

# 等速肌力训练和传统肌力训练改善不完全脊髓损伤患者肌力和肌耐力的比较\*

陈彦, 吴霜\*\*, 王志涛, 田新原, 裴强

(贵州医科大学附院, 贵州 贵阳 550004)

**[摘要]** 目的: 观察等速肌力训练对不完全脊髓损伤(iSCI)患者股二头肌和股直肌肌力、肌耐力和6分钟步行距离(6MWT)的改善效果。方法: 60例iSCI患者随机分为观察组和对照组, 对照组给予徒手肌力训练和常规步行训练, 观察组在此基础上增加等速肌力训练, 共12周; 于干预前后分别采集两组患者双侧股二头肌肌电积分值(BF-IEMG)、股直肌肌电积分值(RF-IEMG)、股直肌平均功率频率(RF-MPF)、股二头肌平均功率频率(BF-MPF)数据, 同时评估6MWT结果。结果: 12周干预结束后, 两组患者上述指标均较干预前改善( $P < 0.01$ ); 与对照组相比, 观察组BF-IEMG和RF-IEMG提高更多( $P < 0.01$ ), BF-MPF和RF-MPF下降幅度低于对照组( $P < 0.05$ ), 6MWT增加更明显( $P < 0.05$ )。结论: 与常规康复治疗相比, 采用等速肌力训练能更有效的改善iSCI患者的膝关节肌群肌力、肌耐力和6MWT。

**[关键词]** 脊髓损伤; 康复; 等速肌力训练; 肌力; 肌耐力; 步行能力

**[中图分类号]** R493 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-2707(2019)06-0703-05

**DOI:** 10.19367/j.cnki.1000-2707.2019.06.017

## A Comparative Study of Muscle Strength and Muscular Endurance in Patients with Incomplete Spinal Cord Injury Between Isokinetic Muscle Strength Training and Traditional Training

CHEN Yan, WU Shuang, WANG Zhitao, TIAN Xinyuan, PEI Qiang

(The Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang 550004, Guizhou, China)

**[Abstract] Objective:** To observe the effect of 12-week isokinetic muscle strength training on biceps femoris (BF) and rectus femoris (RF) muscle strength, muscle endurance and ambulatory ability in 6-minute walk test (6MWT) in patients with incomplete spinal cord injury (iSCI). **Methods:** Sixty patients with iSCI in accordance with the inclusion criteria were randomly divided into two groups: the observation group (30 cases) and the control group (30 cases). Both groups received manual strength training, and conventional walking training, while the observation group carried out isokinetic training in addition. Participants were trained once a day, five times a week for twelve weeks. The curative effect was assessed by integrated electromyography (IEMG) of RF and BF, as well as Mean Power Frequency (MPF) of RF and BF and the ambulatory ability was detected using 6MWT. The evaluation was performed before the treatment and 12 weeks after the treatment. **Results:** In the end of rehabilitation, both groups showed significant improvement in IEMG, MPF and 6MWT ( $P < 0.01$ ). The observation group exhibited significantly higher BF-IEMG and RF-IEMG compared with the control group ( $P < 0.001$ ). The MPF of BF and RF in the observation group were significantly lower than those in the control group ( $P < 0.01$ ). According to 6MWT, statistically significant improvement was observed in

\*[基金项目] 贵州省科技计划项目[黔科合同 LG 字(2012)037号]; 贵州省卫生厅科学技术基金项目(gzkwj2011-1-103)

\*\* 通信作者 E-mail: wus212@sina.com

网络出版时间: 2019-06-22 网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/52.1164.R.20190622.0723.017.html>

the treatment group ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** The mode of isokinetic muscle strength and muscular endurance training under the angular velocity of 60 – 90 – 120/180 ( $^{\circ}/s$ ) can improve muscle strength and muscular endurance of knees as well as ambulatory function of patients with iSCI more effectively than traditional manual strength training.

