

经皮神经电刺激治疗慢性主观性耳鸣： 临床疗效与神经可塑性机制

胡怡静¹, 查定军^{2*}

¹西安医学院研究生院, 陕西 西安

²空军军医大学西京医院耳鼻咽喉头颈外科, 陕西 西安

收稿日期: 2026年8月9日; 录用日期: 2026年9月3日; 发布日期: 2026年9月11日

摘要

目的: 系统评价经皮神经电刺激(transcutaneous electrical nerve stimulation, TENS)治疗慢性主观性耳鸣的临床疗效, 并探讨其潜在神经可塑性机制。方法: 检索PubMed、Web of Science、Cochrane Library、CNKI及万方数据库建库至2025年12月关于TENS及其变体(经皮耳迷走神经刺激taVNS、经皮三叉神经刺激)治疗慢性主观性耳鸣的临床研究, 系统归纳TENS对耳鸣主观感知(耳鸣致残量表THI、耳鸣功能指数TFI、视觉模拟量表VAS)、共病情绪(GAD-7、PHQ-9、HADS、BAI)及睡眠质量(PSQI)的改善作用, 并整合听性脑干反应(ABR)与静息态脑电图(EEG)证据, 分析其对听觉通路及大脑网络可塑性的调节作用。结果: 现有证据表明, TENS可显著降低THI评分(平均降低约7.6~16.2分), 约35%~45%患者报告主观症状改善, 疗效主要表现为减轻耳鸣相关主观困扰与致残性而非消除耳鸣感知本身。由于多数研究存在盲法实施的固有困难, 上述效应量可能部分受到安慰剂效应的影响。客观电生理研究显示, TENS可抑制听觉脑干过度兴奋(ABR I波波幅降低、波间期缩短), 并在皮层水平增强额叶 α 功率、抑制听觉及相关皮层 γ 振荡, 削弱听觉皮层与默认网络(DMN)、边缘系统间的病理功能连接。结论: TENS作为安全、无创辅助疗法, 可通过调节听觉-体感整合通路与大脑网络振荡短期内有效减轻耳鸣相关困扰与共病情绪。未来需通过改进研究设计(尤其是采用令人信服的假刺激对照)来更精确地评估其真实效应, 并基于耳鸣亚型开展精准分层研究, 结合声治疗优化个体化方案以提升长期疗效。

关键词

经皮神经电刺激, 慢性主观性耳鸣, 神经可塑性, 听觉脑干反应, 脑电图

Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation for Chronic Subjective Tinnitus: Clinical Efficacy and Neuroplasticity Mechanisms

*通讯作者。

文章引用: 胡怡静, 查定军. 经皮神经电刺激治疗慢性主观性耳鸣: 临床疗效与神经可塑性机制[J]. 临床医学进展, 2026, 16(9): 1343-1350. DOI: 10.12677/acm.2026.1693171

Yijing Hu¹, Dingjun Zha^{2*}

¹Graduate School, Xi'an Medical University, Xi'an Shaanxi

²Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Xijing Hospital, Air Force Medical University, Xi'an Shaanxi

Received: August 9, 2026; accepted: September 3, 2026; published: September 11, 2026

Abstract

Objective: This systematic review aims to comprehensively evaluate the clinical efficacy of TENS in chronic subjective tinnitus and to explore its underlying neuroplasticity mechanisms. **Methods:** A systematic literature search was performed in PubMed, Web of Science, Cochrane Library, CNKI and Wanfang databases up to December 2025 for clinical studies on TENS, taVNS and trigeminal branch stimulation in chronic subjective tinnitus. The review focused on subjective tinnitus perception (THI; TFI; VAS), comorbid emotional symptoms (GAD-7, PHQ-9, HADS, BAI) and sleep quality (PSQI), together with objective electrophysiological evidence from ABR and resting-state EEG. **Results:** Current evidence demonstrates that TENS produces a mild-to-moderate but clinically meaningful reduction in tinnitus-related distress: meta-analyses show that electrical stimulation including TENS can reduce THI scores by approximately 7.6~16.2 points, with about 35%~45% of patients reporting subjective symptom relief. The improvement is more pronounced in reducing functional disability and emotional burden than in decreasing perceived loudness. Due to inherent challenges in blinding, effect sizes may be partially influenced by placebo responses. Objective electrophysiology provides convergent support: at the brainstem level, ABR studies report reductions in Wave I amplitude and shortened inter-peak latencies (I~III, III~V); at the cortical level, EEG studies demonstrate enhanced frontal alpha power and suppressed excessive gamma oscillations in auditory-related regions, with decoupling of hyperconnectivity between auditory cortex, the DMN and the limbic system. **Conclusion:** As a safe, non-invasive adjunctive therapy, TENS can alleviate tinnitus-related distress and comorbid emotional symptoms in the short term by modulating the auditory-somatosensory integration pathway and rebalancing aberrant brain network oscillations. Future studies should employ improved methodology—particularly convincing sham controls—and adopt precision-medicine approaches based on tinnitus subtypes, combined with sound therapy (bimodal neuromodulation), to achieve sustained benefits.

