

- 012.
- [11] 党静霞. 肌电图诊断与临床应用. 第 2 版[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2013.
- [12] 王玉龙. 康复评定学. 第 3 版[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2018.
- [13] Takebe K, Narayan MG, Kulkulka C, et al. Slowing of nerve conduction velocity in hemiplegia: possible factors[J]. Arch Phys Med Rehabil, 1975, 56(7): 285-289.
- [14] Spaans F, Wilts G. Denervation due to lesions of the central nervous system: An EMG study in cases of cerebral contusion and cerebrovascular accidents[J]. J Neurol Sci, 1982, 57(2-3): 291-305. DOI: 10.1016/0022-510x(82)90036-3.
- [15] Picelli A, Tamburin S, Berto G, et al. Electrodiagnostic and nerve ultrasonographic features in upper limb spasticity: an observational study[J]. Funct Neurol, 2017, 32(3): 119-122. DOI: 10.11138/FNeur/2017.32.3.119.
- [16] 周文萍, 阙世锋, 陈文华. 脑卒中后肩关节半脱位的研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2013, 19(9): 831-833. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2013.09.009.
- [17] Chokroverty S, Medina J. Electrophysiological study of hemiplegia. Motor nerve conduction velocity, brachial plexus latency, and electromyography[J]. Arch Neurol, 1978, 35(6): 360-363. DOI: 10.1001/archneur.1978.00500300034005.
- [18] İsnac F, Aşkin A, Şengül İ, et al. Ultrasonographic and electrophysiologic evaluation of median and ulnar nerves in chronic stroke patients with upper extremity spasticity[J]. Somatosens Mot Res, 2019, 36(2): 144-150. DOI: 10.1080/08990220.2019.1632181.
- [19] 王晓艳, 张通, 李敬. 脑卒中后反射性交感神经营养不良的针极肌电研究[J]. 中华医学杂志, 2006, 86(37): 2632-2634. DOI: 10.3760/j.issn:0376-2491.2006.37.010.
- [20] 李海舟, 张通, 崔利华, 等. 脑卒中后反射性交感神经营养不良体感诱发电位的研究[J]. 中国康复医学杂志, 2011, 26(6): 577-579. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2011.06.020.
- [21] Chino N. Electrophysiological investigation on shoulder subluxation in hemiplegics[J]. Scand J Rehabil Med, 1981, 13(1): 17-21.
- [22] 赵延旭, 顾立强, 丁自海, 等. 肩袖损伤合并腋神经损伤的解剖学特征[J]. 中国临床康复, 2006, 10(44): 84-85. DOI: 10.3321/j.issn:1673-8225.2006.44.039.
- [23] 王晓宇, 张树明, 徐建强, 等. 肩关节恐怖三联征的诊断[J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2015, 9(2): 161-164. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-134X.2015.02.003.
- [24] 戚超, 蔡琰, 孟庆阳, 等. 肩关节脱位合并肩袖与腋神经损伤的诊治体会[J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2015, 9(5): 579-583. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-134X.2015.05.005.
- [25] Tuffaha SH, Budiardjo JD, Sarhane KA, et al. Growth hormone therapy accelerates axonal regeneration, promotes motor reinnervation, and reduces muscle atrophy following peripheral nerve injury[J]. Plast Reconstr Surg, 2016, 137(6): 1771-1780. DOI: 10.1097/PRS.0000000000002188.

(修回日期: 2020-12-29)

(本文编辑: 汪 玲)