[**Key words**] spinal cord injury; rehabilitation; isokinetic muscle strength training; muscle strength; muscular endurance; ambulatory ability

脊髓损伤的康复干预目标是使患者最大限度的重获日常生活活动能力和提高生活质量,对于不完全脊髓损伤(incomplete spinal cord injury, iSCI)患者而言,运动功能的改善、完成步行活动及二便功能的恢复,是其康复治疗的主要目标。研究证实康复治疗可以改善 iSCI 患者的运动功能和步行能力<sup>[1]</sup>,但采取何种康复治疗方法、哪种康复手段疗效最佳,目前仍无定论<sup>[2]</sup>。腰段脊髓损伤患者由于上肢和躯干肌群得以较好的保留,因而相较颈髓、胸髓损伤而言,良好的下肢肌力和肌耐力是其能否完成社区性步行的重要因素<sup>[3-4]</sup>。等速肌力训练用于 iSCI 的研究国内鲜有报道,本研究旨在探讨等速肌力训练对 iSCI 的疗效,以表面肌电检测作为评估方法,观察股二头肌和股直肌表面肌电指标和步行功能在干预前后的变化,为 iSCI 患者康复方案的制定提供参考。

## 1 资料和方法

### 1.1 一般资料

选择 2012 年 2 月 ~ 2016 年 6 月收治的 60 例 iSCI 住院患者,入选标准:(1)经 CT 或 MRI 确诊的外伤性脊髓损伤患者,2011 版美国脊柱损伤协会(American Spinal Injury Association, ASIA)脊髓损害分级<sup>[5]</sup>C ~ D 级;(2)脊髓损伤平面均为 L1-3 水平,年龄 18 ~ 70 岁并伴有下肢功能障碍,临床病程在 3 个月之内;(3)均签署知情同意书。排除标准:合并重要脏器损伤者,合并严重身体畸形及截肢者,伴意识、认知障碍或精神病患者,合并四肢骨折者,合并深静脉血栓者。以随机数字表法分为观察组和对照组,每组 30 例,对照组仅给予常规康复治疗,观察组在此基础上增加等速肌力训练。入选患者在研究期间若出现以下情况则退出研究:患者因个人原因、经费原因不能继续接受康复治疗者,患者因并发症需转入其他科室治疗者,患者住院过程中出现抑郁、焦虑等心理障碍无法完成康复治疗者。观察组中,1 例因结石性胆囊炎急性发作转入其他科室,2 例因转回当地治疗退出研究;对照组

中,1 例因输尿管结石并肾积水转入其他科室,1 例因转院退出研究,最终纳入 55 例研究对象。两组患者一般资料比较,差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ),具有可比性,见表 1。

表 1 两组 iSCI 患者一般资料

Tab. 1 Basic statistical data of the two groups

| 指标             | 观察组           | 对照组           |
|----------------|---------------|---------------|
| <i>n</i>       | 27            | 28            |
| 年龄(岁)          | 38.19 ± 10.15 | 39.39 ± 7.89  |
| 病程(d)          | 41.81 ± 8.67  | 41.11 ± 10.95 |
| 性别( <i>n</i> ) |               |               |
| 男              | 16            | 16            |
| 女              | 11            | 12            |
| ASIA 分级(例)     |               |               |
| C 级            | 13            | 13            |
| D 级            | 14            | 15            |
| 损伤节段(例)        |               |               |
| L1             | 8             | 8             |
| L2-3           | 19            | 20            |

### 1.2 方法

**1.2.1 对照组** 进行膝关节肌群徒手抗阻肌力训练,3 级以上的肌群采取渐进性抗阻原则进行,3 级以下的肌群(如踝关节肌群)采用助力训练。每次治疗 45 min,1 次/d,5 d/周。步行训练包括平行杠内站立、步行训练,逐步过渡到持拐杖步行训练,每次训练 30 min,1 次/d,5 d/周。上述治疗共进行 12 周。所有治疗由同组两位经过治疗方案培训的资深治疗师完成。