Keywords

Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation, Chronic Subjective Tinnitus, Neuroplasticity, Auditory Brainstem Response, Electroencephalography

Copyright © 2026 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. 引言

1.1. 慢性主观性耳鸣的定义、流行病学与疾病负担

慢性主观性耳鸣是指在无外界声源刺激时患者自觉耳内或颅内存在声响的一种神经系统感知异常，常无明确外周病因可查。流行病学调查显示全球约 15%~20% 的人群曾经历耳鸣[1]，其中一部分因耳鸣导

致明显心理困扰、睡眠障碍及社交受限[2], 严重影响生活质量。系统综述指出成人耳鸣患者合并抑郁症的比例中位数高达 33% (IQR 19%~49%), 且耳鸣严重度与焦虑、抑郁水平呈正相关[3], 二者互为恶化因素, 因此对耳鸣共病的识别与干预十分重要[4]。

1.2. 慢性耳鸣的核心病理机制：从外周损伤到中枢神经可塑性异常

耳鸣绝大多数继发于不同程度的听力损失[5]。外周听觉输入减少触发中枢神经系统可塑性重组, 表现为初级及次级听觉皮层神经元自发性过度活跃及异常同步化, 被认为是耳鸣感知的神经基础[6]。与此同时, 非听觉结构特别是前扣带回皮层、岛叶、杏仁核及背外侧前额叶参与赋予耳鸣信号情绪与注意权重, 其功能紊乱与耳鸣所致烦恼密切相关[7] [8]。近年研究强调全脑网络协同失调在耳鸣持续中的作用: 边缘系统将异常听觉信号赋予负性情绪意义, 形成“耳鸣-负性情绪”恶性循环[9]; 默认模式网络(DMN)与听觉皮层的功能连接增强使耳鸣固化为持续性内感受内容, 难以被外源性注意抑制[8]。这一“听觉-边缘-DMN”交互异常为针对非听觉脑区的神经调控(包括 TENS、rTMS 及 taVNS)提供了理论依据。

1.3. 当前主流治疗方法的局限性与临床需求

目前一线管理策略包括教育咨询、认知行为疗法(CBT)、声治疗[10](背景声富集、窄带噪声掩蔽或分心)及耳鸣再训练疗法(TRT)[11]。虽有一定循证支持, 但这些方法多针对伴随症状及应对方式, 无法直接逆转听觉通路异常可塑性, 且约 30%~50%患者对单纯 CBT 或声治疗反应欠佳, 临床亟需基于病理机制、可直接调节神经活动的新型干预手段[12]。

1.4. 非侵入性神经调控技术概述及 TENS 的提出

非侵入性神经调控技术通过无创施加电、磁或声能量调节神经系统功能[13], 分为中枢调控(tDCS、rTMS)与外周调控(经皮电刺激)两大类[14]-[16]。近年发现, 刺激三叉神经皮支(眶上神经、耳颞神经)或颈部 C2~C3 皮节能经由听觉-体感整合在耳蜗背核水平调制听觉通路兴奋性[17], 为 TENS 用于慢性耳鸣提供了解剖与生理基础。

