

# 经颅磁刺激治疗改善帕金森病：机制、 临床实践及未来展望

高爽, 覃诗源, 杨雅芝, 陈钰, 王颖\*

昆明医科大学第二附属医院神经内科, 云南 昆明

收稿日期: 2026年2月13日; 录用日期: 2026年3月6日; 发布日期: 2026年3月17日

## 摘要

经颅磁刺激(Transcranial Magnetic Stimulation, TMS)是近年来新欣的非侵入性的神经调控技术, 已广泛运用于各种中枢神经系统退行性疾病。因其具有无创、可调控等特点, 在帕金森病(Parkinson's Disease, PD)的治疗中展现出较为可观的发展前景。TMS通过调节大脑皮层的神经活动, 改善运动症状(如运动迟缓、僵硬、震颤)以及非运动症状(如抑郁、认知功能、执行功能)。在初级运动皮层(Primary Motor Cortex, M1)和背外侧前额叶皮层(Dorsolateral Prefrontal Cortex, DLPFC)给予高频TMS刺激后, PD患者的运动症状和情绪可有明显改善, 提示TMS在PD患者的运动症状和非运动症状治疗方面有一定的应用潜力。然而, TMS的疗效在不同研究中存在异质性, 且治疗方案(如频率、靶区、治疗次数)缺乏统一标准, 导致疗效不一致。尽管如此, TMS仍被认为是一种安全的治疗方法, 副作用通常较轻。未来的研究将着重于个性化治疗方案的优化、TMS与其他治疗方式的联合应用, 以及长期疗效和机制的深入探索, 进一步提高其在PD治疗中的临床价值。

## 关键词

经颅磁刺激治疗, 帕金森病, 机制, 临床实践

# Transcranial Magnetic Stimulation for Improving Parkinson's Disease: Mechanisms, Clinical Practice, and Future Perspectives

Shuang Gao, Shiyuan Qin, Yazhi Yang, Yu Chen, Ying Wang\*

Department of Neurology, The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan

Received: February 13, 2026; accepted: March 6, 2026; published: March 17, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 高爽, 覃诗源, 杨雅芝, 陈钰, 王颖. 经颅磁刺激治疗改善帕金森病: 机制、临床实践及未来展望[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 2794-2801. DOI: 10.12677/acm.2026.1631080

## Abstract

Transcranial magnetic stimulation (TMS) is a recently emerging, noninvasive neuromodulation technique that has been widely applied to a range of neurodegenerative diseases of the central nervous system. Owing to its noninvasive and adjustable nature, TMS has shown considerable potential for development in the treatment of Parkinson's disease (PD). By modulating neuronal activity in the cerebral cortex, TMS can improve both motor symptoms (e.g., bradykinesia, rigidity, and tremor) and non-motor symptoms (e.g., depression, cognitive function, and executive function). After high-frequency TMS stimulation is applied to the primary motor cortex (M1) and the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC), patients with Parkinson's disease (PD) may experience marked improvements in motor symptoms and mood, suggesting that TMS has potential clinical value for treating both motor and non-motor symptoms in PD. However, treatment outcomes vary across studies, and there is no unified standard for stimulation protocols (e.g., frequency, target site, and number of sessions), resulting in inconsistent efficacy. Nevertheless, TMS is generally considered safe, with adverse effects typically mild. Future research will focus on optimizing personalized treatment protocols, combining TMS with other therapeutic approaches, and further elucidating its long-term efficacy and underlying mechanisms to enhance its clinical value in PD management.

