

· 临床研究 ·

步行矫形器对腰 2 节段 A-B 级脊髓损伤患者步行能力的影响

石芝喜 黄凯荣 刘明检

广东省工伤康复医院物理治疗科, 广州 510440

通信作者: 石芝喜, Email: szx2233@163.com

【摘要】 目的 观察穿戴膝踝足矫形器(KAFO)和截瘫步行矫形器(WO)对腰 2 节段 A-B 级脊髓损伤步行能力及生理消耗指数(PCI)的影响。**方法** 纳入 30 例腰 2 节段 A-B 级脊髓损伤患者, 年龄 20~45 岁, 根据患者穿戴的步行矫形器不同, 按随机数字表法分为 KAFO 组(穿戴 KAFO)和 WO 组(穿戴 WO), 每组 15 例, 2 组患者均行常规康复治疗, 包括肌肉力量训练、关节活动度维持训练、站立床训练、平衡训练、坐位下重心转移训练、日常生活活动训练以及电疗和针灸等。在穿戴步行矫形器后, KAFO 组及 WO 组患者穿戴相应的步行矫形器进行步行训练, 每日训练 60 min, 每周 6 d, 共 12 周; 并对比 2 组患者穿戴不同步行矫形器第 2 周和第 12 周后的步长、步速、步频、10 m 步行时间、6 min 步行距离及 PCI。**结果** 经常规康复治疗后, KAFO 组和 WO 组患者在穿戴不同步行矫形器步行训练第 12 周后的步长[(43.45±12.33)和(46.21±11.45)cm]、步速[(44.74±10.32)和(50.18±9.56)cm/s]、步频[(45.29±14.11)和(48.14±15.32)步/min]、10 m 步行时间[(20.89±19.22)和(17.33±18.26)s]、6 min 步行距离[(391.12±100.89)和(480.56±108.12)m]及 PCI[(0.89±0.86)和(0.50±0.53)次/m]较训练第 2 周后的步长[(40.12±15.11)和(45.65±13.12)cm]、步速[(36.74±11.29)和(39.12±12.35)cm/s]、步频[(42.34±14.23)和(44.58±13.87)步/min]、10 m 步行时间[(27.14±18.15)和(25.02±17.19)s]、6 min 步行距离[(350.15±110.23)和(430.10±99.23)m]、PCI[(1.67±0.72)和(0.91±0.81)次/m]均有明显改善。组内比较, 除 WO 组的步长差异无统计学意义($P>0.05$)外, 2 组患者的上述各项观察指标组内差异均有统计学意义($P<0.05$); 而且 2 组患者在穿戴步行矫形器的同时时间点上述各项观察指标组间比较, 差异均有统计学意义($P<0.05$)。**结论** KAFO 和 WO 两种步行矫形器对腰 2 节段 A-B 级脊髓损伤的步行参数、步行能力及 PCI 均有明显改善作用, 且 WO 较 KAFO 更具有优势。

【关键词】 脊髓损伤; 步行矫形器; 膝踝足矫形器; 截瘫步行矫形器

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.06.005

Effects of a walking orthosis on the walking ability of patients with spinal cord injury at L₂

Shi Zhixi, Huang Kairong, Liu Mingjian

Department of Rehabilitation Medicine, Guangdong Work-related Injury Rehabilitation Hospital, Guangzhou 510440, China

Corresponding author: Shi Zhixi, Email: szx2233@163.com

【Abstract】 Objective To compare the effect of a knee-ankle-foot orthosis (KAFO) and a paraplegic walking orthosis (WO) on the walking ability and the physiological cost index (PCI) of persons suffering from AIS A-B spinal cord injury (SCI) at the L₂ level. **Methods** Thirty subjects with AIS A-B SCI at L₂, aged 20 to 45, were assigned randomly into a KAFO group ($n=15$) or a WO group ($n=15$). All received muscle strength, range of motion, standing, balance and weight shifting training and training in the activities of daily life. Electrotherapy and acupuncture were also administered. Both groups underwent 60 minutes of walking training 6 times per week for 12 weeks, wearing either a KAFO or a WO. Step length, gait speed, step frequency, 10-metre walk time, 6-minute walk distance and PCI were compared after 2 and 12 weeks. **Results** The average step length, gait speed, step frequency, 10-metre walk time, 6-minute walk distance and PCI of both groups had improved significantly between the 2-week and 12-week evaluations, with significantly greater average improvement among the WO group at both time points. **Conclusion** A WO or KAFO facilitates better walking after an AIS A-B spinal cord injury at L₂. Wearing a WO is more effective than wearing a KAFO, on average.

