

· 临床研究 ·

早期腰段不完全脊髓损伤患者膝关节肌群肌力与步行能力的关系

陈彦 吴霜 王志涛 田新原 黄璞

贵州医科大学附属医院康复医学科, 贵阳 550004

通信作者: 吴霜, Email: wus212@sina.com

【摘要】 目的 研究早期腰段不完全脊髓损伤患者膝关节肌群肌力与步行能力的相关性以及影响其步行能力的因素。**方法** 对符合入选标准的早期腰段不完全脊髓损伤患者 27 例进行双侧股四头肌、腓绳肌徒手肌力评定(MMT)、峰力矩测试(PT)、10 m 步行时间测试(10MWT)和脊髓损伤步行指数(WISCI II)评定。采用 Spearman 相关分析方法确定股四头肌 MMT、腓绳肌 MMT、股四头肌 PT 和腓绳肌 PT 与 10MWT 和 WISCI II 的相关性。采用逐步回归分析法分析 10MWT 和 WISCI II 的影响因素。**结果** 腓绳肌 MMT 与 10MWT 呈显著负相关($r=-0.703, P<0.01$), 与 WISCI II 呈显著正相关($r=0.713, P<0.01$); 腓绳肌 PT 与 10MWT 呈中等负相关($r=-0.413, P<0.05$), 与 WISCI II 呈中等正相关($r=0.433, P<0.05$)。10MWT 与 WISCI II 呈强负相关($r=-0.986, P<0.01$)。腓绳肌 MMT 是影响 10MWT 和 WISCI II 的最主要因素(r^2 分别为 0.549 和 0.536), 股四头肌 MMT 是影响 10MWT 和 WISCI II 的次要因素。腓绳肌和股四头肌的 MMT 对 10MWT 和 WISCI II 变化的总贡献率分别为 62.5% 和 64.1%。**结论** 早期腰段不完全脊髓损伤患者的膝关节屈肌群的肌力与其 10MWT 和 WISCI II 有显著相关性, 膝关节屈伸肌群肌力可在一定程度上预测早期腰段不完全脊髓损伤患者的早期步行功能。

【关键词】 不完全脊髓损伤; 肌力; 步速; 脊髓损伤步行指数

基金项目: 国家自然科学基金项目(82060419); 贵州省科学技术厅基金项目(黔科合同 LG 字[2012]037 号); 贵州省卫生健康委科学技术基金项目(gzwmkj2011-1-103, gzwjkj2019-1-155)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.11.006

The relationship between knee muscle strength and walking ability after incomplete lumbar spinal cord injury

Chen Yan, Wu Shuang, Wang Zhitao, Tian Xinyuan, Huang Pu

Department of Rehabilitation Medicine, The Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang 550004, China

Corresponding author: Wu Shuang, Email: wus212@sina.com

【Abstract】 Objective To explore any correlation between knee muscle strength and walking ability after an incomplete lumbar spinal cord injury and the factors influencing walking ability. **Methods** Twenty-seven persons with an incomplete lumbar spinal cord injury were tested. Their bilateral quadriceps and hamstring muscle strength and peak torque during knee extension and flexion were assessed. They completed the 10m walking time test (10MWT) and each person's WISCI II spinal cord injury walking index was evaluated. Spearman correlations among the data were computed and stepwise regression was used to analyze the factors significantly influencing the 10MWT and WISCI II results. **Results** The average hamstring strength was significantly negatively correlated with the 10MWT times and WISCI II ratings. Hamstring torque also was negatively correlated with the 10MWT times, but positively correlated with the WISCI II ratings. The 10MWT times and WISCI II ratings were significantly inter-correlated. Hamstring strength was the best predictor of 10MWT times (accounting for 63% of the variance) and WISCI II ratings (64%), but quadriceps strength was also a secondary predictor. **Conclusions** Knee muscle strength is a useful predictor of 10MWT times and WISCI II ratings after incomplete lumbar spinal cord injury. It can predict early walking ability to some extent.

