

外周磁刺激结合经颅磁刺激对脑卒中后 上肢痉挛的影响*

徐榕¹ 朱光跃² 王勇¹ 孙婷婷¹ 许东升^{3,4}

摘要

目的:观察外周结合经颅磁刺激对脑卒中后上肢痉挛的影响。

方法:将30例脑卒中后上肢痉挛的患者随机分为治疗组和对照组,每组15例。使用“8”字形磁刺激线圈给予治疗组患者非受累侧皮层M1区强度为80%静息运动阈值,频率1Hz共1200个脉冲磁刺激,随后给予患侧上肢Erb's点iTBS模式刺激共600个脉冲,刺激强度为能引起患侧拇短屈肌肉眼可见细微收缩最小强度。对照组给予假刺激,治疗组和对照组均接受相同的常规康复治疗。治疗共持续5周,每周治疗5天,每天治疗1次。观察其对患者患侧上肢改良Ashworth评分、Tardieu评分的影响,同时观察治疗前后患侧上肢正中神经腕水平H反射潜伏期及H_{max}/M_{max}肌电生理指标的变化,与对照组做比较。

结果:治疗组偏瘫侧上肢MAS评分治疗前后分值差:肘屈曲、肘伸展、屈指间关节、伸指间关节与对照组差值比较具有显著性差异($P<0.05$)。Tardieu评分治疗前后分值差:肩水平内收、肘屈曲(肩内收位)、肘伸展(肩外展位)和对照组比较有显著性差异($P<0.05$)。但肩前屈、肩外展、肘伸展、腕屈曲、伸腕MAS评分、肩内旋、前臂旋前(肩内收位)、前臂旋后(肩内收位)Tardieu评分差值两组比较无显著性差异($P>0.05$),治疗组偏瘫侧上肢正中神经H反射潜伏期、H_{max}/M_{max}治疗前后差值和对照组比较有显著性差异($P<0.05$)。

结论:外周磁刺激结合经颅磁刺激治疗可能有助于缓解脑卒中后上肢痉挛患者的痉挛状态。

关键词 脑卒中;痉挛;磁刺激;H反射;H_{max}/M_{max}

中图分类号:R454.1,R743.3,R493 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2021)-08-0943-06

The effect of peripheral magnetic stimulation combined with transcranial magnetic stimulation on upper limb spasm after stroke/XU Rong, ZHU Guangyue, WANG Yong, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2021, 36(8): 943—948

Abstract

Objective: To observe the effects of combined peripheral and transcranial magnetic stimulation on upper limb spasticity in patients with chronic stroke.

Method: Thirty chronic patients were randomly divided into combined magnetic stimulation group, sham stimulation group(n=15 in each group). The combined magnetic stimulation group was treated with 1Hz 1200 pulses transcranial magnetic stimulation over contralesional M1 and 600 pulses peripheral magnetic stimulation (intermittent theta burst stimulation, iTBS) over ipsilesional Erb's point by "8" shaped coil. The intensity of transcranial stimulation was 80% resting motor threshold(rMT) and the intensity of peripheral stimulation was adjusted to induce the muscle contraction in abductor Digiti Minimi (ADM) muscle that can be just visible. The control group received sham stimulation. All patients were treated with real stimulation or sham stimulation once a

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.08.007

*基金项目:国家重点研发计划(2020YFC2004202);上海市养志康复医院院级科研培育项目(YZ2020-017)

1 上海市养志康复医院(上海市阳光康复中心),上海市,201603; 2 同济大学附属同济医院康复中心; 3 上海中医药大学康复医学研究所; 4 通讯作者

第一作者简介:徐榕,女,硕士,主治医师; 收稿日期:2021-02-28

day, 5 days a week for 5 weeks. Both groups were assessed before and after treatment. The upper limb modified Ashworth scale(MAS) and Tardieu scale were used to assess degree of spasticity. We also evaluated median nerve H reflex latency and the ratio of the maximum amplitude of H reflex and maximum amplitude of M wave (Hmax/Mmax) before and after treatment.

