

DOI:10.3969/j.issn.1000-9760.2021.06.016

下肢康复机器人对脑卒中偏瘫患者步行功能的影响^{*}

王让让 综述 孟纯阳[△] 审校
(济宁医学院附属医院, 济宁 272029)

摘要 脑卒中是一种致残率极高的疾病,大部分脑卒中患者经过治疗后都存在不同程度的残疾。卒中后患者由于下肢活动能力降低,必然会经历步态障碍阶段,恢复行走能力往往是患者最基本的要求也是主要的康复目标。随着康复医学技术的发展,下肢机器人也更多地运用于步行功能的康复中。本文将对下肢康复机器人及其在步行功能中的应用现状和进展做一综述,以期临床治疗提供参考。

关键词 脑卒中;下肢康复机器人;步行功能

中图分类号:R493 文献标识码:B 文章编号:1000-9760(2021)12-447-05

Research progress on the effect of lower limb rehabilitation robot on walking function in stroke patients with hemiplegia

WANG Rangrang, MENG Chunyang[△]
(The Affiliation Hospital of Jining Medical University, Jining 272029, China)

Abstract: Stroke is a disease with a high rate of disability, and most of the patients with stroke have varying degrees of disability after treatment. Patients with stroke are bound to experience gait disturbance due to the decrease of lower limb movement ability, and the recovery of walking ability is often the most basic requirement and the main rehabilitation goal of patients. With the development of rehabilitation medicine technology, lower limb robots are more and more used in the rehabilitation of walking function. This article will summarize the lower limb rehabilitation robot and its application to walking function, in order to provide reference for clinical treatment.

Keywords: Stroke; Lower limb rehabilitation robot; Walking function

脑卒中(cerebral stroke)通常是由于血管破裂或堵塞导致大脑缺氧所致,偏瘫是脑卒中所致的主要功能障碍之一。有数据表明全球范围内每6人就有1人患脑卒中,大约90%的脑卒中幸存者出现不同程度的功能障碍,其中步行能力是主要功能障碍之一。步行功能障碍不仅影响患者的日常生活能力,而且还会增加患者摔倒的风险^[1]。因此恢复步行能力至关重要^[2]。目前对脑卒中偏瘫患者步行功能障碍的康复训练方法繁多,其中以神经发育技术为主要手段的康复干预策略对脑卒中患者

步行功能的影响已被充分肯定。康复医学技术不断提高下肢康复机器人被更多地应用于临床,下肢康复机器人与单纯的常规康复治疗技术相对比,对偏瘫患者的动静态平衡和步行能力作用更有效^[3],更为便捷及精准的标准化康复训练,更好地解放了康复治疗师的双手。

1 脑卒中偏瘫患者步行功能障碍

脑卒中后大部分患者会出现步态障碍问题,主要表现为无法步行或步态异常。偏瘫步态的异常主要为步行时下肢肌张力升高,膝关节屈曲不协调,足背屈不充分、足下垂,膝关节和踝关节的运动控制变差、单腿支撑相缩短、步长缩短和步频减小

^{*} [基金项目] 国家自然科学基金(81572205/81974345)

[△] [通信作者] 孟纯阳, E-mail: chunyangmeng16@163.com

进而出现划圈步态。步行是活动的基础,脑卒中患者由于中枢神经功能障碍,导致患侧下肢肌肉无力失去选择性运动控制,患侧下肢的肢体负荷降低导致平衡功能异常,进而瘫痪腿的推进力低于健康成年人的观察值,随后出现步行功能障碍,对其生活质量造成了极大的影响^[4]。大多数脑卒中后偏瘫患者的首要康复目标是恢复室内独立步行功能,偏瘫步行功能障碍的康复目标是达到正常的步态模式和速度。