功能性电刺激循环运动联合低频重复经颅磁刺激对脑卒中恢复后期患者上肢功能恢复的影响

张英 廖维靖 邹凡 郝赤子

武汉大学中南医院神经康复科, 武汉 430071

通信作者: 郝赤子, Email: hcz706@126.com

【摘要】 目的 探讨功能性电刺激循环运动(FES-cycling)联合低频重复经颅磁刺激(rTMS)对脑卒中恢复后期患者上肢功能恢复的影响。**方法** 选取 70 例脑卒中恢复后期患者(病程 3~6 个月),按随机数字表法分为观察组和对照组,每组 35 例,研究期间,最终 63 例患者完成本研究,其中观察组 3 例患者脱落,有 32 例患者完成治疗;对照组 4 例患者脱落,有 31 例患者完成治疗纳入统计。对照组接受 1.0Hz 的 rTMS 刺激健侧皮质 M1 区治疗,观察组在 rTMS 治疗的基础上给予 FES-cycling 训练。rTMS 治疗和 FES-cycling 治疗均为每次 20 min,1 次/日,5 d/周,共治疗 2 周。分别于治疗前和治疗 4 周后(治疗后),采用偏瘫上肢功能测试-香港版(FTHUE-HK)、上肢 Fugl-Meyer 评分(FMA)及改良的 Barthel 指数(MBI)对患者上肢功能及日常生活活动能力进行评定。**结果** 治疗后,2 组患者的 FTHUE-HK、上肢 FMA 和 MBI 评分[观察组(4.56±1.05)、(40.16±5.18)和(62.16±12.62)分;对照组(3.93±1.06)、(37.42±4.09)和(56.06±9.28)分]均较组内治疗前[观察组(2.63±1.84)、(29.38±5.21)和(45.16±12.41)分;对照组(2.71±1.01)、(30.48±4.35)和(43.71±10.79)分]明显改善($P<0.05$),且观察组的各项评分均明显优于对照组($P<0.05$)。所有患者均能耐受治疗,无严重不良反应发生。**结论** FES-cycling联合 rTMS 可明显改善脑卒中恢复期患者上肢运动功能,提高日常生活活动能力。

【关键词】 脑卒中; 功能性电刺激; 重复经颅磁刺激; 上肢运动功能

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.02.005

上肢运动功能障碍是脑卒中患者最常见的功能障碍之一,经康复治疗约 30% 的患者能实现上肢功能的完全恢复^[1-2],但仍有部分患者存在不同程度的上肢功能障碍,直接对患者日常生活活动能力产生巨大的影响,降低患者的生活质量。重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)作为中枢干预的经典治疗技术,在治疗脑卒中后患者上肢功能障碍方面已取得良好的治疗效果^[3]。功能性电刺激循环运动(functioning electrical stimulation cycling, FES-cycling)是功能性电刺激(functioning electrical stimulation, FES)和智能循环运动系统相结合的训练方法。作为外周干预的新方法,国内外多项研究显示 FES-cycling 能有效促进卒中后肢体功能障碍的恢复^[4-5],但目前国内对于外周干预与中枢干预相结合治疗脑卒中后患者上肢功能障碍的研究较少见报道。本研究旨在探索 rTMS 联合 FES-cycling 对脑卒中患者上肢功能恢复的效果,并提出新的外周干预与中枢干预组合治疗方案,以促进脑卒中患者上肢功能的恢复并进一步改善患者生存质量。

对象与方法

一、研究对象及分组

入选标准:①符合 1995 年全国第 4 次脑血管病学术会议修订的脑卒中诊断标准^[6],并经头颅 CT 或 MRI 检查证实;②首次发作脑出血或脑梗死,且无外伤史、手术史导致的上肢功能受限;③发病时间 3~6 个月;④年龄 25~65 岁,病情稳定;⑤无严重的认知及沟通障碍;⑥签署知情同意书。

排除标准:①伴有严重的心、肝、肾等重要脏器功能不全;②既往有周围神经损伤或其它周围神经病变者;③既往有颅脑外伤;④颅内压增高;⑤体内有心脏起搏器、耳蜗植入物或颅骨修补术后;⑥既往发作过癫痫及癫痫病家族史者;⑦电极片过敏。

选取 2016 年 10 月至 2018 年 10 月武汉大学中南医院神经康复科收治且符合上述标准的脑卒中患者 70 例,按随机数字表法分为观察组和对照组,每组 35 例。研究期间,最终 63 例患者完成本研究,其中观察组 3 例患者脱落,有 32 例患者完成治疗;对照组 4 例患者脱落,有 31 例患者完成治疗。入选时 2 组患者的性别、平均年龄、平均病程、脑卒中类型等一般临床资料经统计学分析比较,差异无统计学意义,详见表 1。本研究获武汉大学中南医院医学伦理委员会审核批准(科伦批件号 2019058)。