## Keywords

Transcranial Magnetic Stimulation (TMS), Parkinson's Disease (PD), Mechanisms, Clinical Practice

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

中枢神经系统退行性疾病患病率逐年上涨。据世界卫生组织(WHO)预测,神经系统退行性疾病将在未来一段时间内超越癌症成为世界第二大死因[1]。而 PD 属于中枢神经系统退行性疾病中的一类疾病,也是世界上第二常见的神经系统退行性疾病。在首都医科大学北京天坛医院冯涛教授等人基于全球疾病负担中关于 PD 疾病的患病率的预测中显示到 2050 年全球将有 252 万人是 PD 患者,较 2021 年增长 112% [2]。我国是 G20 国家中 PD 患者的年龄标准化患病率和发病率最高的国家,自 1990 年~2021 年,PD 患者年龄标准化发病率增加了约 89.7%,而年龄标准化患病率增加约 167.8% [3]。依据中国帕金森病报告(2025)显示,目前我国现存 PD 患者总数超过 500 万,且依据报告估算,我国 PD 患者患病人数占全球 PD 患病人数约 43.14%,而在全球 PD 的发病人数中约有 38.08%是中国 PD 患者[4]。我国 PD 患者基数庞大,且增长迅速,社会公共卫生负担将随着老龄化时代的到来而进一步加重,年龄是 PD 最主要的风险因素之一。多巴胺能神经元死亡导致多巴胺递质降低是 PD 主要的病理改变。在临床上可表现为静止性震颤、肌强直、运动迟缓和姿势平衡障碍的运动症状[5]及嗅觉减退、快动眼期睡眠行为障碍、便秘、情绪障碍、嗅觉丧失、认知功能减退、体位性血压障碍的非运动症状[6]。不论是运动症状或者是非运动症状均对患者的生活质量造成严重影响。PD 患者的临床表现具有高度异质性,每位 PD 患者的首发症状及疾病进展差异较大,导致在疾病的治疗及疾病的管理上面临巨大挑战。在我国 PD 的治疗指南中,药物是治疗的基石,目前可供选择的药物主要有多巴胺类药物(包括复方左旋多巴、多巴胺受体激动剂、MAOB-1 和儿茶酚胺-O-甲基转移酶抑制剂)和非多巴胺类药物(包括胆碱能药物、金刚烷胺、伊曲茶碱、腺苷 A<sub>2A</sub> 受

体拮抗剂),但每一种药物存在副反应,如出现运动并发症、异动症出现、嗜睡、认知障碍等,且存在出现药效减退风险。此外,PD 的治疗方式还有脑深部电刺激(Deep Brain Stimulation, DBS)、脊髓电刺激(Spinal Cord Stimulation, SCS)等手术治疗和重复经颅磁刺激(Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, rTMS)、经颅直流电刺激(Transcranial Direct Current Stimulation, tDCS)、重复经脊髓磁刺激(Repetitive Trans-Spinal Magnetic Stimulation, rTSMS)等非侵入性神经调控,以及包括物理与运动治疗、作业治疗、言语和语言治疗在内的康复治疗[7]-[9]。一直以来,如何改善PD 患者的临床症状是帕金森病管理的目标,能够提升PD 患者的生活质量和减轻社会公共卫生负担。

TMS 是1985年由Barker 等人研发[10],属于非侵入性神经调控治疗方式中的一种。利用电磁感应与电磁转换原理,将刺激线圈产生磁场穿过颅骨,引起脑内神经元产生电活动以及皮层兴奋[11][12]。按照固定频率连续发放多个脉冲的刺激模式是TMS 的工作模式之一,这样的工作模式被称为rTMS。近年来越来越多研究发现rTMS 在改善PD 运动症状和非运动症状方面均有积极作用[13]-[18]。基于此,本文将从rTMS 的工作原理、工作模式、在改善PD 临床症状时涉及的机制以及在PD 中的临床实践等几个方面出发,结合既往基础及临床研究案例,对rTMS 对PD 的影响作一综述。

