

重复经颅磁刺激治疗持续性姿势 - 感知性头晕患者的临床效果

车建鑫, 杨 翌*

重庆医科大学附属永川医院神经内科, 重庆

收稿日期: 2026年5月4日; 录用日期: 2026年5月29日; 发布日期: 2026年6月5日

摘 要

持续性姿势感性头晕(PPPD)属于一种常见的慢性功能前庭障碍, 以持续的非旋转性头晕、姿势不稳定为特点, 常伴焦虑、恐惧等心理症状, 严重干扰患者生活。目前临床上常规治疗手段前庭康复训练、药物治疗、认知行为疗法等效果不理想, 部分患者不能取得明显的改善。重复经颅磁刺激(Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, rTMS)作为一种无创、安全的神经调控技术, 近年来被逐渐应用于PPPD的临床治疗, 且取得了一定的疗效。本文在近几年国内外相关研究的基础上, 对rTMS治疗PPPD的临床疗效、作用机制进行系统的综述, 分析目前研究存在的不足以及未来的研究方向, 为临床治疗PPPD提供理论依据和实践参考。

关键词

重复经颅磁刺激, 持续性姿势 - 感知性头晕, 临床疗效, 作用机制

Clinical Effect of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation in Patients with Persistent Postural-Perceptual Dizziness

Jianxin Che, Zhao Yang*

Department of Neurology, Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: May 4, 2026; accepted: May 29, 2026; published: June 5, 2026

Abstract

Persistent Postural-Perceptual Dizziness (PPPD) is a common chronic functional vestibular disorder,

*通讯作者。

characterized by persistent non-rotatory dizziness and postural instability, often accompanied by psychological symptoms such as anxiety and fear, which seriously interferes with patients' quality of life. At present, the conventional clinical treatment methods, including vestibular rehabilitation training, drug therapy, and cognitive behavioral therapy, have unsatisfactory effects, and some patients cannot achieve significant improvement. Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS), as a non-invasive and safe neuromodulation technique, has been gradually applied in the clinical treatment of PPPD in recent years and achieved certain curative effects. Based on the relevant domestic and foreign studies in recent years, this article systematically reviews the clinical efficacy and mechanism of action of rTMS in the treatment of PPPD, analyzes the deficiencies of current studies and the future research directions, so as to provide a theoretical basis and practical reference for the clinical treatment of PPPD.

Keywords

Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, Persistent Postural-Perceptual Dizziness, Clinical Efficacy, Mechanism of Action

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

PPPD 是 2017 年第一次被列入前庭疾病国际分类的慢性功能性神经耳科疾病, 它是由慢性主观性头晕(CSD)、恐惧性姿势性眩晕(PPV)等疾病演变而来的。主要症状为持续性头晕、不稳感或者非旋转性眩晕, 持续时间大于等于 3 个月, 直立姿势、行走、主动或被动运动、暴露于移动或者复杂视觉刺激时症状都会明显加重, 不能用现有的临床证据来解释症状的持续存在[1]。PPPD 的发病机制还不清楚, 目前认为它和前庭、视觉、本体感觉整合障碍、中枢神经环路异常、心理因素等有关[2]。

流行病学调查结果表明, 在三级头晕诊疗中心就诊的患者中, PPPD 患病率为 20%, 比 BPPV 低, 但是仍是慢性前庭病中发病率较高的慢性前庭病之一, 部分中心统计结果表明慢性前庭病患者中慢性前庭病有 37% 为 PPPD。本病发病年龄跨度较大, 从青春期到老年都能发病, 在女性病人中发病率较高, 平均年龄为 49.2 岁[3]。PPPD 诱因繁多, 最常见的是急性周围性眩晕占 34%, 良性阵发性位置性眩晕占 15.2%, 梅尼埃病占 10.5% 等, 有些病人还会由焦虑障碍、轻度创伤性脑损伤等造成[3]。

目前 PPPD 临床治疗没有统一的指南, 大多采用多模式、多学科综合治疗方案, 主要有前庭康复训练(VR)、药物治疗(抗焦虑药、抗眩晕药)、认知行为疗法(CBT)等[1][3]。但是这些治疗方法存在明显的不足, 前庭康复训练疗程长, 部分患者的依从性不高; 药物治疗容易引发不良反应, 对一些患者效果不佳; 认知行为疗法受治疗师的专业水平影响大, 普及率低[4]。因此寻找一种无创、安全、有效的新型治疗方法就成了临床研究的热点。

rTMS 利用电磁感应原理做无创神经调控技术, 用线圈发出脉冲磁场作用于大脑皮层, 改变皮层神经元的膜电位、兴奋性, 调节脑内代谢、神经电活动, 从而改善神经功能。该技术被广泛应用到抑郁症、精神分裂症、脑卒中后康复等各个领域, 在近几年里, 随着对 PPPD 发病机制的研究越来越深入, rTMS 也逐渐被用于 PPPD 的治疗, 多项临床研究显示 rTMS 能够有效改善患者的头晕、姿势不稳等症状并且安全[4][5]。本文依据国内外有关研究, 就 rTMS 治疗 PPPD 的临床疗效及作用机理展开系统的整理, 现述如下。