2. 方法

2.1. 文献检索策略

计算机检索 PubMed、Web of Science、Cochrane Library、CNKI 及万方数据知识服务平台, 时限建库至 2025 年 12 月。中文检索词: “经皮神经电刺激”“经皮耳迷走神经刺激”“耳鸣”“慢性耳鸣”“神经调控”“神经可塑性”; 英文检索词: “transcutaneous electrical nerve stimulation”“TENS”“transcutaneous auricular vagus nerve stimulation”“taVNS”“tinnitus”“chronic tinnitus”“neuromodulation”“neuroplasticity”。手工追溯纳入文献参考文献。

2.2. 纳入与排除标准

纳入标准: (1) 确诊慢性主观性耳鸣(病程 ≥ 6 个月); (2) 干预措施为 TENS、taVNS 或经皮三叉神经刺激; (3) 报告至少一项疗效指标(THI/TFI/VAS 或焦虑抑郁量表)或客观电生理指标(ABR/EEG/fMRI)。排除标准: (1) 细胞实验或纯机制推演; (2) 个案报道($n < 10$); (3) 非中英文文献无法核实。

2.3. 数据提取与分析

由两名研究者独立提取: 研究类型、样本量、刺激靶点(C2 皮节/耳甲腔/眶上神经/耳颞神经)、电刺激参数(频率、脉宽、强度、单次时长、总疗程)、评估工具、客观电生理发现及随访结果。本研究旨在进

行一次系统综述, 鉴于各研究在刺激参数、靶点和结局指标上存在显著的临床和方法学异质性, 我们采用描述性方法对数据进行综合, 未进行定量合并。

3. 结果

3.1. TENS 治疗耳鸣的临床疗效

3.1.1. 对耳鸣感知与致残程度的改善

多项随机对照试验及系统评价显示, TENS 或 taVNS 干预可使 THI 评分平均降低约 7.6~16.2 分, 达最小临床重要差值[12][18]。约 35%~45% 的患者主观报告耳鸣响度降低或“被忽略能力”增强[19]。针对躯体性耳鸣(伴头颈紧张、颞下颌关节症状、C2 压痛)患者, 颈区 C2~C3 TENS 联合声治疗的潜在优势已有初步人体 RCT 支持[20]; 小样本 RCT 亦提示 C2 TENS 对伴躯体症状(头颈/颞下颌关节症状)的耳鸣患者 THI 改善更明显[21]。系统综述汇总认为 TENS 属有效辅助手段, 但效应量中等, 且对耳鸣响度本身改善弱于对困扰度的改善[19][22]。

3.1.2. 对共病情绪与睡眠的调节作用

TENS/taVNS 对耳鸣共病情绪的改善: taVNS 耳鸣开放试点仅见 BDI 次要终点轻度下降[23][24], 国内小样本 RCT 以 DASS-21 焦虑分量与 PSQI 报告焦虑及睡眠改善[25]; GAD-7/PHQ-9 在 taVNS 耳鸣研究中尚未作为终点报告, 其下降证据目前来自非耳鸣抑郁焦虑人群的开放试点[26]。RCT 研究显示 taVNS 组干预 10 d 及随访 3 个月时 DASS-21 焦虑分量表得分较对照组明显下降, 提示 TENS 可能通过迷走神经传入调节孤束核-杏仁核-前扣带回通路, 降低边缘系统过度激活[25][27]; 其情绪调节效应可能经由迷走神经耳支传入孤束核、上行调节蓝斑去甲肾上腺素系统及杏仁核-前扣带回情绪回路实现[24][28]。部分小样本研究亦报告 PSQI 总分下降、入睡潜伏期缩短, 支持其对耳鸣相关性失眠的辅助价值。

3.1.3. 疗效特点与靶点 - 亚型匹配关系

TENS 治疗耳鸣的特征包括: (1) 治疗结束时改善明显, 停用后长期维持率有限(既往小样本随访提示仅约 10%~15% 维持显著改善, 但此维持率数据来自早期小样本报告, 需谨慎解读) [29]; (2) THI/TFI 降低而 VAS-loudness 变化较小[18]; (3) “靶点 - 亚型依赖性”: C2 TENS 对伴头颈部躯体症状的耳鸣更敏感, 而 taVNS 更利于伴焦虑抑郁及睡眠障碍者[18][24]。

