

· 临床研究 ·

肌电生物反馈联合下肢康复机器人训练对脊髓损伤患者下肢功能恢复的影响

张子英 刘恒 赵静 申利坊 闫莹莹
郑州大学第五附属医院康复医学科, 郑州 450052
通信作者: 张子英, Email: zzy6523@163.com

【摘要】 目的 观察肌电生物反馈联合下肢康复机器人训练对不完全性脊髓损伤(SCI)患者下肢功能恢复的影响。**方法** 采用随机数字表法将 92 例不完全性 SCI 患者分为观察组及对照组, 每组 46 例。2 组患者均给予常规康复训练及肌电生物反馈治疗, 观察组在此基础上辅以下肢康复机器人训练。于治疗前、治疗 12 周后分别采用 Berg 平衡量表(BBS)、ASIA 量表、Holden 步行能力分级(FAC)及徒手肌力检查法(MMT)对 2 组患者下肢功能恢复情况进行评定。**结果** 入选时 2 组患者 BBS 评分、下肢 ASIA 评分、FAC 分级及下肢 MMT 分级组间差异均无统计学意义($P>0.05$); 治疗后 2 组患者 BBS 评分、下肢 ASIA 评分均较入选时明显改善($P<0.05$), 并且观察组 BBS 评分[(36.2±9.8)分]、下肢 ASIA 评分[(40.4±4.6)分]亦显著优于对照组水平($P<0.05$); 2 组患者 FAC 分级≥3 级人数、下肢 MMT 分级≥3 级人数均较入选时明显增加($P<0.05$), 并且均以观察组患者增加人数(分别增加 25 例、26 例)较显著, 与对照组间差异均具有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 肌电生物反馈联合下肢康复机器人训练能进一步改善不完全性 SCI 患者平衡能力、下肢肌力及步行功能, 对提高患者生活质量具有重要意义。

【关键词】 下肢康复机器人; 肌电生物反馈; 康复训练; 脊髓损伤; 下肢运动功能
DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.12.005

脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)是由外伤、先天因素或疾病等引发的严重神经系统损伤性疾病, 患者会出现神经损伤平面及以下感觉、运动功能部分或完全丧失, 造成下肢运动、排尿功能障碍, 对患者心理健康、生活质量等均造成严重影响^[1-3]。随着当前科技高速发展和智能化康复技术的应用, 下肢康复机器人系统越来越多地用于帮助患者以生理步态模式进行步行训练, 对不完全性 SCI 患者下肢功能重建具有显著疗效^[1]。基于此, 本研究在肌电生物反馈基础上辅以下肢康复机器人训练治疗不完全性 SCI 患者, 并观察对患者下肢运动功能恢复的影响。

对象与方法

一、研究对象

选取 2017 年 1 月至 2019 年 1 月期间在我院康复医学科治疗的不完全性 SCI 患者 92 例, 患者入选标准包括: ①均符合 2008 年美国脊柱损伤协会(American Spinal Injury Association, ASIA)制订的 SCI 诊断标准^[4]; ②均经 MRI、CT 等影像学检查确诊为胸腰段不完全性 SCI; ③病程<3 个月, 年龄 20~45 岁, ASIA 残损分级为 B~D 级; ④患者依从性较好, 能积极配合康复治疗。患者排除标准包括: ①合并重要脏器功能障碍; ②有强直性脊柱炎或脊柱稳定性较差; ③既往有髋关节手术史、异位骨化、四肢截

肢等情况; ④有意识、认知、心理障碍或其他不适于康复训练等情况。入选患者或家属均对本研究知晓并签署知情同意书, 同时本研究经郑州大学第五附属医院伦理委员会审批(ZZDX2020010)。采用随机数字表法将上述患者分为观察组及对照组, 每组 46 例, 2 组患者一般资料情况(见表 1)经统计学比较, 发现组间差异均无统计学意义($P>0.05$), 具有可比性。

