

M1区和小脑区重复经颅磁刺激对卒中后患者下肢的影响

王 开, 陈 极, 庄明谚, 陈和木*

安徽医科大学第一附属医院康复医学科, 安徽 合肥

收稿日期: 2025年6月1日; 录用日期: 2025年6月24日; 发布日期: 2025年7月2日

摘 要

目的: 探究重复经颅磁刺激作用于卒中后患者小脑区和M1区对下肢运动、平衡功能及皮层兴奋性的影响和差异性。方法: 选取卒中后偏瘫患者39例为研究对象, 按照计算机随机分组分为假刺激组、M1组和小脑组, 每组13例, 干预组进行相应靶点低频重复经颅磁刺激治疗、常规药物及康复治疗, 假刺激组除外常规药物及康复治疗, 予以假磁刺激治疗。结果: 三组患者治疗前FMA-LE量表评分、BBS量表评分、坐站行走测试时间、10米步行测试时间、双侧足底压力对称指数、身体压力中心摆动面积无显著差异($p > 0.05$), 治疗后三组患者指标均较治疗前有所改善($p < 0.05$), 干预组量表评分均优于假刺激组($p < 0.05$), 且小脑组在站立及步行中平衡改善优于假刺激组($p < 0.05$)。结论: M1区和小脑区低频rTMS均能有效改善卒中后患者的下肢功能, 而小脑区刺激对下肢平衡功能的恢复效果更佳。

关键词

经颅磁刺激, 卒中康复, 下肢

The Effect of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation in the M1 and Cerebellar Areas on Lower Limb Function in Post-Stroke

Kai Wang, Ji Chen, Mingyan Zhuang, Hemu Chen*

Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui

Received: Jun. 1st, 2025; accepted: Jun. 24th, 2025; published: Jul. 2nd, 2025

*通讯作者。

文章引用: 王开, 陈极, 庄明谚, 陈和木. M1区和小脑区重复经颅磁刺激对卒中后患者下肢的影响[J]. 临床医学进展, 2025, 15(7): 132-140. DOI: 10.12677/acm.2025.1571967

Abstract

Objective: To investigate the effects and differences of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) applied to the cerebellar region and M1 area on lower limb motor function, balance function, and cortical excitability in post-stroke patients. **Methods:** Thirty-nine hemiplegic patients after stroke were randomly divided into three groups (sham stimulation group, M1 group, and cerebellar group) with 13 cases each. The intervention groups received low-frequency rTMS targeting specific regions combined with routine medication and rehabilitation therapy, while the sham stimulation group received sham magnetic stimulation without routine treatments. **Results:** No significant differences ($p > 0.05$) were observed in baseline FMA-LE scores, BBS scores, time up and go Test duration, 10-meter walk test duration, plantar pressure symmetry index, or center of pressure sway area among the three groups. Post-treatment improvements were observed in all groups ($p < 0.05$), with intervention groups demonstrating superior scale scores compared to the sham group ($p < 0.05$). The cerebellar group showed better balance improvement during standing and walking than the sham group ($p < 0.05$). **Conclusion:** Both M1 and cerebellar low-frequency rTMS effectively improve lower limb function in post-stroke patients, with cerebellar stimulation demonstrating superior efficacy in restoring balance function.

Keywords

Transcranial Magnetic Stimulation, Stroke Rehabilitation, Lower Extremity

Copyright © 2025 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

中风是全球第三大死因，2021 年全球报告了 1190 万例新病例[1]。其高发病率和致残后果对公共卫生构成了重大挑战。中风幸存者经常在运动、感觉、视觉和认知领域出现广泛的功能障碍，其中下肢运动和平衡功能障碍是最常见的后遗症之一[2][3]。大约 60%的中风患者仍然存在下肢运动功能障碍，37%至 73%的患者在中风后的前六个月内出现过这种情况[4]，严重限制了他们的生活质量和社会参与。虽然传统的康复方法可以改善运动功能，但它们的特点通常是治疗时间长、依从性差，在解决精细运动和平衡障碍方面的疗效有限[5][6]。