二、研究方法

所有患者均接受神经康复科各项常规治疗,包括常规药物治疗(降压、降糖、调脂、改善循环、营养脑神经等)、常规康复治疗(物理治疗、作业治疗、言语及吞咽治疗等)及神经康复科专科护理治疗。对照组在常规康复治疗基础上给予 1.0 Hz 的 rTMS 治疗,观察组在常规康复治疗基础上给予 1.0 Hz 的 rTMS 结合 FES-cycling 治疗,具体方法如下。

1. rTMS 治疗:选用国产依瑞德磁刺激器(CCY-1 型),采用直径为 12 cm 的“8”字形线圈,刺激部位为健侧大脑第 1 躯体运动区(M1 区)。具体参数为频率 1.0 Hz,90% 运动阈值刺激强度,每个序列 5 个脉冲,序列间隔时间为 1 s,共 1000 个脉冲。每次治疗 20 min,1 次/日,5 d/周,共治疗 2 周。

2. FES-cycling 治疗:选用美国 SLSA 踏车(RT-300 型,Restorative Therapies),患者取坐位,双手分别置于上肢把手上(如患者患侧手指可自主抓握则无需固定,如不可自主抓握需用固定手套辅助抓握),再将 5 cm×9 cm 和 5 cm×5 cm 的表面电极片分别与 5 个通道的电极线相连(每条电极线连接两片电极片,无正负极之分),并分别贴于冈上肌、三角肌、肱二头肌、肱三头肌、腕伸肌、腕屈肌的肌腹上(如图 1 所示)。首次刺激的强度设定为肉眼可观的肌肉收缩,并诱发出正确的肢体运动,且患者无明显不适感。治疗过程中,根据患者的恢复情况调节刺激的参数(频率的调节范围为 10~50 Hz,脉宽调节范围为 50~500 μ s,强度调节范围为 0~100 mA)。刺激的部位与上肢把手选择的角度(圆周运动)有关,在矢状面顺时针圆周运动中,当患侧上肢做肩前屈、肘伸直运动时,三角肌和冈上肌以及肱三头肌和腕伸肌的电极会主动给予电刺激;当患侧上肢做肩后伸、肘屈曲运动时,三角肌和冈上肌以及肱二头肌和腕屈肌的电极会主动给予电刺激,如此循环。每周根据患者上肢运动功能的恢复情况对运动的形式和阻力进行调节,但不应引起患者疲劳。每次治疗 20 min,1 次/日,5 d/周,共治疗 2 周。

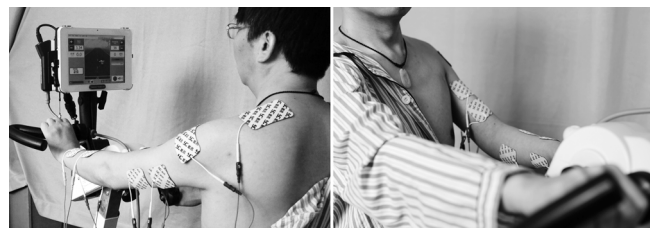


图 1 上肢伸屈运动及电极片位置(左侧观和右侧观)

三、功能评定及观察指标

1. 偏瘫上肢功能评定:采用偏瘫上肢功能测试-香港版(Hong Kong edition of functional test for the hemiplegic upper extremity, FTHUE-HK)对患者的偏瘫上肢功能进行测试。偏瘫上肢功能测试(functional test for the hemiplegic upper extremity, FTHUE)是由物理治疗师 Wilson Baker 和 Craddock 于 1984 年设计推广,该量表主要以 Brunnstrom 上肢及手部功能恢复理论为基础^[7],而 FTHUE-HK 是根据中国人上肢功能情况由 FTHUE 翻译改良而来。整套测试包括 12 个项目,并根据其复杂程度划分为 7 个级别,每个级别由 1~2 项上肢活动组成,需同时完成此两项活动方可认为患者的上肢功能已达到此级别。

表 1 2 组患者的一般资料

组别	例数	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	平均病程 (天, $\bar{x} \pm s$)	脑卒中类型(例)	
		男	女			脑出血	脑梗死
观察组	35	22	13	52.63 $\pm$ 8.87	116.71 $\pm$ 18.43	20	15
对照组	35	20	15	53.83 $\pm$ 7.66	113.66 $\pm$ 16.15	18	17