二、干预方法

2 组患者均给予常规康复训练及肌电生物反馈治疗, 常规康复训练(在脊柱有效保护前提下)包括指导患者进行体位摆放姿势训练、肌力训练、关节活动训练、软组织牵拉训练、坐起训练、平衡训练、斜床站立、踏车训练等, 连续训练 12 周。肌电生物反馈治疗选用南京产 S4S 型生物反馈治疗仪, 治疗时患者取舒适、放松体位, 将电极(表面涂导电膏)置于股四头肌、股二头肌、胫前肌、腓肠肌肌腹隆起部位, 医护人员指导患者尽量练习伸腿、足背屈动作, 同时让患者观察显示屏表面肌电(surface electromyography, sEMG)曲线变化, 促其正确认识 sEMG 曲线波动与肌肉收缩强度间的关系。当检测到患者 sEMG 波幅超过设定阈值时会引发生物反馈治疗仪发放 1 次电刺激, 以帮助患者完成 1 次下肢有效收缩动作。每训练 5 min 则休息 5 min, 每次总训练时间约 15 min, 每天治疗 2 次, 每周治疗 5 d, 连续治疗 4 周为 1 个疗程, 共治疗 3 个疗程。

表 1 入选时 2 组患者一般资料情况比较

组别	例数	性别		年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	病程 (月, $\bar{x}\pm s$)	脊髓损伤部位(例)			ASIA 残损分级(例)		
		男	女			胸部节段	腰部节段	马尾节段	B 级	C 级	D 级
观察组	46	34	12	30.7±7.3	7.3±2.3	24	21	1	22	21	3
对照组	46	32	14	32.6±3.2	6.7±2.3	22	23	1	23	22	1

观察组患者在上述治疗基础上辅以下肢康复机器人训练,选用北京产 Aiwalker 下肢康复机器人系统,该系统能辅助患者下肢髋、膝、踝关节模拟正常步行过程中的周期性运动(见图 1),先采用悬吊减重装置支撑患者部分体重,固定患者腰部及腿部,同时配置多个传感器、驱动器及控制器,患者借助悬吊承力杆两侧的纵向滑竿进行下肢步行训练,采用足部升降带将患者双侧踝关节固定于中立位,当患者迈步时能被动诱发踝背屈动作。整个训练过程注意循序渐进,减重量一般从体重 30%~50% 开始并逐渐减小,机械臂引导力从 80%~100% 开始并逐渐减小,起始步行速度一般设定为 0.9~1.0 km/h,在后续训练过程中逐渐增加。上述下肢康复机器人训练每次持续 30 min,每天训练 1 次,每周训练 5 d,连续训练 12 周。



图 1 观察组患者进行下肢康复机器人训练示意图

三、疗效评定标准

于入选时、治疗 12 周后对 2 组患者进行疗效评定,采用 Berg 平衡量表(Berg balance scale, BBS)评定患者平衡功能情况,满分为 56 分^[5];采用 ASIA 评估量表评定患者下肢运动功能情况,满分为 50 分^[6];采用 Holden 步行能力分级(functional ambulation category scale, FAC)评定患者步行能力情况^[7];采用徒手肌力检查法(manual muscle test, MMT)评定患者下肢股四头肌肌力情况,结果共分为 6 级(0~5 级)^[8]。

四、统计学分析

本研究所得计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,采用 SPSS 22.0 版统计学软件包进行数据分析,计量资料组内比较采用配对 t 检验,组间比较采用独立样本 t 检验,计数资料(以率表示)比较采用 χ^2

检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、治疗前、后 2 组患者平衡能力及下肢运动功能比较

入选时 2 组患者 BBS 评分、下肢 ASIA 评分组间差异均无统计学意义($P > 0.05$);治疗后 2 组患者 BBS 评分、下肢 ASIA 评分均较入选时明显改善($P < 0.05$),并且观察组 BBS 评分、下肢 ASIA 评分亦显著优于对照组水平($P < 0.05$),具体数据见表 2。

表 2 治疗前、后 2 组患者平衡能力及下肢运动功能比较(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	BBS 评分		下肢 ASIA 评分	
		入选时	治疗后	入选时	治疗后
观察组	46	14.6 $\pm$ 4.4	36.2 $\pm$ 9.8 ^{ab}	12.3 $\pm$ 2.2	40.4 $\pm$ 4.6 ^{ab}
对照组	46	15.6 $\pm$ 4.7	25.6 $\pm$ 5.6 ^a	12.5 $\pm$ 2.2	26.3 $\pm$ 3.2 ^a

