

- [33] Goodkin R, Diller L. Reliability among physical therapists in diagnosis and treatment of gait deviations in hemiplegics [J]. Percept Mot Skills, 1973, 37(3):727—734.
- [34] Rodriquez AA, Black PO, Kile KA, et al. Gait training efficacy using a home-based practice model in chronic hemiplegia[J]. Arch Phys Med Rehabil, 1996, 77(8):801—805.
- [35] Cui C, Bian GB, Hou ZG, et al. Simultaneous recognition and assessment of post-stroke hemiparetic gait by fusing kinematic, kinetic, and electrophysiological data[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2018, 26(4):856—864.
- [36] Li M, Tian S, Sun L, et al. Gait Analysis for post-stroke hemiparetic patient by multi-features fusion method [J]. Sensors (Basel), 2019, 19(7):1737.
- [37] Lau HY, Tong KY, Zhu H. Support vector machine for classification of walking conditions of persons after stroke with dropped foot[J]. Hum Mov Sci, 2009, 28(4):504—514.
- [38] Zhang X, Fiedler G, Cao Z, et al. A support vector machine approach to detect trans-tibial prosthetic misalignment using 3—Dimensional ground reaction force features: a proof of concept[J]. Technol Health Care, 2018, 26(4):715—721.
- [39] LeMoyné R, Mastroianni T, Hessel A, et al. Implementation of machine learning for classifying prosthesis type through conventional gait analysis[J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2015, 2015:202—205.
- [40] Park E, Lee SI, Nam HS, et al. Unobtrusive and continuous monitoring of alcohol-impaired gait using smart shoes [J]. Methods Inf Med, 2017, 56(1):74—82.
- [41] Zhang J, Lockhart TE, Soangra R. Classifying lower extremity muscle fatigue during walking using machine learning and inertial sensors[J]. Ann Biomed Eng, 2014, 42(3):600—612.
- [42] Zhou Y, Romijnders R, Hansen C, et al. The detection of age groups by dynamic gait outcomes using machine learning approaches[J]. Sci Rep, 2020, 10(1):4426.

· 综述 ·

外周磁刺激治疗脑卒中患者上肢运动功能障碍的研究进展*

程期琳^{1,2} 胡昔权^{1,2,3}

运动功能障碍是脑卒中患者最常见的损伤,其主要表现为肢体瘫痪无力、痉挛、运动协调异常以及运动控制障碍等。80%脑卒中患者在首次发病后存在上肢运动功能障碍^[1],即使经过6个月的常规康复训练后,仍有65%的脑卒中患者遗留上肢运动功能障碍^[2]。有研究表明,脑卒中后上肢运动障碍会给患者带来焦虑并降低生活的质量^[3],同时给其家庭和社会医疗保健带去沉重的经济负担。因此,寻找最佳的康复治疗方法,以最大限度地恢复上肢运动功能障碍仍是脑卒中后康复的一大挑战。

临床上治疗脑卒中上肢运动功能障碍的康复方法有多种,主要包括自上而下的中枢非侵入式脑刺激以及自下而上

的外周电、磁、声、光以及传统的手法治疗等。经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)^[4-6]和经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)^[7-9]等中枢神经刺激技术已被证明能够改善脑卒中后上肢运动障碍;而外周神经肌肉电刺激也常用于改善上肢运动障碍^[10],但在治疗时要求患者裸露皮肤且容易引起皮肤疼痛和不适^[11]。近年来,外周磁刺激作为一种非侵入、安全无痛的技术逐渐被用来治疗脑卒中后运动和痉挛障碍,并取得了一定的疗效。

1 外周磁刺激概述

为了解决外周电刺激的作用部位表浅以及避免皮肤表

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.06.022

*基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC2001603,2022YFC3601200)