【Key words】 Spinal cord injury; Muscle strength; Walking speed; Walking Index for Spinal Cord Injury II

Funding: China National Natural Science Foundation (82060419); Project of the Department of Science and Technology of Guizhou Province ([2012] 037); Guizhou Provincial Health Technology Project (gzwmkj2011-1-103, gzwjkj2019-1-155)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.11.006

脊髓损伤会致使患者损伤平面以下的感觉运动功能受损,包括肌力下降、肌肉萎缩和本体感觉下降等,是导致其步行功能障碍的主要原因,而步行功能的恢复是脊髓损伤后康复治疗的重点^[1-2]。腰段脊髓损伤较颈胸段脊髓损伤有更多的神经功能保留,如何获得更佳的步行功能,甚至完成社区性步行是医患共同关注的焦点^[3]。

多项研究指出,不完全脊髓损伤患者的步行功能与其下肢肌力和步速有较高的相关性^[4-7],但此类研究主要限于颈胸段的不完全脊髓损伤,针对腰段不完全的脊髓损伤患者步行功能的影响因素研究较少,其肌力对步行功能的影响程度也尚无一致的结论。本研究旨在分析腰段不完全脊髓损伤患者的下肢肌力与步行功能的关系,以期为临床优化脊髓损伤的康复训练方案提供依据。

对象与方法

一、研究对象

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)脊髓损伤分级^[8]C~D 级;②脊髓损伤平面均为 L₁₋₃ 水平;③年龄 18~60 岁,伴有下肢运动功能障碍;④病程≤3 个月,能完成 10 m 步行测试;⑤均签署知情同意书。

排除标准:①有严重的重要脏器疾病或胸腹腔脏器损伤者;②有严重身体畸形或截肢者;③有严重意识、认知障碍或精神病患者;④伴有四肢骨折者;⑤合并深静脉血栓者。

选择 2012 年 4 月至 2015 年 6 月在贵州医科大学附属医院急诊科、骨科和康复医学科住院且符合上述标准的腰段不完全脊髓损伤患者 27 例,其中男 16 例,女 11 例;年龄 23~58 岁,平均年龄(38.19±10.15)岁;病程 23~58 d,平均病程(41.81±8.67)d;L₁ 平面脊髓损伤 18 例,L₂ 平面脊髓损伤 9 例;ASIA 脊髓损伤分级,C 级 13 例,D 级 14 例。本研究获贵州医科大学附属医院伦理委员会批准[批准文号 2012 伦审第(20)号]。

二、研究方法

对 27 例患者分别进行膝关节肌群徒手肌力评定、等速肌力测试、10 m 步行时间测试和脊髓损伤步行指数评定,均由一名经培训的资深康复治疗师按双盲法进行评估,测试前 24 h 内患者未接受高强度运动治疗。

1.徒手肌力评定(manual muscle testing, MMT):采用徒手肌力评定法,受试者取特定体位,分别在消除重力、抵抗重力和徒手抗阻力的情况下进行评估,MMT 测试将肌力分为 0、1、2、3、4、5 共 6 个等级^[9]。测试肌群选择股四头肌和腘绳肌。

2.等速肌力测试:受试者取屈髋、屈膝 90°坐于等速测试椅上,肩部用仪器配备的绑带固定,并穿过腰部以保证躯干稳定^[10],小腿远端与绑带固定。测试时让患者双手抱于胸前,避免产生代偿动作^[10-11]。于正式测试前进行 3~5 次预测试,保证患者熟悉测试方法。测试中适当给予鼓励性指令,以提高患者用力的兴奋性,从而获得最大肌力。测试肌群为双侧股四头肌(quadriceps femoris, QF)和腘绳肌(hamstring, H),测试角速度 60°/s,每个肌肉均测试 3 次,每次测试间隔 1 min,取 3 次测试中峰力矩(peak torque, PT)的平均值作为检测指标^[12]。

3.10 m 步行时间(10 meter walk test, 10MWT):在平地上划出 10 m 长的测试距离,让患者以最快的速度步行通过 10 m 距离,记录耗时^[13]。