【Key words】 Walking; Knee-ankle-foot orthoses; Spinal cord injury at L₂; Walking orthoses

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.06.005

近年来,外伤性脊髓损伤的发生率有所增长,而腰段的脊髓损伤也较为常见,腰 2 节段完全性脊髓损伤在腰段脊髓损伤占有一定的比例。腰 2 节段 A-B 级脊髓损伤患者的主要功能特点为双下肢损伤平面以下肌群(如股四头肌、小腿三头肌、胫前肌、腓绳肌等)肌肉力量缺失,但患者残留有比较好的屈髋功能,且双上肢及躯干肌群肌力保留完好。一般情况下,此类患者在常规康复治疗后,会穿戴截瘫步行矫形器(walkabout orthosis, WO)或膝踝足矫形器(knee ankle foot orthosis, KAFO)等方面的步行矫形器,而 WO 的结构是在 KAFO 的基础上增加了助动的连接,有一定的助动功能。本研究旨在探索腰 2 节段 A-B 级脊髓损伤患者在常规康复治疗后穿戴 WO 或 KAFO 两种不同矫形器对其步长、步速、步频、10 m 步行时间、6 min 步行距离及其生理消耗指数(physiological cost index, PCI)的影响。

对象与方法

一、研究对象及分组

入选标准:按 2011 年修订版的美国脊柱损伤协会(American Spinal Injury Association, ASIA)标准^[1]诊断为腰 2 节段 A-B 级脊髓损伤,所有病例均经 CT 或 MRI 检查诊断为脊髓损伤,同时须满足以下条件:①内固定后脊柱稳定性良好;②年龄 20~45 岁;③病程<6 个月;④双下肢各肌群肌张力改良 Ashworth 分级≤2 级;⑤自愿且能够在指导下完成步行矫形器穿戴及步行训练;⑥签署知情同意书。

排除标准:①合并颅脑损伤;②无法配合治疗;③严重骨质疏松;④双下肢存在不稳定性骨折及髋关节对位不对称;⑤双下肢不等长且真性长度相差>2 cm;⑥不可控制的高血压;⑦新近的下肢深静脉血栓;⑧近期心肌梗死;⑨出血倾向性疾病;⑩不可逆性关节活动度受限。

选取 2018 年 1 月至 2019 年 4 月广东省工伤康复医院脊髓损伤康复科收治且符合上述标准的腰 2 节段 A-B 级脊髓损伤患者 30 例,其中男 23 例,女 7 例,年龄 20~45 岁,双上肢及躯干功能情况良好。按随机数字表法将纳入的 30 例患者分为 KAFO 组(KAFO 训练)和 WO 组(WO 训练),每组 15 例,2 组患者的性别、平均年龄、平均病程及功能情况等经统计学分析比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性详见表 1。本研究获广东省工伤康复医院医学伦理委员会审查批准(AF/SC-07/2017.22)。

二、康复训练方案

1.矫形器穿戴前:2 组患者均行常规康复治疗,包括肌肉力量训练、关节活动度维持训练、站立床训练、平衡训练、坐位下重心转移训练及日常生活活动训练,以及电疗和针灸等。

肌肉力量训练:主要采用医学训练式治疗方式、悬吊减重(肌力不足 3 级时使用)等,进行针对双上肢各肌群(特别是与支撑相关肌群)、背阔肌、腹肌(腹直及腹内、外斜肌)、腰方肌、屈髋肌群及髋外展残存肌群肌力等。

关节活动度维持训练:指导患者自主进行双下肢被动运动训练,重点关注踝关节背屈中立位、膝关节伸直位及髋关节后伸位的维持,如有挛缩出现,则采用牵伸技术。特别需注意的是,后期不管是穿戴 WO 还是 KAFO,都需要伸髋被动关节保持 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 的活动度,才完成推离期的迈步。

平衡训练:早期主要是长腿坐位及端腿坐位平衡的训练,训练坐位下躯干的控制及重心移动,如患者无明显的体位低血压,则使用瘫痪站立平衡训练仪,让患者在站立位进行躯干的控制及重心移动训练,重点加强重心左右移动训练,为后期使用步行矫形器做准备。

2.矫形器穿戴后:KAFO 组装配 KAFO, WO 组给予装配 WO,此期的训练 2 组均以矫形器穿戴后的步行训练为主。在患者 WO 或 KAFO 穿戴后,先进行 2~3 d 的平行杠内站立训练,以适应矫形器;当站立适应后,再行单侧迈步至双侧交替迈步及重心转移训练;当患者完成上述训练后,再进行平行杠内的短距离步行训练,最后过渡至步行架以及肘拐的室内治疗性步行训练。