3.2. TENS 诱导神经可塑性的客观电生理证据

3.2.1. 脑干水平: 听觉脑干反应(ABR)

(一) 耳鸣静息态 ABR 异常特征。ABR 各波反映听神经至脑干听觉核团的时间编码: I 波源于听神经, III 波含耳蜗腹侧核(VCN)与上橄榄复合体贡献, V 波含外侧丘系与下丘贡献[30]。慢性耳鸣患者在年龄、性别、听阈匹配对照中表现为 wave I 振幅降低、wave III/V 振幅及 III/I、V/I 振幅比升高, 符合“外周输入减少 → VCN 通路相对中枢过度兴奋”模型[31]; 该现象常被概括为“中枢增益上调”[32]。

(二) 体感 - 听觉整合的动物机制及对人体 ABR 研究的启示。从机制上, 三叉神经脊束核与颈髓 C2 背根传入经颗粒细胞域投射至耳蜗背核(DCN)/VCN, 激活 cartwheel/stellate 抑制性中间神经元, 可抑制耳蜗核主细胞对声音的反应[31][33]。此为“听觉 - 体感整合”的动物电生理基础。据此框架, C2 或三叉皮支 TENS 可能经同一回路下调中枢增益; 然而, 截至 2025 年 PubMed 可检范围内, 尚无单篇人体研究系统报告 TENS 后 wave I 振幅与 I~III/III~V 波间期的精确变化幅度, 亦缺乏同时给出上述指标明确数据的人体配对 ABR 原始研究。现有人体证据多为 TENS 后 THI 减分[18], 而干预前后配对 ABR 量化研究稀缺; 横断面 ABR 研究亦未能提供“中枢增益上调”的有力证据[34]。Shim 等对听力图正常的单侧耳鸣

患者进行了耳鸣耳与非耳鸣耳的 ABR 及响度耐受性自身对照研究, 结果提示隐匿性突触病变可能引发的中枢增益上调在双耳间存在平衡机制[35], 但这类横断面观察同样无法直接揭示 TENS 干预后的纵向 ABR 变化。因此, “TENS 后 ABR 变化反映体感传入经耳蜗核抑制性回路下调中枢增益” 目前仍属基于动物机制的合理推论, 尚待人体配对 ABR 原始研究直接证实。

(三) taVNS 对 ABR 的影响。taVNS 对 ABR 波幅的影响尚不明确, 现有研究结果不一致; 这与其作用经迷走 - 孤束核上行、而非直接经耳蜗核门控的通路层级差异一致, 且已发表的 taVNS 耳鸣试验多未采集 ABR [24]。

3.2.2. 皮层及脑网络水平: 脑电图(EEG)与功能连接

(一) 耳鸣静息态 EEG 异常特征。静息态 EEG 研究发现慢性耳鸣特征性改变包括: (1) 额 - 中央区 α (8~13 Hz) 功率降低, 与注意脱离困难相关; (2) 颞 - 顶叶及听觉皮层 γ (30~80 Hz) 功率异常升高, 反映局部神经元过度同步、异常振荡驱动耳鸣感知; (3) DMN (后扣带回/内侧前额叶) 与听觉皮层、边缘系统功能连接增强, 形成病理性“耳鸣网络” [36] [37] [38]。上述特征在 EEG/MEG 耳鸣方法学综述及 microstate 研究中得到方向性支持。(二) TENS/taVNS 干预后变化。有效 TENS/taVNS 干预后可出现: (1) 额叶 α 功率回升趋势, 提示注意资源再分配、耳鸣信号“去凸显化”; (2) 听觉皮层 γ 功率受抑制、异常同步化降低; (3) 听觉皮层-DMN/边缘系统超连接减弱。LORETA 研究提示听觉 - 边缘 α/β 同步化与耳鸣相关困扰相关[39]; rs-fMRI 研究则报告单侧慢性耳鸣患者 DMN (后扣带回 PCC) 连接异常[40]。近期研究进一步指出, 单侧慢性耳鸣患者 DMN 内 PCC 与右侧内侧前额叶皮层的功能连接显著增强, 且这种异常连接模式与患者的认知执行功能障碍密切相关[41]。小样本 taVNS/EEG 前后对照研究呈现额叶 α 回升的方向性趋势[39], 上述 EEG 指标变化与临床症状改善的方向平行, 被视为 TENS 神经可塑性调节的宏观标志, 但仍需纵向配对研究进一步验证[36]。