Result: There were significant improvements in Tardieu score of shoulder horizontal abductors, elbow flexors, elbow extensors and MAS score of elbow flexion, elbow extension, interphalangeal joint flexion, interphalangeal joint extension. There were significant differences of H reflex latency and H_{max}/M_{max} of median nerve. There were no significant differences in the MAS score of shoulder flexion, shoulder abduction, wrist flexion, wrist extensors and Tardieu score of shoulder internal rotators, elbow pronators and elbow supinators.

Conclusion: Combined magnetic stimulation can improve upper limb spasticity in patients with chronic stroke, and it is also worth to be studied further.

Author's address Shanghai Yangzhi Rehabilitation Hospital, Shanghai, 201603

Key word stroke; spasticity; magnetic stimulation; H reflex; H_{max}/M_{max}

我国每年脑卒中发病人数约200万^[1],有20%到40%的患者产生肌肉痉挛问题,这导致其中有70%—80%的患者残疾,从而丧失工作和生活能力^[2]。痉挛严重的患者,还会产生肌肉、骨骼、关节的畸形变化,患者家属以及社会需要投入大量精力和财力对患者进行护理和治疗。而亚急性期和慢性期偏瘫患者的功能障碍又以上肢痉挛为康复治疗的难点^[3]。经颅磁刺激技术(transcranial magnetic stimulation, TMS)是近年来脑卒中临床研究热点^[4],多个独立研究小组的研究结果显示, TMS治疗对亚急性期和慢性期患者上肢运动功能障碍及肌痉挛有显著疗效^[5-11]。外周磁刺激(peripheral repetitive magnetic stimulation, PMS),也称经皮磁刺激(transcutaneous magnetic stimulation),是通过给予脑以外的组织重复的、高频的、高强度的磁场来兴奋神经或肌肉的一种刺激模式。外周磁刺激更多的是刺激轴突而不是细胞体,通过刺激目标靶区募集外周势能,可以间接地影响脑的活动及皮层功能重塑^[12]。PMS已经被证实可以提升卒中患者的运动控制^[13]。通过两种方法分别对中枢和外周进行干预,相较于单一靶区刺激可能产生更好的治疗效果。然而目前将经颅磁刺激和外周磁刺激联合干预偏瘫患者上肢痉挛的研究较少。本研究采用外周联合中枢磁刺激

对卒中患者进行治疗,观察其对上肢痉挛的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2019年6月—2020年12月在本院神经康复科住院的卒中后上肢痉挛患者30例随机分为治疗组和对照组。两组患者均无脱落。经统计学分析,两组患者治疗前一般资料比较,差异均无显著性意义($P>0.05$,见表1)。本研究所有患者均签署知情同意书且通过同济大学附属上海市养志康复医院医学伦理委员会批准(伦理批件号:YZ2020—017)。入组患者均符合2019年《中华神经科杂志》2019年9月第52卷第9期《中国各类主要脑血管病诊断要点》^[14],经颅脑CT或MR确诊的脑卒中患者。

纳入标准:①年龄28—70岁者;②符合以上诊断标准,病程在6个月至12个月,首次发病者;③一侧肢体偏瘫,上肢存在改良Ashworth量表(MAS)评分单个肌群 $1 \leq MAS \leq 3$ 者;④无认知理解障碍,能正确进行语言交流者;⑤愿意签署知情同意书并配合治疗。

排除标准:①意识障碍者;②合并严重心、肝、肾、皮肤及感染等疾病者;③进展型脑卒中者;④有严重出血倾向者;⑤颅内金属植入物、人工耳蜗植

表1 两组患者一般资料

组别	例数	性别(例)		年龄($\bar{x} \pm s$,岁)	病程($\bar{x} \pm s$,月)	偏瘫侧(例)		Brunnstrom分期(例)			
		男	女			右	左	II	III	IV	V
治疗组	15	14	1	47.13±11.624	7.07±5.244	8	7	5	4	4	2
对照组	15	13	2	54.47±11.618	6.20±3.468	9	6	4	6	3	2
P值		0.345		0.734	0.287	0.526		0.894			

