听力损失的耳鸣

陈 默, 杨见明*

安徽医科大学第二附属医院耳鼻咽喉头颈外科, 安徽 合肥

收稿日期: 2023年11月25日; 录用日期: 2023年12月19日; 发布日期: 2023年12月29日

摘 要

目的: 噪声性听力损失(NIHL)是一段时期过度暴露于噪声引起的感音神经性耳聋。耳鸣是NIHL最常见的症状之一, 它会给患者造成痛苦, 并对他们的生活质量产生不利影响。近年来, 人们对声学疗法(AT)治疗耳鸣的兴趣有所增加。然而, 结果却有很大的差异。结果上的差异可能是由于患者之间的异质性所致。本研究旨在探讨AT治疗NIHL相关性耳鸣的疗效。方法: 本研究纳入204例患者: NIHL相关性耳鸣102例, 慢性耳鸣102例。每个患者均接受纯音测听试验、耳鸣匹配试验和残余抑制试验(RIT)。测量了RIT治疗前后的耳鸣障碍量表(THI)和视觉模拟量表(VAS)。结果: NIHL组与慢性耳鸣组在2000 Hz、4000 Hz、8000 Hz时的纯音测听结果均有统计学差异($p < 0.05$)。NIHL组的耳鸣响度高于慢性耳鸣组($p < 0.05$)。在与NIHL相关的耳鸣患者中, RIT前后的THI和VAS评分有显著差异($p < 0.001$)。NIHL相关耳鸣组与慢性耳鸣组的THI、VAS、RIT评分比较无差异($p > 0.05$)。AT对轻度听力损失NIHL患者的疗效优于重度听力损失患者, 但在年龄和耳鸣病程上无显著差异。结论: 本研究是首次研究AT对NIHL相关耳鸣患者的有效性, 本研究具有重大进展。我们的研究结果显示, AT对轻度听力损失患者的疗效更大。需要一项多中心、大样本的随机对照研究来证实这些初步发现。

关键词

耳鸣, 噪声性听力损失, 声学治疗, 慢性耳鸣, 残留抑制

Acoustic Therapy for Tinnitus Treatment in Noise-Induced Hearing Loss

Mo Chen, Jianming Yang*

Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui

Received: Nov. 25th, 2023; accepted: Dec. 19th, 2023; published: Dec. 29th, 2023

*通讯作者。

Abstract

Background: Noise-induced hearing loss (NIHL) is sensorineural deafness caused by overexposure to noise for periods. The presence of tinnitus is one of the most common symptoms of NIHL, causing distress to patients and adversely affecting their quality of life. Recent years have seen an increase in interest in acoustic therapy (AT) as a treatment option for tinnitus. However, the results have varied considerably. The differences in results may be attributed to heterogeneity among patients. The present study aimed to investigate the effectiveness of AT in NIHL-associated tinnitus. **Method:** The present study enrolled 204 patients: 102 had NIHL-associated tinnitus, and 102 had chronic tinnitus. Each patient received the pure tone audiometry test, tinnitus matching test, and residual inhibition test (RIT). The tinnitus handicap inventory (THI) and visual analogue scale (VAS) for tinnitus loudness were measured before and after the RIT. **Results:** Statistical differences in pure tone audiometry were found at 2000 Hz, 4000 Hz, and 8000 Hz between the NIHL group and the chronic tinnitus group ($p < 0.05$). The loudness of tinnitus was higher in the NIHL group than in the chronic tinnitus group ($p < 0.05$). In NIHL-associated tinnitus patients, significant differences were found in THI and VAS scores from before to after RIT ($p < 0.001$). No difference was found between the NIHL-associated tinnitus group and the chronic tinnitus group in the comparison of THI, VAS, and RIT scores ($p > 0.05$). AT showed better efficacy in NIHL patients with mild hearing loss than in patients with severe hearing loss, but no significant difference was found in age or course of tinnitus. **Conclusion:** As the first study of its kind to examine the effectiveness of AT in patients with NIHL-related tinnitus, this study represents a major advance. Our results showed greater effectiveness of AT in patients with mild hearing loss. A multicentre, large-sample randomized controlled study is needed to confirm these initial findings.

Keywords

Tinnitus, Noise-Induced Hearing Loss, Acoustic Therapy, Chronic Tinnitus, Residual Inhibition

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 介绍

噪音是第二种类型的污染, 影响人类心理和生理健康, 并且可以导致各种疾病[1]。噪声性听力损失 (NIHL) 是一种由长期过度暴露于噪音而引起的感音神经性耳聋, 是最常见的职业病之一, 影响着 12%~19% 的美国工人[2] [3]。由于耳机的使用, 大约有 11 亿青少年和年轻人患有 NIHL。NIHL 损害听力敏感度和语音识别[4]。耳鸣是指在是指在周围环境中无相应声源或电刺激存在的情况下, 病人自觉耳内或颅内有声音的一种主观症状, 由 5.1%~42.7% 的人群中所经历[5], 可能导致患者焦虑、抑郁甚至自杀[6]。耳鸣是 NIHL 最常见的症状之一, 影响着 48% 的 NIHL 患者[7]。NIHL 相关性耳鸣的机制尚未完全阐明。一般认为, 强烈的声波会导致暂时性或永久性的外毛细胞损伤。相对较低剂量的噪声刺激可引起内毛细胞和听觉神经纤维之间突触的短暂变化, 而外毛细胞保持完整。然而, 高剂量的噪声刺激可导致毛细胞肿胀和不可逆死亡, 减少毛细胞与螺旋神经节细胞之间的突触连接, 增加传入纤维的肿胀, 导致听觉神经退行性改变, 这被认为是耳鸣和永久性听力障碍[8]-[12] 的潜在原因。迄今为止, 还没有一种治疗方法