4. 讨论

4.1. TENS 的作用机制模型总结

TENS 通过外周体感传入(三叉神经脊束核、颈髓 C2~C3 背根进入)投射至耳蜗背核, 激活抑制性神经元, 部分抵消耳鸣状态下被上调的听觉通路兴奋性(闸门控制和中枢增益下调) [32]-[34]。taVNS 经迷走神经耳支传入孤束核, 上行调节蓝斑去甲肾上腺素系统及杏仁核 - 前扣带回情绪回路, 降低负性情绪赋值[24] [28]。皮层水平, TENS 促进 α 振荡恢复、抑制病理 γ 同步, 并削弱 DMN-听觉 - 边缘过度耦合, 形成“脑干 - 皮层联合可塑性重置” [40]。

4.2. 声电联合(Bimodal Neuromodulation)的前景

单纯 TENS 效应持续时间有限, 联合声治疗具理论协同优势: 定制窄带噪声或提供听觉背景, 促进听觉剥夺后习惯化; 同期 TENS 打断病理性神经锁定, 为听觉可塑性创造“重置窗口”。近期 RCT 显示舌神经 - 声联合刺激 12 周可显著降低 THI 并维持随访[42], 印证双模态调控潜力, 但仍需更多独立重复及长期随访验证最优参数组合。

4.3. 现有研究的局限性

当前 TENS 治疗耳鸣研究存在不足: (1) 多数样本量偏小($n < 60$), 盲法实施困难(电刺激感觉难完全屏蔽), 存在安慰剂效应风险; (2) 刺激部位、频率、脉宽、强度、疗程差异大, 缺乏参数标准化, 阻碍横向比较与指南制定[20]; (3) 耳鸣表型未充分分层(如未区分纯听觉型/躯体型/情绪主导型), 导致疗效被稀

释; (4) 客观生物标记(ABR/EEG/fMRI)仅少数研究采集, 且缺乏治疗前后配对纵向追踪; (5) 长期(>6个月)随访数据稀缺, 持久性不明; (6) 安慰剂效应的潜在影响不容忽视——大多数研究未能成功实施患者和操作者的双盲, 使得观察到的积极结果(尤其是主观量表改善)可能部分归因于患者的期望效应。未来研究需优先开发和使用更有效的假刺激装置, 以分离 TENS 的特异性效应与非特异性安慰剂效应。

4.4. 未来研究方向

建议未来工作聚焦: (1) 基于多模态评估(听力图、THI/TFI、焦虑抑郁量表、EEG/fMRI)将患者分为听觉型、躯体型、情绪型耳鸣, 匹配最优刺激靶点与参数; (2) 开展大样本、严格设盲(尤其是使用令人信服的假刺激对照)、长随访 RCT; (3) 建立多模态预测模型, 识别 TENS 应答者; (4) 系统探索声-电双模态时机、频段及强度配比, 明确协同窗口; (5) 关注安全性(皮肤刺激、头痛、听力波动)并建立登记注册数据库。

5. 结论

现有证据支持 TENS 及 taVNS 作为慢性主观性耳鸣的安全辅助疗法, 在短期内可显著降低 THI 评分、减轻耳鸣相关情绪共病与睡眠障碍, 约 40%患者获主观缓解[19], 但对耳鸣响度本身改善有限, 长期维持率有待提高[18][24]。其机制涉及激活听觉-体感整合通路下调中枢增益(ABR 证据)、增强皮层 α 功率并抑制异常 γ 振荡、削弱听觉-DMN-边缘系统病理连接(EEG 证据)[30][38]-[40]。然而, 必须承认现有证据受限于方法学缺陷, 特别是盲法困难和潜在的安慰剂效应。临床实践中应根据耳鸣亚型选择刺激靶点, 并将 TENS 纳入综合管理方案(联合声治疗、CBT)。未来需开展基于耳鸣表型分层的精准参数研究、改进试验设计以控制安慰剂效应, 并构建多模态疗效预测模型, 推动 TENS 在耳鸣个体化治疗中的应用。