4.脊髓损伤步行指数(walking index for spinal cord injury II, WISCI II):以测定患者步行 10 m 所需要的辅助程度为评估依据,将脊髓损伤患者步行能力分为 21 个级别,从 0 级(无站立和步行能力)到 20 级(无任何帮助下独立步行 10 m 以上),级别越高,步行能力越强^[14]。

三、统计学方法

采用 SPSS 22.0 版统计学软件对本研究所得数据进行分析。计量资料以($\bar{x}\pm s$)表示。用 Spearman 相关分析方法确定股四头肌 MMT、腘绳肌 MMT、股四头肌 PT、腘绳肌 PT 与 10MWT 和 WISCI II 的相关性。用逐步回归分析法分析与 10MWT 和 WISCI II 的影响因素。以 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

结 果

一、所有受试者功能评估

股四头肌和腘绳肌的 MMT、PT 以及 10MWT 和 WISCI II 评估结果见表 1。

表 1 27 例受试者的评估资料

评估项目	均数	标准差	范围(所得数据的最小值~最大值)
股四头肌 MMT(级)	3.4	0.5	3~4
腘绳肌 MMT(级)	3.6	0.5	3~4
股四头肌 PT(N·M)	28.6	11.7	12~53
腘绳肌 PT(N·M)	22.3	10.1	8.3~32.7
10MWT(s)	214.0	166.5	17~360
WISCI II(级)	5.8	5.5	2~15

二、相关性分析

经相关性分析,腘绳肌 MMT 与 10MWT 呈显著负相关($r=-0.703, P<0.01$),与 WISCI II 呈显著正相关($r=0.713, P<0.01$);腘绳肌 PT 与 10MWT 呈中等负相关($r=-0.413, P<0.05$),与 WISCI II 呈中度正相关

($r=0.433, P<0.05$), 见表 2。对 10MWT 和 WISCI II 进行相关性分析, 结果显示, 两者呈强负相关 ($r=-0.986, P<0.01$)。

表 2 膝关节肌群徒手 MMT 和 PT 与 10MWT 和 WISCI II 的相关性分析

项目	10MWT		WISCI II	
	相关系数 r	P 值	相关系数 r	P 值
股四头肌 MMT	-0.295	0.135	0.363	0.063
腓绳肌 MMT	-0.703	0.000	0.713	0.000
股四头肌 PT	-0.195	0.329	0.295	0.136
腓绳肌 PT	-0.413	0.032	0.433	0.024

三、回归分析

通过逐步回归分析建立模型, 腓绳肌 MMT 是影响 10MWT 和 WISCI II 的最主要因素 (r^2 分别为 0.549 和 0.536), 股四头肌 MMT 是影响 10MWT 和 WISCI II 的次要因素。腓绳肌和股四头肌的 MMT 值对 10MWT 和 WISCI II 变化的总贡献率分别为 62.5% 和 64.1%。

讨 论

本研究发现, 腓绳肌 MMT 与 10MWT 和 WISCI II 均呈强相关, 腓绳肌 PT 与 10MWT 和 WISCI II 呈中度相关, 该结果提示, 腓绳肌肌力与 10MWT 和 WISCI II 密切相关。逐步回归分析显示, 腓绳肌 MMT 是影响 10MWT 和 WISCI II 的最主要因素, 腓绳肌和股四头肌的 MMT 值对 10MWT 和 WISCI II 变化的总贡献率分别为 62.5% 和 64.1%, 表明早期腰段不完全脊髓损伤患者膝关节肌群的肌力可在一定程度上预测其完成 10 m 步行测试所需时间 (即步速), 以及对支具的需求或对他人的依赖程度。

正常的步行是双侧髋、膝、踝关节联合肩部、骨盆规律化、协调性的模式化运动过程^[15]。L₁~L₃ 节段脊髓损伤, 且 ASIA 分级 C 级或 D 级的患者其髂腰肌肌力多在 3 级以上, 踝关节肌力可由踝足支具的被动背屈辅助力矩代偿^[16], 故本研究选择膝关节肌群为观察对象, 探讨膝关节肌群肌力对早期腰段不完全脊髓损伤步行能力的影响。