WO 的结构^[4]是由 2 个部分组成,第一部分是互动式铰链装置,是整个步行矫形器的关键部分,它主要是通过重力势能提供交替迈步的动力,而互动式铰链装置还可以避免患者在步行过程中出现双下肢的磕碰;第二部分则是 KAFO 部分,是完全性脊髓损伤实现站立支撑的重要部分,必须根据患者腿型取模定制。WO 步行助动的原理类似于钟摆工作的原理,当患者步行转移重心时,利用互动式铰链装置来实现双下肢交替的被动向前移动^[5]。

在 WO 或 KAFO 制作完毕后,需要检查步行矫形器与患者的适配状况,关节的中心(如膝、踝关节)是否与步行矫形器的关节处等高,矫形器的关节生物力学中心垂线是否对线,骨突部位(如内外踝、坐骨结节及腓骨小头等)是否受压。

表 1 2 组患者的一般临床资料

组别	例数	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	平均病程 (月, $\bar{x}\pm s$)	ASIA 分级(例)	
		男	女			A 级	B 级
KAFO 组	15	11	4	31±10.12	5.1±1.56	11	4
WO 组	15	12	3	32±11.05	4.8±2.12	12	3

三、功能评估

每例患者在入组时由同一位物理治疗师进行 ASIA、肌肉力量、肌痉挛、关节活动度及转移能力等方面的功能评估,并于步行矫形器穿戴训练 2 周及 12 周后对 2 组患者的步行运动学参数(步长、步速、步频)、步行能力(10 m 步行时间、6 min 步行距离)以及 PCI 进行测评。

PCI 的测量方法^[2]:让患者保持坐位下安静状态 3 min 后,测定安静状态下的心率;然后让患者在穿戴矫形器的状态下尽可能以最快步行状态在平地上持续步行 3 min,记录步行 3 min 后患者所行走的距离及其心率,计算出 3 min 步行速度,在每次测试的间隔,要求在评测后患者的心率必须恢复到安静状态下的心率再休息 3 min 以上,再进行下一次的测量,最后通过公式分别计算出患者的 PCI,其计算公式^[3]如下:

$$PCI = \frac{\text{步行 3 min 后心率} - \text{静息心率} (\text{次/分钟})}{\text{步行速度} (\text{m/min})}$$

四、统计学方法

使用 SPSS 19.0 版统计软件包进行数据的统计学分析处理,计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示,计数资料比较采用 χ^2 检验。2 组的组内训练前后比较采用配对 t 检验,组间的比较采用独立样本 t 检验, $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

结 果

一、2 组患者穿戴步行矫形器后的步行运动学参数比较

在步长方面,KAFO 组患者穿戴步行矫形器训练 12 周后的步长优于穿戴 2 周后($P < 0.05$),而 WO 组的组内比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);但在穿戴步行矫形器训练 2 周后和穿戴 12 周后,WO 组患者的步长均优于 KAFO 组,组间比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。在步速和步频方面,2 组患者穿戴步行矫形器 12 周与穿戴 2 周后组内比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$),而组间比较,差异亦有统计学意义($P < 0.05$)。详见表 2。

表 2 2 组患者穿戴步行矫形器训练后的步行运动学参数比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	步长 (cm)	步速 (cm/s)	步频 (步/min)
KAFO 组				
训练 2 周后	15	40.12±15.11	36.74±11.29	42.34±14.23
训练 12 周后	15	43.45±12.33 ^a	44.74±10.32 ^a	45.29±14.11 ^a
WO 组				
训练 2 周后	15	45.65±13.12 ^b	39.12±12.35 ^b	44.58±13.87 ^b
训练 12 周后	15	46.21±11.45 ^b	50.18±9.56 ^{ab}	48.14±15.32 ^{ab}

注:与穿戴 2 周后组内比较,^a $P < 0.05$;与 KAFO 组穿戴同时间点组间比较,^b $P < 0.05$

二、2 组患者穿戴步行矫形器后的步行能力方面及 PCI 比较

在步行能力方面,2 组患者的 10 m 步行时间和 6 min 步行距离组内比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$);2 组穿戴步行矫形器 2 周后和穿戴 12 周后的组间比较,差异亦有统计学意义($P < 0.05$)。在 PCI 方面,2 组患者穿戴步行矫形器 12 周后的 PCI 均明显少于穿戴 2 周后($P < 0.05$),组间比较,差异也有统计学意义($P < 0.05$)。详见表 3。