重复经颅磁刺激(rTMS)作为非侵入性神经调控技术，通过频率特异性刺激精准调节皮质兴奋性，成为卒中康复的研究热点[7]。rTMS 可以以不同的频率施加反复、大量、连续的磁刺激脉冲，根据使用的频率范围可分为低频(≤ 1 Hz)和高频(≥ 5 Hz)。根据既往研究显示，高频磁刺激能够有效兴奋大脑皮层，而低频磁刺激则对皮质有抑制作用，其目标重组大脑网络[8]。rTMS 也通过可以调节作用区域皮质供血，调节损伤部位的微环境，进而促进神经皮质和神经元突触的重建[9][10]。

初级运动皮质区(M1 区)作为运动功能执行的核心靶点，其临床应用证据充分。该区域可通过皮质脊髓束直接调控下肢肌肉收缩，进而改善下肢功能。有研究表明，rTMS 对中风患者下肢运动功能的恢复具有积极影响，低频 rTMS 可能更为有效[11]。相较于 M1 区等传统靶点的大量研究，小脑 rTMS 的研究相对较少。一方面可能与小脑的解剖位置和功能复杂性有关。小脑位于颅后窝，其位置较深，rTMS 刺激小脑时需要更高的刺激强度才能达到有效的神经调控效果，这增加了研究的难度和风险。另一方面，小脑

的功能涉及多个复杂的神经环路和神经递质系统，其在卒中康复中的具体作用机制还不完全清楚，也限制了相关研究的开展。小脑通过皮质 - 小脑 - 丘脑环路参与运动控制，在运动控制、平衡调节和神经可塑性等方面发挥着重要作用[12]。有初步研究表明，对小脑进行 rTMS 刺激可能有助于改善脑卒中患者的平衡功能和运动协调性[13]。因此，本研究选择低频重复经颅磁刺激，进行为期 2 周的干预治疗，通过 3 组之间的运动、平衡功能指标进行观察评估，比较不同靶点刺激对下肢功能影响的差异性，为临床实践多维度的神经调控策略，改善卒中后患者的生活质量。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

招募 2024 年 1 月至 2025 年 1 月在安徽医科大学第一附属医院康复医学科收治的卒中后偏瘫患者，根据样本量估算确定 39 例卒中后偏瘫患者为研究对象，按照计算机随机分组分为假刺激组、M1 组和小脑组，每组 13 例，所有患者均顺利完成治疗。所有参与本次研究的受试人员均签署知情同意书，本研究获得安徽医科大学第一附属医院伦理委员会批准(审批号：PJ2025-02-47)。

2.2. 纳入标准

1) 符合《中国各类主要脑血管病诊断要点 2019》[14]，经头颅 CT 或 MRI 检查确诊。2) 初次发病，病程 > 15 d，病情稳定，年龄 18~75 岁。3) 可以在有或无帮助的情况至少步行 10 m。4) 患者认知功能正常，可正常沟通，MMSE 评分 ≥ 24 。5) 患侧下肢 Brunnstrom 分期 III~V 期。6) 患者本人签署或由其直系亲属代签知情同意书。

2.3. 排除标准

1) 存在认知障碍或其他原因导致无法正常沟通的患者。2) 既往有脑肿瘤、脑外伤、寄生虫病史或可能引起运动功能障碍的其他疾病或癫痫病史。3) 佩戴起搏器、颅内金属植入物或有颅骨缺损者。4) 存在严重心、肺、肝、肾功能障碍。5) 妊娠期妇女。

2.4. 脱落标准

1) 受试者不足 2 周主动退出临床试验或不配合治疗者。2) 治疗过程中出现意外事件，或者严重不良反应，无法配合治疗，需终止实验。

2.5. 样本量计算

样本量的计算使用了 PASS15 软件，基于先前研究[15]中的主要结局 BBS 评分结果，以在 p 值为 0.05 的情况下实现 80% 的统计功效。考虑到预计的 10% 的脱落率，最终确定的参与者人数为 39。