参考文献

- [1] Cima, R.F.F., Kikidis, D., Mazurek, B., Haider, H., Cederroth, C.R., Norena, A., *et al.* (2020) Tinnitus Healthcare: A Survey Revealing Extensive Variation in Opinion and Practices across Europe. *BMJ Open*, **10**, e029346. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-029346>
- [2] Labree, B., Hoare, D.J., Gascoyne, L.E., Scutt, P., Del Giovane, C. and Sereda, M. (2022) Determining the Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Tinnitus, Depression, and Anxiety: A Systematic Review. *Brain Sciences*, **12**, Article 484. <https://doi.org/10.3390/brainsci12040484>
- [3] Salazar, J.W., Meisel, K., Smith, E.R., Quiggle, A., McCoy, D.B. and Amans, M.R. (2019) Depression in Patients with Tinnitus: A Systematic Review. *Otolaryngology—Head and Neck Surgery*, **161**, 28-35. <https://doi.org/10.1177/0194599819835178>
- [4] McCormack, A., Edmondson-Jones, M., Somerset, S. and Hall, D. (2016) A Systematic Review of the Reporting of Tinnitus Prevalence and Severity. *Hearing Research*, **337**, 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.05.009>
- [5] Campello, C.P., Lemos, C.A.A., Andrade, W.T.L., *et al.* (2022) Migraine Associated with Tinnitus and Hearing Loss in Adults: A Systematic Review. *International Journal of Audiology*, **63**, 1-7.
- [6] 曾玮, 王建明. 神经调节与耳鸣[J]. 中国耳鼻喉咽喉底外科杂志, 2022, 28(6): 65-70.
- [7] Shekhawat, G.S. and Vanneste, S. (2018) Optimization of Transcranial Direct Current Stimulation of Dorsolateral Prefrontal Cortex for Tinnitus: A Non-Linear Dose-Response Effect. *Scientific Reports*, **8**, Article No. 6880. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26665-1>
- [8] Vanneste, S., Alsalman, O. and De Ridder, D. (2019) Top-Down and Bottom-Up Regulated Auditory Phantom Perception. *Journal of Neuroscience*, **39**, 364-378.
- [9] Ma, Y., Jiao, F., Batsikadze, G., Yavari, F. and Nitsche, M.A. (2024) The Impact of the Left Inferior Frontal Gyrus on Fear Extinction: A Transcranial Direct Current Stimulation Study. *Brain Stimulation*, **17**, 816-825. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2024.07.004>
- [10] Boedts, M., Buechner, A., Khoo, S.G., Gjaltema, W., Moreels, F., Lesinski-Schiedat, A., *et al.* (2024) Combining Sound

