

重复经颅磁刺激联合康复训练改善脑梗死偏瘫患者运动功能的研究进展

郭雅欣^{1,2}, 李水琴^{2*}

¹西安医学院研究生院, 陕西 西安

²西安医学院第一附属医院康复医学科, 陕西 西安

收稿日期: 2026年8月11日; 录用日期: 2026年9月5日; 发布日期: 2026年9月14日

摘要

脑梗死(cerebral infarction)后偏瘫是导致成人运动功能障碍的主要病因之一, 目前常规康复手段疗效有限, 重复经颅磁刺激(rTMS)联合康复训练作为神经调控策略, 已在专科场景中积累了大量疗效证据, 但其向基层卫生体系的转化仍面临显著瓶颈。本文从全科医学视角出发, 在系统梳理联合干预的神经机制与疗效概况基础上, 着重对现有证据的可靠性、效应异质性及参数共识缺失等问题进行批判性分析; 进而深度剖析基层推广中人才、方案、依从性与循证证据四大核心障碍, 并创新性提出分层决策树、“中心医院-社区-家庭”三级联动试点方案及分阶段实施路线图。展望部分提出了简化方案非劣效性随机对照试验、远程康复依从性真实世界研究等具体研究设计, 旨在为社区医疗机构规范化开展该联合方案提供兼具理论深度与实践可操作性的参考框架。

关键词

脑梗死, 偏瘫, 重复经颅磁刺激, 康复训练, 全科医学

Research Progress on Improving Motor Function in Hemiplegic Patients after Cerebral Infarction via Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Combined with Rehabilitation Training

Yaxin Guo^{1,2}, Shuiqin Li^{2*}

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

²Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of Xi'an Medical University, Xi'an Shaanxi

*通讯作者。

文章引用: 郭雅欣, 李水琴. 重复经颅磁刺激联合康复训练改善脑梗死偏瘫患者运动功能的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(9): 1465-1473. DOI: 10.12677/acm.2026.1693185

Abstract

Cerebral infarction-induced hemiplegia is one of the primary causes of motor dysfunction in adults. Currently, conventional rehabilitation methods have limited efficacy. Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) combined with rehabilitation training as a neuroregulation strategy has accumulated substantial evidence of effectiveness in specialized settings. However, its transition to the grassroots health system still faces significant challenges. This paper, from a general practitioner's perspective, systematically reviews the neural mechanisms and overall efficacy of combined interventions. It critically analyzes the reliability of existing evidence, the heterogeneity of effects, and the lack of consensus on parameters. Subsequently, it delves into the four core barriers in grassroots promotion: talent, programs, adherence, and evidence-based information. It also proposes a hierarchical decision tree, a three-tiered pilot scheme involving "central hospitals, communities, families", and a phased implementation roadmap. Finally, it envisions specific research designs such as simplified randomized controlled trials for non-inferiority of the simplified scheme and real-world studies on remote rehabilitation adherence, aiming to provide a reference framework that balances theoretical depth and practical applicability for community healthcare institutions to standardize the implementation of this combined scheme.

Keywords

Cerebral Infarction, Hemiplegia, Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, Rehabilitation Training, General 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

随着国内人口老龄化进程持续加速, 脑梗死的发病率、复发率及致残率长期居高不下。《2024 年中国脑卒中防治报告》概要显示, 脑卒中已成为我国成年人致死、致残的首位病因, 约 70% 的存活患者遗留不同程度的肢体偏瘫及运动协调障碍[1]。全球疾病负担研究数据同样表明, 脑卒中仍是全球范围内导致长期残疾的主要原因之一[2]。偏瘫不仅严重损害患者的生活质量, 也成为老年群体行动失能、意外跌倒的重要诱因, 显著加重了家庭与社会照护负担[3]。

脑梗偏瘫的病理生理本质在于病灶侧运动神经环路中断, 双侧大脑半球间经胼胝体通路建立的动态抑制平衡遭到破坏[4]。生理条件下, 双侧初级运动皮层(M1 区)通过胼胝体纤维实现相互制约的频率匹配, 维持运动指令输出的精准与稳定[5]。脑梗死发生后, 患侧皮层兴奋性骤降, 健侧皮层则出现代偿性过度激活, 进而对患侧修复过程形成持续性异常抑制[6]。传统外周康复训练(如关节活动度维持、肌力强化、平衡训练等)主要作用于肌肉与关节层面, 难以从根本上逆转中枢神经环路的功能障碍, 致使中重度偏瘫患者常陷入康复平台期[7]。

