

调跷通督益髓汤联合脑机接口训练 治疗不完全脊髓损伤临床观察*

许 蕾¹, 石荣菊¹, 陈寒昱², 张 超^{1△}

1 南京江北医院, 江苏 南京 210048; 2 南京特殊教育师范学院康复科学学院, 江苏 南京 210038

[摘要] 目的: 观察不完全脊髓损伤患者应用调跷通督益髓汤联合脑机接口(brain computer interface, BCI)训练的疗效。方法: 选取102例不完全脊髓损伤患者, 采用随机数字表法分为对照组和观察组, 每组51例。对照组接受传统综合康复训练联合调跷通督益髓汤治疗, 观察组在对照组基础上加用BCI训练, 两组共治疗8周, 于治疗后第3、6个月进行随访。比较两组脊髓损伤ASIA运动及感觉指数评分, 神经生长因子(nerve growth factor, NGF)、脑源性神经营养因子(brain derived neurotrophic factor, BDNF)水平, 神经功能及中医症状评分。结果: 治疗后第1、3、6个月后, 观察组ASIA运动指数、感觉指数评分及NGF、BDNF水平均高于对照组($P < 0.05$)。治疗后第6个月, 观察组肌力优于对照组, 神经功能分级差异有统计学意义($P < 0.05$); 两组腰椎曲度分级评分差异无统计学意义($P > 0.05$); 观察组行走、麻木不仁、大便失禁、小便失禁、下肢肌肉拘挛、疼痛评分均低于对照组($P < 0.05$)。结论: 调跷通督益髓汤联合BCI训练可促进不完全脊髓损伤患者神经功能因子水平恢复, 改善肌肉、感觉功能及临床症状, 提升预后。

[关键词] 脊髓损伤; 调跷通督益髓汤; 脑机接口训练; 神经功能; 综合康复训练

[中图分类号] R244 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 2096-9600(2025)12-0143-05

Clinical Observation on Tiaoqiao Tongdu Yisui Decoction Combined with Brain Computer Interface Training in the Treatment of Incomplete Spinal Cord Injury

XU Lei¹, SHI Rongju¹, CHEN Hanyu², ZHANG Chao^{1△}

1 Nanjing Jiangbei Hospital, Nanjing 210048, China;

2 School of Rehabilitation Science, Nanjing Normal College of Special Education, Nanjing 210038, China

Abstract Objective: To survey therapeutic effects of Tiaoqiao Tongdu Yisui (regulating-heel vessel unobstructing-governor meridian benefiting-marrow) decoction combined with BCI for the patients suffering incomplete spinal cord injury (SCI). Methods: A total of 102 patients suffering incomplete SCI were chosen, and divided into the control group and the observation group using random number table method with 51 cases in each. The control group was treated with traditional comprehensive rehabilitation training and Tiaoqiao Tongdu Yisui decoction while BCI training was administered to the observation group based on the therapy of the control group, and both groups were treated for eight weeks, and follow-up was conducted at the 3rd and 6th months after treatment. To compare American Spinal Injury Association (ASIA) motor and sensory scores, the levels of NGF and BDNF, neurological function and TCM symptom scores between the two groups. Results: ASIA motor and sensory scores, the levels of NGF and BDNF in the observation group were higher than these in the control group after treatment at one, three, and six months ($P < 0.05$). After treatment at six months, muscle force in the observation group was better than that of the control group, the difference was statistically significant in neurological function grading ($P < 0.05$); the difference was not statistically significant in lumbar lordosis grading score between the two groups ($P > 0.05$); the observation group was lower than the control group in the scores of walking, numbness, fecal incontinence, urinary incontinence, lower limb muscle cramps and VAS scores ($P < 0.05$). Conclusion: Tiaoqiao Tongdu Yisui decoction combined with BCI training for the patients suffering incomplete SCI could promote the recovery of neurological function factors, improve muscle, sensory function and clinical symptoms, and enhance the prognosis.