2 下肢康复机器人

2.1 下肢康复机器人概念

目前,下肢康复机器人在康复医学领域得到了越来越多的应用,重点是使用机器人设备来实现一致性和可重复性,它们不仅能够通过自动化为患者带来有益的疗效,还使治疗师从繁重的训练任务中解脱出来,并且由于其可重复性、准确性和可靠性的优势,有效地改善了康复疗效^[5]。下肢康复机器人是机器人技术在下肢残疾人群中的应用,由一组连杆组成,这些连杆平行于穿戴者的大腿、小腿和脚,并增加了致动器,以提供关节处肌肉扭矩的替代^[6]。下肢康复机器人通过直接刺激组织或关节准备感觉运动系统以增加神经系统可塑性,它强调改善治疗过程中的感觉-运动相互作用以及特定任务的练习,包括重复的练习/运动,以获得可塑性和力量^[7]。下肢机器人集合了康复医学、生物学、电子学、生物材料学、计算机信息学、机器人学、机械学等众多学科。下肢康复机器人主要用于促进患者腿部训练,通过下肢关节本体感觉刺激和辅助肌力训练,步态的重复性训练,让患者具备独立生活的能力^[8]。下肢智能康复机器人通过带动患者下肢模拟步行时相中的屈髋、屈膝、屈踝及伸髋、伸膝、伸踝等动作,不断刺激患侧下肢的本体感觉,促进偏瘫患者下肢的步行功能恢复。下肢康复机器人可以大大降低康复治疗成本并节约医疗资源而且它还可以提供多种训练策略。

2.2 下肢康复机器人分类

在当前康复医学技术飞速发展的时代,下肢康复机器人应运而生,它也成为脑卒中偏瘫患者进行步行功能恢复训练康复计划中不可或缺的重要环节。下肢康复机器人通过带动患者下肢模拟步行

动作进行重复性训练,与传统疗法相比,机器人步态康复可以在参与性环境中提供高度可控、重复和强化的训练,通过不断刺激下肢的本体感觉进而激活患肢肌肉,改善患者下肢的协调性及步行功能^[9]。一般来说,下肢康复机器人可以分为两类,即外骨骼机器人和末端执行器机器人。

外骨骼式下肢康复机器人,是以腿部驱动为主要模式,该机器人体外骨骼结构的关节和连杆与下肢解剖结构的关节和连杆相对应,参照正常步态模拟运行下肢机械腿,使患者下肢在整个步态周期里严格按照正常关节轨迹行驶。Lokomat 是外骨骼机器人的代表,是由苏黎世的瑞士联邦理工学院利用跑步机开发了的四自由度的外骨骼类型步态康复机器人^[10]。Lokomat 主要构成包括跑台、减重系统和两条外骨骼式机械腿等 3 个部分组成。Lokomat 智能下肢康复系统使脑卒中偏瘫步态的患者在减重模式下,通过步态矫正器对偏瘫步态进行矫正,并在下肢体外骨骼的智能控制下进行高强度、重复性的步行功能训练,进行下肢步行功能的运动再学习,促进了偏瘫异常步态的恢复。

末端执行器式下肢康复机器人,通常作用与患者身体接触的某个点上,是以足底驱动为主要模式,是一种将患者足底放置在双曲柄摇杆齿轮系统上的装置,步态训练通过驱动足底来完成。常见的足底驱动机器人如 Haptic Walker、Lokohelp 等。Haptic Walker 下肢机器人产自德国,该机器人需要把患者的脚放置在足底驱动的脚踏板上,驱动踏板可按照正常人脚运动的轨迹控制踏板的运动,同时该踏板可模拟各种可能的足部运动轨迹,提高了患者训练的积极性。Lokohelp 下肢康复机器人产自美国且造价更低廉,主要靠步态矫正器引导足、膝、踝关节运动下进行步行功能训练,其对于偏瘫步态的改善具有积极效应。Lokohelp 下肢康复机器人具有易组装、易拆卸、易调整的特性,由于对人体运动没有特殊限制且可以灵活性的运用,该设备更能适应不同的患者^[11]。

2.3 下肢康复机器人对偏瘫患者步行功能的影响

脑卒中患者的功能性步行能力的恢复是康复治疗的重点,因为脑卒中患者的发病原因,损伤部位,病情严重程度等不尽相同,所以肌力的减退、肌张力的增高、平衡功能障碍等都导致步态异常的现

象。据报道,下肢康复机器人可以通过加速神经塑形的过程提高卒中后患者行走的能力,下肢康复机器人凭借其准确性和可靠性的优势,可有效地改善脑卒中或脑出血术后的步行功能,提高患者的生活质量^[12]。