重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)作为一种无创神经调控技术, 已被国内外多部脑卒中康复指南纳入推荐干预手段[8]。其核心优势在于能够精准调节特定皮层区域的兴奋性, 解除半球间异常抑制, 并放大后续康复训练诱导的神经可塑性效应[9]。然而, 目前三甲医院广泛采纳的

高强度、高精度 rTMS 方案对操作人员专业素养要求较高,难以直接平移至社区及居家场景。与此同时,以全科医学为主导的基层医疗卫生体系,依托家庭医生签约服务和分级诊疗制度,具备为脑梗后患者提供“院内-社区-家庭”全周期连续性康复管理的天然优势,尤其适合多病共存、行动受限的老年群体[10]。但这一优势迄今未能转化为实际应用,根本原因在于:现有证据多来自高度控制的三级医院研究,其参数方案、人群选择与结局指标均与基层场景严重脱节,形成“专科证据-基层实践”间的巨大鸿沟。基于此,本文的核心创新点在于:从全科医学视角出发,对现有疗效证据进行批判性再评价,并聚焦于基层转化的现实障碍与可行路径,而非重复已有综述的机制与疗效罗列。我们旨在为社区医疗机构规范化开展该联合方案提供理论依据与实践蓝图。

2. rTMS 改善脑梗偏瘫的神经作用机制

2.1. 半球间抑制失衡与偏瘫持续状态

正常生理状态下,双侧大脑运动皮层依靠胼胝体形成动态、相互约束的制衡平衡[11]。脑梗死发病后,患侧运动皮层神经元发生坏死、突触信号传导通路受阻,该区域皮层兴奋水平显著下降;健侧皮层失去原有制衡约束后出现过度激活,经由胼胝体通路持续抑制患侧脑组织神经修复进程,形成“患侧兴奋不足-健侧抑制过强”的恶性循环[12]。这一中枢失衡状态被认为是偏瘫肢体肌张力异常增高、随意运动难以启动的核心上游机制,也解释了单纯外周康复为何难以突破功能恢复天花板[7]。仅开展外周康复锻炼无法纠正中枢层面的兴奋失衡状态,这也是大量患者康复进程停滞不前的关键因素。

2.2. rTMS 的双向频率依赖性调控

rTMS 依靠交变磁场穿透颅骨,在大脑皮层内部诱导生成感应电流,借助不同频率实现双向皮层兴奋调节[9]。高频刺激(≥ 5 Hz)能够诱导长时程增强样效应,直接提升患侧 M1 区神经元的放电频率与突触传递效率,推动突触新生与受损神经环路重建[13];低频刺激(≤ 1 Hz)则诱导长时程抑制样效应,可抑制健侧皮层过度活跃,减少经由胼胝体传导的异常抑制作用[5]。两类干预方式均可重建双侧皮层兴奋平衡,为后续外周康复训练奠定中枢神经层面基础。一项纳入 70 项研究、2951 例卒中患者的系统评价与 Meta 分析证实,健侧 M1 区 1 Hz 低频 rTMS 在卒中早期(<1 个月)和恢复期(1~6 个月)均可显著改善运动功能,效应量分别为 0.44 和 0.61 [14]。

2.3. “中枢-外周-中枢”闭环协同模型

近年来,研究者将 rTMS 与康复训练的协同关系概括为“中枢-外周-中枢”闭环模型。该模型强调:先通过 rTMS 优化中枢神经环路活性,再搭配任务导向型康复训练,能够巩固皮层至脊髓通路的突触连接,将神经可塑性改变转化为实际运动能力提升;与此同时,康复训练产生的外周本体感觉输入,可反向强化 rTMS 的神经调控效果,形成双向增益的协同作用模式[15]。这种中枢联合外周的干预思路,与全科医学全人管理、多靶点干预的核心理念高度契合。该闭环模型已在多项临床研究中得到验证,为联合干预的疗效优化提供了理论框架[16]。

3. 不同参数 rTMS 的临床应用差异

3.1. 刺激靶点与频率方案

目前临床主流分为三类干预模式:第一类为患侧 M1 运动区高频刺激,多用于亚急性期肌力缺损程度较重的患者,快速提升患侧皮层兴奋度[17];第二类为健侧 M1 区低频刺激,多用于恢复期合并肢体痉挛的人群,降低异常抑制、改善肌张力过高症状[18];第三类为双侧同步刺激,兼顾皮层兴奋提升与痉挛

管控, 更适合发病超过 6 个月的慢性偏瘫患者[19]。一项系统评价与网络 Meta 分析纳入 28 项研究、1340 例患者, 对 7 种非侵入性脑刺激技术进行概率排序, 结果显示高频 rTMS 在改善 Fugl-Meyer 上肢评分方面排名第一(概率 29%), 间歇性 θ 爆发刺激在改善肌张力调节和精细运动能力方面表现最优[20]。