具体评定内容:①一级,无任何活动;②二级,出现联合运动,患侧手可放在大腿上;③三级,健手将患侧衣服塞进裤子里时患侧手臂可提起,且可提 1 kg 袋子,并持续 15 s;④四级,用健手打开瓶盖时患手可辅助稳定瓶体,患手辅助健手拧干湿毛巾;⑤五级,拿起小木块并搬移,可使用勺子进食;⑥六级,提举木盒、用塑料杯喝水;⑦七级,用钥匙开锁,操控筷子(患侧为利手)或操控夹子(患侧为非利手)^[8]。评定时,先由治疗师向患者进行示范,再由患者完成所需评定的各级活动,评定并记录患者完成运动的最高级别。该量表操作简单,临床实用性强,效度和信度良好,适用于评定中枢神经系统疾病导致的上肢功能障碍^[9]。

2.简式 Fugl-Meyer 评定量表(Fugl-Meyer assessment, FMA)上肢部分评定:评定内容分为上肢反射、屈肌或伸肌共同运动、上肢分离运动、腕稳定性、手指共同屈伸、手指捏或握力及手协调性等 10 个项目,总共 33 个条目,各个条目根据完成情况分为 0 分、1 分或 2 分,总分值为 66 分^[10]。

3.日常生活活动能力:采用改良的 Barthel 指数量表(modified Barthel index, MBI)对患者的日常生活活动能力进行评定,此量表包括进食活动、洗澡、自我修饰、穿脱衣物、大便管理、小便管理、用厕、床椅转移、平地行走、上下楼梯等 10 项内容。每项内容根据依赖程度分为五个等级,每个等级 0~15 分,总分值为 100 分。该量表简单实用,并可预测治疗效果^[11]。

四、统计学方法

使用 SPSS 23.0 版统计软件对所得数据进行统计学分析处理。计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,均数间比较采用 *t* 检验, $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

结 果

治疗前,2 组患者的各项评定指标比较,组间差异均无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,2 组患者的 FTHUE-HK 分级、FMA 上肢运动评分及 MBI 评分较组内治疗前明显提高($P < 0.05$),且观察组明显高于对照组,组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。具体数据详见表 2。

表 2 2 组患者治疗前后的各项观察指标比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	FTHUE-HK 分级(级)	上肢 FMA 评分(分)	MBI 评分(分)
观察组				
治疗前	32	2.63±1.84	29.38±5.21	45.16±12.41
治疗后	32	4.56±1.05 ^{ab}	40.16±5.18 ^{ab}	62.16±12.62 ^{ab}
对照组				
治疗前	31	2.71±1.01	30.48±4.35	43.71±10.79
治疗后	31	3.93±1.06 ^a	37.42±4.09 ^a	56.06±9.28 ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P < 0.05$;与对照组治疗后比较,^b $P < 0.05$

2 组患者在治疗过程中均未发生癫痫或产生头晕、头痛等其他不适症状。

讨 论

本研究将低频 rTMS 与 FES-cycling 两种治疗技术相结合, rTMS 通过刺激健侧大脑运动皮质下调健侧半球的兴奋性, FES-cycling 则通过刺激周围感觉神经和运动神经支配的相关肌群加强肌肉收缩,增强关节和肌肉信息输入,而重复性的主动圆周运

动可增加患侧上肢肌力,维持和改善患侧上肢肩、肘、腕关节的活动范围。经过 4 周的 FES-cycling 联合 rTMS 训练,明显改善脑卒中恢复后期患者的上肢功能和日常生活活动能力,且效果优于单纯 rTMS,差异有统计学意义($P < 0.05$)。本研究选择联合策略同时兼顾了“中枢-外周-中枢”的治疗原则,在临床中是一种易于实施的组合治疗方法。