Keywords spinal cord injury; Tiaoqiao Tongdu Yisui decoction; BCI training; neurological function; comprehensive rehabilitation training

脊髓损伤分为完全性与不完全性损伤,不完全性损伤患者脊髓受到挤压、碾挫伤、撞击后发生不完全断裂,但其脊髓神经仍能进行信号传递^[1]。若对此类患者进行积极、有效的对症治疗,有利于达到临床康复目标^[2]。目前,临床上治疗不完全性脊髓损伤的核心为早期干预,即通过多种手段修复损伤神经或促进其再生^[3]。相关研究提出,脊髓损伤与髓、骀脉、督脉等功能受损相关,故给予调跷通督益髓汤,重在调节骀脉阴阳、通达经络、活血化瘀,以改善神经生存环境,促进临床症状及相关指标改善^[4]。但临床实践发现,中药服用周期长,若患者服药期间未进行有效行为训练,后期恢复存在个体差异,部分患者肢体及神经功能恢复不明显^[5]。吴琼等^[6]研究发现,不完全性脊髓损伤患者通过脑机接口(brain computer interface,BCI)训练可通过替代或恢复方式支配可穿戴式机器人,影响中枢神经系统可塑性,促进感觉及肢体功能恢复。本研究采用调跷通督益髓汤联合BCI训练治疗不完全性脊髓损伤患者,旨

在改善其神经功能与运动功能。现报道如下:

1 资料与方法

1.1 临床资料 研究为前瞻性随机临床对照试验,旨在评估调跷通督益髓汤联合BCI训练对不完全性脊髓损伤患者康复效果的影响。样本量基于ASIA运动指数评分估算,设定预期组间差异 $\delta=10$ 分、标准差 $\sigma=15$ 分($\alpha=0.05,\beta=0.20$)。经计算并预留10%失访率后,确定每组最低样本量为40例,实际每组纳入51例,共102例。本研究经南京江北医院伦理委员会批准(NJ20210186)。选取2021年1月至2023年1月南京江北医院收治的102例不完全性脊髓损伤患者,采用随机数字表法分组。随机分配序列由医生使用标准随机数字表生成,对应组别按顺序编号密封于不透光信封中。患者入组时,由不参与研究评估的人员按入组顺序拆封信封确定分组,最终每组51例。两组基线资料比较差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。见表1。

表1 两组一般资料比较

组别	例数	年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	性别		病程 (月, $\bar{x}\pm s$)	脊髓损伤部位		损伤类型		
			男 (例)	女 (例)		胸部 (例)	腰部 (例)	运动性损伤 (例)	交通事故伤 (例)	高处坠落伤 (例)
对照组	51	55.82±8.78	31	20	2.12±0.30	21	30	12	17	22
观察组	51	56.10±8.44	35	16	2.19±0.28	15	36	11	14	26
t/χ^2		0.164	0.687		1.218	1.546		0.669		
P		0.870	0.407		0.228	0.214		0.504		

1.2 纳入标准 1)符合《成人急性胸腰段脊柱脊髓损伤循证临床诊疗指南》中不完全性脊髓损伤诊断标准,且损伤平面为L₁-L₃级^[7-8]者;2)病情稳定,能够进行康复训练,步行指数≥6级,股四头肌、腓绳肌肌力≥3级,Holden步行功能≥1级,股四头肌、胫前肌肌肉力量为2-3级者;3)病程<3个月者;4)患者知情同意,且签署知情同意书者。

1.3 排除标准 1)入组前接受康复训练者;2)既往有下肢手术史者;3)存在因外伤遗留的肢体功能障碍者;4)存在精神、认知、沟通障碍者;5)对本研究药物过敏,或不能坚持服用中药者。

1.4 治疗方法

1.4.1 对照组 接受传统康复训练联合调跷通督益髓汤治疗:1)入组后完善检查,评估功能障碍,同时给予心理干预(讲解疾病发展及预后),提高心理适应性及康复依从性。康复训练包括体位指导、被动关节活动度训练(预防关节僵硬、肌肉损伤、维持关节活动度等)、床上训练(左右平移、

俯卧位单肘支撑、抗阻腹式呼吸)、坐起、坐卧转移、轮椅坐位训练、髋骨推移、上下楼梯、肌肉等张训练、深蹲训练、日常生活能力训练等,根据患者耐受度每天训练40~60 min,每周5天,连续干预8周。2)调跷通督益髓汤加减,药物组成:黄芪30 g,熟地黄、丹参、地龙、川芎、肉桂、当归各9 g,白芍、牛膝、杜仲、柴胡、枳壳、桑寄生、防己各12 g,鹿角胶、地鳖虫、炙甘草各6 g。瘀血加重者加桃仁、红花、三七粉各3 g;脾肾阳虚(下肢冷痛浮肿)者加茯苓12 g、制附子9 g、生姜6 g;肝肾阴虚、阴虚风动(伴有肌肉震颤、肢体痉挛抽搐)者加用鳖甲、龟甲、熟地黄各12 g,女贞子9 g。每天1剂,水煎早晚温服,连续服用3周停药1周为1个疗程,共治疗8周。