3.2. 干预时机与疗程的个体化设定

神经可塑性储备在脑梗后不同恢复阶段呈现显著差异[21]。亚急性期(发病 2 周~3 个月)突触再生与轴突芽生最为活跃, 此时引入 rTMS 联合干预可最大化促进受损环路的重建, 被视为最佳时间窗[22]。一项纳入 10 项研究、382 名参与者的 Meta 分析证实, rTMS 在亚急性期及亚急性-慢性过渡期对 Fugl-Meyer 上肢评分的提升最为显著(标准化均数差 = 1.28, 95%置信区间: 0.74~1.82, $P < 0.0001$), 且 15~20 次疗程方案的效果(标准化均数差 = 1.50)优于短程方案[23]。慢性期(>6 个月)神经重塑能力明显回落, 需延长干预周期(如 20 次以上)并提高训练强度方可见效[24]。然而, 现有证据尚不足以支持低频 rTMS 在慢性期(>6 个月)改善运动功能障碍的有效性。基层医疗机构可依据患者发病时长、残余肌力及耐受程度灵活调整单次脉冲数、总疗程及训练组合, 避免盲从专科“一刀切”的高强度方案。

4. 临床疗效概况与批判性分析

4.1. 运动功能改善

Fugl-Meyer 运动功能评分是目前脑卒中运动恢复评价的通用金标准[25]。截至目前, 多项高质量随机对照试验及系统评价证实, rTMS 联合康复训练组的上肢 Fugl-Meyer 运动评分改善幅度显著优于常规康复对照组[26]。针对上肢远端精细运动, 双侧联合方案可有效提升 Wolf 运动功能测试成绩, 且疗效可持续至治疗结束后 3 个月[23]。一项针对缺血性脑卒中后偏瘫患者的研究表明, 低频 rTMS 结合单侧上肢镜像训练能够提高大脑皮质兴奋性, 改善上肢运动功能[27]。在下肢方面, Meta 分析表明 rTMS 对卒中后下肢运动功能具有积极作用, 可提高患者步行速度及 Berg 平衡量表评分[28]。另有研究证实, 低频 rTMS 联合 MOTomed 智能运动训练可有效改善缺血性脑卒中偏瘫患者的下肢运动、平衡及步行功能[29]。高频 rTMS 联合姿势控制训练同样被证实可改善脑卒中患者下肢运动功能[30]。批判性分析: ① 效应量高估风险——多数 RCT 未实施充分盲法(操作者无法盲态), 且对照组多采用假刺激或常规康复, 缺乏与高强度外周训练的头对头比较, 导致特异性效应可能被高估。② 发表偏倚——阴性结果研究不易发表, 现有 Meta 分析的漏斗图多显示不对称性。③ 临床最小重要差异(MCID)——FMA 上肢评分提升 5~6 分被视为有临床意义, 但许多研究的平均改善仅 3~4 分, 统计学显著未必等同于患者感知的功能改善。④ 长期维持证据缺失——绝大多数研究随访终点在治疗结束后 ≤ 3 个月, 6 个月以上的长期效应数据匮乏。

4.2. 痉挛状态的有效缓解

肌张力增高是阻碍偏瘫肢体功能恢复的另一重要因素[31]。健侧低频 rTMS 可通过减少锥体束异常下行冲动, 降低 α 运动神经元过度兴奋, 配合常规牵伸与抗痉挛体位摆放, 可促使改良 Ashworth 量表分级明显下降[32]。一项回顾性队列研究探讨了不同频率 rTMS 对卒中后上肢痉挛的干预效果, 证实低频 rTMS 在缓解肌张力方面具有明确疗效[26]。另有研究表明, 推拿康复联合低频重复经颅磁刺激可改善脑卒中偏瘫患者脑血流动力学及肌张力[33]。相较于口服巴氯芬或替扎尼定, 该物理治疗方案无肝肾毒性及中枢镇静副作用, 对需长期服用抗凝、降压、降糖药物的基层老年共病患者更为友好。但需注意: MAS 评估的是被动牵伸阻力, 与患者主动运动功能的相关性较弱, 且痉挛减轻并不必然转化为实用手功能改善。