## 2. 经颅磁刺激治疗改善帕金森病

### 2.1. 经颅磁刺激治疗的定义和工作原理

TMS 是非侵入性神经调控治疗方式中的一种,利用电磁感应与电磁转换原理,当线圈通电时,置于头皮上的电磁线圈发出快速、短暂但变化的电流,从而在线圈周围产生变化的磁场,透过颅骨,到达大脑皮层,引起脑内神经元产生电活动以及皮层兴奋,甚至达到调节目标脑区功能及神经回路的目的[11][12]。简而言之,其工作原理就是TMS 通电后产生磁场→透过颅骨→诱导神经元电活动→调节脑内神经活动。

### 2.2. 经颅刺激的工作模式

按照具体的治疗目标和神经调控需求,TMS 的工作模式可分为单脉冲经颅磁刺激(Single-Pulse Transcranial Magnetic Stimulation, spTMS),成对脉冲经颅磁刺激(Paired Pulse Transcranial Magnetic Stimulation, ppTMS),重复经颅磁刺激(Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, rTMS),爆发模式脉冲刺激(Theta Burst Stimulation, TBS) [19][20]。

SpTMS 是指释放短暂的磁脉冲至大脑皮层,诱导神经元快速去极化从而达到神经调控目的,可以精确定位特定脑功能区域[19][20]。运动皮质区是其研究中的常选择区域[21]。

PpTMS 是通过施加两个不同刺激间隔和刺激强度的磁脉冲来进行工作。该工作模式可以引起动作诱发电位(Motor-Evoked Potential, MEP)幅度的变化,从而反映出皮层抑制或促进情况[22],有助于研究中更加深入地理解皮层兴奋性和可塑性机制,在神经系统疾病的治疗、康复中发挥不可小觑的潜在作用。

rTMS 多用于临床治疗或短暂性的干预特定脑区的皮层功能。重复的磁脉冲透过颅骨到达特定脑功能区,可以改变神经元的兴奋性[20]。依据脉冲发放频率可分为高频刺激(5~20 Hz)和低频刺激( $\leq 1$  Hz);其中高频刺激可增强皮层兴奋性,而低频刺激与之相反,可降低皮层兴奋性[23]。然而刺激期间脑功能状态可干扰rTMS 的疗效[24],因此研究者们开发了爆发模式的脉冲刺激即TBS,通过爆发模式的脉冲刺激提高rTMS 治疗的可靠性;其中连续TBS 是使用低频刺激来产生皮层抑制,而间歇TBS 则使用高频刺激来促进皮层兴奋性[25]。

### 2.3. 经颅磁刺激治疗PD 的机制(见图1)

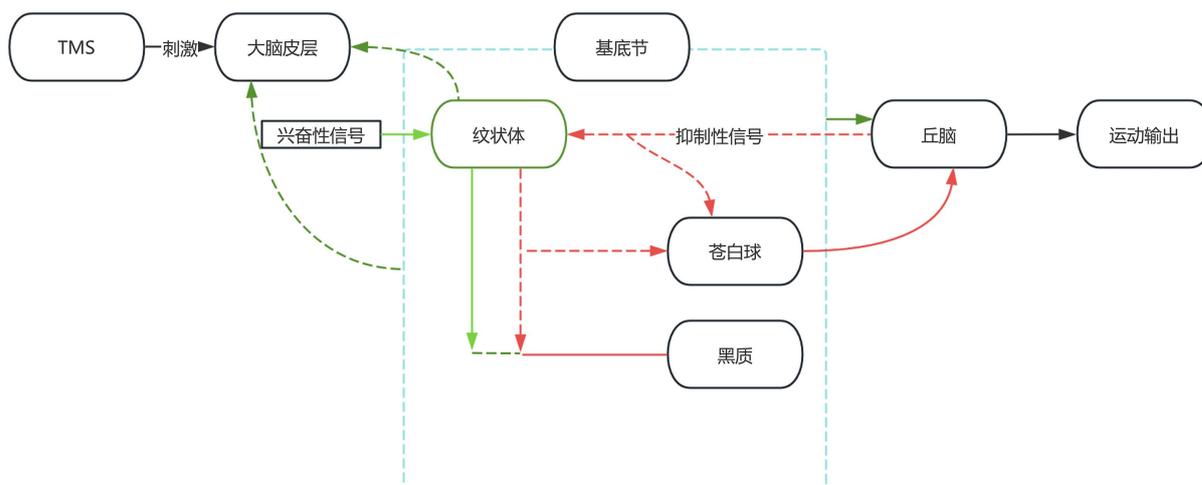
神经兴奋性调节:高频TMS 刺激可以增强皮层神经元的兴奋性,促进运动皮层与基底节、前额叶等