**1.2.2 观察组** 在对照组治疗的基础上增加等速肌力训练,仪器为 ISOMED2000 型等速肌力测试训练系统。患者取端坐位于等速训练椅上,后背紧贴椅背,固定躯干及训练侧踝关节。采用 60 – 90 – 120 ( $^{\circ}/s$ ) 的训练模式进行:依次在 60 $^{\circ}/s$ 、90 $^{\circ}/s$ 、120 $^{\circ}/s$  3 种角速度下进行肌力训练<sup>[6]</sup>,每种角速度训练进行 10 次最大收缩练习,各个角速度训练之间间歇 1 min,30 次收缩为一个训练循环,每个循环完成后休息 3 min,每次进行 2 个循环。上述训

练 1 次/d, 5 d/周; 每周进行 2 次 180°/s 下的肌耐力练习, 连续收缩 10 次为一组, 每组间歇 3 min, 共训练 3 组。肌力和肌耐力训练均治疗 12 周。

### 1.3 观察指标

在干预前和治疗 12 周结束时, 对两组患者分别进行股二头肌和股直肌表面肌电 (surface electromyography, sEMG) 测试和 6 min 步行距离 (6-minute walk test, 6MWT) 评估。测试前 24 h 内患者无高强度运动治疗。

**1.3.1 sEMG 测试** 在室温 25 °C 的评估室中, 患者取端坐位暴露下肢待测肌群部位, 取酒精棉球脱脂。测试电极放置位置如下: (1) 股直肌, 取髌前上棘与膝关节连线中点处, 沿肌纤维走向两个测试电极间距 2 cm 平行粘贴固定; (2) 股二头肌, 取股骨大转子和腓窝中点连线的上 2/3 处, 沿肌纤维走向两个测试电极相距 2 cm 平行粘贴固定。在踝部给予徒手抗阻, 要求患者保持膝关节在屈膝 30° 的位置完成 3 次 60 s 的屈膝等长收缩, 同时记录股二头肌 (biceps femoris, BF) 的肌电积分值 (integrated EMG, IEMG) BF-IEMG, 每次收缩之间休息 60 s。间歇 3 min 后, 在同样的位置下伸膝等长收缩, 同时记录股直肌 (rectus femoris, RF) 的肌电积分值 RF-IEMG, 取 3 次最大收缩中的最高者作为该肌肉的肌电积分值纳入统计。MegaWin3.0 软件处理截取 60 s 最大等长收缩过程中 sEMG, 收集股二头肌及股直肌平均功率频率值 (mean power frequency, MPF), 即 BF-MPF 和 RF-MPF。

表 2 两组 iSCI 患者干预前后 BF-IEMG 和 RF-IEMG ( $\bar{x} \pm s, \mu\text{V}$ )

Tab. 2 Comparison of BF-IEMG and RF-IEMG before and after treatment between the two groups

| 时间  | BF-IEMG                       |                                  | RF-IEMG                       |                                  |
|-----|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
|     | 对照组                           | 观察组                              | 对照组                           | 观察组                              |
| 治疗前 | 58.21 ± 26.44                 | 58.48 ± 23.46                    | 79.85 ± 39.10                 | 87.48 ± 29.24                    |
| 治疗后 | 132.64 ± 55.56 <sup>(1)</sup> | 174.74 ± 51.53 <sup>(1)(2)</sup> | 180.11 ± 70.82 <sup>(1)</sup> | 246.67 ± 59.33 <sup>(1)(2)</sup> |

<sup>(1)</sup> 与同组治疗前比较,  $P < 0.01$ ; <sup>(2)</sup> 与同时间点对照组比较,  $P < 0.001$

### 2.2 MPF

干预前, 两组患者 BF-MPF 和 RF-MPF 比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 干预 12 周后, 组内

**1.3.2 6MWT 测试** 在两餐之间测试 6MWT, 测试前 2 h 内不进行高强度的训练。在室内平地划出一段 30 m 的直线距离, 每 3 m 放置一个距离标志, 直线两端各置一个橙色圆锥标志。患者穿着舒适的衣裤、日常康复训练所需的支具或助行器, 在直线两端往返步行, 步行速度由患者根据自己体能决定。整个测试过程按照美国胸科协会指南<sup>[7]</sup> 建议的指导语进行操作, 分别在开始步行第 1、3、4、5 min 及最后 15 s 时进行提示。患者中途若需要休息时, 可随时暂停, 计时不停止, 最后计算 6 min 内总的步行距离。