“中枢-外周-中枢”的闭合环路模式,目前已经成为脑卒中后上肢功能障碍康复的新理念框架;“中枢干预”是直接对相关损伤脑区或功能脑区进行刺激,以提高突触的可塑性,外周干预则是通过强化感觉输入刺激与运动控制训练以促进脑功能重塑从而实现功能恢复^[12]。据此理念,神经系统的中枢干预和外周干预是相得益彰的,存在实时互动和影响^[13]。

rTMS 作为一项新型非侵入性中枢刺激治疗技术,作用机制基于两侧半球相互抑制理论^[14]。研究显示,低频 rTMS 作用于健侧大脑运动皮质,可降低健侧大脑病理性兴奋,从而恢复脑卒中所致的大脑半球间皮质兴奋性的平衡状态,达到促进患侧上肢及手的运动功能的作用^[15-20]。FES-cycling 是将 FES 对外周感觉神经和运动神经的刺激与智能循环运动系统相结合的训练方法^[21], FES 通过非侵入性的表面电极产生电脉冲刺激脑卒中患者运动功能障碍的肌肉,电极间的电场在神经上产生动作电位,动作电位由神经元的突触传送到肌肉细胞并引起肌肉收缩从而使肢体产生运动^[21-22]。首先循环运动系统(cycling)模拟正常人类上肢圆周运动模式,可以重建上肢肌群的运动功能,而 FES 的“传入-传出刺激模式”可增加患者的本体感觉输入,提示患者按照正确的运动模式进行肢体运动,此过程对于促进恢复后期患者的分离运动至关重要^[23];其次通过上肢重复性的圆周运动,对肩、肘、腕等各个关节产生一个规律性的挤压-放松刺激,从而达到患侧肢体本体感觉的恢复^[24]。此外, FES-cycling 还具有一定的目标导向性,脑卒中恢复后期患者上肢存在一定的肌肉力量,但多数不足以在抗阻力的情况下出现动作, FES-cycling 的设计正好弥补这一缺陷。患者训练前根据评定情况设定目标,患者在训练时,主动运动低于设定目标或运动模式偏离正常时系统会智能化刺激相应肌肉,使患者产生电击不适感,激发患者主动运动功能的潜力,使患者主观意识加强主动运动,增强上肢肌肉力量,改善患者的上肢功能。

综上所述, FES-cycling 联合 rTMS 可改善脑卒中恢复期患者上肢运动功能,提高日常生活活动能力。但本研究仅观察了 FES-cycling 联合 rTMS 对脑卒中恢复后期患者上肢运动功能的短期疗效,尚未观察其对脑卒中急性期及恢复早期和中期患者的疗效;且本研究样本量偏少,未进行多中心研究,也未对长期疗效进行跟踪随访等,这些都有待于在后续的研究中继续完善,从而更客观和全面地评估 FES-cycling 联合 rTMS 对脑卒中患者上肢功能恢复的影响。

参 考 文 献

- [1] 王陇德,王金环,彭斌,等.中国脑卒中防治报告 2016 概要[J].中国脑血管病杂志,2017,14(4):217-224. DOI:10.3969/j.issn.1672-5921.2017.04.010.
- [2] 中华医学会神经病学分会神经康复学组,中华医学会神经病学分会脑血管病学组,卫生部脑卒中筛查与防治工程委员会办公室.中国脑卒中康复治疗指南(2011 完全版)[J].中国康复理论与实