人、磁片、心脏起搏器或颅骨缺损者;⑥确诊精神病、重度抑郁症(有自杀倾向)癫痫未稳定控制或有精神病或癫痫的家族史者;⑦皮质兴奋性药物服用史者;⑧怀孕者;⑨严重头痛者;⑩严重的关节挛缩者。

1.2 治疗方法

两组患者均接受神经内科常规药物治疗、常规康复治疗,常规康复治疗方案由同一康复治疗师独立制定。

治疗组 15 例患者在常规康复训练基础上另外进行经颅和外周磁刺激治疗,对照组不接受磁刺激。

经颅磁刺激:采用依瑞德经颅磁刺激仪(型号 MagTD),磁刺激线圈为“8”字形线圈,直径 99mm,刺激部位为非受累侧 M1 区,见图 1。刺激强度为 80%非受累侧拇短展肌(abductor Digiti Minimi, ADM)的静息运动阈值(rMT)^[15]。刺激频率:1Hz,总脉冲数:1200个,总刺激时间为 20min^[16]。

经颅磁刺激结束后立刻进行外周磁刺激,外周磁刺激也采用“8”字线圈,刺激部位为患侧上肢 Erb's 点,刺激强度为能引起患侧拇屈肌肉眼可见细微收缩最小刺激强度刺激模式为 iTBS,600 个脉冲,3 个 50Hz 的脉冲为一串,串间隔 200ms,刺激 2s 为一组,组间间隔 8s,总刺激时间为 3min^[17]。治疗时患者取仰卧位,保持清醒,双手掌朝上。进行 Erb's 点刺激时,嘱患者头向对侧偏斜 30°(图 1)。

1.3 评定指标

观察干预前、干预 5 周后的:MAS 评分、Tardieu 评分、患侧上肢正中神经 H 反射潜伏期及 H_{max}/M_{max} 。

1.3.1 痉挛评定量表:采用 MAS 痉挛量表。患者于仰卧位放松 5min 后,由同一检查者进行上肢痉挛程度评测。I、I⁺、II、III、IV 级分别按 1、2、3、4、5 分计算^[18]。

1.3.2 改良 Tardieu 量表:该项评分通过测量在特定速度下肌肉对拉伸的反应来量化痉挛。整个测试中,应嘱患者保持放松状态。若需要重复测试,应在同一天进行,以最大程度减少因药物作用而导致的痉挛程度的变化。分别测量肩水平内收、肩内旋、肘屈曲(肩内收位)、肘伸展(肩外展位)、前臂旋前(肩内收位)、前臂旋后(肩内收位)的肌群在不同速度反应下的被动关节活动度。首先,用尽可能慢的速度 V1(缓和牵张反射)活动肢体至最大关节活动范围,记录角度 R2。接着用尽可能快的速度 V3(快于肢体自由落体的速度)活动肢体至“卡住点”,记录角度 R1。R2 与 R1 之差记作 R,即为痉挛角^[19]。

1.3.3 H 反射检查:设备:丹迪 Medtronic Keypoint Workstation 肌电图仪(丹麦, NATUS)。检查在屏蔽室内进行,室温 20—25°C,患者皮肤表面清洁,刺激脉冲波,波宽 0.5ms,频率 1Hz。患者采取仰卧位,受检肌肉保持放松。采用表面电极进行刺激和记录,刺激电极的阴极位于近端。记录电极置于拇短展肌肌腹,参考电极置于拇指肌腱处,地线电极贴于手背,刺激电极置于腕。记录患侧 H 反射潜伏期 (H_{lat})、H 反射最大波幅和 M 波最大波幅 (H_{max}/M_{max}) 比值,轨迹由计算机均化^[20](见图 2)。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析,计量资料用均数±标准差表示。对 H_{max}/M_{max} 、Tardieu 评分、 H_{lat} 和 MAS 评分使用 Shapiro Wilk 进行正态检验。两