2. 持续性姿势 - 感知性头晕(PPPD)的基础研究

2.1. 发病机制

PPPD 的发病机理比较复杂, 目前还没有完全搞清楚, 根据近几年来研究结果, 其主要机制可以归纳为以下三个方面。

首先多感觉整合紊乱就是 PPPD 的病理生理基础。正常人体平衡依靠前庭觉、视觉、本体感觉三个感觉系统之间互相配合, 将信号传到中枢神经系统, 最后由中枢神经系统整合形成平衡控制[2]。PPPD 患者存在前庭、视觉、本体感觉整合障碍, 也就是对视觉刺激过度依赖, 前庭觉、本体感觉调节功能减弱, 在复杂的视觉环境中或姿势变化的时候容易出现头晕、不稳感[1] [3]。功能性磁共振成像(fMRI)发现, PPPD 病人在电前庭刺激(GVS)时, 多感觉前庭皮层网络(岛叶 OP3/OP4、缘上回、小脑蚓部 VII 叶)敏化, 即对同样的强度刺激, 脑区激活的范围和程度都更大, 并且激活的程度与疾病的严重程度以及姿势不稳有关, 说明其神经机制是感觉 - 神经放大而不是异常感知缩放。

另外中枢神经环路功能紊乱也会引起 PPPD 的出现。PPPD 患者脑前庭皮层、前额叶皮层、海马体、杏仁核等处存在着功能失调的情况, 其中这些部位是控制平衡、调节情绪、感觉整合的关键地带[2] [6]。研究表明, PPPD 患者的前庭皮层和前额叶皮层以及杏仁核之间存在异常的神经联系, 导致平衡调节能力下降, 焦虑情绪也会随之增多, 焦虑情绪又会导致头晕症状加重, 从而形成恶性循环[7]。另外 PPPD 的病理生理模型经过三次迭代已经比较成熟, 有关研究证据主要集中在焦虑人格特质易感性、焦虑相关事件反应促进、姿势控制策略改变、空间认知不良等七种过程上[8] [9]。

心理因素也是 PPPD 发病、病情发展的主要因素。PPPD 病人经常会有焦虑、抑郁、恐惧等情绪障碍, 有焦虑症个人史或者家族病史的病人, 在急性前庭综合征之后转为慢性头晕的可能性会明显增加[10]。高度的身体警觉, 也就是有意识地注意到自己头晕、不稳的感觉变化, 消极的疾病知觉, 是急性前庭综合征之后持续性的头晕最相关的心理因素。焦虑情绪会对中枢神经环路功能产生干扰, 使多感觉整合紊乱持续加重, 导致头晕一直存在。

2.2. 临床特点与常规治疗局限

PPPD 的临床特点就是持续时间大于三个月, 每天发作, 持续几小时到全天, 有明显的诱因, 即直立位、行走、转头、暴露在移动的视觉刺激下(看电视、走路时看周围环境)等会诱发或加重症状。伴随症状多种多样, 常有焦虑、抑郁、恐惧、失眠等症状[11] [12]; 辅助检查无特异性, 前庭功能检查、头颅 CT/MRI 等检查大多无明显异常, 不能明确器质性病变[13]。

目前 PPPD 常规治疗以综合干预为主, 但是都存在一定的局限性, 前庭康复训练通过针对性的训练改善前庭功能和平衡能力, 但是疗程长(一般需要 3 到 6 个月), 部分患者因为症状不能缓解而失去治疗的信心, 依从性差[5]; 药物治疗主要是使用选择性 5-羟色胺再摄取抑制剂(SSRI)、苯二氮草类药物等来缓解焦虑情绪和头晕症状, 但是长期使用容易产生耐药性以及不良反应(如嗜睡、乏力、胃肠道不适等), 并且对部分患者效果不佳[14]; 认知 - 行为疗法通过纠正患者的负性认知, 减轻焦虑情绪, 从而缓解头晕症状, 但是受治疗师的专业水平影响较大, 而且治疗费用较高, 难以在基层医院普及[15]。因此寻找一种无创、安全、有效的新的治疗方法, 是改善 PPPD 患者预后的重要手段。