1 上海体育学院运动科学学院,上海市,200438; 2 中山大学附属第三医院; 3 通讯作者

第一作者简介:程期琳,女,硕士研究生; 收稿日期:2022-02-24

面高密度电流所引起的组织损伤和疼痛等缺点,1982年,Polson等^[12]利用时变磁场磁刺激仪作用于前臂正中神经,并证明了这种技术能够刺激周围神经干。磁刺激线圈作用于外周神经和肌肉并引起肌肉收缩的技术称为外周磁刺激(peripheral magnetic stimulation, PMS),当外周磁刺激为重复连续输出时称作重复外周磁刺激(repetitive PMS, rPMS)。rPMS既可用于治疗神经或肌肉骨骼疾病引起的运动障碍^[13-14],也可用于评估神经系统疾病引起的痉挛程度^[15],是一种安全、无创无痛的磁刺激技术。

1.1 rPMS的治疗原理

rPMS技术基于法拉第电磁感应原理,利用时变磁场产生的感应电流作用周围神经肌肉组织,感应电流通过神经细胞膜进入轴突,使神经膜的电位发生改变^[16]。当刺激强度超过神经细胞的阈值时,则会引起神经元的去极化并产生动作电位,引起肌肉收缩^[17-18]。rPMS的治疗理念是通过诱导本体感觉的输入,激活大脑神经组织,从而改善运动功能^[19]。其主要通过两种方式诱导本体感觉的输入^[20-21],一种是直接激活:通过顺向和反向传导直接激活感觉运动神经纤维;另一种是间接激活:磁刺激作用于肌肉,引起肌肉产生节律性的收缩和放松,肌肉在震动过程中间接激活机械感受器。与一般的电刺激相比,外周磁刺激具有渗透力深、作用能力强、几乎无疼痛等优势。

1.2 rPMS的治疗参数

1.2.1 频率: rPMS改善肢体运动功能的效果有赖于其治疗的频率。一般认为磁刺激频率 $\geq 5\text{Hz}$ 为高频刺激,能够提高运动皮层兴奋性;而频率 $\leq 1\text{Hz}$ 为低频刺激,能够降低运动皮层兴奋性^[22-23]。目前国内外临床上常用于改善运动障碍的rPMS为高频rPMS,频率从5—50Hz不等。

Gallasch等^[24]对健康人的前臂屈肌进行不同频率的rPMS刺激,结果表明25Hz的rPMS刺激能够提高大脑皮质脊髓和皮质内的兴奋性,而10Hz的rPMS刺激后却无明显改变。Nito等^[25]对健康人的前臂伸肌群分别进行频率为10、25、50Hz的rPMS刺激后,结果也显示一次频率为10Hz的rPMS不能引起皮层兴奋性发生改变;而频率为25、50Hz的rPMS均能增加运动皮层的兴奋性,并且改善了伸腕功能。但在另外一项关于频率为10Hz和1Hz的rPMS对大脑皮层兴奋性的研究中却得出不一样的结论^[23]。该团队采用频率为10Hz(500脉冲),1Hz(100脉冲)的rPMS分别刺激健康受试者的左右前臂屈肌,并以左侧大脑M1区支配的拇短展肌的动作诱发电位波幅作为评估指标。与干预前对比,采取右前臂10Hz、左前臂10Hz、左前臂1Hz的rPMS刺激后都能显著提高左侧大脑运动皮层的兴奋性;然而采取右前臂频率为1Hz的rPMS刺激后,左侧大脑运动皮层兴奋性却显著性下降。这表明rPMS对大脑皮层兴奋性的调节与其作用的部位

及其频率有关。

以上不同研究显示了即使是相同频率的rPMS也会出现不同甚至相反的结果,这可能是不同试验对象、试验环境影响的结果。现有的研究常用的rPMS频率为5、10、20、25、30Hz等。目前关于不同频率rPMS对调节皮层兴奋性和改善运动功能的研究还局限于对健康人的研究,且样本量小,故尚未能得出rPMS的最佳治疗频率。