表 3 2 组患者穿戴步行矫形器后的步行能力及 PCI 比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	10 m 步行时间 (s)	6 min 步行距离 (m)	PCI (次/m)
KAFO 组				
训练 2 周后	15	27.14±18.15	350.15±110.23	1.67±0.72
训练 12 周后	15	20.89±19.22 ^a	391.12±100.89 ^a	0.89±0.86 ^a
WO 组				
训练 2 周后	15	25.02±17.19 ^b	430.10±99.23 ^b	0.91±0.81 ^b
训练 12 周后	15	17.33±18.26 ^{ab}	480.56±108.12 ^{ab}	0.50±0.53 ^{ab}

注:与穿戴 2 周后组内比较,^a $P < 0.05$;与 KAFO 组穿戴同时间点组间比较,^b $P < 0.05$

讨 论

随着我国经济水平的发展,工伤、交通事故等外伤性脊髓损伤发病率仍较高,年发病率约为 23/100 万,其中四肢瘫患者约占 71.5%,截瘫患者占 28.5%^[6-7]。而脊髓损伤后,不仅制动关节的肌肉会出现萎缩,损伤平面及以上的肌肉也会出现萎缩^[8],且萎缩程度可达 18%~46%^[9]。对于下腰段脊髓损伤患者来讲,步行功能的重建也是脊髓损伤康复的首要任务之一。步行矫形器的应用,可以提高患者的步行功能,而步行功能的改善,也一定程度使患者双上肢、躯干及残存各肌群肌力得到训练及强化。值得一提的是,脊髓损伤患者穿戴矫形器后,对患者的心理及生理功能均有积极的促进作用,如改善消化系统功能、心肺功能、减少骨质疏松症、减少尿道钙化及泌尿系统感染等。

本研究中,在步长方面,KAFO 组穿戴 2 周后与穿戴 12 周后组内差异有统计学意义($P < 0.05$),而 WO 组穿戴 2 周后与穿戴 12 周后组内比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),这种情况可能与 Walkabout 本身的特点有关系,因为 Walkabout 的钟摆式迈步与会阴部的互动式铰链装置有关,且双侧迈步时的步长也基本一致,而 KAFO 则取决于双下肢屈髋肌群等肌肉的力量、着地时落点的控制及肢体的位置觉等因素;在步速、步频、10 m 步行时间及 6 min 步行距离等步行能力参数方面,2 组患者在穿戴 2 周后及穿戴 12 周后组内差异有统计学意义($P < 0.05$),且 2 组患者穿戴同时间点组

间比较,差异亦有统计学意义($P<0.05$)。

截瘫步行矫形的临床应用,患者步行时的稳定性也直接影响其步行效率,特别是对步行时空参数的影响。KAFO 稳定性的提供主要来自如下几点:①在膝关节处,站立时矫形器膝关节的自动锁定提供了刚性强有力的支撑,对于腰 2 节段 A-B 级脊髓损伤患者,股四头肌肌力大多数情况下为 0 级,少数在 1~2 级之间,不足以支撑其站立及步行,所以,KAFO 膝部强有力的支撑显得尤为重要;②在髋关节处,站立时通过髋关节的后伸被动“锁定”来维持髋关节矢状面的稳定性,而这种稳定性的维持与关节本身前部强有力的韧带(如髂股韧带和关节囊韧带)维持有关,保持站立时关节的静态稳定;③在踝关节处,矫形器的踝关节处有约 $5^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 的背伸,这 $5^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 的背伸可以使患者在站立时身体重心在地面投射点落在足前部,而躯干为了保持稳定性使重心落在髋关节的后部,从而在站立时,在这 2 个重心点的控制及维持下保持平衡。而 Walkabout 不仅有上述 KAFO 在保持平衡的特点外,因其在会阴部有互动式铰链装置连接两侧 KAFO,使双侧 KAFO 变成了一个整体,再加上会阴部互动式铰链装置为倒“V”字型设计,使其步宽固定且较大,双下肢基底支撑面增大,增加了站立及步行时的稳定性。这些因素让 Walkabout 在站立或步行时的稳定更优于 KAFO,也可从本研究的步行时空参数及步行能力的表现得到印证。