2.6. 实验分组

参与者通过计算机随机分组为假刺激组、M1 组和小脑组。干预组进行相应靶点低频 rTMS 治疗，假刺激组为 rTMS 假刺激治疗。本研究为单盲随机对照试验，每个受试者的随机化分组由参与 rTMS 治疗的实验人员知晓，受试者、数据分析者及研究设计者均不知晓分组情况。

2.7. 干预方法

2.7.1. 常规治疗

常规治疗包括常规康复训练如偏瘫肢体综合训练、作业治疗、物理因子治疗、平衡训练、步行训练、

电子生物反馈疗法、针刺疗法等及卒中常规药物治疗, 每项治疗 1 周 5 次, 每次 20 分钟。

2.7.2. 干预治疗

假刺激组在常规治疗基础上予以 rTMS 假刺激, 经颅磁刺激仪选择依瑞德磁刺激仪(型号 MagTD 40), 治疗时线圈垂直患者头皮, 使仅产生声音刺激而无治疗效果。干预组磁刺激方案: 选择 8 字型线圈, 频率 1 Hz, 共 60 个刺激串, 每个刺激串间隔 1 s, 每串 20 个刺激脉冲, 共 1200 个脉冲, 刺激强度设定为 100% 静息运动阈值(RMT)。治疗每天一次, 每次 21 分钟, 共 14 天。M1 组选择健侧 M1 靶点刺激, 根据国际 10~20 系统脑电图(EEG)电极定位法, 下肢 M1 区靶点位于 Cz 点(即头顶正中线与双侧耳尖连线的交点)后方 2~3 厘米, 旁开 2~3 厘米的区域。小脑组选择健侧小脑靶点刺激, 采用枕骨粗隆定位法, 在枕骨粗隆旁开 3 cm、下移 1 cm 处[16]。

3. 观察指标

3.1. Fugl-Meyer 下肢量表

Fugl-Meyer 下肢评估(FMA-LE)由 7 个部分组成, 共 17 个项目, 每个项目的得分从 0 到 2, 其中 0 表示严重损伤, 2 表示无损伤, 最高得分为 34 [17]。该评定量表内容详细, 能够准确判断脑卒中偏瘫患者下肢运动障碍程度。

3.2. Berg 平衡量表

Berg 平衡量表(Berg Balance Scale, BBS)在 14 个项目上采用了 4 分评分系统, 0 表示无法执行任务, 4 表示独立、安全执行, 最高得分达到 56 [18]。可以全面、客观地评估脑卒中偏瘫患者的平衡功能水平, 通过得分准确判断患者平衡功能受损的程度。

3.3. “起立 - 行走” 计时测试

“起立 - 行走” 计时测试(the timed “up & go”, TUG)是一种快速定量评定功能性步行能力的方法[19], 通过计时参与者从椅子上站起来、走三米、转身、转身、返回和坐下来测量功能性活动, 持续时间延长则表明平衡受损或跌倒风险增加。

3.4. 10 米步行测试

10 m 步行速度测试(10-meter walking test, 10MWT)是一种用于评估个体步行能力和运动功能的简单而常用的方法。通过测量个体在一段 10 米距离内行走所花费的时间, 量化反映其步行的能力及下肢运动功能水平 [20]。

3.5. 步态分析

使用 Medtrack-Gait 足底压力板(杭州芯康生物医学科技有限公司, 中国)采集患者睁眼情况下足底压力数据, 包括: 1) 双侧足底压力对称指数(Bilateral Plantar Pressure Symmetry Index, BPPSI): 是一种用于评估左右足底压力分布对称性的指标。BPPSI 的值反映了患者站立时左右足底压力的差异程度, 其数值越高, 表明双侧足底压力的不对称性越明显, 常用于评估站立时下肢功能的对称性和平衡能力。2) 身体压力中心(center of pressure, COP)摆动面积: 人体站立时, 重力作用下的重心在支撑面上的投影点, 即地面反作用力的平均分布点被称为压力中心。在站立或行走的过程中, 为了维持平衡, COP 会在支撑面内不断移动。通过记录一段时间内 COP 的移动轨迹, 并计算其覆盖的面积, 这个面积值就被称为 COP 摆动面积。COP 摆动面积越小, 说明个体的平衡能力越好, 身体的稳定性越高。