1.2.2 强度: 不同研究对于rPMS治疗强度的制定标准也有所差异,目前关于rPMS的强度设定标准主要包括三种,且基本上都是使用阈上刺激强度。分别是运动阈值的百分比^[14,24,26]、引起肌肉明显收缩的百分比^[27-28]以及磁刺激器的最大输出百分比^[29]等。其治疗强度还可根据受试者的功能恢复情况以及耐受程度进行适当的调节。然而并没有研究明确指出rPMS不同治疗强度的优势与劣势,因此在治疗过程中,治疗师还可依据个人经验进行调整。

1.2.3 脉冲总数: 脉冲总数指磁刺激器在一次完整的rPMS刺激时输出的脉冲个数。现有研究采用的脉冲总数范围一般在300—22500之间。有研究发现^[25]频率为25Hz、50Hz的rPMS脉冲个数至少要 ≥ 6000 个,才能兴奋相应的脑区;而频率为10Hz,共8000脉冲的rPMS也不能使皮层兴奋性发生改变。这说明rPMS对大脑皮层兴奋性的调节有赖于rPMS的频率和脉冲总数,目前关于不同频率所匹配的最佳脉冲剂量的研究还比较少,因此未来还应就此展开更多高质量的研究进而为制定有效的rPMS方案提供更多参考。

2 rPMS在脑卒中后上肢运动功能障碍康复中的应用

2.1 rPMS在脑卒中后上肢痉挛中的应用

脑卒中后肢体痉挛的出现往往伴随着肌肉的无力、异常的关节姿势等,从而降低肢体的灵巧性,导致运动控制障碍和日常功能受限^[30]。脑卒中后上肢痉挛的发生率高于下肢且更为严重^[31],除了经典的肉毒素注射、肌肉震动、药物治疗以及传统的牵伸治疗技术外,国内外关于rPMS改善脑卒中后上肢痉挛的研究也有较多的报道。

在一项随机双盲对照研究中,Krewer等^[32]采用频率为25Hz,刺激1s,休息2s,共5000脉冲的rPMS作用于轻中度痉挛偏瘫患者患侧上肢腕肘屈伸肌群,随后给予20min的作业治疗,每天2次,每周5天,共2周。与对照组相比,rPMS组在首次治疗后以及干预2周后分别显著改善了屈腕和伸肘肌群的改良Tardieu评分(modified Tardieu scale, MTS),提示rPMS在改善上肢痉挛方面可能存在短期和长期效应。Chen等^[28]在探讨一次rPMS刺激对痉挛的即刻影响中,对脑卒中后2周以上并伴有上肢痉挛的患者患侧肩内收肌、外展肌、肘屈伸肌和腕屈伸肌等进行rPMS刺激。该研究对痉挛肌群采取频率为5Hz,刺激3s,间歇1s,共750脉冲的rPMS刺

激方案;对其拮抗肌群采用频率为20Hz,刺激1.5s,间隔1s,共5100脉冲的rPMS刺激方案;然而,如果拮抗肌群MAS评分(modified ashworth scale, MAS) ≥ 1 ,则继续使用5Hz的刺激方案。1次rPMS刺激后,屈肘肌和屈腕肌的MAS以及MTS评分显著降低,且近端上肢运动功能UL-FMA的评分(upper limb Fugl-Meyer motor assessment scale)显著提高,而假刺激组却没有改变。与此同时,rPMS组的脑电图显示对侧大脑半球的事件相关去同步化中的 μ 节律频段的功率降低。国内李阳等^[26]、王超等^[27]采取不同参数的rPMS作用于脑卒中患者患侧上肢,也分别得出了rPMS对改善脑卒中上肢痉挛和运动功能障碍有短期和长期的效应。这两个研究团队都认为rPMS改善上肢运动障碍的可能原因是rPMS降低了相关肌群的张力或者是rPMS刺激增加了作用肌群的肌力,从而改善上肢运动功能。