- with Tongue Stimulation for the Treatment of Tinnitus: A Multi-Site Single-Arm Controlled Pivotal Trial. *Nature Communications*, **15**, Article No. 6806. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50473-z>
- [11] 杨双凤, 杨令, 涂敏, 等. 无创神经调控技术治疗主观性耳鸣的研究进展[J]. 中国听力语言康复科学杂志, 2023, 21(5): 516-519.
 - [12] Heiland, L.D., Owen, J.M., Nguyen, S.A., Labadie, R.F., Lambert, P.R. and Meyer, T.A. (2024) Neuromodulation for Treatment of Tinnitus: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Otolaryngology—Head and Neck Surgery*, **170**, 1234-1245. <https://doi.org/10.1002/ohn.671>
 - [13] 李刚, 张剑宁, 李明. 耳迷走神经刺激治疗耳鸣临床研究现状[J]. 中国听力语言康复科学杂志, 2020, 18(6): 427-431.
 - [14] 李亚昆, 崔卫刚, 庄卫生, 等. 双位点重复经颅磁刺激对慢性耳鸣的临床疗效[J]. 河南医学研究, 2023, 32(6): 988-992.
 - [15] 沈雪琴, 刘业海, 陈善文, 等. 经皮穴位电刺激联合穴位注射治疗急性难治性耳鸣的疗效观察[J]. 中国中西医结合耳鼻咽喉科杂志, 2024, 32(3): 173-177+228.
 - [16] 狄斌斌, 李圆. 经颅磁刺激联合乌灵胶囊对慢性耳鸣患者睡眠质量和情绪状态的影响[J]. 浙江中西医结合杂志, 2023, 33(11): 1022-1025.
 - [17] Cho, Y.S., Park, S., Kim, G., Jo, M., Hong, S.H. and Moon, I.J. (2023) Effects of Transcutaneous Trigeminal Electrical Stimulation and Sound Therapy in Patients with Tinnitus. *Yonsei Medical Journal*, **64**, 618-624. <https://doi.org/10.3349/ymj.2022.0611>
 - [18] Tutar, B., Atar, S., Berkiten, G., Üstün, O., Kumral, T.L. and Uyar, Y. (2020) The Effect of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) on Chronic Subjective Tinnitus. *American Journal of Otolaryngology*, **41**, Article ID: 102326. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2019.102326>
 - [19] Byun, Y.J., Lee, J.A., Nguyen, S.A., Rizk, H.G., Meyer, T.A. and Lambert, P.R. (2020) Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation for Treatment of Tinnitus: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Otology & Neurotology*, **41**, e767-e775. <https://doi.org/10.1097/mao.0000000000002712>
 - [20] Langguth, B., Kreuzer, P.M., Kleinjung, T. and De Ridder, D. (2013) Tinnitus: Causes and Clinical Management. *The Lancet Neurology*, **12**, 920-930. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(13\)70160-1](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(13)70160-1)
 - [21] Lee, S.K., Chung, H., Chung, J.H., Yeo, S.G., Park, M.S. and Byun, J.Y. (2013) Effectiveness of Transcutaneous Electrical Stimulation for Chronic Tinnitus. *Acta Oto-Laryngologica*, **134**, 159-167. <https://doi.org/10.3109/00016489.2013.844854>
 - [22] Jarach, C.M., Lugo, A., Scala, M., van den Brandt, P.A., Cederroth, C.R., Odone, A., *et al.* (2022) Global Prevalence and Incidence of Tinnitus: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA Neurology*, **79**, 888-900. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2022.2189>
 - [23] Pattyn, T., Van Den Eede, F., Vanneste, S., Cassiers, L., Veltman, D.J., Van De Heyning, P., *et al.* (2016) Tinnitus and Anxiety Disorders: A Review. *Hearing Research*, **333**, 255-265. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2015.08.014>
 - [24] Kreuzer, P.M., Landgrebe, M., Resch, M., Husser, O., Schecklmann, M., Geisreiter, F., *et al.* (2014) Feasibility, Safety and Efficacy of Transcutaneous Vagus Nerve Stimulation in Chronic Tinnitus: An Open Pilot Study. *Brain Stimulation*, **7**, 740-747. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.05.003>
 - [25] Zeng, X.L., Zheng, K., Cen, J.T., *et al.* (2021) Efficacy of Percutaneous Vagal Stimulation in the Treatment of Chronic Tinnitus. *Journal of Clinical Otorhinolaryngology, Head, and Neck Surgery*, **35**, 105-108. (In Chinese)
 - [26] Austelle, C.W., Cox, S.S., Connolly, D.J., Baker Vogel, B., Peng, X., Wills, K., *et al.* (2025) Accelerated Transcutaneous Auricular Vagus Nerve Stimulation for Inpatient Depression and Anxiety: The Iwave Open Label Pilot Trial. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*, **28**, 672-681. <https://doi.org/10.1016/j.neurom.2025.02.003>
 - [27] Kraft, S., Günther, V., Klöppel, S., *et al.* (2022) Transcutaneous Auricular Vagus Nerve Stimulation (taVNS) in Chronic Tinnitus: A Randomized Controlled Crossover Trial. *Scientific Reports*, **12**, Article No. 12847.
 - [28] Shekhawat, G.S., Stinear, C.M. and Searchfield, G.D. (2015) Modulation of Perception or Emotion? A Scoping Review of Tinnitus Neuromodulation Using Transcranial Direct Current Stimulation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, **29**, 837-846. <https://doi.org/10.1177/1545968314567152>
 - [29] Engelberg, M. and Bauer, W. (1985) Transcutaneous Electrical Stimulation for Tinnitus. *The Laryngoscope*, **95**, 1167-1173. <https://doi.org/10.1288/00005537-198510000-00003>
 - [30] Møslle, A.R., Jannetta, P.J. and Møslle, M.B. (1981) Neural Generators of Brainstem Evoked Potentials Results from Human Intracranial Recordings. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, **90**, 591-596. <https://doi.org/10.1177/000348948109000616>
 - [31] Gu, J.W., Herrmann, B.S., Levine, R.A. and Melcher, J.R. (2012) Brainstem Auditory Evoked Potentials Suggest a Role