多项研究提出, 髋关节屈伸和外展肌群是影响其步行功能的主要因素^[4-7, 17-18], 这与本研究的结论不一致。本课题组认为, 不一致的原因可能与脊髓损伤节段、病程和步行评估方法的选择等不同有关。以往研究的观察对象多为发病一年以上的慢性期患者 (病程 1.1 年~10.5 年), 神经损伤平面为颈胸段 (C₃~T₁₀), 多选用 6 min 步行距离测试和是否可以完成社区性步行来评估其步行能力^[4-7, 17-19]。6 min 步行距离测试和社区性步行能力评估侧重于评估心肺功能和步行耐

力^[20-24], 对步速和耐力的要求较高^[25], 而髋关节屈伸和外展肌群对控制前进过程中的重心稳定和骨盆控制具有重要作用。本研究的观察对象是病程 3 个月内的腰段不完全脊髓损伤患者, 该病程的患者多不能完成 6 min 步行测试和社区性步行。

本课题组认为, WISCI II 可用于早期脊髓损伤患者步行能力的评估, 但是不能反映步速^[26-27], 而 10MWT 是反映步行能力的重要指标, 与功能独立性、生活依赖程度、功能预后和康复的有效性相关^[29-30]。因此, 本研究将 10MWT 和 WISCI II 相结合, 旨在较好地体现早期腰段不完全脊髓损伤患者的步行功能, 研究结果也表明, 10MWT 与 WISCI II 有密切的相关性 ($r=-0.986$)。

早期腰段不完全脊髓损伤患者踝关节肌群肌力多在 2 级及以下, 需要佩戴踝足支具以稳定踝关节^[16]; 同时其膝关节屈伸肌群肌力常有不同程度的下降, 且屈膝肌力较伸膝肌力低, 在步行过程中, 膝关节屈伸肌群的协调性也显著下降^[34-35]。本研究分析发现, 腰段不完全脊髓损伤患者的屈膝肌群肌力与其 10MWT 和 WISCI II 密切相关, 即屈膝肌群肌力越强, 10MWT 和 WISCI II 也越高, 这与正常步态周期下膝关节肌群的作用不一致^[31-33]。本研究通过逐步回归分析发现, 早期腰段不完全脊髓损伤患者的膝关节屈膝肌群肌力是影响其 10MWT 和 WISCI II 的主要因素, 伸膝肌群肌力是次要因素; 同时腓绳肌和股四头肌的 MMT 值对 10MWT 和 WISCI II 变化的总贡献率分别为 62.5% 和 64.1%, 提示, 膝关节屈伸肌群肌力可在一定程度上预测早期腰段不完全脊髓损伤患者的步行能力。

本研究尚有不足之处, 主要是样本量较少, 未对入选患者双侧下肢肌力进行对比。今后拟扩大样本量、增加观察指标以进一步验证回归分析结果的可靠性。此外, 本课题组还将以加强膝关节肌群肌力训练为策略, 观察膝关节肌群肌力的改善与步行能力的相关性, 为今后优化早期腰段不完全脊髓损伤患者的康复方案提供依据。

参 考 文 献

- [1] Lundell LS, Savikj M, Kostovski E, et al. Protein translation, proteolysis and autophagy in human skeletal muscle atrophy after spinal cord injury [J]. Acta Physiol, 2018, 223(3): e13051. DOI: 10.1111/apha.13051.
- [2] Dambreville C, de Fontenay BP, Blanchette AK, et al. Ankle proprioception during gait in individuals with incomplete spinal cord injury [J]. Physiol Rep, 2019, 7(24): e14328. DOI: 10.14814/phy2.14328.
- [3] Hong EK, Gorman PH, Forrest GF, et al. Mobility skills with exoskeletal-assisted walking in persons with SCI: results from a three center randomized clinical trial [J]. Front Robot AI, 2020, 7: 93. DOI: 10.