2.2 rPMS在脑卒中后上肢运动障碍康复中的应用

Struppler等^[33]采用频率为20Hz,刺激1.5s,间歇4s,共4500脉冲的rPMS作用于8例痉挛性瘫痪者的前臂伸肌群,经过1次rPMS刺激后,患者手指伸展的幅度和速度都有很大的提升,且屈肌的痉挛也得到了显著改善。该团队随后对其中5例患者进行rPMS刺激后的持续效应进行跟踪发现,患者手指运动改善在刺激后2—4h表现出最大的效益,且这种效益在刺激后24h仍可观察到。一项rPMS对急性期脑卒中患者的研究^[34]显示,将频率为30Hz,刺激时间2s,间歇2s作用脑卒中患者患侧三角肌、肱三头肌、桡侧腕伸肌、指总伸肌等上肢伸肌群。经过7.8次rPMS刺激后(UL-FMA评分变化率为2.65),与标准治疗组相比(平均干预16.5次,UL-FMA变化率为1.10)有显著性差异。除此之外,两组Wolf运动功能能力测试(Wolf motor function test, WMFT)的评分变化率也有显著差异。国内俞风云等^[35]观察到应用频率为10Hz,刺激3s,休息8s,共1200脉冲的10次rPMS作用于脑卒中患者患侧上肢臂丛神经的最佳位点(Erb点),可改善UL-FMA的评分以及提高健侧大脑的运动阈值,但与rTMS组以及对照组相比,无显著性差异。

以上研究中用于治疗上肢运动障碍的rPMS参数各不相同,其样本量、治疗部位以及疗程也存在很大差异,且评估指标大多只关注运动行为学上的研究,缺乏脑电图、功能磁共振、功能性近红外成像等客观评价指标,因此还不能给出rPMS改善脑卒中上肢运动障碍的具体结论。未来的研究方向还应根据脑卒中的不同分期、个体的功能差异,以及rPMS的不同治疗参数等进行分组,适当增加客观的脑功能、影像学等评估指标,延长干预的周期进行大样本的研究。

3 rPMS联合rTMS在脑卒中上肢运动障碍康复中的应用

为了探究成对外周和经颅磁刺激对运动皮质兴奋性的

调节作用,Kumru等^[36]首次针对11例健康人进行交叉设计研究。11例健康受试者均随机先后接受单次频率为10Hz的rPMS刺激、频率为0.1Hz的rTMS刺激以及rPMS联合rTMS刺激。结果显示,rPMS联合rTMS刺激组的相应脑区出现MEP波幅的增高以及皮层内抑制的减弱,而其他两组却无明显变化。国内许榕等^[37]在观察rPMS结合rTMS对脑卒中后上肢痉挛的影响中,在健侧大脑采用1Hz的rTMS刺激后随即在患侧上肢Erb's点进行600个脉冲的间歇式Theta节律性刺激(intermittent theta burst stimulation, iTBS),每天1次,每周5天,共5周。与无磁刺激组对比,治疗组患侧上肢屈肘、伸肘关节以及指间屈和指间伸关节的MAS评分差值以及肩水平内收、肘屈曲(肩内收位)和肘伸展(肩外展位)的Tardieu评分差值都存在显著性差异。严晶晶等^[38]对发病2周以上的脑卒中患者先进行1200脉冲的低频rTMS刺激后继续接受频率为10Hz,刺激6s,间歇3s,共1200脉冲的rPMS刺激,刺激部位为患侧前臂屈肌;对照组给予外周假刺激,1天一次,每周5天,共2周。与对照组相比,试验组的上肢运动UL-FMA评分在入组4周以及12周时均存在显著性差异。

以上研究初步表明,rPMS联合rTMS刺激方案形成的“中枢—外周—中枢”的磁刺激闭合环路能够更好地改善脑卒中上肢的痉挛以及运动障碍。目前国内外关于rPMS联合rTMS改善脑卒中上肢运动障碍以及上肢痉挛的研究方案中,rTMS多采用健侧大脑皮层的低频rTMS刺激,但关于rPMS的参数以及刺激部位却存在较大差异。两者相结合对改善脑卒中上肢运动障碍的研究还比较少,其存在的相关机制尚未明确。因此未来的研究除了需要对联合的方案进行优化外,还应适当增加功能性核磁共振、功能性近红外成像以及脑电图等客观评价指标进行大样本、高质量的研究。