4.3. 日常生活自理能力与照护负担改善

改良 Barthel 指数涵盖进食、穿衣、如厕、转移等核心自理项目。多项研究显示, 联合干预组改良

Barthel 指数评分较单纯康复组显著提高[34]。一项 Meta 分析表明, rTMS 对 Barthel 指数的改善具有积极作用[35]。低频 rTMS 联合互动达标模式康复训练可改善脑卒中偏瘫患者的日常生活能力[36]。另有研究证实, 常规康复管理联合上肢本体感觉神经肌肉促进疗法绳带训练及 rTMS 可有效改善脑卒中偏瘫患者肢体功能与生活能力[37]。从卫生经济学角度出发, 患者自理能力的提升不仅直接改善生活质量, 更有助于减轻基层社区长期照护资源的挤占压力, 与分级诊疗制度“保基本、强基层”的政策目标相契合[10]。但 MBI 对认知、交流等非运动维度的覆盖不足, 且改善幅度受基线功能水平严重影响, 不同研究间标准化均数差存在较大异质性(I^2 常 > 60%)。

综上, 现有证据支持 rTMS 联合康复训练作为一种有前景的辅助手段, 但效果并非“确定无疑”, 而是存在显著的个体间差异、参数依赖性和短期效应特征。这些不确定性在向基层转化时需被充分正视, 而非简单移植专科结论。

5. 全科视角下的基层转化：障碍的深层剖析

5.1. 基层应用优势

首先, 随着小型化、便携式 rTMS 设备的获批上市, 社区卫生服务中心已初步具备设备硬件基础[38]。其次, rTMS 的非侵入性及低不良反应率使其适合在门诊或家庭病床场景下反复使用[8]。更为关键的是, 全科医生可同步对患者的原发基础疾病(高血压、糖尿病、房颤等)进行一体化管控, 在康复干预同时开展二级预防, 从源头上降低脑梗复发风险[10]。由于 rTMS 联合康复训练具有较好的可操作性和规范性, 该技术具备在基层和社区医院推广应用的条件。

5.2. 现存主要问题

5.2.1. 人才梯队断层：操作技能与临床决策能力的双重缺失

多数基层全科医师及康复治疗师未系统接受过 rTMS 靶点定位(如 10~20 国际脑电电极系统定位法)、静息运动阈值测定及参数个体化调整的实操培训, 实际操作中多依赖设备出厂默认程序, 难以保证疗效同质化[39]。深层问题在于: 基层医师不仅缺乏操作技能, 更缺乏“何时启动、何时暂停、何时转诊”的临床决策能力——例如, 对于合并癫痫病史、颅骨缺损或心脏起搏器的患者, rTMS 具有绝对或相对禁忌, 但基层人员往往缺乏筛查意识。此外, 基层缺乏康复医师主导的多学科团队, 操作者通常身兼数职, 难以保证治疗过程的规范记录与不良反应监测。

5.2.2. 标准化简化方案的制度性缺位

现有临床路径与专家共识均基于大型三级医院资源条件制定, 建议的刺激强度(通常为 80%~120%静息运动阈值)、每日脉冲数及治疗周期不完全适用于虚弱、高龄、多病共存的社区人群[40]。目前尚无专门针对基层场景的简化版操作规范或分级指导手册。更为关键的是, 静息运动阈值测定本身就需要专用肌电设备与熟练操作者——基层若无法测定阈值, 是否可采用固定强度(如 90%最大输出)? 这一核心问题的答案在现有文献中付之阙如。此外, 基层缺乏针对认知障碍、失语症患者的沟通辅助方案, 导致部分患者无法配合治疗过程中的体位维持和放松指令。

5.2.3. 患者依从性的社会生态学制约

偏瘫患者常因交通不便、认知功能减退以及对物理治疗缺乏理解而中断治疗。居家康复阶段若缺乏实时督导, 训练动作的规范性难以保障, 将直接削弱中枢调节与外周训练的协同效应[36]。现有研究中的“依从性”多指完成预设治疗次数, 但真正影响疗效的是单次治疗中的配合质量(如头部固定、放松状态、是否耐受)以及院外康复训练的规范性——后者的督导在基层几乎为零。居家阶段若缺乏实时反馈, 中枢

调节与外周训练的协同效应将迅速衰减。

5.2.4. 循证证据的基层“荒漠化”

目前发表的临床研究几乎全部来自三级医院单中心、小样本试验, 入组标准多排除高龄(>80 岁)、多病共存、认知障碍及失语患者, 而这些恰恰是基层服务的主体人群。研究人群与基层人群之间的选择性偏差, 导致现有证据的外部效度极低。各研究间在参数、疗程、结局指标上的高度异质性(如 FMA-UE vs. WMFT vs. ARAT), 更使得制定基层专属指南缺乏数据基础。此外, 尚无任何研究从卫生经济学角度评估基层实施 rTMS 的成本 - 效果比, 这对于医保支付决策和资源配置至关重要。