相关区域之间的神经连接，从而改善运动控制和执行功能[26]。

**可塑性与网络重塑：**TMS 通过增强突触可塑性，改善皮层 - 基底节回路的功能，尤其在 PD 患者中，这种神经网络的重塑被认为对缓解运动迟缓、僵硬及其他运动症状至关重要[27]。

**多巴胺系统调节：**rTMS 可能通过影响多巴胺能系统来改善 PD 的运动症状，尤其是 DLPFC 等脑区，促进神经递质的平衡[28]。

**情绪调节：**rTMS 刺激 DLPFC 还显示出对抑郁等非运动症状的缓解作用，通过调节前额叶 - 基底节的情绪调节网络，缓解 PD 伴随的抑郁症状[29]。



**Figure 1.** Hypothetical model of how TMS interacts with the PD brain network

**图 1.** TMS 作用于 PD 脑网络的假设模型

## 2.4. 经颅刺激治疗在 PD 中的临床实践

### 2.4.1. 运动症状的改善

大量随机对照试验和系统综述显示(见表 1)，rTMS 对 PD 的运动症状具有显著影响，尤其是在改善运动迟缓、僵硬及整体运动功能方面。目前已有学者指出高频 rTMS (>1 Hz)刺激 M1 对缓解运动迟缓具有更显著效果，可能与高频刺激增强皮层兴奋性改善运动启动和执行，促进皮层 - 基底节运动通路功能相关[13]；此外 rTMS 还可改善 PD 患者肌肉僵硬。虽然大多数 meta 主要报道 rTMS 对整体 UPDRS-III 的改善，但多项 RCT 中包含了肌肉僵硬评分作为分项分析，并均显示改善趋势。高频 rTMS 影响运动皮层皮质兴奋性，进而间接缓解僵硬，解决 PD 患者肌张力升高障碍[14]。这些结果表明，rTMS 通过调节大脑皮层的兴奋性和神经可塑性，优化运动控制网络，进而显著改善帕金森病患者的运动症状。高频 rTMS，尤其是针对 M1 区域的刺激，是目前对 PD 运动症状有显著改善作用的主要刺激方式。这些疗效的基础机制涉及神经网络的重塑以及皮层与基底节之间的功能性连接改善。

在 Tao-Mian Mi 等人的研究中发现频率为 10 Hz 的 rTMS 刺激补充运动区(Supplementary Motor Area, SMA)可显著改善 PD 患者的冻结步态，且效果可持续数周[15]。一项高频多靶点 rTMS 的随机双盲对照实验发现，刺激 M1、SMA 能够显著改善步态冻结、改善行走能力，且相比于单一刺激靶点疗效更为明确[16]。高频 rTMS (如 10 Hz)针对补充运动区(SMA)或初级运动皮层可显著改善 PD 患者的冻结步态和其他步态指标，如步行速度与步态稳定性。多项随机对照研究显示 rTMS 能显著降低冻结步态问卷评分、提高行走速度、改善 TUG 行走测试表现，并伴随 UPDRS-III 运动评分改善。系统综述和荟萃分析进一步支持 rTMS 在短期内对步态和整体运动能力具有正向改善效果。