### 1.4 统计学方法

运用 SPSS 18.0 软件, 计量资料用均数 ± 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 配对  $t$  检验用于比较观察组和对照组各自在干预前后表面肌电指标和 6MWT 的变化, 独立样本  $t$  检验用于比较两组之间在干预前后的变化; 计数资料用  $\chi^2$  检验。  $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 IEMG

干预前, 两组患者 BF-IEMG 和 RF-IEMG 比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 干预 12 周后, 组内比较, 两组患者 BF-IEMG 和 RF-IEMG 均较干预前显著升高 ( $P < 0.01$ )。与对照组相比, 观察组 BF-IEMG 和 RF-IEMG 提高更显著 ( $P < 0.001$ )。见表 2。

比较, 两组患者 BF-MPF 和 RF-MPF 均较干预前下降 ( $P < 0.01$ )。观察组 BF-MPF 和 RF-MPF 下降幅度低于对照组, ( $P < 0.05$ )。见表 3。

表 3 两组 iSCI 患者干预前后 BF-MPF 及 RF-MPF ( $\bar{x} \pm s, \text{Hz}$ )

Tab. 3 Comparison of BF-MPF and RE-MPF of before and after treatment between the two groups

| 时间  | BF-MPF                       |                                 | RF-MPF                      |                                 |
|-----|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
|     | 对照组                          | 观察组                             | 对照组                         | 观察组                             |
| 治疗前 | 75.32 ± 12.56                | 76.07 ± 13.58                   | 74.11 ± 12.06               | 74.59 ± 12.76                   |
| 治疗后 | 52.89 ± 11.71 <sup>(1)</sup> | 56.96 ± 11.47 <sup>(1)(2)</sup> | 51.71 ± 9.76 <sup>(1)</sup> | 57.07 ± 10.10 <sup>(1)(2)</sup> |

<sup>(1)</sup> 与同组治疗前比较,  $P < 0.01$ ; <sup>(2)</sup> 与同时间点对照组比较,  $P < 0.05$

### 2.3 6MWT

干预前,两组患者 6MWT 比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ );干预 12 周后,组内比较,两组患者 6MWT 均较干预前增加( $P < 0.01$ )。与对照组相比,观察组 6MWT 提高更显著( $P < 0.05$ )。见表 4。

表 4 两组 iSCI 患者干预前后 6MWT( $\bar{x} \pm s, m$ )

Tab. 4 Comparison of 6MWT before and after treatment between the two groups

| 时间  | 6MWT                          |                                  |
|-----|-------------------------------|----------------------------------|
|     | 对照组                           | 观察组                              |
| 治疗前 | 56.39 ± 73.32                 | 57.52 ± 79.15                    |
| 治疗后 | 157.07 ± 53.51 <sup>(1)</sup> | 198.81 ± 60.64 <sup>(1)(2)</sup> |

<sup>(1)</sup> 与同组治疗前比较,  $P < 0.01$ ; <sup>(2)</sup> 与同时点对对照组比较,  $P < 0.05$

## 3 讨论

iSCI 康复治疗的关键性目标是步行能力的恢复和改善,也是预测患者远期能否获得较佳生活质量的重要影响因素。影响脊髓损伤患者步行功能的因素包括神经损伤平面、下肢肌力、肌耐力、感觉功能、心肺耐力以及痉挛等<sup>[3-4,8]</sup>。对于不完全脊髓损伤而言,由于其上肢和大部分躯干肌群肌力的保存,可通过运动治疗以期获得较好的步行功能<sup>[9]</sup>。近期研究显示,减重步行支持训练<sup>[10]</sup>、下肢机器人训练<sup>[11]</sup>、功能性电刺激训练<sup>[12]</sup>都能改善;SCI 患者的步行能力,但目前尚无足够的循证医学证据证实上述运动训练中的哪一种优于另一种运动训练<sup>[2,13]</sup>。脊髓损伤后损伤平面以下的肌肉出现失神经支配,很快出现肌肉萎缩,肌肉纤维类型出现改变<sup>[14]</sup>,快肌和慢肌纤维比例失衡,感觉传导通路的异常,均是导致肌力和肌耐力下降的原因。下肢肌力,尤其是膝关节肌群肌力是与 iSCI 患者步行能力预后密切相关的因素,等速训练比徒手肌力训练能更有效地募集运动单位,产生最大肌力,同时利用训练系统的生物反馈模式给予正性激励作用,促进肌力训练效果的最佳化。等速肌力训练在骨关节疾病<sup>[15]</sup>、运动损伤<sup>[16]</sup>等领域已证实能更好的提高靶肌群肌力、肌耐力和关节控制能力,但在中枢神经系统损伤中的应用尚不多见,训练模式的选择尚无统一规范。目前尚无确切的证据显示中枢神经系统损伤后肌肉对肌力训练的反应和肌肉骨骼系统损伤的不同。因此本实验通过设计 12