被证明可以消除 NIHL 相关的耳鸣。近年来,人们对耳鸣的声学疗法(AT)的兴趣越来越大。AT 是一种无创、安全、方便的耳鸣治疗方法,它通过声刺激来改变人们对耳鸣的感知和反应[13]。AT 的作用机制尚未得到充分的研究。目前研究表明,耳鸣可以通过暴露于声刺激来产生抑制作用,如窄带噪声、宽带噪声和纯音[14]。当刺激以耳鸣频率为中心或接近耳鸣频率时,会诱导最大的残留抑制(RI)水平。经耳鸣匹配试验和阳性残余抑制试验(RIT)评估的患者的 AT 显示有效率为 75%~92% [15]。基于这些证据,我们有理由认为,对于 RIT 阳性的患者 AT 可以作为一种有效的治疗方式。

AT 对特发性耳鸣患者的疗效已被报道。然而,有效率在 21%到 67%之间,结果差异很大。由于特发性耳鸣的病因不明,这些患者之间存在很大的异质性[14]-[20]。相比之下,NIHL 患者代表了一个同质队列,耳鸣的病因相对明确,更适合 AT 的研究。据我们所知,没有研究分析 AT 在 NIHL 相关耳鸣患者中的有效性。本研究旨在为 AT 对 NIHL 相关性耳鸣患者的有效性提供证据。

2. 材料和方法

2.1. 参与者

选取 2018 年 7 月至 2021 年 7 月在安徽医科大学第二附属医院就诊的慢性耳鸣(耳鸣病程 > 6 个月)的受试者。受试者的平均年龄为 42.71 岁。参与者被分为 NIHL 组和特发性慢性耳鸣组。NIHL 组的纳入标准是有超过 3 年的持续噪声环境暴露病史的耳鸣和听力损失。慢性耳鸣组的纳入标准为无噪声暴露史且病程超过 3 个月。两组的排除标准包括听神经或脑部疾病、创伤史和其他系统性疾病或心理疾病。有沟通困难或无法合作的患者也被排除在外。所有参与者在报名前均签署了知情同意书。本研究经安徽医科大学第二附属医院(中国合肥)伦理委员会批准。

2.2. 研究程序

在入组前,所有患者都进行了病史收集、听力学评估、耳镜检查、颅骨和内耳道的计算机断层扫描(CT)或磁共振成像(MRI),以排除可能导致慢性耳鸣的耳科疾病,如中耳疾病、梅尼埃氏病和突发性耳聋。符合排除标准患者被排除在外。本研究将患者分为 NIHL 组和特发性慢性耳鸣组。随后,要求患者完成耳鸣匹配试验、耳鸣的响度和频率测定。同时,患者完成问卷调查,问卷包括耳鸣障碍量表(THI)和视觉模拟量表(VAS)。最后,进行残余抑制试验(RIT),在 RI 后,患者再次完成 THI 和 VAS 问卷。

2.3. 听力检查

听力检查包括纯音测听(PTA)和耳鸣匹配测试。每个参与者都被带进隔音室(按照 GBT-16403 标准),该标准将外部噪音保持在 20 dB 以下。为减少他们听到的外部噪音,参与者被要求佩戴降噪耳机,并由一名专业技术人员完成所有的听力检查。

对每个患者进行 PTA 检测,评估 250 Hz、500 Hz、1000 Hz、2000 Hz、4000 Hz、8000 Hz 6 个频率的听力阈值。听力损失的严重程度是根据每个频率的阈值来确定的:轻度 26~40 dB HL;中度 41~60 dB HL;重度 61~80 dB HL;极重度 > 80 dB HL。

我们通过耳机发送给参与者的每个频率上,选择了一个高于阈值 10 dB 的纯音。然后,我们传递了三个相邻的测试声音(如 2000 Hz、4000 Hz 和 8000 Hz),患者选择了频率与耳鸣声音最相似的声音(如 4000 Hz 是最相似的)。然后,技术人员以测试音调频率为中心,缩小频率范围;参与者被要求在测试音调和两个相邻的测试声音(如 3000 Hz、4000 Hz 和 5000 Hz)之间进行选择。之后,技术人员要求参与者在听纯音和他们的耳鸣的声音之间交替听。上述步骤重复几次,直到参与者确信测试音与他们的耳鸣最相似;与耳鸣最相似的纯音频率被认为是耳鸣的频率。然后,我们在耳鸣频率下逐渐增加 1 分贝步长的测

试声音响度, 并将测试声音与耳鸣声音相同的响度作为耳鸣响度的衡量指标。

2.4. 对耳鸣严重程度的评估

THI 是一个评估参与者的功能、情绪和灾难的耳鸣痛苦。THI 包含 25 个问题, 每个问题都在 0~4 的分数上(4, “总是”; 2, “有时”; 0, “不”。耳鸣的严重程度以总分为基础。THI 已在以前的研究中被广泛应用, 用于评估各种耳鸣管理实践的有效性。在本研究中, 患者被要求在 RIT 前后完成 THI。