- for the Ventral Cochlear Nucleus in Tinnitus. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, **13**, 819-833. <https://doi.org/10.1007/s10162-012-0344-1>
- [32] Noreña, A.J. (2011) Reemergence of Spontaneous Activity in the Auditory System: Central Gain Enhancement. *Frontiers in Systems Neuroscience*, **5**, Article 8.
- [33] Kanold, P.O., Davis, K.A. and Young, E.D. (2011) Somatosensory Context Alters Auditory Responses in the Cochlear Nucleus. *Journal of Neurophysiology*, **105**, 1063-1070. <https://doi.org/10.1152/jn.00807.2010>
- [34] Shore, S., Zhou, J. and Koehler, S. (2007) Neural Mechanisms Underlying Somatic Tinnitus. In: Adey, W.R. and Tokizane, T., Eds., *Progress in Brain Research*, Elsevier, 107-123, 546-548. [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(07\)66010-5](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(07)66010-5)
- [35] Shim, H.J., An, Y., Kim, D.H., Yoon, J.E. and Yoon, J.H. (2017) Comparisons of Auditory Brainstem Response and Sound Level Tolerance in Tinnitus Ears and Non-Tinnitus Ears in Unilateral Tinnitus Patients with Normal Audiograms. *PLOS ONE*, **12**, e0189157. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189157>
- [36] Wang, Y., Zeng, P., Gu, Z., Liu, H., Han, S., Liu, X., et al. (2024) Objective Neurophysiological Indices for the Assessment of Chronic Tinnitus Based on EEG Microstate Parameters. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, **32**, 983-993. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2024.3367982>
- [37] Hyvärinen, P., Yrttiäho, S., Lehtimäki, J., Ilmoniemi, R.J., Mäkitie, A., Ylikoski, J., et al. (2015) Transcutaneous Vagus Nerve Stimulation Modulates Tinnitus-Related β - and γ -Band Activity. *Ear & Hearing*, **36**, e76-e85. <https://doi.org/10.1097/aud.0000000000000123>
- [38] Adjarian, P. (2014) The Application of Electro- and Magneto-Encephalography in Tinnitus Research—Methods and Interpretations. *Frontiers in Neurology*, **5**, Article 228. <https://doi.org/10.3389/fneur.2014.00228>
- [39] Cao, W., Wang, F., Zhang, C., Lei, G., Jiang, Q., Shen, W., et al. (2020) Microstate in Resting State: An EEG Indicator of Tinnitus? *Acta Oto-Laryngologica*, **140**, 564-569. <https://doi.org/10.1080/00016489.2020.1743878>
- [40] Vanneste, S., Plazier, M., der Loo, E.v., de Heyning, P.V., Congedo, M. and De Ridder, D. (2010) The Neural Correlates of Tinnitus-Related Distress. *NeuroImage*, **52**, 470-480. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.04.029>
- [41] Chen, Y.C., Zhang, H., Kong, Y., Lv, H., Cai, Y., Chen, H., et al. (2018) Alterations of the Default Mode Network and Cognitive Impairment in Patients with Unilateral Chronic Tinnitus. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **8**, 1020-1029. <https://doi.org/10.21037/qims.2018.11.04>
- [42] Conlon, B., Langguth, B., Hamilton, C., Hughes, S., Meade, E., Connor, C.O., et al. (2020) Bimodal Neuromodulation Combining Sound and Tongue Stimulation Reduces Tinnitus Symptoms in a Large Randomized Clinical Study. *Science Translational Medicine*, **12**, eabb2830. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.abb2830>