4 rPMS改善上肢运动功能的作用机制

国内外已有多篇关于rPMS改善上肢运动表现的研究报道,其主要表现在神经肌肉、大脑皮层以及脊髓等三个层面^[39]。rPMS最直接的作用就是通过引起肌肉振动并产生节律性的收缩放松,从而改善周围肌群的痉挛以及提高运动的灵活性。

为了分析rPMS对大脑运动皮层的重组效应,Struppler等^[40]采用正电子发射断层扫描(positron emission tomography, PET)对8例局灶性脑梗死患者治疗前后的局部脑血流量变化情况进行观察对比。一次rPMS治疗后患侧大脑皮层顶叶—运动前区在运动任务中的激活显著增加,这种激活的增加与手指的运动以及上肢痉挛显著改善有关。Gallasch等^[24]采用TMS和fMRI观察健康人一次rPMS刺激前后的大脑皮层兴奋性的变化情况。研究发现rPMS干预后促进了皮层内易化同时增加了桡侧腕屈肌的运动诱发电位的募集曲

线,且这种效应能够持续0.5—1h;而fMRI数据也显示,rPMS能够增强对侧大脑感觉运动区的激活。大部分研究表明^[14,25,28]单次rPMS干预后既能改善上肢运动功能又能调节大脑运动感觉皮层区的兴奋性。这是由于rPMS通过前文所说的两种途径诱导本体感觉输入大脑,从而实现对大脑的神经调控。rPMS作用于周围神经或肌肉时,主要通过激活Ia,Ib,II这三种神经纤维诱导本体感觉的输入。最近一项研究表明^[14]这种本体感觉的传入沿上行的感觉通路传入到顶区的初级感觉皮层(S1),然后通过S1区和初级运动皮层(M1区)之间的功能和结构联系推动M1区的重组。现存大部分研究均关注于单次rPMS对大脑皮层的影响,其长期效应还比较缺乏。未来应进行更多高质量研究,进一步探讨rPMS改善上肢运动功能的长期效应和机制。

5 rPMS的安全性

rPMS在刺激时,线圈紧贴皮肤使其与靶肌肉相切,穿透皮肤的磁场在皮下组织形成感应电流,因此电流不会集中于皮肤表面,即使是感觉障碍的患者也不会出现电灼伤的情况。目前的研究中,受试者在接受rPMS刺激后不会出现不良反应和其它的安全事故。故rPMS技术是一种安全可靠并具有一定潜力的康复治疗技术。

6 小结与展望

综上所述,rPMS作为一种无创的磁刺激技术,具有操作简单、渗透力强等优点,对脑卒中上肢痉挛和运动障碍具有一定的治疗作用,在脑卒中康复中颇具发展前景。然而,目前的研究依然存在样本量小、缺乏影像等客观指标、循证医学证据有限等局限,对于rPMS的参数以及作用的部位缺乏统一论。未来需开展大样本、多中心,并增加脑电、影像等评价指标的高质量研究,进一步探讨rPMS改善脑卒中上肢运动功能障碍的作用及其康复机制。