1.4.2 观察组 在对照组基础上联合BCI训练,BCI系统源自博睿康科技(常州)股份有限公司。安装电极帽时按特定顺序操作,连接数据采集设备,主机插入脑电采集器蓝牙接口,确认脑电信号

正常。康复训练时患者佩戴脑电帽,按电脑屏幕提示训练:先进行“想象”及“放松”训练,同步采集运动想象完成度;进入系统后选择“放松状态”调整精神状态,再选择“想象状态”引导患者集中注意力,按屏幕 VR(virtual reality)示范想象肢

体运动(主要为膝关节伸缩与弯曲),采集状态并保存,完成后解码分析脑电信号,评估下肢被动运动反馈,流程见图 1。每天 1 次,每次完成 100 次运动想象(约 20 min),每周 5 天,休息 2 天,连续干预 8 周。

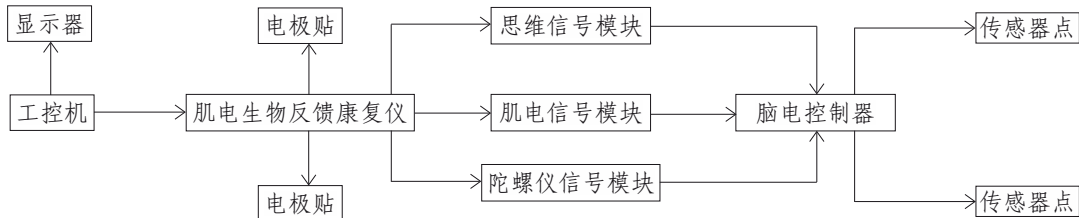


图 1 脑机接口康复训练系统及流程图

1.5 观察指标

1.5.1 脊髓损伤 ASIA 运动及感觉指数评分^[8] 于入院时及治疗后第 1、3、6 个月后评定脊髓损伤 ASIA 运动及感觉指数评分。1)ASIA 运动指数:含 10 项(代表不同运动平面及肌肉),每项 5 分,总分 50 分,得分越高提示肌肉功能越好。2)ASIA 感觉指数:含 28 项(代表不同感觉平面及关键点),采用 Likert 评分法(0 分=感觉消失,1 分=感觉减退或过敏,2 分=感觉正常),总分 56 分,得分越高提示感觉功能越好。

1.5.2 神经生长因子(nerve growth factor, NGF)、脑源性神经营养因子(brain derived neurotrophic factor, BDNF)水平 于入院时及治疗后第 1、3、6 个月后采集空腹静脉血 5 mL,离心取上清液,采用酶联免疫吸附法测定血清 NGF、BDNF 水平,试剂盒购自生物工程(上海)股份有限公司,严格按说明书操作。

1.5.3 神经功能评价^[8] 入院时及治疗后第 6 个月依据脊髓损伤分级标准进行判定。A 级:损伤平面以下运动及神经功能完全消失;B 级:损伤平

面以下功能消失且神经功能减弱;C 级:损伤平面以下有运动但无实际意义;D 级:损伤平面以下有实际运动功能;E 级:损伤平面以下神经及运动功能正常。

1.5.4 中医症状评分 于入院时及治疗后第 6 个月按《不完全性脊髓损伤中医证候分级量化标准研究》^[9]判定:主症包括行走、麻木不仁、大便失禁、小便失禁、腰椎曲度分级,每项最高得分为 6 分;次症包括下肢肌肉拘挛、疼痛,每项最高得分为 3 分;得分越高提示症状越重。

1.6 统计学方法 采用 SPSS 24.0 处理数据,计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,符合正态分布及方差齐性的两组计量资料,采用独立样本 t 检验;计数资料用 $n(\%)$ 表示,行 χ^2 检验或秩和检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 脊髓损伤 ASIA 运动及感觉指数评分 治疗 1、3、6 个月后,观察组 ASIA 运动指数、感觉指数评分均高于对照组($P < 0.05$);两组组内评分均随时间递增,且观察组变化更明显($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 两组不同时间点脊髓损伤 ASIA 运动及感觉指数评分比较($\bar{x} \pm s$) 分