VAS 已被广泛应用于测量耳鸣的变化。每个参与者都问你: “你的耳鸣压力有多大?” 分数从 0 到 10; 0 表示没有烦恼, 10 表示非常恼人。在本研究中, 要求患者在 RIT 前后完成 VAS。

2.5. 残余抑制试验

在进行耳鸣匹配测试后, 我们在耳鸣匹配频率处给予比耳鸣响度高 10 dB 的声刺激。对于纯音频率的耳鸣参与者, 我们使用以纯音为中心的窄带噪声进行刺激。对于在白噪声频率下的耳鸣参与者, 我们使用白噪声进行刺激。刺激持续了 1 分钟。刺激后, 立即记录耳鸣的变化。研究结果被分为三类: 阳性、部分阳性和阴性。阳性表示耳鸣完全消失。部分阳性表示耳鸣体积下降一段时间, 或耳鸣的音质暂时改变。阴性提示 RIT 没有改变耳鸣。

2.6. 统计分析

所有统计分析均采用 SPSS 22.0 版软件进行, 双侧 p 值 $<$ 为 0.05, 认为有统计学意义。采用 Spearman 回归分析来评价各因素之间的相关性。采用 Mann-Whitney U 检验和 t 检验比较慢性耳鸣组和 NIHL 组在基线特征(年龄、平均纯音阈值、耳鸣病程、耳鸣响度和耳鸣频率)方面的差异。

Kruskal-Wallis 检验用于比较 RIT 前后 THI 和 VAS 评分的变化。采用卡方检验比较两组间 RIT 结果的差异。

3. 结果

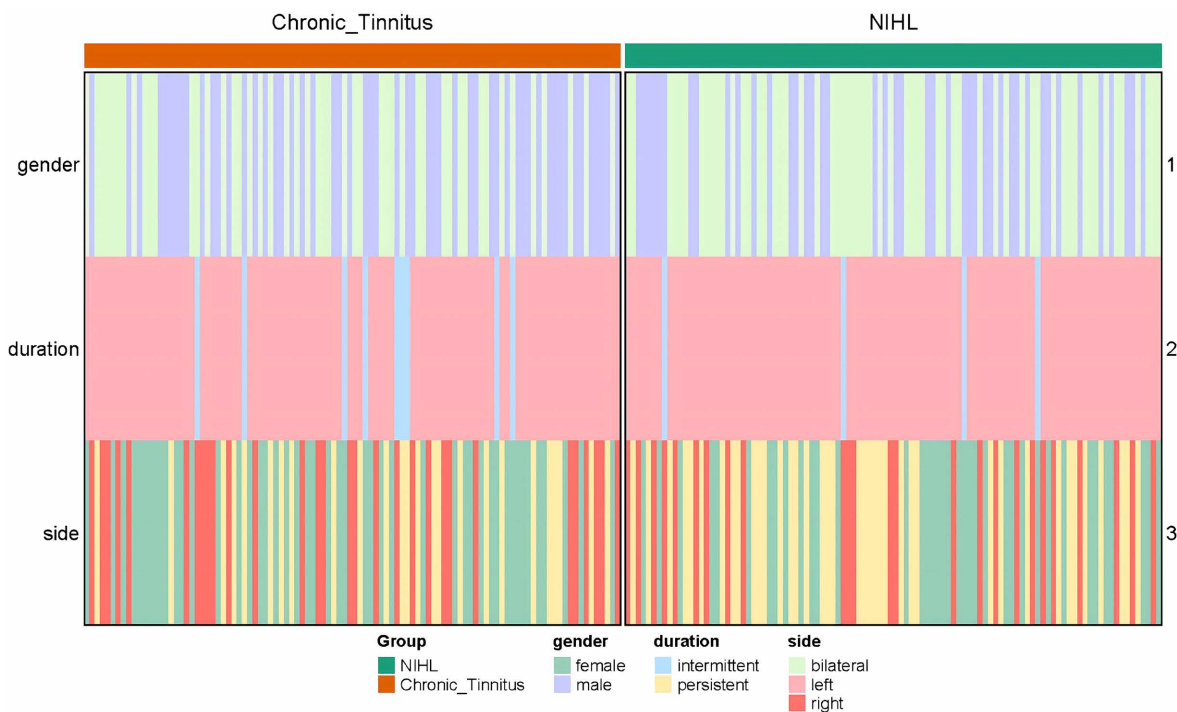


Table 1. Baseline characteristics of patients in two groups**表 1.** 两组患者的基线特征

	NIHL (n = 102)	慢性耳鸣(n = 102)	p 值
年龄, 年	42.71 ± 12.43	42.09 ± 16.02	0.759
性别	M:F = 59:43	M:F = 48:54	0.161
侧别	L:R = 77:63	L:R = 55:77	0.107
耳鸣病程, 年	6.57 ± 4.86	4.14 ± 2.18	<0.001
间歇性持续性	I:P = 4:98	I:P = 9:93	0.251