3.6. 统计学分析

使用采用 SPSS 26.0 进行统计学分析。计量资料符合正态分布的，采用 $\bar{x} \pm s$ 表示，组间比较采用单因素方差分析，事后检采用 Tukey HSD 检验；组内比较采用配对样本 t 检验；计量资料不符合正态分布的用 M (P25, P75)表示，组间比较采用 Kruskal-Wallis 检验。计数资料采用 χ^2 检验。 $p < 0.05$ 为差异有统计学意义。

4. 结果

4.1. 基线数据分析

本研究共纳入 39 例患者，每组各 13 例，三组患者一般资料(年龄、性别、病程、卒中类型、Brunnstrom 分期和偏瘫侧)比较无显著差异($p > 0.05$)，见表 1。

Table 1. Baseline characteristics

表 1. 基线特征

基线特征	假刺激组(n = 13)	M1 组(n = 13)	小脑组(n = 13)	p
年龄(岁)				
Mean $\pm$ SD	54.23 $\pm$ 10.01	55.54 $\pm$ 12.82	53.08 $\pm$ 11.31	0.861 ^a
病程(周)				
Median (P25, P75)	9.57 (4.07, 24.57)	12.14 (3.64, 20.14)	13.57 (6.07, 26.07)	0.57 ^b
性别				
男/女	11/2	10/3	10/3	0.854 ^c
脑卒中类型				
梗死/出血	5/8	6/7	8/5	0.488 ^c
偏瘫侧				
左/右	7/6	7/6	6/7	0.902 ^c
Brunnstrom 分期				
III/IV/V	4/4/5	3/4/6	4/4/5	0.851 ^c

注：^a组间差异采用单因素方差分析；^b组间差异采用 Kruskal-Wallis H 检验；^c组间差异采用卡方检验。

4.2. 运动平衡量表

治疗前，三组患者 FMA-LE 量表和 BBS 量表评分间比较均无显著差异($p > 0.05$)。治疗 2 周后，三组患者 FMA-LE 量表和 BBS 量表评分均较治疗前改善，差异具有统计学意义($p < 0.01$)，且 M1 组、小脑组量表评分均高于假刺激组，差异具有统计学意义($p < 0.05$)，而 M1 组、小脑组患者 FMA-LE 量表评分组间比较无统计学意义($p > 0.05$)，见表 2。

4.3. 步行实验

治疗前，三组患者 TUG 时长和 10WMT 时长组间比较均无显著差异($p > 0.05$)。治疗 2 周后，三组患者 TUG 时长和 10WMT 时长均较治疗前改善，差异具有统计学意义($p < 0.05$)，且小脑组 TUG 时长和

10WMT 时长改善优于假刺激组, 差异具有统计学意义($p < 0.05$), 而 M1 组相较于假刺激组和小脑组差异无统计学意义($p > 0.05$), 见表 2。

4.4. 步态分析

治疗前, 三组患者 BPPSI 评分和 COP 摆动面积组间比较均无显著差异($p > 0.05$)。治疗 2 周后, 三组患者 BPPSI 评分和 COP 摆动面积均较治疗前改善, 差异具有统计学意义($p < 0.05$), 且小脑组 BPPSI 评分和 COP 摆动面积改善优于假刺激组, 差异具有统计学意义($p < 0.05$), 而 M1 组相较于假刺激组和小脑组差异无统计学意义($p > 0.05$), 见表 2。

Table 2. Outcome assessments for Sham, M1, and Cerebellum groups at 2 weeks after treatment