### 2.4.2. 非运动症状的靶向调控

PD 的临床表现包括运动症状和非运动症状。运动症状导致患者日常生活、行动的不便；而非运动症状如抑郁、焦虑、睡眠障碍、认知功能障碍对患者生活质量影响更深远。rTMS 在这一领域也展现出潜在的治疗价值。

实验组给予左侧背外侧前额叶 rTMS 刺激治疗，对照组在同一位置给予假刺激，治疗 10 天后，实验组与对照组相比抑郁评分得到明显改善，且改善效果持续超过 1 个月[17]，这一发现指出 rTMS 在缓解 PD 抑郁症状方面具有潜在效应。

大量 meta 分析和临床研究提示(见表 1)，rTMS 对帕金森病患者的认知功能具有潜在积极疗效，尤其在执行功能(如问题解决、抑制控制等)方面表现出较为一致的改善趋势。一项包含 15 项随机对照试验的最新荟萃分析显示，rTMS 不仅改善了 PD 患者的 MoCA 总认知评分，还同时改善了抑郁和行走能力，这说明经颅磁刺激可作为非运动综合干预手段之一。此外，高频 rTMS 作用于 DLPFC 被多项研究指出可显著提高执行功能[18]，支持了 rTMS 在认知调节层面的潜在作用机制(如执行控制方面的改善)。尽管这些证据显示出积极趋势，但总体异质性和样本量限制表明，仍需更多高质量、大样本的随机对照研究来确认改善范围、最佳靶点与长期效应。

**Table 1.** Studies on TMS therapy for PD

**表 1.** TMS 治疗 PD 相关研究

作者	研究方式	样本量	刺激参数	主要结局指标
Shirota Y 等[30]	随机对照实验	102 例(68 例实验组, 34 例对照组)	1 Hz、10 Hz rTMS/SMA	UPDRS-III ↓ (运动改善)
Song W 等[31]	随机对照实验	48 (24 例实验组, 24 例对照组)	10 Hz rTMS/双侧 M1	FOG-Q, UPDRS-III 等(运动改善趋势)
Makkos, Attila 等[32]	随机对照实验	18 (10 例实验组, 8 例对照组)	10 Hz HF-rTMS 双侧 M1	抑郁量表评分改善
Zhuang, Sheng 等[33]	随机对照实验	33 (22 例实验组, 11 例对照组)	1 Hz rTMS 右侧 DLPFC	非运动症状问卷(NMSQ)、抑郁量表(HRSQ)、MoCA 认知、PSQI 睡眠改善
Shin, Hae-Won 等[34]	随机对照实验	18 (10 例实验组, 8 例对照组)	10Hz rTMS 左侧 DLPFC	抑郁量表评分改善

这些文献总结了 TMS 在帕金森病中的应用，尤其是其对运动症状的改善。研究表明，TMS 的频率(高频或低频)和靶点(主要是运动皮层和基底节)对治疗效果有重要影响。通过调节皮层的抑制和兴奋，TMS 能够改善震颤、运动迟缓和肌肉僵硬等症状。此外，TMS 可能还通过改变免疫反应和神经可塑性来改善患者的运动功能。

这些研究为临床应用提供了宝贵的证据，未来可能通过优化刺激参数和靶点，进一步提高治疗效果。

### 3. 经颅磁刺激治疗的局限及争议

在 PD 运动症状的改善方面，rTMS 展现了对运动迟缓、震颤和僵硬的积极效果，特别是在高频刺激初级运动皮层时运动症状改善显著。然而多个荟萃分析显示，疗效存在显著的异质性，尤其在频率(高频 vs 低频)和靶点(如 M1 区、SMA 区)的应用下，治疗效果不同，此外一些研究报告了运动症状的显著改善，而另一些则未能观察到明显的效果；多项研究表明，rTMS 在短期疗效上有一定的积极效果，但其长期效果仍未得到充分验证。因此，rTMS 是否能在长期治疗中持续改善运动症状仍是一个开放性问