注: M, 男; F, 女; L, 左; R, 右; I, 间歇性; P, 持续性。

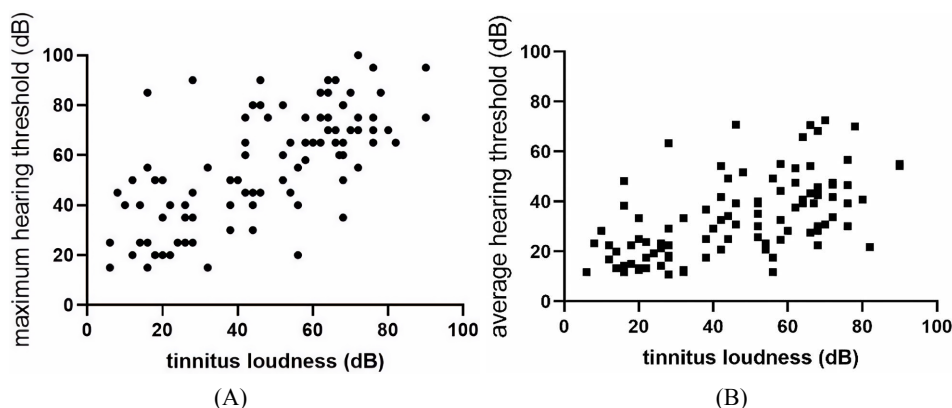
本研究纳入 204 例患者: 102 例 NIHL 相关耳鸣, 102 例慢性耳鸣。本研究未发现 AT 的副作用。NIHL 组与慢性耳鸣组($p < 0.001$)之间的耳鸣病程有显著性差异。两组在性别、侧性和持续时间上均无显著差异(表 1)。

根据 PTA 检验, NIHL 组在各频率下的听力阈值和平均听力阈值均高于慢性耳鸣组。在 2000 Hz、4000 Hz 和 8000 Hz 时观察到统计学差异($p < 0.05$)(表 2)。耳鸣匹配试验显示, NIHL 组的耳鸣响度高于慢性耳鸣组($p = 0.003$)。NIHL 组的耳鸣频率低于慢性耳鸣组, 但此差异无统计学意义($p = 0.105$)。

Table 2. Comparison of hearing threshold and tinnitus matching at different frequencies between NIHL and chronic tinnitus group**表 2.** NIHL 与慢性耳鸣组在各频率下听力阈值及耳鸣匹配对照

	NIHL (n = 102)	慢性耳鸣(n = 102)	p 值
250 Hz	25.68 ± 14.42	25.05 ± 17.11	0.740
500 Hz	25.72 ± 15.68	23.28 ± 16.34	0.280
1000 Hz	27.61 ± 17.69	23.6 ± 17.15	0.064
2000 Hz	31.00 ± 20.47	24.80 ± 17.03	0.020
4000 Hz	44.20 ± 23.74	32.89 ± 21.02	<0.001
8000 Hz	45.95 ± 26.80	36.52 ± 23.24	0.008
纯音平均	33.39 ± 15.90	27.63 ± 15.95	0.010
耳鸣响度, dB	46.66 ± 22.23	37.26 ± 21.65	0.003
耳鸣频率, Hz	3641.42 ± 2334.04	4230.07 ± 2809.56	0.105

为了评估 NIHL 相关性耳鸣患者的心理声学特征, 我们对耳鸣和基线特征进行了斯皮尔曼相关分析。耳鸣响度与平均听力阈值呈正相关, 耳鸣响度与最大听力阈值呈正相关(图 1(A), 图 1(B))。在慢性耳鸣组中, THI 评分与年龄相关($p < 0.01$)(图 1(C))。然而, 在 NIHL 组中, 这种关系没有统计学意义($p = 0.052$)(图 1(D))。