表 2. 治疗 2 周后假刺激组、M1 组及小脑组结果

Outcomes	Sham (n = 13)		M1 (n = 13)		Cerebellum (n = 13)		P_{After}	$P_{\text{Sham vs M1}}$	$P_{\text{Sham vs Cerebellum}}$	$P_{\text{M1 vs Cerebellum}}$
	Before	After	Before	After	Before	After				
FMA-LE	22.77 ± 2.62	25.08 ± 2.78	22.92 ± 2.60	27.92 ± 2.90	22.69 ± 2.39	27.62 ± 2.79	0.027 ^{ab}	0.038 ^b	0.070 ^b	0.958
BBS	43.00 ± 4.30	45.92 ± 3.90	43.85 ± 3.24	49.92 ± 2.57	42.54 ± 4.12	49.46 ± 3.84	0.011 ^{ab}	0.016 ^b	0.036 ^b	0.939
TUG Time	20.10 ± 5.23	19.11 ± 5.35	19.71 ± 5.33	15.03 ± 5.13	20.20 ± 5.51	13.27 ± 4.72	0.018 ^{ab}	0.115	0.016 ^b	0.653
10WMT Time	22.44 ± 5.41	21.27 ± 5.54	22.12 ± 5.47	16.71 ± 4.85	22.45 ± 5.77	15.48 ± 5.45	0.021 ^{ab}	0.085	0.022 ^b	0.825
BPPSI	0.329 ± 0.082	0.318 ± 0.082	0.322 ± 0.094	0.272 ± 0.093	0.340 ± 0.091	0.232 ± 0.089	0.060 ^{ab}	0.391	0.048 ^b	0.496
COP Area	741.76 ± 265.82	633.49 ± 265.21	732.68 ± 304.16	523.13 ± 296.92	761.74 ± 269.89	357.42 ± 261.08	0.047 ^{ab}	0.567	0.038 ^b	0.286

注: ^a组间差异采用单因素方差分析; ^b $p < 0.05$; ^c组间差异采用卡方检验。

5. 讨论

根据既往研究显示, TMS 治疗中不同刺激靶点对患者下肢功能的改善可能存在差异。例如, Liao 等人进行了一项研究, 提示小脑 TMS 可提高脑卒中患者 BBS 评分和运动诱发电位振幅[21]。因此, 我们研究了低频 rTMS 作用于小脑和 M1 区对卒中后患者下肢运动及平衡功能的疗效。结果显示, 相较于假刺激组, M1 区和小脑区 rTMS 均可显著改善患者下肢运动功能(FMA-LE 评分提升)、平衡能力(Berg 平衡量表评分提升)。其中, 小脑 rTMS 在提升站立状态平衡能力(足底压力对称性指数降低和压力中心摆动面积减少)及步行稳定性(起立 - 行走计时试验及 10 米步行测试时间缩短)方面更具优势, 为卒中神经调控提供了新策略。

小脑对人体的运动和平衡具有十分重要的作用。小脑能够接收来自对侧运动皮层(M1)、感觉皮层和脊髓的信息。这些信息经过整合、处理后, 传递至对侧的 M1 [22]。Holdefer 等通过猕猴实验证实, 小脑与初级运动皮质(M1)在清醒状态下存在显著功能连接, 提示小脑可通过齿状核 - 丘脑 - 皮层通路直接调节运动皮质兴奋性[23]。有证据表明, 外周电刺激可以增加对侧初级运动皮层(M1)的兴奋性, 这在啮齿动物中表现为运动诱发电位(MEP)幅度的增加[24]。而 Farias 等人的实验也证实了小脑受损的患者会失

去调节感觉运动皮层的兴奋的能力[25], 这表明小脑通过这种形式在运动过程中起着关键作用。

小脑是中枢神经系统中负责精准时间计算的关键结构, 参与运动的生成、调整和维持。小脑通过将感觉输入与运动时序在数百毫秒至一秒范围内关联, 实现精准的运动时序控制[26]。同时, 小脑可通过关联感觉输入与运动时序进行预测性调整, 实时修正运动误差, 例如通过调整步幅以避免发生跌倒; 而在预测同步任务中, 小脑核神经元产生定期准备活动, 这种节律性活动可能用于维持周期性运动的节奏, 如步行、跑步等, 从而直接关联小脑与节律性运动的生成和维持。