通过进行强化的站立及步行训练后,还可以降低患者使用矫形器时的能量消耗^[10],这一点与本研究结果类似,在本研究中,KAFO 组和 WO 组患者穿戴康复训练 12 周后的 PCI 较穿戴 2 周后均有明显改善($P<0.05$),且 WO 组改善更为明显,在穿戴同时间点患者 PCI 组间比较,差异有统计学意义($P<0.05$),说明腰 2 节段 A-B 级脊髓损伤患者,运用步行矫形器重建步行能力后,均能降低患者步行时的能量消耗,且 WO 组要优于 KAFO 组。WO 组在 PCI 方面表现整体较 KAFO 组好,可能与其本身在会阴部安装有互动式铰链装置有关,该装置可以将重力势能转变为提供交替迈步的动力,而且还可以避免患者在步行过程中出现双下肢的磕碰;而 KAFO 组患者在迈步时则需要更多发挥双侧屈髋肌群、髋外展肌群及腹部肌群的肌力,也需要在步行过程中控制双侧下肢着地时的落点,避免步行过程中出现双下肢的磕碰,这就需募集更多的肌肉力量去控制,患者则需要更多的能耗。

综上所述,腰 2 节段 A-B 级脊髓损伤患者常用的步行矫形器 WO 及 KAFO 均可改善患者的步行时空参数、步行能力及 PCI 水平,而 WO 在上述方面的改善优于 KAFO。随着科技的进步与发展,电子腿及外骨骼

机器人虽然取得明显的进展及重视,部分也应用于临床治疗,但仍未能完全融入于日常生活活动中,且价格也较为昂贵。在未被患者完全接受之前^[11],价格较低并且一定程度可实现室内外治疗性步行的步行矫形器显然更容易为患者及医务工作者所接受。从本研究中可以看出,WO 较 KAFO 在步行效率、步行能力及稳定性上优于 KAFO,但 KAFO 在穿戴上的便利性及对残存肌群心肺耐力训练的针对性方面也值得进一步的探讨及研究。

参 考 文 献

- [1] 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):963-970. DOI:10.3969/j.issn.10069771.2011.10.009.
- [2] 瓮长水.脑卒中患者步行功能障碍评价[J].中国临床康复,2002,6(13):1869-1871. DOI:10.3321/j.issn:1673-8225.2002.13.002.
- [3] Arazpour M, Gholami M, Bahramizadeh M, et al. The effect of trunk extension on physiological cost index in spinal cord injury patients when using the advanced reciprocating gain orthosis: a pilot study[J]. Prosthet Orthot Int, 2016, 40(6): 696-702. DOI: 10.1177/0309364615592700.
- [4] 石芝喜,刘四文,唐丹,等.四种截瘫步行矫形器在脊髓损伤患者中的应用[J].中国康复医学杂志,2007,22(4):382-384. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2007.04.036.
- [5] Scivoletto G, Peterelli A, Lucente LD, et al. One year follow up of spinal cord injury patients using a reciprocating gait orthosis: preliminary report[J]. Spinal Cord, 2000, 38(9): 555-558. DOI: 10.1038/sj.sc.3101047.
- [6] Ning GZ, Yu TQ, Feng SQ, et al. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Tianjin, China[J]. Spinal Cord, 2011, 49(3): 386-390. DOI:10.1080/10790268.2017.1415418.
- [7] 吴金玲,杜宁,石秀秀,等.截瘫步行器 Walkabout 与 ARGO 对脊髓损伤患者平衡及日常生活能力的干预效果[J].临床与病理杂志,2019,39(11):2496-2500. DOI:10.3978/j.issn.2095-6959.2019.11.025.
- [8] Dudley-Javoroski S, Shields RK. Muscle and bone plasticity after spinal cord injury: review of adaptations of disuse and to electrical muscle stimulation[J]. J Rehabil Res Dev, 2008, 45(2): 283-296. DOI: 10.1682/jrrd.2007.02.0031.
- [9] Giangregorio L, McCartney N. Bone loss and muscle atrophy in spinal cord injury: epidemiology, fracture prediction, and rehabilitation strategies[J]. J Spinal Cord Med, 2006, 29(5): 489-500. DOI:10.1080/10790268.2006.11753898.
- [10] Arazpour M, Gholami M, Bahramizadeh M, et al. Influence of reciprocating link when using an isocentric reciprocating gait orthosis (IRGO) on walking in patients with spinal cord injury: a pilot study[J]. Top Spinal Cord Inj Rehabil, 2017, 23(3): 256-262. DOI:10.1310/sci16-00016.
- [11] 吴宗耀.机器人与截瘫患者的行走康复[J].中华物理医学与康复杂志,2011,33(8):624-629. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2011.08.020.

(修回日期:2021-04-15)

(本文编辑:汪 玲)