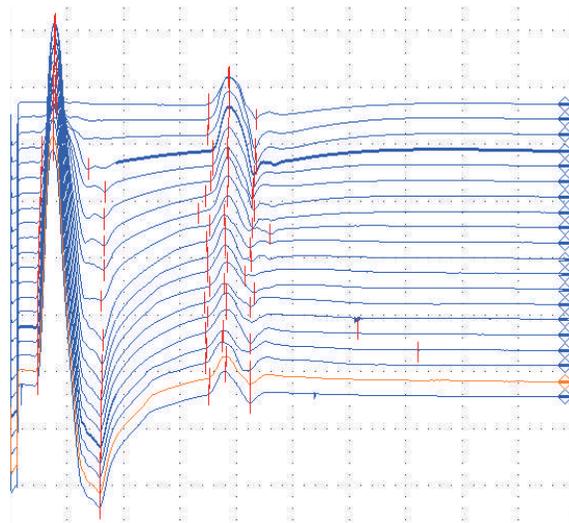
图 1 中枢联合外周磁刺激



非受累侧 M1 区磁刺激

外周 Erb's 点磁刺激

图 2 上肢正中神经 H 反射



组患者一般资料比较采用两独立样本 *t* 检验。两组患者治疗前后差值比较采用单因素方差分析进行检验。 $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果

两组所有的患者在治疗过程中及治疗后均无显著不良反应。

2.1 两组患者治疗前后 MAS 评分变化

治疗前两组患者的偏瘫侧上肢 MAS 总积分得分之间无明显差异 ($P > 0.05$); 两组治疗前后偏瘫侧上肢 MAS 评分差值进行统计学比较在肘屈曲、肘伸展、屈指间关节、伸指间关节有显著性差异 ($P < 0.05$), 两组治疗前后 MAS 差值统计学比较在肩前屈、肩外展、腕屈曲、伸腕无显著性差异 ($P > 0.05$), 见表 2。

2.2 两组患者治疗前后 Tardieu 评分变化

两组治疗前后偏瘫侧上肢 Tardieu 评分差值比较在肩水平内收、肘屈曲(肩内收位)、肘伸展(肩外展

位)有显著性差异 ($P < 0.05$), 两组治疗前后 Tardieu 评分差值比较在肩内旋、前臂旋前(肩内收位)、前臂旋后(肩内收位)无显著性差异 ($P > 0.05$)。见表 3。

2.3 两组 H 反射潜伏期、 H_{max}/M_{max} 值比较

两组治疗前后偏瘫侧上肢正中神经 H 反射潜伏期、 H_{max}/M_{max} 差值比较均有显著性差异 ($P < 0.05$), 见表 4。

3 讨论

脑卒中后痉挛的发生概率在 20%—40%^[21]。当前对于脑卒中后痉挛的主要治疗方法包括: 传统康复治疗、口服抗痉挛药物、鞘内注射巴氯芬、肉毒毒素局部注射及外科手术等, 但各种方法均存在不同程度的自身局限性^[22]。

临床上, 卒中后痉挛表现为速度依赖性的牵张反射增加的现象, 这是由于牵张反射过度兴奋引起的。动物实验及临床研究中积累的证据支持牵张反射过度兴奋的脊髓上起源^[23]。卒中后由于失去了平

表 2 两组治疗前后 MAS 评估比较

($\bar{x} \pm s$, 分)

项目	治疗组(n=15)		对照组(n=15)		P 值
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	
肩前屈	0.800±1.082	0.330±0.617	0.600±0.910	0.530±0.834	0.059 ^②
肩外展	1.000±1.195	0.600±0.910	1.000±1.069	0.930±1.033	0.069 ^②
屈肘	2.470±1.246	1.400±1.183	1.930±1.223	1.600±1.056	0.009 ^①
伸肘	2.400±1.298	1.400±1.404	1.930±1.163	1.670±0.900	0.004 ^①
屈腕	1.530±1.407	1.000±1.069	1.800±1.474	1.530±1.187	0.432 ^②
伸腕	1.070±1.387	0.670±0.900	0.800±1.014	0.730±0.084	0.148 ^②
屈指间关节	1.870±1.506	1.200±1.146	1.530±0.834	1.470±0.743	0.011 ^①
伸指间关节	1.600±1.595	1.070±1.163	1.070±0.799	1.000±0.845	0.013 ^①