本实验中成功验证了 rTMS 作用于小脑对运动协调与平衡调控的积极作用, 但其潜在机制仍不明确。治疗后皮质兴奋性较基线增强可能是 rTMS 刺激强化了皮质 - 小脑 - 脊髓环路, 优化小脑与运动皮层、脑干的区域连接, 增强运动时序控制及误差校正能力, 进而改善步态协调性。而下肢运动功能和平衡功能的改善可能是通过调控齿状核等深部核团与皮层的投射促进全脑运动网络的代偿性重组, 改善动态平衡能力, 进而提高了评定运动平衡量表的分值并降低了步行测试的时长。Gopalakrishnan 等人在 10 名卒中后患者进行齿状核深部脑刺激后也报告了小脑皮质 - 皮质网络的功能状态的改善[27]。此外, 我们在研究中观察到的一个引人注目的现象: 小脑 rTMS 对卒中后患者姿势的维持和稳定较 M1 区 rTMS 更具优势, 其原因可能是通过激活前庭 - 小脑 - 脊髓通路, 提升了姿势调整的灵敏性和对称性, 减少了站立及行走中的重心波动。

根据本实验的疗效对比表明, M1 区与小脑 rTMS 虽均能改善功能, 但作用侧重不同: M1 区干预直接增强皮质脊髓兴奋性, 主要提升运动执行能力(如肌力、步行速度); 而小脑干预通过多级环路整合, 更显著改善运动协调性及动态平衡。这种差异提示, 靶向不同脑区的 rTMS 或可实现功能互补, 为个体化康复方案设计提供依据。例如, 针对以肌力减退为主的患者, M1 区刺激可能更具针对性; 而对存在平衡障碍或步态失调者, 小脑刺激或能取得更优效果。在后续研究中, 也可以考虑 M1 区和小脑联合 TMS 治疗, 可产生更佳的治疗效果, 但仍需更多的实验进行验证。

尽管本研究取得了一些有意义的结果, 但仍存在一些局限性。首先, 本研究的样本量较小, 仅纳入了 39 例患者, 可能会导致结果的偶然性和偏差, 需要更大样本研究验证数量。其次, 本研究的随访时间较短, 仅为 2 周, 未能观察到长期疗效, 未来的研究应延长随访时间。同时, 本研究主要采用量表评估, 步态分析指标则以静态为主, 缺少动态功能量化指标。此外, 本研究仅仅关注了低频 rTMS 的作用, 未涉及高频 rTMS、TBS 或其他类型的无创神经调控技术。

针对本研究的不足, 未来的研究应扩大样本量, 以验证本研究的结论, 同时延长随访时间, 以评估 rTMS 的长期效果。同时可采用更多客观化评估指标, 如运动学分析、肌电图等技术量化下肢功能的指标, 以增强实验可信度, 进一步探究 rTMS 不同靶点的疗效差异及相关机制。

6. 结论

M1 区和小脑区低频 rTMS 均能有效改善卒中患者的下肢功能。但小脑区低频 rTMS 对卒中患者下肢平衡功能的恢复效果更佳。

参考文献

- [1] GBD 2021 Stroke Risk Factor Collaborators (2024) Global, Regional, and National Burden of Stroke and Its Risk Factors, 1990-2021: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Neurology*, **23**, 973-1003.
- [2] Anwar, N., Karimi, H., Ahmad, A., Mumtaz, N., Saqulain, G. and Gilani, S.A. (2021) A Novel Virtual Reality Training Strategy for Poststroke Patients: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Healthcare Engineering*, **2021**, Article ID: 6598726. <https://doi.org/10.1155/2021/6598726>
- [3] Dai, S., Piscicelli, C., Clarac, E., Baci, M., Hommel, M. and Pérennou, D. (2021) Balance, Lateropulsion, and Gait Disorders in Subacute Stroke. *Neurology*, **96**, 2147-2159. <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000001152>