题。目前,关于 rTMS 治疗方案的刺激参数(如频率、脉冲数、靶点等)并没有统一标准。不同的研究采用不同的刺激方案,缺乏标准化治疗协议,这使得对疗效的比较变得复杂且困难。

在对于 PD 非运动症状的治疗上, rTMS 可以改善 PD 的抑郁、认知障碍、执行功能降低等症状。但由于研究设计和量化标准的不一致,导致效果的异质性较大,特别是对认知的改善尚无一致的证据。rTMS 的疗效不仅依赖于靶区和刺激参数,还受到个体差异的影响。

除主要治疗作用外, rTMS 存在一些如头痛、耳鸣、颞部或前额部肌肉紧张、诱发癫痫发作等副作用。这些治疗副反应,使得患者在治疗的配合度上大打折扣,严重影响患者的康复及预后。

#### 4. 总结及展望

TMS 是近年来神经调控领域的热点,其独特的工作模式、精准作用的治疗靶点,在未来治疗及康复领域尤其不可忽视的作用。在 PD 的治疗和康复上, TMS 利用磁场脉冲作用于大脑皮层,调节神经活动,特别是对于 PD 患者的运动和非运动症状具有潜在疗效。然而,其疗效的个体差异性、治疗方案的标准化、长期效果的验证等仍然是未来研究的重要方向。随着个性化治疗、联合治疗及神经机制探索的深入, rTMS 在 PD 治疗中的前景仍然广阔,未来有望成为 PD 治疗的重要补充手段之一。

#### 基金项目

云南省中青年学术和技术带头人后备人才项目(项目编号: 202305 AC160055); 云南省科技厅重点研发计划项目(项目编号: 202203AC100007); 云南省高层次卫生健康技术人才培养“医学学科带头人”项目(项目编号: D-2024042); 昆明医科大学第二附属医院院内人才梯队培育项目(项目编号: RCTDXS-202301); 昆明医科大学第二附属医院院内临床研究项目(项目编号: ynIT2023012)。

#### 声明

所有作者均声明不存在利益冲突。

#### 参考文献

- [1] Gammon, K. (2014) Neurodegenerative Disease: Brain Windfall. *Nature*, **515**, 299-300. <https://doi.org/10.1038/nj7526-299a>
- [2] Su, D., Cui, Y., He, C., Yin, P., Bai, R., Zhu, J., *et al.* (2025) Projections for Prevalence of Parkinson's Disease and Its Driving Factors in 195 Countries and Territories to 2050: Modelling Study of Global Burden of Disease Study 2021. *BMJ*, **388**, e080952. <https://doi.org/10.1136/bmj-2024-080952>
- [3] Xu, T., Dong, W., Liu, J., Yin, P., Wang, Z., Zhang, L., *et al.* (2024) Disease Burden of Parkinson's Disease in China and Its Provinces from 1990 to 2021: Findings from the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Regional Health—Western Pacific*, **46**, Article ID: 101078. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2024.101078>
- [4] 王刚, 徐刚, 谢心怡, 等. 中国帕金森病报告 2025 [J]. 神经病学与神经康复学杂志, 2025, 21(2): 63-98.
- [5] Postuma, R.B., Berg, D., Stern, M., Poewe, W., Olanow, C.W., Oertel, W., *et al.* (2015) MDS Clinical Diagnostic Criteria for Parkinson's Disease. *Movement Disorders*, **30**, 1591-1601. <https://doi.org/10.1002/mds.26424>
- [6] Marinus, J., Zhu, K., Marras, C., Aarsland, D. and van Hilten, J.J. (2018) Risk Factors for Non-Motor Symptoms in Parkinson's Disease. *The Lancet Neurology*, **17**, 559-568. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(18\)30127-3](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(18)30127-3)
- [7] 中华医学会神经病学分会帕金森病及运动障碍学组中国医师协会神经内科医师分会帕金森病及运动障碍学组. 中国帕金森病步态障碍管理专家共识[J]. 中华神经科杂志, 2025, 58(3): 228-243.
- [8] 李淑华, 陈海波. 帕金森病的药物治疗[J]. 中华神经科杂志, 2025, 58(1): 102-108.
- [9] 中华医学会神经病学分会帕金森病及运动障碍学组中国医师协会神经内科医师分会帕金森病及运动障碍学组. 中国帕金森病治疗指南(第四版) [J]. 中华神经科杂志, 2020, 53(12): 973-986.
- [10] Barker, A.T., Jalinous, R. and Freeston, I.L. (1985) Non-Invasive Magnetic Stimulation of Human Motor Cortex. *The Lancet*, **325**, 1106-1107. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(85\)92413-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(85)92413-4)