注: ① $P < 0.05$; ② $P > 0.05$

表 3 两组治疗前后 Tardieu 评估比较

($\bar{x} \pm s$, 分)

项目	治疗组(n=15)		对照组(n=15)		P 值
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	
肩水平内收	8.400±10.979	5.000±8.660	5.333±6.161	5.530±6.323	0.021 ^①
肩内旋	11.000±15.607	9.670±13.558	8.000±13.358	8.333±13.270	0.058 ^②
肘屈曲(肩内收位)	30.000±16.366	17.333±12.373	28.000±15.348	26.87±12.850	0.009 ^①
肘伸展(肩外展位)	32.670±22.588	26.000±21.974	17.400±11.612	17.270±11.100	0.032 ^①
前臂旋前(肩内收位)	19.13±21.643	14.130±18.376	22.330±19.163	18.33±16.757	0.692 ^②
前臂旋后(肩内收位)	12.670±17.715	8.000±9.964	8.400±11.855	7.73±10.518	0.115 ^②

注: ① $P < 0.05$; ② $P > 0.05$

表 4 两组 H 反射潜伏期、 H_{max}/M_{max} 值比较

($\bar{x} \pm s$)

项目	治疗组(n=15)		对照组(n=15)		P 值
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	
H_{lat} (ms)	25.388±4.514	30.079±5.461	24.509±2.562	24.444±2.554	0.005 ^①
H_{max}/M_{max}	0.131±0.047	0.995±0.051	0.262±0.306	0.411±0.158	0.001 ^①

注: ① $P < 0.05$

衡抑制,导致网状脊髓束下行投射系统过度兴奋,这是目前卒中后痉挛最合理的解释机制。而卒中后由于患侧大脑运动神经元的损伤失去了对下游的抑制作用^[24]。另外,在中等程度至大面积卒中中,双侧大脑半球间失衡学说是目前主流。该学说核心是在脑卒中后恢复过程中非受累侧大脑过度抑制了患侧大脑皮质功能^[25]。基于此理论,可以通过使用磁刺激对非受累侧大脑M1区进行1Hz刺激以抑制其兴奋性,降低非受累侧脑经胼胝体对患侧大脑半球运动皮质的抑制,重新平衡大脑半球间活动^[26]。外周磁刺激给予脑以外的组织重复的、高频的、高强度的磁场。外周磁刺激更多的是刺激轴突而不是细胞体,可以募集外周势能,潜在地影响脑的活动及神经重塑。PMS已经被证实可以提升卒中患者的运动控制^[13]。PMS应用于肌肉时可通过两种途径触发巨大的本体感觉的传入:①直接激活感觉运动纤维;②直接激活肌肉纤维中的机械刺激感受器。PET扫描发现在卒中患者瘫痪的肌肉上给予磁刺激可以提高损伤对侧半球运动前区、顶叶、运动带的皮层的脑血流^[27]。外周磁刺激也可以使额顶叶运动网络的激活和正常化,而取得一些运动进展。另外一些研究显示其能影响皮质兴奋的平衡性。还有一些其他的机制:减轻痉挛、加强力量、疼痛控制等仍在研究中。Okudera Y等^[28]研究了高频外周神经磁刺激对上肢功能的影响。该研究共纳入25例受试者,使用高频磁刺激干预非优势侧的桡神经,频率为20Hz、共600个脉冲、刺激强度为120%rMT。在3个时间节点(开始前、做完后即时、15min后)测量上肢参数(使用机械肌肉组织张力计和剪切波影像设备来测量刺激侧的伸肌的肌肉硬度;使用超声设备来测量刺激侧头端静脉血流)。结果显示肌肉痉挛程度在治疗后显著下降。外周静脉血流在治疗15min后显著上升。Sato A等^[24]的一项研究使用不同刺激位点和频率的外周磁刺激来调节运动皮质兴奋性,比较了外周和中枢刺激后的平均MEP波幅的改变,发现外周磁刺激中皮质的兴奋性依赖于刺激位点和频率。外周右前臂1Hz刺激时皮质兴奋性抑制;左前臂1Hz及左右前臂10Hz刺激时皮质兴奋性是上升的^[29]。这一研究提示外周磁刺激可能产生和中枢TMS相似的作用,既能兴奋也能抑制皮质。而且另有众多