周的随机对照研究,采用等速系统下的肌力和肌耐力训练模式,联合徒手肌力训练、常规步行训练对 iSCI 患者进行干预,观察这种新的肌力和肌耐力训练方法对不完全性脊髓损伤患者膝关节肌群肌力、肌耐力和 6MWT 的影响。

研究结果显示,干预 12 周后,两组患者股二头肌和股直肌的 IEMG、MPF 和 6MWT 均较干预前改善,观察组改善更佳( $P < 0.05$ )。表面肌电测试是用于评估肌肉力量、肌肉疲劳程度、肌肉收缩协调性、运动控制等方面的无创、无痛的肌电检测手段。IEMG 是时域分析常用的参数,通过计算所选择频谱区域中所有数据点的平均振幅值所得,反映了选择区域募集的肌纤维活动在时间和空间上的总和,可用于反映肌力的大小。由于徒手肌力测定(manual muscle testing, MMT)将出现“天花板效应”<sup>[17-18]</sup>,不能敏感地检测出 3 级和 3 级以上肌力的改变,因此本研究采用 IEMG 评估肌力。本研究结果显示,依次在 60°/s、90°/s、120°/s 三种角速度下的等速肌力训练模式,相较于常规的徒手肌力训练,能更好的改善股二头肌和股直肌的肌电积分值。脊髓损伤后受累肌肉将出现肌纤维直径的变小、主动收缩力量的下降、代谢的降低、肌纤维类型转换的失衡。据此推测,等速肌力训练延缓了肌纤维直径的变小、改善了快慢纤维之间的比例失衡,从而促进主动收缩力量的改善。

MPF 是频域分析的常用参数,是某个时间点,所有参与活动的肌电信号的快速傅里叶变换结果-功率谱,是判断肌肉疲劳度的常用指标。肌耐力和疲劳有关,研究显示,等速训练可以改善膝关节肌群的耐力比,从而促进耐力的提高,改善长距离步行的耐受性<sup>[19]</sup>。本研究结果显示,在相同的干预时间内,观察组采用 180°/s 的角速度下进行的等速肌耐力训练,其股二头肌和股直肌的 MPF 下降幅度更小,提示肌耐力改善效果更佳。

6MWT 是反映步行功能的一个综合性指标,受下肢运动功能、心肺功能的影响。观察组治疗 3 月后 6MWT 优于对照组,提高至治疗前的近 4 倍,提示观察组在增加等速训练后步行功能改善更佳。这可能与观察组膝关节肌力和肌耐力更佳的改善有关,肌力和肌耐力的改善可促进步速的提高<sup>[20]</sup>,从而提高 6MWT。

综上所述,本研究提出了一种针对 iSCI 患者新的肌力训练模式,与常规徒手肌力训练相比,能更有效的改善 iSCI 患者的膝关节肌群肌力、肌耐

力和 6 min 步行能力。本研究只选取了股二头肌和股直肌作为观察肌肉,是否可以将等速肌力训练应用于其他关节肌群,应用于颈髓或胸髓的 iSCI 的康复治疗,需进一步优化等速训练模式,有待进一步探索。