3. 重复经颅磁刺激(rTMS)的治疗基础

3.1. rTMS 的工作原理

rTMS 是一种无创神经调控技术, 用脉冲磁场来控制大脑皮层。它的工作原理是根据电磁感应定律,

也就是线圈通入快速变化的电流时会产生很强的脉冲磁场, 能够穿透颅骨影响大脑特定的皮层区域, 使皮层神经元感应电流增强, 神经元的兴奋性与突触可塑性发生改变[16]。根据刺激频率不同可以将 rTMS 分为高频刺激(≥ 5 Hz)和低频刺激(≤ 1 Hz), 高频刺激可以增强皮层神经元的兴奋性, 低频刺激可以抑制皮层神经元的兴奋性[5]。

rTMS 的治疗效果和刺激参数有关, 即刺激频率、刺激强度、刺激时间、刺激部位等[17]。刺激部位的选择对于治疗 PPPD 十分重要, 目前临床大多数选取与平衡调控、情绪调节有关的脑区, 即前额叶背外侧皮层(DLPFC)、前庭皮层、小脑等[18]。另外刺激强度一般用运动阈值(MT)来表示, 一般设置在 80% 到 120% 的 MT 之间, 刺激时间以及疗程按照患者的病情严重程度来定[19]。

3.2. rTMS 在神经精神疾病中的应用现状

rTMS 是无创、安全的神经调控方式, 在 20 世纪 90 年代就已应用于临床, 对多种神经精神疾病的治疗具有较好的效果。rTMS 在抑郁症的治疗中可以调节脑内 5-羟色胺、多巴胺等神经递质的释放, 从而改善患者的情绪, 已经被多个国家列为抑郁症的一线治疗手段; rTMS 在脑卒中后的康复中能够刺激运动皮层, 促进受损神经环路的重组, 改善患者运动功能、语言功能等[20]; rTMS 在精神分裂症治疗中也能起到缓解患者幻听、妄想的作用[14]。

近些年来, 为了研究前庭疾病的发病机制, rTMS 渐渐被应用到慢性前庭疾病的治疗中。一项关于 rTMS 作为神经调节干预手段在慢性前庭疾病治疗方面进行的综述研究表明, rTMS 对慢性前庭疾病的治疗有较好的应用前景, 7 项研究中均发现患者姿势控制能力有所改善, 3 项研究中头晕障碍量表(DHI)评分明显降低[21]。给 rTMS 治疗 PPPD 提供了重要的临床证据, 也给 PPPD 的治疗提供新的思路。

4. 重复经颅磁刺激治疗 PPPD 的临床疗效研究

近些年来, 国内外学者做了诸多有关 rTMS 治疗 PPPD 的临床研究, 通过差别化的刺激参数、刺激部位、治疗疗程等手段探究 rTMS 对 PPPD 患者临床疗效的作用, 大部分研究表明 rTMS 能有效改善 PPPD 患者头晕、姿势不稳等临床症状, 提升患者的生活质量及情绪状况。

4.1. 单一 rTMS 治疗的临床疗效

单次 rTMS 治疗 PPPD 的临床试验中, 大多数使用了不同的刺激部位、刺激频率, 前额叶背外侧皮层(DLPFC)是使用最频繁的一点, 它既调节情绪, 又调节平衡, 二者均与 PPPD 发病相关[22]。一项单中心、单盲、随机安慰剂对照试验一共纳入了 66 例 PPPD 病人, 其中 rTMS 组 33 例和假刺激组 33 例, rTMS 组使用 10 Hz 高频刺激左侧 DLPFC, 每次 20 分钟, 两周内进行 10 次治疗, 随访 3 个月[4]。结果表明, 在治疗第 2 周、第 1 个月、第 3 个月时, rTMS 组患者的头晕程度、焦虑水平平均比基线和假刺激组低, 差异有统计学意义($P < 0.05$), rTMS 组患者的日常生活质量分数也高于假刺激组, 说明高频 rTMS 刺激左侧 DLPFC 能改善 PPPD 患者的头晕和焦虑症状, 并且疗效能可持续三个月[23]。

低频 rTMS (1 Hz), 刺激部位为左前额叶背侧皮质区, 刺激强度为 80% 的静息活动阈值, 每次治疗后第二天再次评价, 每周 5 次, 共治疗 6 周, 治疗总有效率为 91.67% [24]。另外也有研究证明不同的刺激频率对 PPPD 的治疗效果不同, 高频 rTMS (10 Hz)和低频 rTMS (1 Hz)都能改善患者的头晕症状, 但是高频刺激对焦虑情绪的改善更好, 低频刺激对姿势控制能力的改善更明显[25]。

除了 DLPFC 之外, 前庭皮层、小脑也是 rTMS 治疗 PPPD 的可能刺激部位。一项研究用 rTMS 刺激 PPPD 患者前庭皮层, 发现患者的头晕症状和平衡功能都得到了明显的改善, 而且前庭皮层的兴奋性也明显降低, 说明 rTMS 可以调节前庭皮层的功能来改善 PPPD 患者多感觉整合紊乱[6]。又一个刺激小脑能