- 3389/frobt.2020.00093.
- [4] Stevens SL, Fuller DK, Morgan DW. 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. DOI: 10.1310/sci1901-47.
 - [5] Nipiro ND, Holthaus KD, Morgan PJ, et al. Lowe extremity strength is correlated with walking function after incomplete SCI[J]. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 2015, 21(2): 133-139. DOI: 10.1310/sci2102-133.
 - [6] Wirz M, van Hedel HJA. Balance, gait, and falls in spinal cord injury[J]. *Handb Clin Neurol*, 2018, 159: 367-384. DOI: 10.1016/B978-0-444-63916-5.00024-0.
 - [7] Stevens SL, Caputo JL, Fuller DK, et al. Effects of underwater treadmill training on leg strength, balance, and walking performance in adults with incomplete spinal cord injury[J]. *J Spinal Cord Med*, 2015, 38(1): 91-101. DOI: 10.1179/2045772314Y.0000000217.
 - [8] Kirshblum SC, Burns SP, 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. DOI: 10.1179/204577211X13207446293695.
 - [9] Conable KM, Rosner AL. A narrative review of manual muscle testing and implications for muscle testing research[J]. *J Chiropr Med*, 2011, 10(3): 157-165. DOI: 10.1016/j.jcm.2011.04.001.
 - [10] Chu VW, Hornby TG, Schmit BD. Effect of antispastic drugs on motor reflexes and voluntary muscle contraction in incomplete spinal cord injury[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2014, 95(4): 622-632. DOI: 10.1016/j.apmr.2013.11.001.
 - [11] Duarte JP, Valente-Dos-Santos J, Coelho-E-Silva MJ, et al. Reproducibility of isokinetic strength assessment of knee muscle actions in adult athletes: Torques and antagonist-agonist ratios derived at the same angle position[J]. *PLoS One*, 2018, 13(8): e0202261. DOI: 10.1371/journal.pone.0202261.
 - [12] Chen CL, Chang KJ, Wu PY, et al. Comparison of the effects between isokinetic and isotonic strength training in subacute stroke patients[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2015, 24(6): 1317-1323. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2015.02.002.
 - [13] Stone WJ, Stevens SL, Fuller DK, et al. Ambulation and physical function after eccentric resistance training in adults with incomplete spinal cord injury: a feasibility study[J]. *J Spinal Cord Med*, 2019, 42(4): 526-533. DOI: 10.1080/10790268.2017.1417804.
 - [14] Calhoun TC, Sadowsky C, Vogel LC, et al. Evaluation of the Walking Index for Spinal Cord Injury II (WISCI-II) in children with spinal cord injury (SCI)[J]. *Spinal Cord*, 2017, 55(5): 478-482. DOI: 10.1038/sc.2016.142.
 - [15] Simonsen EB. Contributions to the understanding of gait control[J]. *Dan Med J*, 2014, 61(4): B4823.
 - [16] Arazpour M, Tajik HR, Aminian G, et al. Comparison of the effects of solid versus hinged ankle foot orthoses on select temporal gait parameters in patients with incomplete spinal cord injury during treadmill walking[J]. *Prosthet Orthot Int*, 2013, 37(1): 70-75. DOI: 10.1177/0309364612448511.
 - [17] 张伟, 席建明, 张斌, 等. 髋关节外展肌强化训练对脊髓损伤患者步行能力的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2016, 38(7): 545-546. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2016.07.017.
 - [18] Manella C, Backus D. Gait characteristics, range of motion, and spasticity changes in response to massage in a person with incomplete spinal cord injury: case report[J]. *Int J Ther Massage Bodywork*, 2011, 4(1): 28-39. DOI: 10.3822/ijtm.v4i1.108.
 - [19] Wouda MF, Lundgaard E, Becker F, et al. Effects of moderate- and high-intensity aerobic training program in ambulatory subjects with incomplete spinal cord injury-a randomized controlled trial[J]. *Spinal Cord*, 2018, 56(10): 955-963. DOI: 10.1038/s41393-018-0140-9.