- [11] 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.
- [12] Klomjai, W., Katz, R. and Lackmy-Vallée, A. (2015) Basic Principles of Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) and Repetitive TMS (RTMs). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, **58**, 208-213. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2015.05.005>
- [13] 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>
- [14] Sun, W., Wu, Q., Gao, L., Zheng, Z., Xiang, H., Yang, K., et al. (2023) Advancements in Transcranial Magnetic Stimulation Research and the Path to Precision. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, **19**, 1841-1851. <https://doi.org/10.2147/ndt.s414782>
- [15] Franza, M., Sorrentino, G., Vissani, M., Serino, A., Blanke, O. and Bassolino, M. (2019) Hand Perceptions Induced by Single Pulse Transcranial Magnetic Stimulation over the Primary Motor Cortex. *Brain Stimulation*, **12**, 693-701. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.12.972>
- [16] Lu, J., Wu, J., Shu, Z., Zhang, X., Li, H., Liang, S., et al. (2024) Brain Temporal-Spectral Functional Variability Reveals Neural Improvements of DBS Treatment for Disorders of Consciousness. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, **32**, 923-933. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2024.3368434>
- [17] Beynel, L., Appelbaum, L.G., Luber, B., Crowell, C.A., Hilbig, S.A., Lim, W., et al. (2019) Effects of Online Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (RTMs) on Cognitive Processing: A Meta-Analysis and Recommendations for Future Studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **107**, 47-58. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.08.018>
- [18] Maeda, F., Keenan, J.P., Tormos, J.M., Topka, H. and Pascual-Leone, A. (2000) Interindividual Variability of the Modulatory Effects of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Cortical Excitability. *Experimental Brain Research*, **133**, 425-430. <https://doi.org/10.1007/s002210000432>
- [19] Suppa, A., Huang, Y., Funke, K., Ridding, M.C., Cheeran, B., Di Lazzaro, V., et al. (2016) Ten Years of Theta Burst Stimulation in Humans: Established Knowledge, Unknowns and Prospects. *Brain Stimulation*, **9**, 323-335. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.01.006>
- [20] Goodwill, A.M., Lum, J.A.G., Hendy, A.M., Muthalib, M., Johnson, L., Albein-Urios, N., et al. (2017) Using Non-Invasive Transcranial Stimulation to Improve Motor and Cognitive Function in Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Scientific Reports*, **7**, Article No. 14840. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13260-z>
- [21] Zhou, X., Li, Y., Xia, W., Zheng, Y. and Wu, A. (2025) Advances in Transcranial Magnetic Stimulation for Psychological Symptom Management in Parkinson's Disease. *World Journal of Psychiatry*, **15**, Article ID: 108497. <https://doi.org/10.5498/wjp.v15.i9.108497>
- [22] Moretti, J., Poh, E.Z. and Rodger, J. (2020) RTMs-Induced Changes in Glutamatergic and Dopaminergic Systems: Relevance to Cocaine and Methamphetamine Use Disorders. *Frontiers in Neuroscience*, **14**, Article 137. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00137>
- [23] Kim, J., Lee, H., Lee, J., Rhee, S.Y., Shin, J.I., Lee, S.W., et al. (2023) Quantification of Identifying Cognitive Impairment Using Olfactory-Stimulated Functional Near-Infrared Spectroscopy with Machine Learning: A Post Hoc Analysis of a Diagnostic Trial and Validation of an External Additional Trial. *Alzheimer's Research & Therapy*, **15**, Article No. 127. <https://doi.org/10.1186/s13195-023-01268-9>
- [24] Khattak, M., Rukh, M., Javed, W., Mujahid, Iftikhar, M., Mumtaz, N., et al. (2025) Efficacy of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation in Parkinson's Disease: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Annals of Medicine & Surgery*, **87**, 7471-7479. <https://doi.org/10.1097/ms9.0000000000003520>
- [25] Chou, Y., Hickey, P.T., Sundman, M., Song, A.W. and Chen, N. (2015) Effects of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Motor Symptoms in Parkinson Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA Neurology*, **72**, 432-440. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2014.4380>
- [26] Mi, T., Garg, S., Ba, F., Liu, A., Wu, T., Gao, L., et al. (2019) High-frequency RTMs over the Supplementary Motor Area Improves Freezing of Gait in Parkinson's Disease: A Randomized Controlled Trial. *Parkinsonism & Related Disorders*, **68**, 85-90. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2019.10.009>
- [27] Zhang, Z., Liu, D., Song, W., Li, J., Wang, X., Yin, P., et al. (2025) Multi-Target Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Improves Freezing of Gait in Parkinson's Disease: A Randomized Controlled Trial. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, **31**, e70582. <https://doi.org/10.1111/cns.70582>
- [28] Randver, R. (2018) Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation of the Dorsolateral Prefrontal Cortex to Alleviate Depression and Cognitive Impairment Associated with Parkinson's Disease: A Review and Clinical Implications. *Journal of the Neurological Sciences*, **393**, 88-99. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2018.08.014>
- [29] Yang, Y., Yan, Z., Chang, W., Ding, J. and Xu, H. (2024) Effect of Different Modalities of Transcranial Magnetic