参考文献

- [1] Han C, Wang Q, Meng PP, et al. Effects of intensity of arm training on hemiplegic upper extremity motor recovery in stroke patients: a randomized controlled trial[J]. Clin Rehabil, 2013, 27(1):75—81.
- [2] Bruce H, Dobkin MD. Rehabilitation after Stroke[J]. N Engl J Med, 2005, 352(16):1677—1684.
- [3] Morris JH, van Wijck F, Joice S, et al. Predicting health related quality of life 6 months after stroke: the role of anxiety and upper limb dysfunction[J]. Disabil Rehabil, 2013, 35(4):291—299.
- [4] Bai X, Guo Z, He L, et al. Different therapeutic effects of transcranial direct current stimulation on upper and lower limb recovery of stroke patients with motor dysfunction: a meta-analysis[J]. Neural Plast, 2019, 2019:1372138.
- [5] Lefaucheur JP, Antal A, Ayache SS, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS)[J]. Clin Neurophysiol, 2017, 128(1):56—92.
- [6] Fregni F, El-hagrassy MM, Pacheco-barrios K, et al. Evidence-based guidelines and secondary meta-analysis for the use of transcranial direct current stimulation in neurological and psychiatric disorders[J]. Int J Neuropsychopharmacol, 2021, 24(4):256—313.
- [7] Lefaucheur JP, Aleman A, Baeken C, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): an update (2014—2018)[J]. Clin Neurophysiol, 2020, 131(2):474—528.
- [8] Guan YZ, Li J, Zhang XW, et al. Effectiveness of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) after acute stroke: a one-year longitudinal randomized trial[J]. CNS Neurosci Ther, 2017, 23(12):940—946.
- [9] Du J, Yang F, Hu J, et al. Effects of high- and low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on motor recovery in early stroke patients: evidence from a randomized controlled trial with clinical, neurophysiological and functional imaging assessments[J]. Neuroimage Clin, 2019, 21:101620.
- [10] Sentandreu-Mañó T, Tomás JM, Ricardo STJ. A randomised clinical trial comparing 35 Hz versus 50 Hz frequency stimulation effects on hand motor recovery in older adults after stroke[J]. Sci Rep, 2021, 11(1):9131.
- [11] Kinoshita S, Ikeda K, Yasuno S, et al. Dose-response of rPMS for upper Limb hemiparesis after stroke[J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(24):e20752.
- [12] Polson MJ, Barker AT, Freeston IL. Stimulation of nerve trunks with time-varying magnetic fields[J]. Med Biol Eng Comput, 1982, 20(2):243—244.
- [13] Beaulieu LD, Schneider C. Repetitive peripheral magnetic stimulation to reduce pain or improve sensorimotor impairments: a literature review on parameters of application and afferents recruitment[J]. Neurophysiol Clin, 2015, 45(3):223—237.
- [14] Jia Y, Liu X, Wei J, et al. Modulation of the corticomotor excitability by repetitive peripheral magnetic stimulation on the median nerve in healthy subjects[J]. Frontiers in Neural Circuits, 2021, 15:616084.
- [15] Fernandez-lobera M, Morales M, Valls-sole J. Repetitive peripheral magnetic stimulation for the assessment of wrist spasticity: reliability, validation and correlation with clinical