- [4] Bower, K., Thilarajah, S., Pua, Y., Williams, G., Tan, D., Mentiplay, B., *et al.* (2019) Dynamic Balance and Instrumented Gait Variables Are Independent Predictors of Falls Following Stroke. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, **16**, Article No. 3. <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0478-4>
- [5] Wu, W., Zhou, C., Wang, Z., Chen, G., Chen, X., Jin, H., *et al.* (2020) Effect of Early and Intensive Rehabilitation after Ischemic Stroke on Functional Recovery of the Lower Limbs: A Pilot, Randomized Trial. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, **29**, Article ID: 104649. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.104649>
- [6] Lee, D. and Bae, Y. (2022) Interactive Videogame Improved Rehabilitation Motivation and Walking Speed in Chronic Stroke Patients: A Dual-Center Controlled Trial. *Games for Health Journal*, **11**, 268-274. <https://doi.org/10.1089/g4h.2021.0123>
- [7] Janssen, A.M., Oostendorp, T.F. and Stegeman, D.F. (2015) The Coil Orientation Dependency of the Electric Field Induced by TMS for M1 and Other Brain Areas. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, **12**, Article No. 47. <https://doi.org/10.1186/s12984-015-0036-2>
- [8] Parikh, V., Medley, A. and Goh, H. (2024) Effects of rTMS to Primary Motor Cortex and Cerebellum on Balance Control in Healthy Adults. *European Journal of Neuroscience*, **60**, 3984-3994. <https://doi.org/10.1111/ejn.16386>
- [9] Chen, Q., Yao, F., Sun, H., Chen, Z., Ke, J., Liao, J., *et al.* (2021) Combining Inhibitory and Facilitatory Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) Treatment Improves Motor Function by Modulating GABA in Acute Ischemic Stroke Patients. *Restorative Neurology and Neuroscience*, **39**, 419-434. <https://doi.org/10.3233/rnn-211195>
- [10] Bai, Z., Zhang, J. and Fong, K.N.K. (2022) Effects of Transcranial Magnetic Stimulation in Modulating Cortical Excitability in Patients with Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, **19**, Article No. 24. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-00999-4>
- [11] Gao, Q., Xie, Y., Chen, Y., Tan, H., Guo, Q. and Lau, B. (2021) Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Lower Extremity Motor Function in Patients with Stroke: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Neural Regeneration Research*, **16**, 1168-1176. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.300341>
- [12] Palesi, F., De Rinaldis, A., Castellazzi, G., Calamante, F., Muhlert, N., Chard, D., *et al.* (2017) Contralateral Cortico-Ponto-Cerebellar Pathways Reconstruction in Humans *in Vivo*: Implications for Reciprocal Cerebro-Cerebellar Structural Connectivity in Motor and Non-Motor Areas. *Scientific Reports*, **7**, Article No. 12841. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13079-8>
- [13] Zhu, P., Li, Z., Lu, Q., Nie, Y., Liu, H., Kiernan, E., *et al.* (2024) Can Cerebellar Theta-Burst Stimulation Improve Balance Function and Gait in Stroke Patients? A Randomized Controlled Trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, **60**, 391-399. <https://doi.org/10.23736/s1973-9087.24.08307-2>
- [14] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019 [J]. 中华神经科杂志, 2019, 52(9): 710-715.
- [15] Koch, G., Bonni, S., Casula, E.P., Iosa, M., Paolucci, S., Pellicciari, M.C., *et al.* (2019) Effect of Cerebellar Stimulation on Gait and Balance Recovery in Patients with Hemiparetic Stroke: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Neurology*, **76**, 170-178. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2018.3639>
- [16] Liao, L., Xie, Y., Chen, Y. and Gao, Q. (2020) Cerebellar Theta-Burst Stimulation Combined with Physiotherapy in Subacute and Chronic Stroke Patients: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, **35**, 23-32. <https://doi.org/10.1177/1545968320971735>
- [17] Cristine de Faria, L., Barbosa Marques, D., Hellen dos Santos Cerqueira Gomes, L., dos Anjos, S. and Pereira, N.D. (2022) Self-Reported Use of the Paretic Lower Extremity of People with Stroke: A Reliability and Validity Study of the Lower-Extremity Motor Activity Log (LE-MAL)—Brazil. *Physiotherapy Theory and Practice*, **39**, 1727-1735. <https://doi.org/10.1080/09593985.2022.2043966>
- [18] Blum, L. and Korner-Bitensky, N. (2008) Usefulness of the Berg Balance Scale in Stroke Rehabilitation: A Systematic Review. *Physical Therapy*, **88**, 559-566. <https://doi.org/10.2522/ptj.20070205>
- [19] Ortega-Bastidas, P., Gómez, B., Aqueveque, P., Luarte-Martínez, S. and Cano-de-la-Cuerda, R. (2023) Instrumented Timed up and Go Test (ITUG)—More than Assessing Time to Predict Falls: A Systematic Review. *Sensors*, **23**, Article No. 3426. <https://doi.org/10.3390/s23073426>
- [20] Cheng, D.K., Nelson, M., Brooks, D. and Salbach, N.M. (2019) Validation of Stroke-Specific Protocols for the 10-Meter Walk Test and 6-Minute Walk Test Conducted Using 15-Meter and 30-Meter Walkways. *Topics in Stroke Rehabilitation*, **27**, 251-261. <https://doi.org/10.1080/10749357.2019.1691815>
- [21] Liao, L., Zhu, Y., Peng, Q., Gao, Q., Liu, L., Wang, Q., *et al.* (2023) Intermittent Theta-Burst Stimulation for Stroke: Primary Motor Cortex versus Cerebellar Stimulation: A Randomized Sham-Controlled Trial. *Stroke*, **55**, 156-165. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.123.044892>
- [22] Grimaldi, G., Argyropoulos, G.P., Boehringer, A., Celnik, P., Edwards, M.J., Ferrucci, R., *et al.* (2013) Non-Invasive Cerebellar Stimulation—A Consensus Paper. *The Cerebellum*, **13**, 121-138. <https://doi.org/10.1007/s12311-013-0514-7>