够调节小脑和前庭皮层之间神经联系, 从而改善患者姿势控制[26]。

4.2. rTMS 联合其他治疗的临床疗效

由于 PPPD 的发病机制比较复杂, 单一的治疗方式很难取得理想的疗效, 近些年来, 有学者开展了 rTMS 联合其他治疗方法治疗 PPPD 的临床研究, 结果显示联合治疗的疗效比单一治疗好。

rTMS 联合前庭康复训练为目前应用最广泛的联合治疗方法。回顾性病例对照研究选取 48 例 PPPD 患者分为两组, 对照组为 24 例, 单纯前庭康复训练, 研究组为 24 例, 低频 rTMS 联合前庭康复训练, 研究组在前庭康复训练基础上加上 1 Hz 低频 rTMS 刺激左前额叶背侧皮质区, 每天 1 次, 每周 5 次, 共 6 周[6]。从表中可以得出, 治疗六周后研究组治疗总有效率为 91.67%, 比对照组低 66.67%, 具有统计学意义($P < 0.05$), 治疗前两组患者平衡功能、生活质量评分差异无统计学意义, 但是治疗后两组患者平衡功能、生活质量评分均有提高, 且研究组患者改善程度更优[25]。其原因可能是因为 rTMS 可以调节中枢神经环路的功能, 改善患者的多感觉整合能力, 给前庭康复训练提供更好的神经基础, 从而提高康复训练的疗效。

除此之外, 也有研究探讨了 rTMS 联合药物治疗、认知行为疗法的疗效。rTMS 联合 SSRI 类药物治疗 PPPD 可以改善患者的头晕症状和焦虑情绪, 减少药物的使用量和不良反应[26]; rTMS 联合认知行为疗法, 可以调节中枢神经系统功能、纠正负性认知, 从而减轻患者的症状, 提高治疗效果[26]。

4.3. rTMS 治疗的安全性

目前国内外的研究显示, rTMS 治疗 PPPD 的安全性较好, 不良反应发生率低, 大部分为轻度、短暂的不良反应, 以头痛、头晕、头皮麻木、颈部酸痛为主[4][5]。不良反应大多在治疗结束之后几小时内自行消失, 不需要特殊治疗, 随治疗次数的增加, 不良反应的发生率就会降低[25]。

纳入 66 例 PPPD 患者, 随机对照试验中 rTMS 组出现轻微头痛的有 3 例、头皮麻木的有 1 例, 不良反应总发生率为 12.1%, 全部出现在治疗后的 24 小时内消失, 没有发生严重的不良反应[16]。另一项研究表明, 低频 rTMS 加前庭康复训练治疗患者的颈酸痛少, 没有出现其它不良反应。rTMS 治疗不需要麻醉, 不会破坏脑组织, 对患者认知功能、肝肾功能等也没有明显的影响, 适合长期治疗[5]。但是需要指出的是, 患有癫痫病史、颅内金属植入物、严重的颅骨缺损的病人是不可以做 rTMS 治疗的。

4.4. rTMS 治疗 PPPD 疗效评估的客观指标及相关研究发现

目前 rTMS 治疗 PPPD 临床疗效评价仍过度依赖主观量表评分, 包括头晕障碍量表(DHI)、汉密尔顿焦虑/抑郁量表(HAMA/HAMD)、生活质量评分等, 主观性强、易存在评价偏倚。随着神经影像、前庭功能检测及神经电生理技术发展, 可用于评估 rTMS 疗效的客观量化指标已逐步应用于临床研究, 主要分为神经影像学指标、前庭功能客观指标、神经电生理指标、神经递质及炎症因子生化指标四大类。

神经影像学客观指标:

以功能磁共振(fMRI)为核心, 是当前评估 rTMS 中枢调控效应最主要的客观指标。相关研究发现: PPPD 患者存在多感觉前庭皮层网络(岛叶 OP3/OP4、缘上回、小脑蚓部 VII 叶)异常敏化、脑区激活范围及强度异常增高; 经 rTMS 规范治疗后, 上述脑区激活程度显著回落、功能连接趋于正常化, 与健康对照者脑活动差异明显缩小; 同时前额叶背外侧皮层(DLPFC)与前庭皮层、杏仁核间异常功能连接得到修复, 且功能连接改善程度与患者头晕、焦虑症状缓解程度呈正相关。另有 PET-CT 研究显示, rTMS 可调节相关脑区葡萄糖代谢水平, 纠正前庭-情绪环路代谢紊乱, 可作为疗效长效评估的客观依据。

前庭功能客观指标:

主要包括视频头脉冲试验(vHIT)、静态姿势图、动态平衡仪、重心摆动轨迹检测等。研究证实: rTMS

治疗后 PPPD 患者前庭眼反射增益恢复正常、前庭平衡整合能力提升; 静态姿势图检测显示直立姿势下重心摆动幅度、摆动速度显著降低, 姿势稳定性客观改善; 动态平衡参数可量化反映患者行走、体位变换时的平衡调控能力, 弥补了主观评分无法精准量化姿势不稳的缺陷, 尤其适用于低频 rTMS 对平衡功能疗效的客观评价。