6. 基层转化的实施路径：从战略蓝图到可操作方案

基于上述障碍分析, 我们提出一套“分层递进、资源适配”的实施框架, 包括决策工具、组织模式与阶段规划三大核心组件。

6.1. 社区医生 rTMS 应用决策树

该决策树以患者安全、适应症筛选、方案简化、转诊标准为主线, 分三层决策节点: 第一层(准入筛查): 绝对禁忌(颅骨缺损、颅内金属异物、心脏起搏器、癫痫病史)→排除; 相对禁忌(不稳定心绞痛、严重高血压、妊娠)→暂缓并转诊。第二层(分层方案选择): 依据病程(亚急性期 ≤ 3 个月 vs. 慢性期 > 3 个月)与痉挛程度(MAS ≥ 2 级 vs. < 2 级)→推荐: 亚急性 + 低痉挛→患侧高频(简化固定强度, 如 90%最大输出, 每日 600 脉冲); 慢性 + 高痉挛→健侧低频(1 Hz, 每日 1200 脉冲); 双侧联合仅限在中心医院评估后下转。第三层(转诊与再评估): 治疗 10 次后 FMA 无改善或 MAS 加重→转诊至上级医院重新评估病灶与参数; 出现头痛加剧、情绪激动等不良反应→暂停并转诊。该决策树的核心创新在于摒弃了“静息运动阈值”这一基层不可测指标, 代之以“最大输出百分比”固定强度, 并以“病程 + 痉挛”两个可临床评估的变量驱动方案选择, 极大降低了操作门槛。当然, 该决策树尚需通过基层验证性研究校准其敏感性与特异性。

6.2. “中心医院 - 社区 - 家庭”三级联动试点方案

借鉴分级诊疗与医联体模式, 设计如下联动机制: 第一级(中心医院): 负责 rTMS 初始评估、靶点定位(可借助导航确定标准化坐标, 保存为社区设备可调用的参考点)、制定个体化方案模板、培训社区操作人员, 并接收复杂病例转诊。第二级(社区卫生服务中心): 执行常规 rTMS 治疗(每周 5 次, 共 4~6 周), 由经培训的全科医师或治疗师操作, 同步管理患者基础疾病(降压、降糖、抗凝调整), 并记录不良事件。社区与中心医院通过远程会诊系统定期(每 2 周)进行疗效复核。第三级(家庭): 治疗期内, 患者居家完成远程督导下的康复训练(通过移动端视频指导, 每日 30 分钟任务导向活动); 治疗期结束后, 进入维持期, 社区每月 1 次 rTMS 巩固(低频方案), 配合家庭训练持续 3 个月。该试点的关键配套措施包括: ① 统一采购便携式 rTMS 设备(已有多款获批), 由中心医院统一校准与质控; ② 建立电子健康档案联动系统, 实时共享治疗参数与评估数据; ③ 设计基于医保的按人头付费或门诊统筹支付试点, 降低患者经济负担。

6.3. 分阶段实施路线图

筹备期(0~6 个月): 在 1~2 个社区卫生服务中心开展需求调研与设备配置; 由中心医院制定统一操作手册(含决策树、急救预案、记录表格); 完成首批 10 名社区操作人员的脱产培训与考核认证。

试点期(6~18 个月): 纳入 60~80 例符合标准的脑梗偏瘫患者, 实施三级联动方案, 同时开展实用性随机对照试验(见下文研究设计), 以评估简化方案的有效性、安全性与成本 - 效果。

推广期(18~36个月): 基于试点数据优化决策树与参数, 产出《基层 rTMS 联合康复训练操作规范(试行)》; 通过全科医师继续教育体系向全省/全国推广, 并纳入家庭医生签约服务包。

成熟期(36个月以后): 依托真实世界数据平台建立动态质量监控与参数迭代机制, 定期更新基层指南。

7. 未来研究方向: 从宽泛呼吁到具体研究设计

7.1. 非劣效性随机对照试验: 简化方案 vs. 标准方案

研究问题: 在社区脑梗偏瘫患者中, 无需测定静息运动阈值的简化 rTMS 方案(固定 90%最大输出, 10~20 系统定位)是否不劣于基于阈值测定的标准方案(以 6 个月 FMA-UE 变化为主要终点, 非劣效界值设为 3 分)? 设计要点: 多中心(含 10 个社区卫生服务中心)、前瞻性、评估者盲、非劣效性设计, 样本量估计约 200 例/组, 同时纳入成本-效果分析。该设计直接回应“基层能否省略阈值测定”的核心争议。