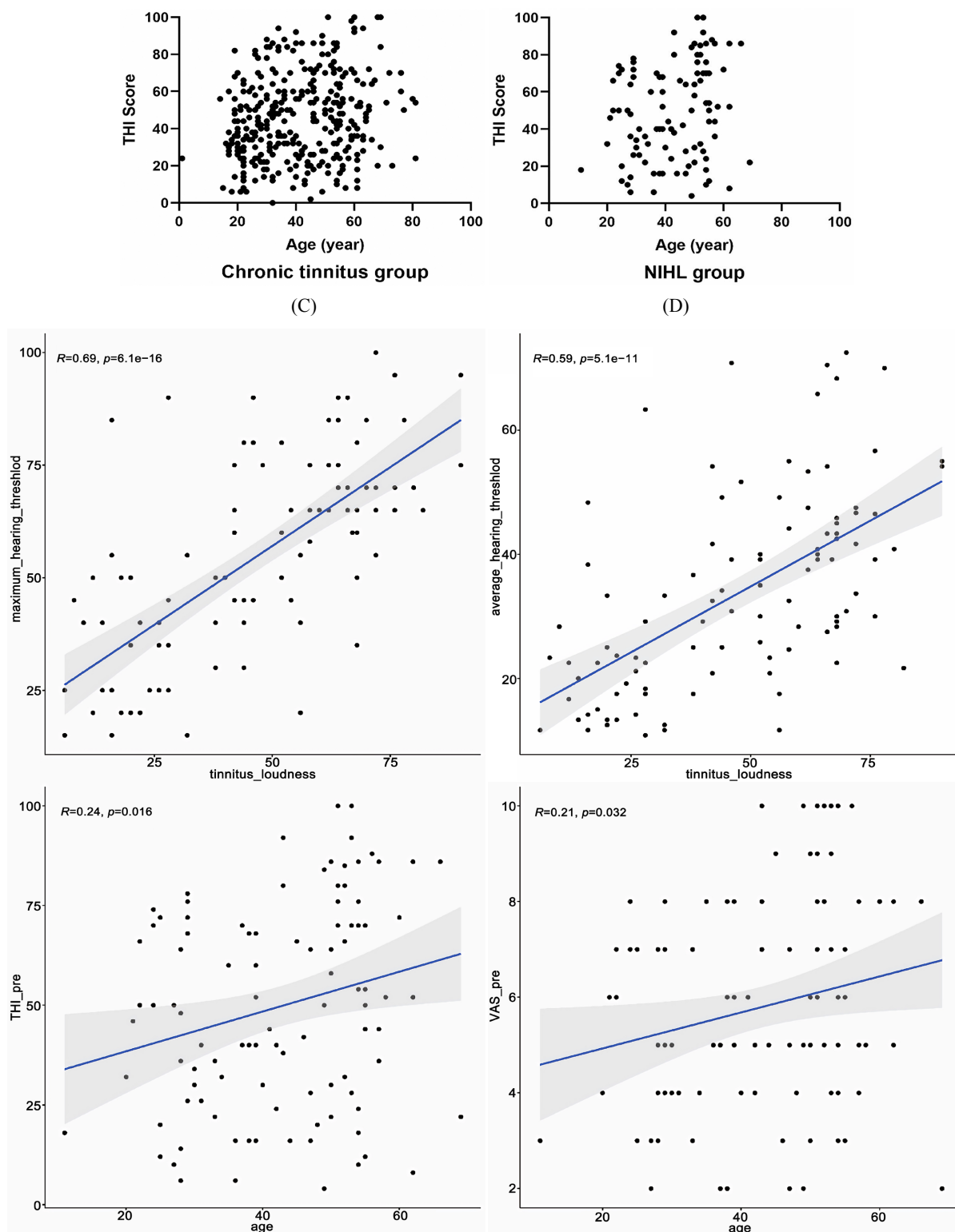


Figure 1. Tinnitus loudness was correlated with the maximum hearing thresholds (A) and the average maximum hearing thresholds (B). THI scores were correlated with age in the tinnitus group (C) ($p < 0.01$). No statistical correlation was found between age and THI scores in the NIHL group (D) ($p > 0.05$)

图 1. 耳鸣响度与最大听力阈值(A)和平均最大听力阈值(B)相关性; 耳鸣组 THI 评分与年龄相关($p < 0.01$) (C)。NIHL 组的年龄与 THI 评分之间无统计学相关性(D) ($p > 0.05$)

NIHL 相关耳鸣患者在 RIT 治疗前后的 THI 和 VAS 评分有显著差异(图 2)。

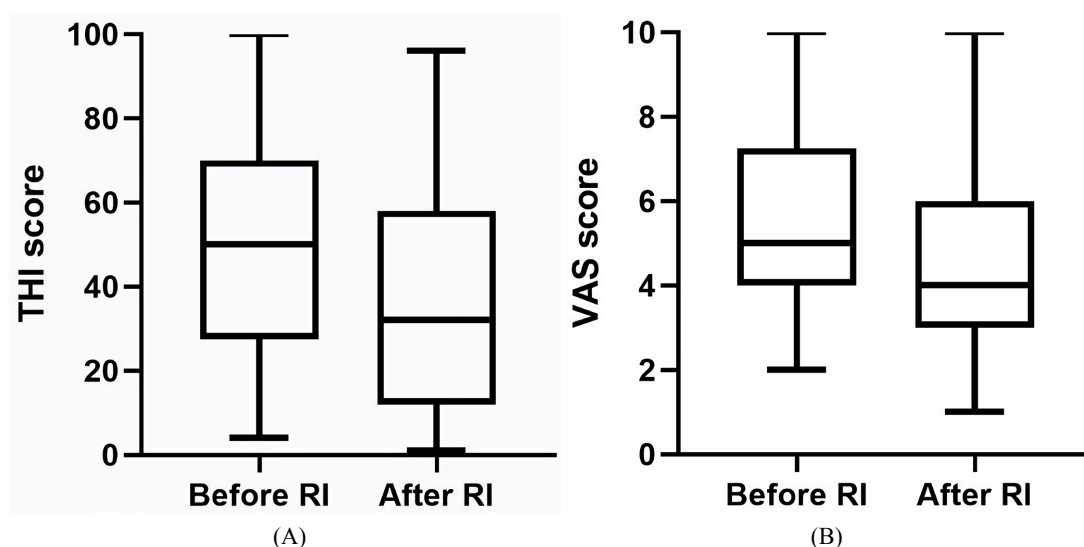


Figure 2. AT effects on NIHL-associated tinnitus. (A) A significant difference in THI scores was found before and after the RIT. (B) A significant difference in VAS scores was found before and after the RIT (* $p < 0.001$; paired t test)