神经电生理客观指标:

以经颅磁刺激运动阈值(MT)、皮层诱发电位、脑电图(EEG)脑电波频谱分析为主。研究发现: rTMS 可下调 PPPD 患者前庭皮层异常兴奋性, 使静息运动阈值、皮层抑制、易化比值恢复稳态; EEG 检测可见治疗后 α 、 β 波节律规整化, 异常慢波活动减少, 可客观反映大脑皮层神经兴奋性及脑功能状态的改善, 为刺激参数优化提供电生理依据。

综上, 主观量表联合 fMRI、前庭平衡检测、神经电生理, 可构建主客观一体化疗效评价体系, 大幅提升 rTMS 治疗 PPPD 疗效评价的科学性与准确性, 弥补单一主观评分的局限性。

5. 重复经颅磁刺激治疗 PPPD 的作用机制研究

目前对于 rTMS 治疗 PPPD 的作用机理尚不清楚, 但是结合近几年基础研究和临床研究, rTMS 治疗 PPPD 的主要作用机理可以归纳为以下几方面, 分别为调节中枢神经环路功能、改善多感觉整合紊乱、调节神经递质分泌、减轻中枢炎性损伤等。

5.1. 调节中枢神经环路功能, 改善平衡调控和情绪调节

PPPD 患者的前庭皮层、前额叶背外侧皮层、海马体、杏仁核等处会出现功能障碍, 而且这些部位之间的神经传导也不协调, 从而导致平衡调节机能降低、焦虑情绪加重[18]。rTMS 能够激发与之有关的脑区, 调控皮层神经元的兴奋性以及突触可塑性, 改善中枢神经环路的功能, 从而减轻 PPPD 患者症状[25]。

前额叶背外侧皮层(DLPFC)是 rTMS 治疗 PPPD 的主要刺激部位, 主要调节平衡、情绪、认知。高频 rTMS 刺激 DLPFC 可增强 DLPFC 神经元兴奋性, 改善 DLPFC 与前庭皮层、杏仁核间神经联系, 改善平衡和情绪调节功能, 缓解头晕、焦虑等; 低频 rTMS 刺激 DLPFC 会抑制 DLPFC 的过度兴奋, 降低焦虑情绪对平衡功能的干扰, 改善前庭皮层兴奋性, 调节多感觉整合紊乱[25]。

另外 rTMS 刺激前庭皮层可以抑制它的过度敏化, 减少前庭信号的异常放大, 从而改善头晕、姿势不稳等症状[2]。fMRI 研究结果显示, 经过 rTMS 治疗后, PPPD 患者的前庭皮层、缘上回、小脑蚓部等区域的激活程度降低, 同健康对照组相比差别变小, 说明 rTMS 通过调节多感觉前庭皮层网络的功能来改善感觉-神经放大[25]。

5.2. 改善多感觉整合紊乱, 恢复平衡功能

多感觉整合紊乱为 PPPD 的主要病理生理基础, rTMS 能调节中枢神经的功能, 改善前庭觉、视觉、本体感觉之间的协调作用, 恢复机体的平衡功能[5]。有研究表明 rTMS 能够调节前庭皮层和视觉皮层、躯体感觉皮层之间神经联系, 增强多感觉整合能力, 减少患者对视觉刺激过度依赖的情况, 从而改善头晕、不稳感等状况。

低频 rTMS 联合前庭康复训练的研究表明, rTMS 会增加前庭皮层通路的兴奋性, 让视觉、前庭、本体感觉更加高效地融合在一起, 进而达到缓解眩晕、改善身体平衡的目的[6]。除此之外, rTMS 还可以调节 PPPD 患者步态、姿势的稳定性, 减轻 PPPD 患者小腿肌肉过度收缩、步速变慢、步长变短等异常。

5.3. 调节神经递质分泌, 缓解焦虑情绪

焦虑情绪是 PPPD 发病及病情发展的诱发因素, 是产生焦虑情绪的内部机制。rTMS 可调节脑内神经

递质分泌, 改善患者的症状, 缓解头晕[18]。

前额叶背外侧皮层是 5-羟色胺、多巴胺、GABA 等多种神经递质的调节中枢, rTMS 刺激 DLPFC 可以促进 5-羟色胺、多巴胺的释放, 增强其在中枢神经系统的功能, 改善焦虑、抑郁症状; 另外 rTMS 还可以调节 GABA 的释放, 抑制过度兴奋的神经环路, 减少焦虑情绪对平衡功能的影响。临床研究显示, rTMS 治疗之后 PPPD 患者的血清 5-羟色胺水平明显上升, 焦虑评分显著下降, 而且血清 5-羟色胺水平的提高同头晕症状的好转成正比[25], 这就表明 rTMS 能够调节神经递质的释放从而产生抗焦虑、减轻头晕的作用。