- 
- Stimulation on Parkinson's Patients Cognitive Impairment and Long-Term Effectiveness: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Frontiers in Neuroscience*, **18**, Article 1354864. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1354864>
- [30] Shirota, Y., Ohtsu, H., Hamada, M., Enomoto, H. and Ugawa, Y. (2013) Supplementary Motor Area Stimulation for Parkinson Disease: A Randomized Con-Trolled Study. *Neurology*, **80**, 1400-1405. <https://doi.org/10.1212/wnl.0b013e31828c2f66>
- [31] Song, W., Zhang, Z., Lv, B., Li, J., Chen, H., Zhang, S., *et al.* (2024) High-frequency RTMs over Bilateral Primary Motor Cortex Improves Freezing of Gait and Emotion Regulation in Patients with Parkinson's Disease: A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Aging Neuroscience*, **16**, Article 1354455. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2024.1354455>
- [32] Makkos, A., Pál, E., Aschermann, Z., Janszky, J., Balázs, É., Takács, K., *et al.* (2016) High-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Can Improve Depression in Parkinson's Disease: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study. *Neuropsychobiology*, **73**, 169-177. <https://doi.org/10.1159/000445296>
- [33] Zhuang, S., Wang, F., Gu, X., Wu, J., Mao, C., Gui, H., *et al.* (2020) Low-frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation over Right Dorsolateral Prefrontal Cortex in Parkinson's Disease. *Parkinson's Disease*, **2020**, Article ID: 7295414. <https://doi.org/10.1155/2020/7295414>
- [34] Shin, H., Youn, Y.C., Chung, S.J. and Sohn, Y.H. (2016) Effect of High-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Major Depressive Disorder in Patients with Parkinson's Disease. *Journal of Neurology*, **263**, 1442-1448. <https://doi.org/10.1007/s00415-016-8160-x>