#### 4 参考文献

- [1] TACCOLA G, SAYENKO D, GAD P, et al. And yet it moves; recovery of volitional control after spinal cord injury[J]. *Prog Neurobiol*, 2018, 160:64-81.
- [2] MORAWIETZ C, MOFFAT F. Effects of locomotor training after incomplete spinal cord injury: a systematic review[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2013, 94(11):2297-2308.
- [3] STEVENS S L, FULLER D K, MORGAN D W. Leg strength, preferred walking speed and daily step activity in adults with incomplete spinal cord injuries[J]. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 2013, 19(1):47-53.
- [4] JACKSON A B, CARNEL C T, DITUNNO J F, et al. Outcome measures for gait and ambulation in the spinal cord injury population [J]. *The J Spinal Cord Med*, 2008, 31(5):487-799.
- [5] KIRSHBLUM S C, BURNS S P, BIERING-SORENSEN F, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury, (revised 2011)[J]. *J Spinal Cord Med*, 2011, 34(6):535-546.
- [6] 吴毅. 等速肌肉功能测试和训练技术的基本原理和方法[J]. *中国康复医学杂志*, 1999, 14(1):44-47.
- [7] CRAPO R O, CASABURI R, COATES A L, et al. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2002, 166(1):111-117.
- [8] VAN HEDEL H J. Gait speed in relation to categories of functional ambulation after spinal cord injury[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2009, 23(4):343-350.
- [9] PONCUMHAK P, SAENG SUWAN J, KAMRUECHA W, et al. Reliability and validity of three functional tests in ambulatory patients with spinal cord injury [J]. *Spinal Cord*, 2013, 51(3):214-217.
- [10] ADAMS M M, HICKS A L. Comparison of the effects of body-weight-supported treadmill training and tilt-table standing on spasticity in individuals with chronic spinal cord injury[J]. *J Spinal Cord Med*, 2011, 34(5):488-494.
- [11] FLEERKOTTE B M, KOOPMAN B, BUURKE J H, et al. The effect of impedance-controlled robotic gait training on walking ability and quality in individuals with chronic incomplete spinal cord injury: an explorative study [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2014, 11(1):498-500.
- [12] KUHN D, LEICHTFRIED V, SCHOBERSBERGER W. Four weeks of functional electrical stimulated cycling after spinal cord injury: a clinical cohort study [J]. *Int J Rehabil Res*, 2014, 37(3):243-250.
- [13] MEHRHOLZ J, HARVEY L A, THOMAS S, et al. Is body-weight-supported treadmill training or robotic-assisted gait training superior to overground gait training and other forms of physiotherapy in people with spinal cord injury? A systematic review [J]. *Spinal Cord*, 2017, 55(8):722-729.
- [14] THOMAS C K, BAKELS R, KLEIN C S, et al. Human spinal cord injury: motor unit properties and behavior [J]. *Acta Physiol*, 2014, 210(1):5-19.
- [15] 杨俊兴,袁颖嘉,李田珂,等. 等速向心肌力训练对膝关节骨性关节炎患者关节功能水平的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2012, 27(7):631-634.
- [16] 陶莉,冯华,郭险峰,等. 前交叉韧带重建术后患者的等速肌力训练和疗效评定 [J]. *中国康复医学杂志*, 2008, 23(11):990-993.
- [17] NOREAU L, VACHON J. Comparison of three methods to assess muscular strength in individuals with spinal cord injury [J]. *Spinal Cord*, 1988, 36(10):716-723.
- [18] GALEN S S, CLARKE C J, MCLEAN A N, et al. Isometric hip and knee torque measurements as an outcome measure in robot assisted gait training [J]. *Neuro Rehabilitation*, 2014, 34(2):287-295.
- [19] 吴霜,刘春风,楚兰,等. 等速运动训练对不完全脊髓损伤患者肌耐力和社区步行的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2016, 38(12):900-903.
- [20] ANDREWS A W, CHINWORTH S A, BOURASSA M, et al. Update on distance and velocity requirements for community ambulation [J]. *J Geriatr Phys Ther*, 2010, 33(3):128-134.

(2019-03-07 收稿, 2019-05-19 修回)  
中文编辑: 周 凌; 英文编辑: 丁廷森