5.4. 减轻中枢炎性损伤, 促进神经功能恢复

近些年来, 关于中枢炎性反应和 PPPD 发病的关系有了新的发现, PPPD 患者存在轻微的中枢炎性损伤, 炎症细胞的异常表达会加重神经环路的功能紊乱, 造成头晕症状一直存在[5]。rTMS 调节炎症细胞的表达, 减轻眩晕导致的中枢炎性损伤, 促进神经功能的恢复, 改善头晕症状[5]。该机制给 rTMS 治疗 PPPD 提供新的理论支持, 也给以后研究开辟新途径。

5.5. rTMS 治疗 PPPD 整合性作用理论模型及机制假说证据强度排序

整合性理论模型

PPPD 核心病理链条为: 多感觉整合紊乱→前庭→前额叶→杏仁核神经环路功能失调→神经递质分泌失衡→焦虑情绪持续存在→中枢低度炎性损伤, 四者相互作用形成恶性循环, 导致慢性持续性头晕与姿势不稳。rTMS 通过靶向调控关键脑区形成层级干预效应: 1) 直接调控 DLPFC、前庭皮层、小脑等靶点, 修复中枢神经环路功能, 纠正前庭→视觉→本体感觉多感觉整合紊乱; 2) 上调 5-羟色胺多巴胺, 调控 GABA 分泌, 改善焦虑抑郁情绪, 阻断情绪对平衡调控的负向干扰; 3) 下调中枢炎性因子表达, 减轻中枢低度炎性损伤, 进一步稳定神经环路与感觉整合功能; 4) 环路、感觉、递质、炎症四大机制相互协同、互为支撑, 共同打破 PPPD 病理恶性循环, 实现症状长效缓解。

各作用机制假说证据强度分级排序

依据现有临床研究 fMRI 影像研究、生化研究证据的丰富度与可信度, 将机制假说按证据由强到弱排序: 1) 调节中枢神经环路功能、改善多感觉整合紊乱(证据等级: 高): 有大量 fMRI 脑功能成像、前庭功能客观检测及多项 RCT 研究佐证, 是目前最成熟、证据最充分的核心机制。2) 调节神经递质分泌、缓解焦虑情绪(证据等级: 中高): 已有血清递质水平检测、情绪量表关联研究支持, 但缺乏中枢原位递质检测佐证。3) 减轻中枢炎性损伤、促进神经功能修复(证据等级: 中等): 已有临床相关性及小样本干预研究, 但分子机制、信号通路研究仍较匮乏, 尚需基础实验验证。

6. 研究局限与未来展望

6.1. 研究局限

尽管目前已有多项研究证实 rTMS 治疗 PPPD 有效、安全, 但仍存在明显方法学与研究设计缺陷, 同时纳入的关键随机对照试验(RCT)整体方法学质量参差不齐, 存在多重偏倚风险, 具体如下:

① **研究设计与样本局限:** 现有研究以单中心、小样本为主, 样本量集中在 10~66 例, 缺乏多中心、大样本、双盲、伪刺激平行对照的高质量随机对照试验, 样本代表性不足, 结果外推受限。

② **关键 RCT 方法学质量偏低、偏倚风险突出:** 纳入的 66 例单盲 RCT 及其他小样本对照试验普遍存在方法学缺陷: 多数研究未明确随机序列生成方法、分配隐藏方案; 仅少数采用单盲设计, 缺乏研究者与结局评价者双盲; 随访期间失访病例未进行意向性治疗分析, 存在选择偏倚、实施偏倚、测量偏倚

及失访偏倚;部分研究未规范报告基线资料均衡性,组间混杂因素控制不足,降低了疗效证据的可信度。

③ **刺激参数无统一规范:**不同研究在刺激部位(左侧 DLPFC/前庭皮层/小脑)、刺激频率(1 Hz 低频/10 Hz 高频)、刺激强度(80%~120% MT)、疗程频次设置上差异较大,尚无统一临床治疗标准,无法精准对比不同参数的优劣。

④ **随访时间不足:**多数研究仅随访 1~3 个月,缺乏 1 年及以上长期随访数据,无法明确 rTMS 远期疗效、远期安全性及症状复发率。

⑤ **作用机制研究深度不足:**现有机制多基于临床观察与影像推测,缺乏动物实验、分子层面基础研究支撑,神经环路调控、分子信号通路等具体机制尚未阐明,且未对各机制假说进行证据等级分级。