- 践,2012,18(4):301-318. DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2012.04.001.
- [3] Zhang L, Xing GQ, Fan YL, et al. Short- and long-term effect of repetitive transcranial magnetic stimulation on upper limb motor function after stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. Clin Rehabil, 2017, 31(9):1137-1153. DOI:10.1177/0269215517692386.
 - [4] 申利芳, 闫莹莹, 杨文裕. 功能性电刺激恢复性治疗踏车对脑卒中早期患者上肢运动功能的影响[J]. 河南医学研究, 2018, 27(6):990-992. DOI:10.3969/j.issn.1004-437X.2018.06.011.
 - [5] Karaahmet OZ, Gurcay E, Unal ZK, et al. Effects of functional electrical stimulation-cycling on shoulder pain and subluxation in patients with acute-subacute stroke: a pilot study[J]. Int J Rehabil Res, 2019, 42(1):36-40. DOI:10.1097/MRR.0000000000000319.
 - [6] 中华神经内科学, 中华神经外科学. 各类脑血管疾病的诊断要点[J]. 中华神经科杂志, 1996, 29(6):379-380.
 - [7] Wilson DJ, Baker LL, Craddock JA. Functional test for the hemiparetic upper extremity[J]. Am J Occup Ther, 1984, 38(3):159-164. DOI:10.5014/ajot.38.3.159.
 - [8] Fong K, Ng B, Chan D, et al. Development of the Hong Kong version of the Functional Test for the Hemiplegic Upper Extremity (FTHUE-HK)[J]. Hong Kong J Occup Th, 2004, 14(1):21-29. DOI:10.1016/s1569-1861(09)70025-7.
 - [9] 张妍昭, 黄琴, 王刚, 等. 香港版偏瘫上肢功能测试评定脑卒中患者上肢功能的效度和信度研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2016, 38(11):826-829. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2016.11.007.
 - [10] Gladstone DJ, Danells CJ, Black SE. The Fugl-Meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2002, 16(3):232-240. DOI:10.1177/154596802401105171.
 - [11] Loewen SC, Anderson BA. Reliability of the modified motor assessment scale and the Barthel index[J]. Phys Ther, 1988, 68(7):1077-1081. DOI:10.1093/ptj/68.7.1077.
 - [12] 贾杰. 创新与循证并进中枢与外周交融: ISP RM 2016 上肢及手功能康复研究专题报道[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2016, 38(7):550-554. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2016.07.019.
 - [13] 宋达, 施加加, 裴海荣, 等. 踏车训练中应用循环性功能电刺激对脑卒中患者下肢运动功能恢复的影响[J]. 中国康复, 2017, 32(2):106-108. DOI:10.3870/zgkf.2017.02.005.
 - [14] Jassova K, Albrecht J, Papezova H, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) treatment of depression and anxiety in a patient with anorexia nervosa[J]. Med Sci Monitor, 2018, 24:5279-5281. DOI:10.12659/MSM.908250.
 - [15] Cha HG, Kim MK. The effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on unilateral neglect of acute stroke patients: a randomized controlled trial[J]. Hong Kong Physiother J, 2015, 33(2):53-58. DOI:10.1016/j.hkpj.2015.04.001.
 - [16] Cazzoli D, Müri RM, Hess CW, et al. Treatment of hemispatial neglect by means of rTMS: a review[J]. Restor Neurol Neurosci, 2010, 28(4):499-510. DOI:10.3233/RNN-2010-0560.
 - [17] Zhang L, Xing GQ, Shuai SQ, et al. Low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation for stroke-induced upper limb motor deficit: a meta-analysis[J]. Neural Plast, 2017, 2017:2758097. DOI:10.1155/2017/2758097.
 - [18] Dionisio A, Duarte IC, Patricio M, et al. The use of repetitive transcranial magnetic stimulation for stroke rehabilitation: a systematic review[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2018, 27(1):1-31. DOI:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.09.008.
 - [19] 孙玮, 赵晨光, 牟翔, 等. 低频重复经颅磁刺激治疗脑卒中患者上肢痉挛的临床研究[J]. 中国康复, 2017, 32(2):102-105. DOI:10.3870/zgkf.2017.02.004.
 - [20] 殷稚飞, 沈滢, 孟殿怀, 等. 不同频率低频重复经颅磁刺激对脑梗死患者上肢功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2014, 36(8):596-601. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2014.08.006.
 - [21] 努尔加依·沙黑窝拉, 贾杰, 张定国. 经颅直流电刺激结合功能性电刺激对脑卒中平台期患者上肢运动功能康复影响的研究[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(9):1000-1005. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.09.006.
 - [22] 姜洪源, 廖志伟, 魏伟, 等. 功能性电刺激脚踏车系统在康复医疗中的研究与应用[J]. 中国临床康复, 2006, 10(9):153-157. DOI:10.3321/j.issn.1673-8225.2006.09.062.
 - [23] Alon G, Conroy VM, Donner TW. Intensive training of subjects with chronic hemiparesis on a motorized cycle combined with functional electrical stimulation (FES): a feasibility and safety study[J]. Physiother Res Int, 2011, 16(2):81-91. DOI:10.1002/pri.475.
 - [24] 王颖娜, 李哲, 郭钢花, 等. 功能性电刺激恢复性治疗踏车对脑卒中患者下肢肌电信号的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33(5):565-568. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2018.05.014.

(修回日期:2020-12-23)

(本文编辑:汪 玲)