注:与组内入选时比较,^a $P < 0.05$;与对照组相同时间点比较,^b $P < 0.05$

二、治疗前、后 2 组患者步行功能情况比较

入选时 2 组患者 FAC 分级情况组间差异无统计学意义($P > 0.05$);治疗后 2 组患者 FAC 分级 ≥ 3 级人数均明显增加($P < 0.05$),并且以观察组增加人数较多,与对照组间差异具有统计学意义($P < 0.05$),具体结果见表 3。

三、治疗前、后 2 组患者下肢肌力情况比较

入选时 2 组患者下肢肌力 MMT 分级组间差异无统计学意义($P > 0.05$);治疗后 2 组患者下肢 MMT 分级 ≥ 3 级人数均明显增加($P < 0.05$),并且以观察组增加人数较多,与对照组间差异具有统计学意义($P < 0.05$),具体结果见表 4。

讨 论

本研究结果表明,治疗后 2 组患者 BBS 评分、下肢 ASIA 评分、FAC 分级及下肢 MMT 分级均较治疗前不同程度改善;并且上述指标均以观察组患者的改善幅度较显著,与对照组间差异均具有统计学意义($P < 0.05$),提示机电生物反馈联合下肢康复机器人训练能进一步改善不完全性 SCI 患者平衡能力、下肢肌力及步行功能。

有研究发现,不完全性 SCI 患者经治疗后存在恢复部分甚至全部运动功能的可能性^[9];Biase 等^[10]研究表明,康复干预能促使存活神经元通过轴突侧支与靶区神经组织重新建立联系,

表 3 治疗前、后 2 组患者步行功能情况比较(例)

组别	例数	入选时						治疗后					
		0 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	0 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
观察组	46	10	18	12	4	2	0	6	9	6	11	12	2
对照组	46	12	16	14	3	1	0	10	15	12	5	3	1

表 4 治疗前、后 2 组患者下肢肌力恢复情况比较(例)

组别	例数	入选时						治疗后					
		0 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	0 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
观察组	46	6	20	18	1	1	0	2	12	6	14	9	3
对照组	46	5	17	20	2	2	0	5	16	15	4	5	1

从而取代丧失功能的神经轴突,加速肢体运动功能恢复。生物反馈疗法是基于中枢神经系统可塑性理论发展而来的新型治疗手段,通过采集目标肌肉在不同状态下的肌电信号并将其转换为视、听觉信号,使患者了解自身生理变化过程,并促使其根据这些变化逐渐学会对机体特定生理活动进行控制^[11]。本研究对照组患者在常规康复训练基础上辅以肌电生物反馈干预,经治疗后发现该组患者平衡功能、下肢肌力及步行能力等均较治疗前有不同程度改善,进一步证明肌电生物反馈治疗对不完全性 SCI 患者具有确切治疗作用。

康复机器人自 20 世纪 80 年代问世以来,在神经损伤康复领域中的应用日趋广泛,并取得显著疗效^[4]。林海丹等^[12]研究发现,康复机器人辅助步行训练在改善不完全性 SCI 患者步行功能方面具有明显优势。本研究所用下肢机器人系统其外形酷似人体下肢,在腰部及腿部区域分别设有固定带,同时配置多个传感器、驱动器及控制器,能帮助患者模拟正常步行动作,从而激发肢体潜在功能,纠正异常行走姿态。本研究观察组在对照组干预基础上辅以下肢康复机器人训练,经 12 周干预后发现该组患者 BBS 评分、下肢 ASIA 评分、FAC 分级及下肢 MMT 分级等均较入选时及对照组明显改善(均 $P < 0.05$)。其协同治疗机制包括:肌电生物反馈训练通过反复肌电刺激,能使患者神经、肌肉细胞不断去极、复极化,加速神经肌肉功能恢复,对改善患者平衡、肌力及步行功能具有积极意义;同时患者通过主观努力即可实时看到明显肌电变化或肌肉收缩动作,有助于提高患者神经肌肉兴奋性,促使脑组织与肢体间新条件反射建立,不仅能增强靶肌功能,还能向中枢神经系统输送大量本体、运动觉信息,有助于机体感觉运动中枢对肢体运动产生新的感知,刺激神经元轴突侧支芽生,从而加速肢体运动控制功能恢复^[13]。下肢康复机器人系统通过适当减重,有助于患者进行长时间步行训练,根据其下肢实际功能设定合适的关节角度,能保证患者肢体按正常生理模式进行训练;同时康复机器人系统能实时检测患者与机器人间的相互作用力,当患者主动能力不足时机器人可及时提供辅助动力,当患者能轻松完成指定动作时,机器人系统则会适当减小辅助动力甚至施加阻力,以充分锻炼下肢残存功能;同时还有学者发现,连续进行机器人辅助步行训练能促进患者中枢神经系统功能重塑,加速其肢体运动功能恢复^[14]。