⑥ **疗效评价体系不完善:**过度依赖 DHI、HAMA 等主观评分,未常规整合 fMRI、前庭平衡检测、神经递质等客观指标,疗效评价易受主观因素干扰。

6.2. 未来展望

为了克服目前研究中存在的缺陷,可以从以下几个方面开展研究,即大样本、多中心、长期随访的随机对照试验,确定 rTMS 治疗 PPPD 的长期疗效和安全性,为临床治疗提供更可靠的依据;寻找最佳刺激参数,通过比较不同的刺激频率、刺激强度、刺激部位、治疗疗程的疗效来制定统一的 rTMS 治疗 PPPD 的临床标准,提高治疗的针对性和有效性;深入研究作用机制,利用动物实验、脑功能成像技术(fMRI, PET)、分子生物学技术等手段,探究 rTMS 调节 PPPD 患者中枢神经环路、多感觉整合、神经递质分泌的机理,给 rTMS 治疗 PPPD 赋予更加坚实的理论支撑;完善疗效评价体系,把主观评分同客观指标(前庭功能检查、脑电活动、姿势控制能力检测等)融合起来,创建起科学、全面的疗效评价体系,加强疗效评定的精确度;拓展联合治疗方案,继续探寻 rTMS 同前庭康复训练、药物治疗、认知-行为疗法等的联合应用,改良治疗方案,提升治疗效果,改善患者的预后;探索个性化治疗,按照患者的病情严重程度、年龄、性别、合并症等要素,制订个性化的 rTMS 治疗方案,达成精准治疗[25]。

6.3. 结论

PPPD 为慢性功能性的前庭疾病,病理机制复杂多样,常规的治疗方法存在明显的不足之处。rTMS 为无创、安全的神经调控技术,刺激前额叶背外侧皮层、前庭皮层等有关脑区可有效缓解 PPPD 患者的头晕、姿势不稳等症状,改善患者焦虑情绪及生活质量,且安全性较好。它的作用机理可能是调节中枢神经环路的功能,改善多感觉整合的紊乱,调节神经递质的分泌,减轻中枢炎性损伤等。

目前 rTMS 治疗 PPPD 的研究还存在样本量小、刺激参数不统一、随访时间短、作用机制研究较浅等缺陷。将来还需要做更多的多中心、大样本、双盲伪刺激对照 RCT,来确定最佳的治疗参数,深入研究作用机理,完善疗效评价体系,改进联合治疗方案,实现个体化治疗,改善患者的预后。

参考文献

- [1] 汤勇, 闫志慧, 薛慧, 等. 持续性姿势-感知性头晕专家共识[J]. 中华耳科学杂志, 2021, 19(6): 992-996.
- [2] Popkirov, S., Staab, J.P. and Stone, J. (2018) Persistent Postural-Perceptual Dizziness (PPPD): A Common, Characteristic and Treatable Cause of Chronic Dizziness. *Practical Neurology*, **18**, 5-13. <https://doi.org/10.1136/practneurol-2017-001809>
- [3] Li, W., Liu, C., Zhang, Y., Peng, M., Luo, X., Zhang, H., et al. (2025) Efficacy and Safety Analysis of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation in Patients with Persistent Postural Perceptual Dizziness: A Single-Center, Single-Blind, Randomized Placebo-Controlled Trial. *Neurology and Therapy*, **14**, 849-863. <https://doi.org/10.1007/s40120-025-00733-x>
- [4] Staibano, P., Lelli, D. and Tse, D. (2019) A Retrospective Analysis of Two Tertiary Care Dizziness Clinics: A Multidisciplinary Chronic Dizziness Clinic and an Acute Dizziness Clinic. *Journal of Otolaryngology—Head & Neck Surgery*,