图 2. AT 对 NIHL 相关性耳鸣的影响。(A) RIT 前后 THI 评分有显著差异。(B) 治疗前后 VAS 评分差异有统计学意义(* $p < 0.001$, 配对样本 t 检验)

为了评估 AT 指标的差异, 我们发现 NIHL 组与慢性耳鸣组术前 THI 评分、RIT 后 THI 评分、RIT 前 VAS 评分、RIT 后 VAS 评分结果无显著差异($p > 0.05$) (表 3)。

Table 3. RIT, THI and VAS scores of NIHL group and chronic tinnitus group before and after RI
表 3. NIHL 组与慢性耳鸣组在 RI 前后的 RIT、THI、VAS 评分结果

	NIHL (n = 102)	慢性耳鸣(n = 102)	p 值
RI (完全阳性/部分阳性/阴性)	14:47:41	20:39:43	0.396
RI 之前的 THI	49.77 ± 26.09	45.79 ± 22.49	0.245
RI 后的 THI	37.81 ± 26.11	6.12 ± 2.03	0.262
RI 前的 VAS	5.78 ± 2.20	34.62 ± 21.47	0.323
RI 后的 VAS	3.85 ± 2.32	5.02 ± 1.84	0.122

注: THI, 耳鸣障碍库存评分; VAS, 视觉模拟量表评分。

在 NIHL 组中, AT 对轻度听力损失患者的疗效优于重度听力损失患者。然而, 基于耳鸣病程和年龄的亚组之间没有发现显著差异(表 4)。

Table 4. AT was more efficacious in NIHL patients with mild hearing loss than in patients with severe hearing loss
表 4. AT 在轻度听力损失的 NIHL 患者中比严重听力损失的患者更有效

		THI (SD)	VAS (SD)	RI (cp/pp/n)
年龄	≤44 年	14.16 ± 9.14	1.27 ± 1.02	6:24:21
	>44 年	10.16 ± 10.11	1.20 ± 0.47	8:23:20
	p	0.039	0.755	0.847

Continued

	轻度	18.12 ± 9.82	2.03 ± 1.55	7:15:11
	中度	15.29 ± 10.56	1.35 ± 0.61	3:8:6
听力损失	中度至重度	11.33 ± 7.08	1.11 ± 1.01	2:18:7
	重度	3.04 ± 1.86	0.24 ± 0.43	2:6:17
	p	<0.001	<0.001	0.023
耳鸣病程	≤5 年	12.14 ± 8.80	1.38 ± 1.43	5:19:18
	>5 年	12.16 ± 10.51	1.13 ± 1.13	9:28:23
	p	0.990	0.331	0.857

注: THI, RI 前后 THI 评分差异; VAS, RI 前后 VAS 评分差异; cp, 完全阳性; pp, 部分阳性; n, 阴性。

4. 讨论

目前对 NIHL 相关性耳鸣的潜在机制的了解有限。正常受试者在听觉通路的每个水平上的自发放电可能会引起“内部噪音”。这种“内部噪音”不会干扰人们,也不会破坏他们感知或分析他们所听到的声音的能力。然而,当暴露在高强度的外部噪音中时,“内部噪音”的响度可能会增加并成为耳鸣。换句话说,听觉系统中的神经活动在耳蜗没有输入的情况下可以增强。自发的放电或增强的神经活动被认为是大脑的外部声音[21][22][23]。

RI 最初在 1903 年被描述,并在 1971 年首次被系统地研究[24]。RI 是由对聋人区域的听觉刺激后的听力损失引起的外周或中枢水平的神经元过度活动的变化引起的。在 80%~90% 的耳鸣患者中,在高于最低掩蔽水平(MML) 10 dB 时,超过 1 分钟的宽带噪声刺激可诱发 RI。不同患者的 RI 的持续时间差异很大。先前的研究表明,当噪声刺激集中于或接近耳鸣频率时,RI 似乎最大,最大 RI 时间随着刺激持续时间的增加呈对数关系[25]。Galazyuk 等人观察到小鼠声音暴露后自发活动的下丘神经元受到抑制,提示 RIT 可能降低听觉通路的自发放电率[22]。虽然 RIT 最近已被用于耳鸣的治疗,但结果是相互矛盾的。考虑到上述假设和 AT 疗效的差异,我们决定评估 AT 在 NIHL 相关耳鸣治疗中的应用。

本研究旨在为 AT 治疗 NIHL 相关性耳鸣的有效性提供第一个证据。在本研究中,我们共纳入了 204 例患者,NIHL 患者与特发性慢性耳鸣患者的 AT 指标,包括 THI 评分、VAS 评分、RITs 评分结果,均无差异。此外,为了分析与 AT 的有效性相关的因素,我们比较了各亚组间的 AT 指标,包括 THI 评分、VAS 评分和 RIT 测试结果。结果显示,AT 对轻度 NIHL 患者比对重度 NIHL 患者更有效。