综上所述,本研究结果表明,肌电生物反馈联合下肢康复机器人训练能进一步改善不完全性 SCI 患者平衡能力、下肢肌力及步行功能,对提高患者生活质量具有积极意义,该联合疗法值得临床推广、应用。

参 考 文 献

[1] 唐虹,王其红,覃渝茜,等.智能电刺激运动机器人在胸腰段不完全

性脊髓损伤患者中的应用效果[J].山东医药,2017,57(29):57-59.DOI:10.3969/j.issn.1002-266X.2017.29.019.

- [2] Harvey LA.Physiotherapy rehabilitation for people with spinal cord injuries[J].J Physiother,2016,62(1):4-11.DOI:10.1016/j.jphys.2015.11.004.
- [3] 张继荣,崔国伟,张谦.早期等速肌力训练对不完全性脊髓损伤患者下肢肌力的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2017,39(6):454-455.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2017.06.014.
- [4] Kirshblum SC, Burns SP, Biering-Sorensen F, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury (Revised 2011)[J].Top Spinal Cord Inj Rehabil,2012,18(1):85-99.DOI:10.1310/sci1801-85.
- [5] Berg KO, Wood-Dauphinee SL, Williams JI, et al. Measuring balance in the elderly: validation of an instrument[J].Can J Public Health,1992,83(s2):7-11.DOI:10.1080/03014469200002282.
- [6] 李保健,李庆富,侯英茹,等.颈后路全椎板切除术对颈椎脊髓损伤患者 ASIA 评分及预后的影响[J].国际医药卫生导报,2020,26(10):1431-1432.DOI:10.3760/cma.j.issn.1007-1245.2020.10.029.
- [7] 王欣欣,王强,吴玉斌,等.多通道功能性电刺激对脑卒中偏瘫患者下肢功能的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2018,40(5):345-347.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.05.006.
- [8] 李高.肌力训练联合水中步行训练对脑卒中偏瘫患者下肢功能恢复的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2015,37(12):942-944.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2015.012.014.
- [9] Lo YK, Kuan YC, Culaclii S, et al. A fully integrated wireless SoC for motor function recovery after spinal cord injury[J].IEEE Trans Biomed Circuits Syst,2017,11(3):497-509.DOI:10.1109/TBCAS.2017.2679441.
- [10] Biase ME, Politti F, Palomari ET, et al. Increased EMG response following electromyographic biofeedback treatment of rectus femoris muscle after spinal cord injury[J].Physiotherapy,2011,97(2):175-179.DOI:10.1016/j.physio.2010.05.005.
- [11] Zoghi M, Galea MP. EMG-triggered stimulation post spinal cord injury: A case report[J].Physiother Theory Pract,2018,34(4):309-315.DOI:10.1080/09593985.2017.1394409.
- [12] 林海丹,张韬,陈青,等.康复机器人辅助步行训练对不完全性脊髓损伤患者步行能力的影响[J].自动化学报,2016,42(12):1832-1838.DOI:10.16383/j.aas.2016.c160173.
- [13] 雷建荣,张仲锦,夏遂辉,等.肌电生物治疗联合运动康复在桡神经损伤治疗中的临床应用及疗效评价[J].现代生物医学进展,2017,17(32):6354-6357,6385.DOI:10.13241/j.cnki.pmb.2017.32.034.
- [14] Qin T, Zhang LX. Coordinated control strategy for robotic-assisted gait training with partial body weight support[J].J Cent South Univ,2015,22(8):2954-2962.DOI:10.1007/s11771-015-2831-0.

(修回日期:2020-09-01)

(本文编辑:易 浩)