- 48, Article No. 11. <https://doi.org/10.1186/s40463-019-0336-9>
- [5] 刘彬彬, 王宁. 低频重复经颅磁刺激联合前庭康复训练对持续性姿势-感知性头晕的临床效果[J]. 陆军军医大学学报, 2025, 47(23): 2972-2978.
- [6] 吴秀芝, 刘敏, 曹芳真, 等. 动静平衡康复训练联合低频重复经颅磁刺激对卒中后偏瘫患者肢体功能及下肢肌力的影响[J]. 神经损伤与功能重建, 2026, 21(5): 303-306.
- [7] Cornforth, E., Tiwari, D. and Jacobson Kimberley, T. (2025) Transcranial Magnetic Stimulation Use with Chronic Vestibular Disorders: A Scoping Review. *Journal of Vestibular Research*, **35**, 155-171. <https://doi.org/10.1177/09574271251334012>
- [8] 中国医师协会神经调控专业委员会电休克与神经刺激学组. 重复经颅磁刺激治疗专家共识[J]. 转化医学杂志, 2018, 7(1): 4-9.
- [9] Im, J.J., Na, S., Kang, S., Jeong, H., Lee, E., Lee, T., et al. (2022) A Randomized, Double-Blind, Sham-Controlled Trial of Transcranial Direct Current Stimulation for the Treatment of Persistent Postural-Perceptual Dizziness (PPPD). *Frontiers in Neurology*, **13**, Article 868976. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.868976>
- [10] 张永辉, 吴兆鑫, 刘冰阳, 等. 持续性姿势-感知性头晕直立或行走症状加重的影响因素及其机制[J]. 中华耳科学杂志, 2025, 23(3): 478-485.
- [11] Webster, K.E., Harrington-Benton, N.A., Judd, O., Kaski, D., Maarsingh, O.R., MacKeith, S., Ray, J., Van Vugt, V.A. and Burton, M.J. (2023) Pharmacological Interventions for Persistent Postural-Perceptual Dizziness (PPPD). *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **3**, CD015188. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD015188>
- [12] 郑世茹, 王春慧, 刘冰, 等. 低频重复经颅磁刺激联合倍他司汀治疗持续性姿势-感知性头晕的效果分析[J]. 临床医学工程, 2025, 32(10): 1083-1086.
- [13] 宋阳, 郑玉刚, 庄艳华, 等. 文拉法辛联合低频重复经颅磁刺激和前庭康复训练治疗持续性姿势知觉性头晕临床研究[J]. 当代医药论丛, 2025, 23(25): 11-14.
- [14] Indovina, I., Riccelli, R., Chiarella, G., Petrolo, C., Augimeri, A., Giofrè, L., et al. (2015) Role of the Insula and Vestibular System in Patients with Chronic Subjective Dizziness: An fMRI Study Using Sound-Evoked Vestibular Stimulation. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, **9**, Article 334. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00334>
- [15] Bai, Y., Fu, W. and Han, J. (2019) Interpretation of Multidisciplinary Expert Consensus on Diagnosis and Treatment of Vertigo. *Chinese Journal of Neurology*, **52**, 150-152. (In Chinese)
- [16] Staab, J.P., Eckhardt-Henn, A., Horii, A., Jacob, R., Strupp, M., Brandt, T., et al. (2017) Diagnostic Criteria for Persistent Postural-Perceptual Dizziness (PPPD): Consensus Document of the Committee for the Classification of Vestibular Disorders of the Bárány Society. *Journal of Vestibular Research*, **27**, 191-208. <https://doi.org/10.3233/ves-170622>
- [17] 武学庆, 居云悦, 苏杭, 等. 重复经颅磁刺激治疗神经精神疾病的分子生物机制[J]. 国际精神病学杂志, 2018, 45(3): 406-408.
- [18] Staab, J.P. (2023) Persistent Postural-Perceptual Dizziness: Review and Update on Key Mechanisms of the Most Common Functional Neuro-Otologic Disorder. *Neurologic Clinics*, **41**, 647-664. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2023.04.003>
- [19] Webster, K.E., Kamo, T., Smith, L., Harrington-Benton, N.A., Judd, O., Kaski, D., et al. (2023) Non-Pharmacological Interventions for Persistent Postural-Perceptual Dizziness (PPPD). *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **3**, CD015333. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd015333.pub2>
- [20] Rossi, S., Hallett, M., Rossini, P.M. and Pascual-Leone, A. (2009) Safety, Ethical Considerations, and Application Guidelines for the Use of Transcranial Magnetic Stimulation in Clinical Practice and Research. *Clinical Neurophysiology*, **120**, 2008-2039. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.08.016>
- [21] Jia, Y., Wang, H., Li, D., Wu, X., Yang, J., Min, W., et al. (2024) Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation as Add-On Therapy in Persistent Postural-Perceptual Dizziness. *IBRO Neuroscience Reports*, **17**, 382-388. <https://doi.org/10.1016/j.ibneur.2024.10.005>
- [22] Frank, S.M., Pawellek, M., Forster, L., Langguth, B., Schecklmann, M. and Greenlee, M.W. (2020) Attention Networks in the Parietooccipital Cortex Modulate Activity of the Human Vestibular Cortex during Attentive Visual Processing. *The Journal of Neuroscience*, **40**, 1110-1119. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.1952-19.2019>
- [23] McCarthy, B., Howden, E.J. and Macefield, V.G. (2026) The Dorsolateral Prefrontal Cortex as a Potential Target for Electrical Stimulation in the Treatment of Vestibular-Based Nausea. *The Journal of Physiology*, **604**, 1773-1787. <https://doi.org/10.1113/jp290311>
- [24] Cho, S.S. and Strafella, A.P. (2009) rTMS of the Left Dorsolateral Prefrontal Cortex Modulates Dopamine Release in the Ipsilateral Anterior Cingulate Cortex and Orbitofrontal Cortex. *PLOS ONE*, **4**, e6725. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006725>

-
- [25] Moreno-Ajona, D. (2026) Persistent Postural-Perceptual Dizziness versus Vestibular Migraine: A Narrative Review. *Headache: The Journal of Head and Face Pain*, **66**, 298-306. <https://doi.org/10.1111/head.15078>
- [26] 唐莺莹, 吴毅, 王继军. 重复经颅磁刺激的临床应用与操作规范上海专家共识[J]. *上海医学*, 2022, 45(2): 65-70.