在听力测试结果方面,NIHL 组各频率的听力阈值均高于慢性耳鸣组,在 2000 Hz、4000 Hz、8000 Hz 与平均纯音均有显著差异。此外,NIHL 患者的耳鸣音量明显高于特发性慢性耳鸣患者。考虑到所有 NIHL 患者都有噪声暴露和听力损失史,差异可能是由于 NIHL 患者的毛细胞损伤比慢性耳鸣患者更严重。耳鸣响度与最大听力阈值和平均阈值相关,耳鸣频率与最大听力阈值的频率不匹配。这些结果与以前的研究结果相同。特发性慢性耳鸣组的年龄与 THI 评分之间有统计学相关性,而 NIHL 组没有发现。我们假设噪声暴露的持续时间和剂量可能在 NIHL 的严重程度中比年龄发挥更重要的作用[22]。

其他研究表明,RI 的阳性率在 7%~55% 之间[23]。在本研究中,59.80% 的 NIHL 相关耳鸣患者的 RIT 呈阳性或部分阳性,13.73% 的 RI 呈阳性。50.14% 的 NIHL 相关耳鸣患者的 RIT 呈阳性或部分阳性,10.72% 的 RI 呈阳性。因此,尽管 NIHL 相关性耳鸣患者比其他研究中的患者样本是一个更同质的耳鸣患者队列,但阳性率相当具有可比性。考虑到 NIHL 和慢性耳鸣的发病机制相似,该结果可以解释为什么 NIHL 相关耳鸣与特发性耳鸣组在 THI 评分、VAS 评分和 RIT 结果方面没有差异。

密集的噪音暴露和长时间的工作时间会导致听力损失[26]。NIHL 患者的噪声创伤和听力损失程度不同, 其潜在机制也不同[27]。研究表明, 轻度到中度的噪音可以可逆地损害毛细胞, 特别是外毛细胞。严重的噪音暴露意味着高剂量的噪音或长时间暴露在噪音中[28]。在这种情况下, 毛细胞肿胀和不可逆的死亡, 可导致永久性听力损失。听力损失的程度与噪声损伤的程度有关。此外, 听力损失水平与耳鸣严重程度之间存在剂量 - 反应关系。因此, 听力损失的严重程度可能预示着耳鸣的预后。在本研究中, NIHL 组的听力损失程度与 AT 的指标密切相关。轻度听力损失患者的 RIT 阳性率最好, 重度听力损失患者的 RIT 阳性率最差, 这与我们的假设一致。

5. 结论

本研究提出了 AT 治疗 NIHL 相关性耳鸣的有效性证据。研究结果显示, AT 对轻度听力损失的患者更有效。还需要进一步的研究来证实这些初步发现。

数据可用性声明

本研究的原始数据可根据要求从通讯作者处获取。

违背公共利益的行为

作者声明他们没有利益冲突。

作者贡献

陈默及王志先收集并分析了数据、陈默撰写了手稿。吕晨曦修改了手稿。李凌雪和刘俊制定了研究构思和设计, 为研究提供了监督, 并修改了稿件。所有作者都参与了这篇文章, 并批准了提交的版本。

确认信息

我们感谢帮助作者的努力的特定同事、机构或机构的贡献。

参考文献

- [1] World Health Organization (2001) Occupational and Community Noise. World Health Organization, Geneva.
- [2] Mitchell, J. and McCombe, A. (2009) Noise-Induced Hearing Loss. *ENT Masterclass*, **2**, 107-111.
- [3] Chadha, S. and Cieza, A. (2017) Promoting Global Action on Hearing Loss: World Hearing Day. *International Journal of Audiology*, **56**, 145-147. <https://doi.org/10.1080/14992027.2017.1291264>
- [4] Kerns, E., Masterson, E.A., Themann, C.L. and Calvert, G.M. (2018) Cardiovascular Conditions, Hearing Difficulty, and Occupational Noise Exposure within US Industries and Occupations. *American Journal of Industrial Medicine*, **61**, 477-491. <https://doi.org/10.1002/ajim.22833>
- [5] Clarke, N.A., Akeroyd, M.A., Henshaw, H., *et al.* (2018) Association between Subjective Tinnitus and Cognitive Performance: Protocol for Systematic Review and Meta-Analysis. *BMJ Open*, **8**, e023700. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-023700>
- [6] Molini, E., Faralli, M., Calzolaro, L., *et al.* (2014) Impact of Identifying Factors Which Trigger Bothersome Tinnitus on the Treatment Outcome in Tinnitus Retraining Therapy. *ORL*, **76**, 81-88. <https://doi.org/10.1159/000360994>
- [7] Dias, A., Cordeiro, R., Corrente, J.E. and Gonçalves, C.G.O. (2006) Associação entre perda auditiva induzida pelo ruído e zumbidos. *Cadernos de Saúde Pública*, **22**, 63-68. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2006000100007>
- [8] Tikka, C., Verbeek, J.H., Kateman, E., *et al.* (2017) Interventions to Prevent Occupational Noise Induced Hearing Loss. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, No. 7, CD006396.
- [9] Lynch, E. and Kil, J. (2005) Compounds for the Prevention and Treatment of Noise-Induced Hearing Loss. *Drug Discovery Today*, **10**, 1291-1298. [https://doi.org/10.1016/S1359-6446\(05\)03561-0](https://doi.org/10.1016/S1359-6446(05)03561-0)
- [10] Fetoni, A., Paciello, F., Rolesi, R., Paludetti, G. and Troiani, D. (2019) Targeting Dysregulation of Redox Homeostasis in Noise-Induced Hearing Loss: Oxidative Stress and ROS Signaling. *Free Radical Biology & Medicine*, **135**, 46-59.