 - [20] Agarwala P, Salzman SH. Six-minute walk test: clinical role, technique, coding and reimbursement[J]. *Chest*, 2020, 157(3): 603-611. DOI: 10.1016/j.chest.2019.10.014.
 - [21] Mylius CF, Paap D, Takken T. Reference value for the 6-minute walk test in children and adolescents: a systematic review[J]. *Expert Rev Resp Med*, 2016, 10(12): 1335-1352. DOI: 10.1080/17476348.2016.1258305.
 - [22] Chan K, Guy K, Shah G, et al. Retrospective assessment of the validity and use of the community balance and mobility scale among individuals with subacute spinal cord injury[J]. *Spinal Cord*, 2017, 55(3): 294-299. DOI: 10.1038/sc.2016.140.
 - [23] Hasegawa T, Uchiyama Y, Uemura K, et al. Physical impairment and walking function required for community ambulation in patients with cervical incomplete spinal cord injury[J]. *Spinal Cord*, 2014, 52(5): 396-399. DOI: 10.1038/sc.2014.18.
 - [24] Jackson AB, Carnel CT, Ditunno JF, et al. Outcome measures for gait and ambulation in the spinal cord injury population.[J]. *J Spinal Cord Med*, 2008, 31(5): 487-499. DOI: 10.1080/10790268.2008.11753644.
 - [25] Kumprou M, Amatachaya P, Sooknuan T, et al. Do ambulatory patients with spinal cord injury walk symmetrically[J]? *Spinal Cord*, 2017, 55(2): 204-207. DOI: 10.1038/sc.2016.149.
 - [26] Kahn JH, Ohlendorf A, Olsen A, et al. Reliability and validity of the functional gait assessment in incomplete spinal cord injury[J]. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 2020, 26(4): 268-274. DOI: 10.46292/sci19-00069.
 - [27] Giorgio S, Giulia G, Torre M, et al. The overlooked outcome measure for spinal cord injury: Use of assistive devices.[J]. *Front Neurol*, 2019, 10: 272. DOI: 10.3389/fneur.2019.00272.
 - [28] Amatachaya S, Naewla S, Srisim K, et al. Concurrent validity of the 10-meter walk test as compared with the 6-minute walk test in patients with spinal cord injury at various levels of ability[J]. *Spinal Cord*, 2014, 52(4): 333-6. DOI: 10.1038/sc.2013.171.
 - [29] Fritz S, Lusardi M. White paper: "walking speed: the six vital sign"[J]. *J Geriatr Phys Ther*, 2009, 32(2): 46-49.
 - [30] Middleton A, Fritz SL, Lusardi M. Walking speed: the functional vital sign[J]. *J Aging Phys Act*, 2015, 23(2): 314-322. DOI: 10.1123/japa.2013-0236.
 - [31] Mirelman A, Shema S, Maidan I. Gait[J]. *Handb Clin Neurol*, 2018, 159: 119-134. DOI: 10.1016/B978-0-444-63916-5.00007-0.
 - [32] Haddas R, Ju KL, Belanger T, et al. The use of gait analysis in the assessment of patients afflicted with spinal disorders[J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(8): 1712-1723. DOI: 10.1007/s00586-018-5569-1.
 - [33] Ranisavljev I, Ilic V, Markovic S, et al. The relationship between hip, knee and ankle muscle mechanical characteristics and gait transition speed[J]. *Hum Mov Sci*, 2014, 38: 47-57. DOI: 10.1016/j.humov.2014.08.006.
 - [34] Kim CM, Eng JJ, Whittaker MW. Effects of a simple functional electric system and/or a hinged ankle-foot orthosis on walking in persons with incomplete spinal cord injury[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2004, 85(10): 1718-23. DOI: 10.1016/j.apmr.2004.02.015.
 - [35] Duerinck S, Swinnen E, Beyl P, et al. The added value of an actuated ankle-foot orthosis to restore normal gait function in patients with spinal cord injury: a systematic review[J]. *J Rehabil Med*, 2012, 44(4): 299-309. DOI: 10.2340/16501977-0958.

(修回日期: 2021-10-11)

(本文编辑: 阮仕衡)