组别	例数	ASIA 运动指数评分				ASIA 感觉指数评分			
		入院时	治疗 1 个月	治疗 3 个月	治疗 6 个月	入院时	治疗 1 个月	治疗 3 个月	治疗 6 个月
对照组	51	22.63 ± 4.20	29.30 ± 5.59*	35.52 ± 5.30**	38.52 ± 5.46**△	27.10 ± 5.30	31.20 ± 5.20*	35.30 ± 4.88**	39.22 ± 4.71**△
观察组	51	22.71 ± 4.88	32.20 ± 4.20*	38.92 ± 4.66**	41.20 ± 3.82**△	26.55 ± 5.85	33.86 ± 4.32*	40.11 ± 4.77**	43.20 ± 5.20**
t		0.089	2.962	3.441	2.872	0.498	2.810	5.034	4.051
P		0.929	0.004	0.001	0.005	0.620	0.006	0.001	0.001

注:*表示与同组入院时比较, $P < 0.05$;#表示与同组治疗 1 个月比较, $P < 0.05$;△表示与同组治疗 3 个月比较, $P < 0.05$

2.2 NGF、BDNF 评分 治疗后第 1、3、6 个月,观察组 NGF、BDNF 水平均高于对照组($P < 0.05$);两组 NGF、BDNF 水平均随治疗时间升高,且观察组增幅更显著。见表 3。

2.3 神经功能分级 治疗后第 6 个月,两组神经功

能分级比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 4。

2.4 中医症状评分 治疗后第 6 个月,两组腰椎曲度分级评分差异无统计学意义($P > 0.05$);观察组行走、麻木不仁、大便失禁、小便失禁、下肢肌肉拘挛、疼痛评分均低于对照组($P < 0.05$)。表 5。

表3 两组不同时间点 NGF、BDNF 水平比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	NGF (pg/mL)				BDNF (ng/mL)			
		入院时	第1个月	第3个月	第6个月	入院时	第1个月	第3个月	第6个月
对照组	51	114.20 ± 29.20	128.10 ± 25.52*	134.20 ± 21.20*	144.63 ± 21.30* [#]	3.15 ± 1.20	3.44 ± 1.14*	3.98 ± 1.12*	4.56 ± 1.17* [#]
观察组	51	116.85 ± 28.41	138.63 ± 24.39*	145.52 ± 17.94*	150.52 ± 24.55* [#]	3.13 ± 1.11	3.93 ± 1.10*	4.55 ± 1.23*	4.96 ± 1.31*
<i>t</i>		0.465	2.130	2.911	1.294	0.087	2.209	2.447	1.626
<i>P</i>		0.643	0.036	0.004	0.199	0.931	0.029	0.016	0.107

注:*表示与同组入院时比较, $P < 0.05$;#表示与同组治疗1个月比较, $P < 0.05$

表4 两组不同时间点神经功能分级比较[n(%)]

组别	例数	时间	神经功能分级				
			A	B	C	D	E
对照组	51	入院时	14(27.45)	12(23.53)	20(39.22)	5(9.80)	0(0.00)
		第6个月	8(15.69)	6(11.76)	14(27.45)	17(33.33)	6(11.76)
观察组	51	入院时	13(25.49)	14(27.45)	18(35.29)	6(11.76)	0(0.00)
		第6个月	3(5.88)	2(3.92)	10(19.61)	18(35.29)	18(35.29)
$Z/P_{(入院时)}$							0.067/0.947
$Z/P_{(6个月)}$							3.236/0.001