7.2. 真实世界研究: rTMS 联合远程康复对居家患者长期依从性及功能维持的影响

研究问题: 在三级联动模式下, 基于移动视频督导的居家康复训练能否将患者 6 个月治疗依从性($\geq 70\%$ 计划训练完成率)从当前预计的 40%提升至 65%以上? 并探索依从性与 FMA 改善、跌倒发生率及再住院率的关联。设计要点: 注册登记研究, 采用倾向性评分匹配控制选择偏倚, 结局包括依从性、功能评分、生活质量(EQ-5D)及照护负担(Zarit 量表), 随访 12 个月。

7.3. 卫生经济学评价

研究问题: 基层实施 rTMS 联合康复训练的增量成本-效果比(每增加 1 个质量调整生命年所需成本)是否低于社会意愿支付阈值(如 3 倍人均 GDP)? 设计要点: 嵌套于上述 RCT 或真实世界研究中, 采集直接医疗成本、直接非医疗成本(交通、照护时间)及间接成本(误工), 采用 Markov 模型进行长期外推。

7.4. 个体化应答预测模型

研究问题: 基于基层可获取的基线变量(年龄、病程、NIHSS 评分、MAS 分级、简易精神状态检查量表评分), 能否建立逻辑回归或机器学习模型预测 rTMS 治疗 10 次后 FMA 是否达到最小临床重要差异? 设计要点: 利用试点期积累的真实世界数据(预计 > 500 例), 进行内部验证与外部验证, 为基层“是否继续治疗”提供量化决策依据。

8. 结论

rTMS 联合康复训练改善脑梗偏瘫运动功能具备生物学合理性与初步临床证据, 但其疗效的异质性、参数共识缺失及长期效应不确定性提示我们不应盲目乐观。更为关键的是, 现有证据体系与基层实践场景之间存在显著断层——这不仅体现为操作技术门槛, 更体现在决策逻辑、方案简化、人群适配及卫生经济评估等全方位维度。本文提出的分层决策树、三级联动试点方案及具体研究设计, 旨在为“专科证据向基层转化”提供一条可检验、可修正的路径, 而非一套“放之四海而皆准”的终极方案。唯有通过持续地实施科学研究与利益相关者协同, 才能使这一神经调控技术真正惠及广大社区脑梗偏瘫患者, 实现技术与制度的双重创新。

参考文献

- [1] 国家卫生健康委加强脑卒中防治工作减少百万新发残疾工程专家委员会, 吉训明. 《2024 年中国脑卒中防治报告》概要全文替换[J]. 首都医科大学学报 2025, 46(6): 947-960.