的外周磁刺激研究发现对外周肢体进行高频刺激可以上调其支配皮质的大脑兴奋性^[30]。

基于以上研究,我们设计了患侧外周高频刺激联合非受累侧中枢低频刺激的方案,试图恢复皮质下行抑制系统的活性,降低过度活跃的牵张反射,降低患侧肢体肌痉挛程度。根据我们的试验,可以观察到治疗组的上肢肌痉挛在多个肌群较对照组有显著改善。根据电生理检查发现治疗组的H反射潜伏期显著延长、 H_{max}/M_{max} 显著降低, α 神经元活性下降。我们推测这一现象是由于通过外周患侧iTBS提高了患侧运动中枢的兴奋性、非受累侧中枢低频TMS抑制了非受累侧中枢对患侧的过度抑制,使得患侧皮质运动中枢的下行抑制增强,进而抑制了 α 神经元活性,抑制了过度活跃的牵张反射。该方法无创伤性、无痛苦、副作用少、操作简便、每天治疗总时长在半小时内,具有临床推广前景。但本研究也存在着一些缺陷:纳入患者较少,每组仅15例;本研究仅检测评估了治疗前后的指标变化,没有进行长期随访。疗效的客观评估指标较少,未使用脑电、功能磁共振、近红外脑功能成像等技术进行相关机制的研究。

参考文献

- [1] Wu S, Wu B, Liu M, et al. China stroke study collaboration. Stroke in China: advances and challenges in epidemiology, prevention, and management[J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18(4):394—405.
- [2] Thibaut A, Chatelle C, Ziegler E, et al. Spasticity after stroke: physiology, assessment and treatment[J]. *Brain Inj*, 2013, 27(10):1093—105.
- [3] Gittler M, Davis AM. Guidelines for adult stroke rehabilitation and recovery[J]. *JAMA*, 2018, 319(8):820—821.
- [4] Jean-Pascal Lefaucheur, André Aleman, Chris Baeken 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.
- [5] Jitka Lüdemann-Podubecká, Kathrin Bösl, Steven Theilig et al. The effectiveness of 1Hz rTMS over the primary motor area of the unaffected hemisphere to improve hand function after stroke depends on hemispheric dominance[J]. *Brain Stimul*, 2015, 8(4):823—830.
- [6] A Matsuura, K Onoda, H Oguro et al. Magnetic stimulation and movement-related cortical activity for acute stroke with