表5 两组不同时间点中医症状评分比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	时间	行走	麻木不仁	大便失禁	小便失禁	腰椎曲分级	下肢肌肉拘挛	疼痛
对照组	51	入院时	4.41±0.72	4.52±0.74	4.19±0.81	3.98±0.57	4.85±0.54	2.11±0.30	2.27±0.36
		第6个月	1.74±0.41*	2.11±0.79*	2.17±0.49*	2.20±0.35*	2.66±0.41*	1.30±0.34*	1.41±0.20*
观察组	51	入院时	4.33±0.78	4.31±0.79	4.26±0.82	3.79±0.61	4.79±0.61	2.19±0.27	2.30±0.41
		第6个月	1.20±0.54*	1.74±0.67*	1.51±0.59*	1.14±0.36*	2.14±0.51*	1.11±0.19*	1.16±0.33*
$t/P_{(入院时)}$			0.538/0.592	1.385/0.169	0.434/0.665	1.625/0.107	0.526/0.600	1.416/0.160	0.393/0.695
$t/P_{(6个月)}$			5.668/0.001	2.551/0.012	6.146/0.001	15.077/0.001	0.693/0.490	3.484/0.001	4.627/0.001

注:*表示与同组入院时比较, $P < 0.05$

3 讨论

中医学中,脊髓损伤的发病机制多与督脉受损相关,督脉循行于脊髓与脑之间,受损后可致全身阳气运行失常,脊髓失于温养,出现相应临床症状^[10-11]。本研究基于“肾督同治”理论^[12],采用调跷通督益髓汤,旨在通过调节跷脉、通达督脉、补益精髓改善病情。

调跷通督益髓汤中,黄芪为君药,可补气养血“气为血之帅”,气血顺畅则经络通^[13];鹿角胶、熟地黄、白芍为臣药,补益肝肾、滋养督脉;川芎、当归、丹参、地龙活血化瘀、通络止痛,地龙为常用通络药,可改善脑血管意外后偏瘫、麻木,与柴胡、枳壳配伍可疏肝理气、通达经络,缓解气血瘀滞^[14];杜仲、桑寄生补益肝肾、强筋健骨效^[15];防己清热镇痛、祛风除湿,肉桂入督脉、补命门之火,两者合用可通利督脉、跷脉^[16];炙甘草调和诸药。全方共奏补益肝肾、活血化瘀、通利跷脉与督脉之效^[17]。

本研究结果显示,对照组(传统康复训练+调

跷通督益髓汤)治疗后神经因子水平升高、症状缓解,但因中药起效慢、周期长,疗效仍不理想。治疗后第6个月对照组ASIA评分及神经功能改善,提示该方案可促进神经修复,但需联合更高效干预手段。

BCI技术通过头皮电极或传感器读取脑信号,实现人机信息交互^[18-19]。相关研究^[20]证实,BCI可通过“意念-神经信号-控制指令”反馈循环诱导脊髓损伤患者大脑神经重塑,恢复运动控制能力。本研究中,观察组(联合BCI训练)治疗6个月内各项指标改善更显著,神经功能分级及中医症状评分优于对照组,原因可能为:1)BCI系统可提供反馈信息,调节大脑活动;2)BCI辅助完成站立、行走等动作,具有独特康复价值^[21];3)BCI训练强调主动参与,通过“意念触发设备”形成良性循环,加速康复。CHUNG等^[22]研究发现,不完全性脊髓损伤患者通过BCI支配可穿戴机器人可促进机体功能恢复,与本研究结果一致。