- cal measures[J]. Disabil Rehabil, 2022,44(18):5257—5267.
- [16] Hallett M. Transcranial magnetic stimulation: a primer[J]. Neuron, 2007, 55(2):187—199.
- [17] Barker AT. An introduction to the basic principles of magnetic nerve stimulation[J]. J Clin Neurophysiol, 1991, 8(1):26—37.
- [18] Geddes LA. History of magnetic stimulation of the nervous system[J]. J Clin Neurophysiol, 1991, 8(1):3—9.
- [19] Bernhardt M, Angerer B, Buss M, et al. Isometric muscle contraction induced by repetitive peripheral magnetic stimulation (RPMS)-Modeling and identification[J]. Biomed Signal Process Control, 2007, 2(3):180—190.
- [20] Sakai K, Yasufuku Y, Kamo T, et al. Repetitive peripheral magnetic stimulation for impairment and disability in people after stroke[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2019, 11:D11968.
- [21] Struppler A, Angerer B, Gundisch C, et al. Modulatory effect of repetitive peripheral magnetic stimulation on skeletal muscle tone in healthy subjects: stabilization of the elbow joint[J]. Exp Brain Res, 2004, 157(1):59—66.
- [22] Valero-cabré A, Amengual JL, Stengel C, et al. Transcranial magnetic stimulation in basic and clinical neuroscience: a comprehensive review of fundamental principles and novel insights[J]. Neurosci Biobehav Rev, 2017, 83: 381—404.
- [23] Sato A, Liu X, Torii T, et al. Modulation of motor cortex excitability by peripheral magnetic stimulation of different stimulus sites and frequencies[J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2016, 2016:6413—6416.
- [24] Gallasch E, Christova M, Kunz A, et al. Modulation of sensorimotor cortex by repetitive peripheral magnetic stimulation[J]. Front Hum Neurosci, 2015, 9:407.
- [25] Nito M, Katagiri N, Yoshida K, et al. Repetitive peripheral magnetic stimulation of wrist extensors enhances cortical excitability and motor performance in healthy individuals [J]. Front Neurosci, 2021, 15:632716.
- [26] 李阳, 陈树耿, 王传凯, 等. 重复外周磁刺激对脑卒中患者上肢痉挛和运动功能的即刻影响[J]. 中国康复理论与实践, 2018, 24(12):1376—1379.
- [27] 王超, 牛德旺, 吴文波. 重复外周磁刺激联合康复训练对脑卒中患者上下肢痉挛、运动功能的影响[J]. 医学理论与实践, 2021, 34(12):2152—2153.
- [28] Chen S, Li Y, Shu X, et al. Electroencephalography mu rhythm changes and decreased spasticity after repetitive peripheral magnetic stimulation in patients following stroke [J]. Frontiers in Neurology, 2020, 11:546599.
- [29] Zschorlich VR, Hillebrecht M, Tanjour T, et al. Repetitive peripheral magnetic nerve stimulation (rPMS) as adjuvant therapy reduces skeletal muscle reflex activity[J]. Front Neurol, 2019, 10:930.
- [30] Li S, Chen YT, Francisco GE, et al. A unifying pathophysiological account for post-stroke spasticity and disordered motor control[J]. Front Neurol, 2019, 10:468.
- [31] Wissel J, Schelosky LD, Scott J, et al. Early development of spasticity following stroke: a prospective, observational trial[J]. J Neurol, 2010, 257(7):1067—1072.
- [32] Krewer C, Hartl S, Muller F, et al. Effects of repetitive peripheral magnetic stimulation on upper-limb spasticity and impairment in patients with spastic hemiparesis: a randomized, double-blind, sham-controlled study[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2014, 95(6):1039—1047.
- [33] Struppler A, Havel P, Muller-barna P. Facilitation of skilled finger movements by repetitive peripheral magnetic stimulation (RPMS): a new approach in central paresis[J]. NeuroRehabilitation, 2003,18(1):69—82.
- [34] Obayashi S, Takahashi R. Repetitive peripheral magnetic stimulation improves severe upper limb paresis in early acute phase stroke survivors[J]. NeuroRehabilitation, 2020, 46(4):569—575.
- [35] 俞风云, 朱玉连, 梁思捷, 等. 经颅和外周磁刺激治疗脑卒中后上肢运动功能障碍的随机对照研究[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(5):538—545.
- [36] Kumru H, Albu S, Rothwell J, et al. Modulation of motor cortex excitability by paired peripheral and transcranial magnetic stimulation[J]. Clin Neurophysiol, 2017, 128(10): 2043—2047.
- [37] 徐榕, 朱光跃, 王勇, 等. 外周磁刺激结合经颅磁刺激对脑卒中后上肢痉挛的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(8):943—948.
- [38] 严晶晶, 袁海峰, 张妮, 等. 中枢联合外周重复磁刺激对卒中后运动功能障碍的疗效[J]. 华西医学, 2021, 36(5): 588—594.
- [39] 刘浩, 贾延兵, 魏静, 等. 重复外周磁刺激在康复治疗中的应用及研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(5): 631—637.
- [40] Struppler A, Binkofski F, Angerer B, et al. A fronto-parietal network is mediating improvement of motor function related to repetitive peripheral magnetic stimulation: a PET-H2O15 study[J]. Neuroimage, 2007, 36 Suppl 2: T174—T186.