- hemiparesis[J].*Eur J Neurol*,2015,22(12):1526—1532.
- [7] Zhi-Yong Meng,Wei-Qun Song.Low frequency repetitive transcranial magnetic stimulation improves motor dysfunction after cerebral infarction[J].*Neural Regen Res*,2017,12(4):610—613.
- [8] Hua Long,Hongbin Wang, Chenguang Zhao et al.Effects of combining high- and low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on upper limb hemiparesis in the early phase of stroke[J].*Restor Neurol Neurosci*,2018,36(1):21—30.
- [9] Yu-Zhou Guan,Jing Li,Xue-Wei Zhang 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.
- [10] Nobuyuki Sasaki, Masahiro Abo, Takatoshi Hara et al. High-frequency rTMS on leg motor area in the early phase of stroke [J].*Acta Neurol Belg*,2017,117(1):189—194.
- [11] Chih-Jou Lai,Chih-Pin Wang,Po-Yi Tsai et al.Corticospinal integrity and motor impairment predict outcomes after excitatory repetitive transcranial magnetic stimulation: a preliminary study [J].*Arch Phys Med Rehabil*,2015,96(1):69—75.
- [12] Sakai K, Yasufuku Y, Kamo T, et al. Repetitive peripheral magnetic stimulation for patients after stroke[J]. *Stroke*, 2020, 51(6):e105—e106.
- [13] 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*,2019,30; 11(11):CD011968.:
- [14] 曾进胜, 刘鸣, 崔丽英. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019[J]. *中华神经科杂志*, 2019, 9:710—715.
- [15] Van Lieshout EC, Jacobs LD, Pelsma M, et al. Exploring the experiences of stroke patients treated with transcranial magnetic stimulation for upper limb recovery: a qualitative study[J]. *BMC Neurol*, 2020, 20(1):365.
- [16] Aşkın A, Tosun A, Demirdal ÜS. Effects of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on upper extremity motor recovery and functional outcomes in chronic stroke patients: A randomized controlled trial[J]. *Somatosens Mot Res*, 2017, 34(2):102—107.
- [17] Chen YJ, Huang YZ, Chen CY, et al. Intermittent theta burst stimulation enhances upper limb motor function in patients with chronic stroke: a pilot randomized controlled trial[J]. *BMC Neurol*, 2019, 19(1):69.
- [18] Ana-Belén Meseguer-Henarejos,Julio Sánchez-Meca,José-An-tonio López-Pina.Inter- and intra-rater reliability of the Modified Ashworth Scale: a systematic review and meta-analysis [J].*Eur J Phys Rehabil Med*,2018,54(4):576—590.
- [19] Haugh AB, Pandyan AD, Johnson GR. A systematic review of the Tardieu Scale for the measurement of spasticity [J]. *Disabil Rehabil*, 2006, 28(15):899—907.
- [20] Voerman GE, Gregoric M, Hermens HJ. Neurophysiological methods for the assessment of spasticity: the Hoffmann reflex, the tendon reflex, and the stretch reflex[J]. *Disabil Rehabil*, 2005, 27(1—2):33—68.
- [21] Zorowitz RD, Gillard PJ, Brainin M. Poststroke spasticity: sequelae and burden on stroke survivors and caregivers [J]. *Neurology*, 2013, 80:S45—52.
- [22] Li S. Spasticity, motor recovery, and neural plasticity after stroke[J]. *Front Neurol*, 2017, 8:120.
- [23] Trompetto C, Marinelli L, Mori L, et al. Pathophysiology of spasticity: implications for neurorehabilitation[J]. *Biomed Res Int*, 2014, 2014:354906.
- [24] Li S, Francisco GE. New insights into the pathophysiology of post-stroke spasticity [J]. *Front Hum Neurosci*, 2015, 9:192.
- [25] Dodd KC, Nair VA, Prabhakaran V. Role of the contralateral vs. ipsilesional hemisphere in stroke recovery[J]. *Front Hum Neurosci*, 2017, 11:469.
- [26] Bashir S, Vernet M, Najib U, et al. Enhanced motor function and its neurophysiological correlates after navigated low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation over the contralesional motor cortex in stroke[J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2016, 34(4):677—689.
- [27] Beaulieu LD, Schneider C. Effects of repetitive peripheral magnetic stimulation on normal or impaired motor control. A review [J]. *Neurophysiol Clin*, 2013, 43(4):251—260.
- [28] Okudera Y, Matsunaga T, Sato M, et al. The impact of high-frequency magnetic stimulation of peripheral nerves: muscle hardness, venous blood flow, and motor function of upper extremity in healthy subjects[J]. *Biomed Res*, 2015, 36 (2):81—87.
- [29] Sato A, Liu X, Torri 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.
- [30] Beaulieu LD, Schneider C. Effects of repetitive peripheral magnetic stimulation on normal or impaired motor control. A review[J]. *Neurophysiol Clin*, 2013, 43(4):251—260.