综上所述,调跷通督益髓汤联合BCI训练可显著改善不完全性脊髓损伤患者的神经功能、运动功能及临床症状。

参考文献

- [1] PIIRA A, LANNEM A M, GJESDAL K, et al. Quality of life and psychological outcomes of body-weight supported locomotor training in spinal cord injured persons with long-standing incomplete lesions[J]. Spinal Cord, 2020, 58(5): 560-569.
- [2] 杨潇潇, 杨威. 重复经颅磁刺激在不完全性脊髓损伤患者康复中的应用价值[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2022, 8(4): 362-368.
- [3] 陈飞, 刘洪举, 覃婷, 等. 悬吊训练对不完全性脊髓损伤患者步行能力和康复效果的影响[J]. 中国老年学杂志, 2021, 41(15): 3212-3215.
- [4] 张彤, 于甲锋, 刘杰, 等. 悬吊运动训练对胸腰椎骨折合并不完全脊髓损伤患者步行及平衡能力的影响[J]. 颈腰痛杂志, 2020, 41(3): 379-380.
- [5] 张刘波, 周峻, 王佩佩, 等. 脊髓损伤中医药辨证论治研究进展[J]. 现代中西医结合杂志, 2020, 29(16): 1813-1817.
- [6] 吴琼, 任诗媛, 乐赞, 等. 脑机接口综合康复训练对亚急性期脑卒中疗效的静息态功能磁共振研究[J]. 中国康复理论与实践, 2020, 26(1): 77-84.
- [7] 中国医师协会骨科医师分会, 中国医师协会骨科医师分会《早发性脊柱侧凸循证临床诊疗指南》编辑委员会. 中国医师协会骨科医师分会骨科循证临床诊疗指南: 早发性脊柱侧凸循证临床诊疗指南[J]. 中华外科杂志, 2019, 57(3): 166-169.
- [8] 李建军, 王方永. 脊髓损伤神经学分类国际标准(2011年修订)[J]. 中国康复理论与实践, 2011, 17(10): 963-972.
- [9] 冷军, 李丽, 李万斌, 等. 不完全性脊髓损伤中医证候分级量化标准研究[J]. 康复学报, 2016, 26(1): 15-19.
- [10] 周霞, 李丽, 冷军, 等. 《脊髓损伤(不完全性)中医临床诊疗指南》临床使用质量评价[J]. 康复学报, 2016, 26(3): 16-20.
- [11] 边明真, 包安, 王海腾, 等. 脊髓损伤中西医结合疗法的研究进展[J]. 现代中西医结合杂志, 2023, 9(1): 133-138.
- [12] 孙善斌, 陈四芳, 陈冲, 等. “通督调神”灸法干预脊髓损伤肠道功能障碍: 随机对照研究[J]. 中国针灸, 2020, 40(1): 3-7.
- [13] 石晓冬, 卢登勇, 吴慧敏, 等. 基于网络药理学探讨黄芪-丹参干预肾纤维化的作用机制[J]. 西部中医药, 2025, 38(4): 53-58.
- [14] 王阳, 仰艳, 万宇, 等. 基于专家意见及数据挖掘分析继发性痛经中成药用药规律[J]. 西部中医药, 2024, 37(6): 69-73.
- [15] 任付宇, 于其华. 黄芪桂枝五物汤治疗胸腰椎骨折脊髓损伤研究[J]. 长春中医药大学学报, 2022, 8(5): 530-533.
- [16] 吴承杰, 郭杨, 马勇, 等. 基于中医传承辅助系统的脊髓损伤内治处方分析[J]. 辽宁中医杂志, 2020, 47(5): 29-31.
- [17] 柴金秀, 徐冰, 张禹, 等. 基于cAMP/PKA/CREB信号通路探讨醒脑益髓汤对血管性痴呆大鼠海马神经元的影响[J]. 现代中西医结合杂志, 2023, 32(5): 603-608.
- [18] 杨悦, 张治强, 杨颖, 等. 低频电刺激结合康复训练对脊髓损伤神经源性膀胱患者排尿症状、膀胱功能及生活质量的影响[J]. 现代生物医学进展, 2020, 20(15): 2863-2867.
- [19] 薛夏利, 邓钟义, 孙君志, 等. 康复机器人领域10年研究热点: 基于Web of Science数据库的文献计量学分析[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(14): 2214-2222.
- [20] NEVILLE B T, MURRAY D, ROSEN K B, et al. Effects of performance-based training on gait and balance in individuals with incomplete spinal cord injury[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2019, 100(10): 1888-1893.
- [21] SAWADA T, OKAWARA H, MATSUBAYASHI K, et al. Influence of body weight-supported treadmill training with voluntary-driven exoskeleton on the quality of life of persons with chronic spinal cord injury: a pilot study[J]. Int J Rehabil Res, 2021, 44(4): 343-349.
- [22] CHUNG E, LEE B H, HWANG S. Therapeutic effects of brain-computer interface-controlled functional electrical stimulation training on balance and gait performance for stroke: a pilot randomized controlled trial[J]. Medicine(Baltimore), 2020, 99(51): 22612.

收稿日期: 2025-07-09

*基金项目: 江苏省教育科学“十三五”规划课题(C-c/2020/01/36); 江苏高校“青蓝工程”资助项目(2018SJA0644)。

作者简介: 许蕾(1989—), 女, 硕士学位, 主治医师。研究方向: 针灸结合中医康复治疗脑血管疾病及神经系统损伤疾病。

△通讯作者: 张超(1977—), 女, 硕士学位, 主任医师。研究方向: 神经康复、骨伤康复及老年康复的评定与治疗。Email: 13694524300@163.com。