- <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.02.022>
- [11] Liberman, M. (2016) Noise-Induced Hearing Loss: Permanent versus Temporary Threshold Shifts and the Effects of Hair Cell versus Neuronal Degeneration. In: Popper, A. and Hawkins, A., Eds., *Advances in Experimental Medicine and Biology*, Vol. 875, Springer, New York, 1-7. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2981-8_1
- [12] Mao, H. and Chen, Y. (2021) Noise-Induced Hearing Loss: Updates on Molecular Targets and Potential Interventions. *Neural Plasticity*, **2021**, Article ID: 4784385. <https://doi.org/10.1155/2021/4784385>
- [13] Fang, Q., Liang, C., Yan, L. and Yang, J. (2021) Comparison of Sudden Sensorineural Hearing Loss with Tinnitus and Short-Term Tinnitus. *Neural Plasticity*, **2021**, Article ID: 6654932. <https://doi.org/10.1155/2021/6654932>
- [14] Neff, P.K.A., Schoisswohl, S., Simoes, J., Staudinger, S., Langguth, B., Schecklmann, M. and Schlee, W. (2021) Prolonged Tinnitus Suppression after Short-Term Acoustic Stimulation. *Progress in Brain Research*, **262**, 159-174. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2021.02.004>
- [15] Schoisswohl, S., Arnds, J., Schecklmann, M., Langguth, B., Schlee, W. and Neff, P. (2020) Amplitude Modulated Noise for Tinnitus Suppression in Tonal and Noise-Like Tinnitus. *Audiology & Neuro-Otology*, **24**, 309-321. <https://doi.org/10.1159/000504593>
- [16] Neff, P., Langguth, B., Schecklmann, M., Hannemann, R. and Schlee, W. (2019) Comparing three Established Methods for Tinnitus Pitch Matching with Respect to Reliability, Matching Duration, and Subjective Satisfaction. *Trends in Hearing*, **23**. <https://doi.org/10.1177/2331216519887247>
- [17] Neff, P., Zielonka, L., Meyer, M., Langguth, B., Schecklmann, M. and Schlee, W. (2019) Comparison of Amplitude Modulated Sounds and Pure Tones at the Tinnitus Frequency: Residual Tinnitus Suppression and Stimulus Evaluation. *Trends in Hearing*, **23**. <https://doi.org/10.1177/2331216519833841>
- [18] Fournier, P., Cuvillier, A.-F., Gallego, S., Paolino, F., Paolino, M., Quemar, A., Londero, A. and Norena, A. (2018) A New Method for Assessing Masking and Residual Inhibition of Tinnitus. *Trends in Hearing*, **22**. <https://doi.org/10.1177/2331216518769996>
- [19] Sockalingam, R., Dunphy, L., Nam, K.-E. and Gulliver, M. (2009) Effectiveness of Frequency Matched Masking and Residual Inhibition in Tinnitus Therapy: A Preliminary Study. *Audiological Medicine*, **5**, 92-102. <https://doi.org/10.1080/16513860701362124>
- [20] Hazell, J.W.P. and Wood, S. (2009) Tinnitus Masking—A Significant Contribution to Tinnitus Management. *British Journal of Audiology*, **15**, 223-230. <https://doi.org/10.3109/03005368109081442>
- [21] Shore, S.E. and Wu, C. (2019) Mechanisms of Noise-Induced Tinnitus: Insights from Cellular Studies. *Neuron*, **103**, 8-20. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.05.008>
- [22] 冯帅. 长时程低强度环境噪声对年龄相关性耳聋影响的研究[D]: [博士学位论文]. 沈阳: 中国医科大学, 2022. <https://doi.org/10.27652/d.cnki.gzyku.2021.000034>
- [23] Galazyuk, A.V., Longenecker, R.J., Voytenko, S.V., Kristaponyte, I. and Nelson, G.L. (2019) Residual Inhibition: From the Putative Mechanisms to Potential Tinnitus Treatment. *Hearing Research*, **375**, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2019.01.022>
- [24] Galazyuk, A.V., Voytenko, S.V. and Longenecker, R.J. (2017) Long-Lasting Forward Suppression of Spontaneous Firing in Auditory Neurons: Implication to the Residual Inhibition of Tinnitus. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, **18**, 343-353. <https://doi.org/10.1007/s10162-016-0601-9>
- [25] Feldmann, H. (1971) Homolateral and Contralateral Masking of Tinnitus by Noise-Bands and by Pure Tones. *Audiology*, **10**, 138-144. <https://doi.org/10.3109/00206097109072551>
- [26] Ye, H., Li, G., Zhuang, B. and Li, W. (2016) The Relationship between Noise Deafness and Noise Frequency. *Journal of Qiqihar University of Medicine*, **37**, 234-242.
- [27] 杨紫荆, 龚树生. 噪声性隐性听力损失的发病机制及干预研究进展[J]. 中华耳科学杂志, 2022, 20(6): 971-975.
- [28] Terry, A.M.P., Jones, D.M., Davis, B.R. and Slater, R. (1983) Parametric Studies of Tinnitus Masking and Residual Inhibition. *British Journal of Audiology*, **17**, 245-256. <https://doi.org/10.3109/03005368309081485>