- [2] GBD 2019 Stroke Collaborators (2021) Global, Regional, and National Burden of Stroke and Its Risk Factors, 1990-2019: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Neurology*, **20**, 795-820.
- [3] 王陇德, 彭斌, 张鸿祺, 王伊龙, 刘鸣, 等. 《中国脑卒中防治报告 2020》概要[J]. 中国脑血管病杂志, 2022, 19(2): 136-144.
- [4] 邵迪, 罗海彦. 重复经颅磁刺激治疗脑梗死后偏瘫的研究进展[J]. 临床神经病学杂志, 2019, 32(5): 394-397.
- [5] Hummel, F.C. and Cohen, L.G. (2006) Non-Invasive Brain Stimulation: A New Strategy to Improve Neurorehabilitation after Stroke? *The Lancet Neurology*, **5**, 708-712. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(06\)70525-7](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(06)70525-7)
- [6] Nowak, D.A., Grefkes, C., Ameli, M. and Fink, G.R. (2009) Interhemispheric Competition after Stroke: Brain Stimulation to Enhance Recovery of Function of the Affected Hand. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, **23**, 641-656. <https://doi.org/10.1177/1545968309336661>
- [7] Grefkes, C. and Fink, G.R. (2020) Recovery from Stroke: Current Concepts and Future Perspectives. *Neurological Research and Practice*, **2**, Article No. 17. <https://doi.org/10.1186/s42466-020-00060-6>
- [8] Stewart, J. and Alabbas, K. (2026) Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation in Post-Stroke Motor Recovery: A Narrative Review. *Cureus*, **18**, e100791. <https://doi.org/10.7759/cureus.100791>
- [9] 吴毅. 重复经颅磁刺激在脑卒中康复中的临床应用与作用机制的研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(2): 147-150.
- [10] Ozdemir, H., Sagris, D., Abdul-Rahim, A.H., Lip, G.Y.H. and Shantsila, E. (2024) Management of Ischaemic Stroke Survivors in Primary Care Setting: The Road to Holistic Care. *Internal and Emergency Medicine*, **19**, 609-618. <https://doi.org/10.1007/s11739-023-03445-y>
- [11] Fukushima, M., Betzel, R.F., He, Y., van den Heuvel, M.P., Zuo, X. and Sporns, O. (2018) Structure-Function Relationships during Segregated and Integrated Network States of Human Brain Functional Connectivity. *Brain Structure and Function*, **223**, 1091-1106. <https://doi.org/10.1007/s00429-017-1539-3>
- [12] Zhao, Y., Zhang, X., Chen, X. and Wei, Y. (2022) Neuronal Injuries in Cerebral Infarction and Ischemic Stroke: From Mechanisms to Treatment (Review). *International Journal of Molecular Medicine*, **49**, Article No. 15. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2021.5070>
- [13] De Martino, E., Casali, A.G., Nascimento Couto, B.A., Graven-Nielsen, T. and Ciampi de Andrade, D. (2025) Increase in Beta Frequency Phase Synchronization and Power after a Session of High Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation to the Primary Motor Cortex. *Neurotherapeutics*, **22**, e00497. <https://doi.org/10.1016/j.neurot.2024.e00497>
- [14] Xie, G., Wang, T., Deng, L., Zhou, L., Zheng, X., Zhao, C., et al. (2025) Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Motor Function in Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Studies. *Systematic Reviews*, **14**, Article No. 47. <https://doi.org/10.1186/s13643-025-02794-3>
- [15] Xi, X., Wang, H., Han, L., Ding, M., Li, J., Qiao, C., et al. (2023) Meta-Analysis of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Combined with Task-Oriented Training on Upper Limb Function in Stroke Patients with Hemiplegia. *Medicine*, **102**, e33771. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000033771>
- [16] 陈颜峰, 王茂源, 罗云, 陶茜, 彭徐苗, 胡浩, 等. 理论模型及刺激靶点在重复经颅磁刺激促进中风患者上肢运动功能恢复中的研究进展[J]. 中医康复, 2024, 1(1): 51-57.
- [17] Vabalaite, B., Petruseviciene, L., Savickas, R., Kubilius, R., Ignatavicius, P. and Lendraitene, E. (2021) Effects of High-Frequency (HF) Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) on Upper Extremity Motor Function in Stroke Patients: A Systematic Review. *Medicina*, **57**, Article No. 1215. <https://doi.org/10.3390/medicina57111215>
- [18] 武跃, 王楠. 不同频率重复经颅磁刺激方案结合康复训练对脑梗死后上肢偏瘫患者肢体运动功能的影响[J]. 现代医学与健康研究电子杂志, 2025, 9(3): 4-6.
- [19] 何泽祥, 王莉莉, 王婉婷, 张翼. 双侧重复经颅磁刺激联合作业疗法对脑卒中患者上肢运动功能的影响[J]. 中国当代医药, 2025, 32(6): 74-77.
- [20] Zheng, Y., Liu, J., Zhang, X., Xia, J., Liu, B., Li, D., et al. (2025) Efficacy Comparison of Seven Non-Invasive Brain Stimulation Techniques for Upper Limb Motor Dysfunction after Stroke: A Bayesian Network Meta-Analysis and Systematic Review. *Frontiers in Neurology*, **16**, Article ID: 1693537. <https://doi.org/10.3389/fneur.2026.1693537>
- [21] 刘天昊, 唐芷晴, 王荣荣, 张皓. 不同模式经颅磁刺激治疗脑卒中后上肢运动功能障碍的研究进展[J]. 神经损伤与功能重建, 2024, 19(10): 589-592.
- [22] Huang, G., Wang, H., Zhao, W., Yang, J., Zheng, Z., Yao, W., et al. (2025) Effects of 10-Hz rTMS over the Leg Motor Cortex Using a Double-Cone Coil on Lower Limb Motor Recovery in Subacute Stroke: A Randomised, Double-Blind, Sham-Controlled Study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, **22**, Article No. 201. <https://doi.org/10.1186/s12984-025-01745-2>
- [23] Alhalabi, H., Qiu, Y., Wei, Y., Chen, Y. and Gao, Q. (2025) Optimizing Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation

- (rTMS) Protocols for Upper Limb Motor Recovery in Post-Stroke Patients: A Meta-Analysis. *Restorative Neurology and Neuroscience*, **43**, 122-137. <https://doi.org/10.1177/09226028251394303>
- [24] Amalia, L. (2026) Role of Non-Invasive Brain Stimulation with Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation in Improving Fine Motor Performance of Post-Stroke Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *BMC Neurology*, **26**, Article No. 339. <https://doi.org/10.1186/s12883-026-04839-z>
- [25] Hervé-Colas, J., Newton, S.P., Engelter, S.T., Hayward, K.S., Held, J.P.O., Interling, N., *et al.* (2026) Standardized International Manual of the Fugl-Meyer Assessment of Motor Function after Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, **40**, 306-319. <https://doi.org/10.1177/15459683251412300>
- [26] Wang, Z., Liu, Q., Li, D., Wei, L., Chu, E., Bao, Y., *et al.* (2025) Clinical Efficacy Observation of Repetitive Magnetic Stimulation for Treating Upper Limb Spasticity after Stroke. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 17722. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-02443-8>
- [27] 李岩, 王冰, 陈秋菊, 刘振元, 张文奇. 低频重复经颅磁刺激结合单侧上肢镜像训练对缺血性脑卒中后偏瘫患者对侧肢体力量的影响[J]. 实用放射学杂志, 2025, 41(8): 1262-1266.
- [28] Fan, H., Song, Y., Cen, X., Yu, P., Bíró, I. and Gu, Y. (2021) The Effect of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Lower-Limb Motor Ability in Stroke Patients: A Systematic Review. *Frontiers in Human Neuroscience*, **15**, Article ID: 620573. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.620573>
- [29] 彭然. 重复经颅磁刺激联合 MOTomed 智能运动训练对脑卒中偏瘫患者平衡与步行功能的影响[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2025.
- [30] 刘佳, 李岩, 顾旭东, 姚云海, 傅建明, 时美芳, 等. 高频重复经颅磁刺激联合姿势控制训练对脑卒中患者下肢运动功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2024, 39(2): 263-265.
- [31] Chen, B., Yang, T., Liao, Z., Sun, F., Mei, Z. and Zhang, W. (2025) Pathophysiology and Management Strategies for Post-Stroke Spasticity: An Update Review. *International Journal of Molecular Sciences*, **26**, Article No. 406. <https://doi.org/10.3390/ijms26010406>
- [32] Yukawa, Y., Shibata, S., Koganemaru, S., Minakuchi, M., Shimomura, R., Nakamura, K., *et al.* (2023) Low-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Can Alleviate Spasticity and Induce Functional Recovery in Patients with Severe Chronic Stroke: A Prospective, Non-Controlled, Pilot Study. *Heliyon*, **9**, e15564. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15564>
- [33] 孙莉敏, 黄昊, 章季芳, 高尚, 徐卿. 推拿康复联合低频重复经颅磁刺激对脑卒中偏瘫患者脑血流动力学及肌张力的影响[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2024, 27(10): 1274-1278.
- [34] 李莉霞, 黄燕, 陈梅, 郑岚. 重复经颅磁刺激联合康复训练治疗不同亚型脑梗死患者的临床效果研究[J]. 心肺血管病杂志, 2018, 37(5): 415-419.
- [35] Li, R., Liu, S., Li, T., Yang, K., Wang, X. and Wang, W. (2024) The Stratified Effects of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation in Upper Limb Motor Impairment Recovery after Stroke: A Meta-Analysis. *Frontiers in Neurology*, **15**, Article ID: 1369836. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1369836>
- [36] 孙艺淼, 王京芳, 陈思洁, 刘索志, 郗海涛. 低频重复经颅磁刺激联合互动达标模式康复训练对脑卒中偏瘫患者的影响[J]. 川北医学院学报, 2023, 38(11): 1538-1542.
- [37] 刘露, 胡海建. 常规康复管理、上肢本体感觉神经肌肉促进绳带训练联合重复经颅磁刺激对脑卒中偏瘫患者肢体功能、生活能力的影响[J]. 黑龙江医药科学, 2026, 49(1): 154-156.
- [38] Abbasi, S., Alluri, S., Leung, V., Asbeck, P. and Makale, M.T. (2024) Design and Validation of Miniaturized Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) Head Coils. *Sensors*, **24**, Article No. 1584. <https://doi.org/10.3390/s24051584>
- [39] 唐莹莹, 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.
- [40] Hildesheim, F.E., Silver, A.N., Dominguez-Vargas, A.-U., Andrushko, J.W., Edwards, J.D., Dancause, N., *et al.* (2022) Predicting Individual Treatment Response to rTMS for Motor Recovery after Stroke: A Review and the CanStim Perspective. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, **3**, Article ID: 795335. <https://doi.org/10.3389/fresc.2022.795335>