-
- [23] Holdefer, R.N., Miller, L.E., Chen, L.L. and Houk, J.C. (2000) Functional Connectivity between Cerebellum and Primary Motor Cortex in the Awake Monkey. *Journal of Neurophysiology*, **84**, 585-590. <https://doi.org/10.1152/jn.2000.84.1.585>
 - [24] Taib, N.O.B., Manto, M., Laute, M. and Brotschi, J. (2005) The Cerebellum Modulates Rodent Cortical Motor Output after Repetitive Somatosensory Stimulation. *Neurosurgery*, **56**, 811-820. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000156616.94446.00>
 - [25] Farias da Guarda, S.N. and Conforto, A.B. (2014) Effects of Somatosensory Stimulation on Corticomotor Excitability in Patients with Unilateral Cerebellar Infarcts and Healthy Subjects—Preliminary Results. *Cerebellum & Ataxias*, **1**, Article No. 16. <https://doi.org/10.1186/s40673-014-0016-5>
 - [26] Tanaka, M., Kameda, M. and Okada, K. (2024) Temporal Information Processing in the Cerebellum and Basal Ganglia. In: Merchant, H. and de Lafuente, V., Eds., *Neurobiology of Interval Timing*, Springer International Publishing, 95-116. https://doi.org/10.1007/978-3-031-60183-5_6
 - [27] Gopalakrishnan, R., Cunningham, D.A., Hogue, O., Schroedel, M., Campbell, B.A., Baker, K.B., *et al.* (2024) Electrophysiological Correlates of Dentate Nucleus Deep Brain Stimulation for Poststroke Motor Recovery. *The Journal of Neuroscience*, **44**, e2149232024. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.2149-23.2024>