脑卒中后偏瘫患者早期多存在患侧下肢肌力减退的临床现象,而肌力不足将直接影响偏瘫患者下肢肢体功能及步行能力的恢复。下肢康复机器人通过其机械腿能够协调下肢肌群负重和进行有序性的肌力训练。Kim 等^[13]对 19 例幕下卒中患者进行为期 4 周的下肢机器人辅助步态训练,发现下肢机器人辅助步态训练通过支撑性的背带辅助患者站立,可使患者尽早地进行步行功能康复,提高了患者的积极性,而且下肢机器人辅助步态训练改变患者下肢的肌肉活动,通过控制重量支撑量和步频改变肌肉协调模式,致使卒中患者对常见的激活模式有更好的稳定性,即腓肠肌的激活程度更高,增加患者下肢肌力的恢复及改善患侧下肢的负重,促进下肢步行功能的恢复。Hall 等^[14]对脑卒中偏瘫患者进行了为期 12 周的下肢机器人训练,发现下肢康复机器人通过不断的感觉输入对患者的下肢本体感觉产生刺激,经过重复性的任务导向性步行训练,可以改善神经功能障碍患者的下肢肌肉力量。有研究报道,下肢康复机器人辅助偏瘫患者步行训练可以使患侧下肢肌肉得到合理的激活,增加了患侧下肢的负重和肌肉耐力^[15]。

脑卒中后患者多呈现迟缓性瘫痪,伴随着病情的进展肌张力也慢慢出现,痉挛模式的加剧对于下肢的运动功能产生了严重的限制作用,这也将影响步行功能的恢复。Louie 等^[16]对 40 例亚急性中风的成年患者分别进行常规的物理治疗,并在此基础上进行下肢外骨骼机器人训练后发现,脑卒中患者运动中的肌张力以及痉挛情况得到有效改善,社区的功能性步行距离也有提高。国外有研究表明^[17],下肢康复机器人辅助步态训练可以预防继发性并发症,可有效改善肌张力和关节僵硬状态,对减少痉挛和改善步行能力有一定的好处。Khan 等^[18]研究分析表明,下肢康复机器人可有效改善患者下肢的痉挛状态。下肢康复机器人可在辅助步态训练的过程中感知患者下肢痉挛的状态,若出现痉挛加剧情况时其智能反馈系统将得到反馈并

停止训练直至痉挛消失,下肢智能康复机器人可以更好地保证患者步行训练时的安全^[19]。

脑卒中由于中枢神经传导异常发生上运动神经元损伤,患者的肌肉力量下降和肢体肌张力异常及自身本体感觉减退,使得躯体姿势控制能力减弱且协调性下降,导致平衡功能异常进而出现步行障碍^[20]。Zhang 等^[21]观察 3 例偏瘫患者接受 Ai-Walker 机器人辅助步行训练,研究显示,与只接受常规康复训练的患者相比,使用 AiWalker 机器人辅助步行训练可以提高患者的动态立位平衡功能和步行能力,且近期训练效果明显优于单纯的常规干预。Taki 等^[22]研究表明,使用 HAL 下肢机器人辅助功能性步行训练改善了有步行障碍的中风患者的静态、动态平衡功能和实际行走能力。下肢康复机器人通过减重和机器运动来模拟患者步行动作,并且通过束缚带固定患者的躯干、膝盖,控制训练过程中的异常姿势,同时改善下肢肌张力,增加关节活动度,提高平衡和步行能力的康复疗效^[23]。

2.4 下肢康复机器人在步行功能应用中的优缺点

2.4.1 下肢康复机器人在步行功能应用中的优点

下肢康复机器人保障了偏瘫患者步行功能训练的科学性与有效性,不仅在训练重复次数、安全性和步行能力的恢复方面,而且在运动的准确性、可变性和精确可调的阻力水平以及最佳减重和步行动作协调之间取得理想平衡的活动方面也得到科学有效的调节。下肢智能康复机器人可以代替治疗师帮助患者进行重复的、高强度的肢体治疗,减少了治疗师的配比,降低了治疗师劳动的强度。临床工作者可以准确地对机器人在训练过程中的数据进行捕捉和分析,并对偏瘫患者身体康复状态及下肢运动功能进行评估。下肢康复机器人中减重系统悬吊带的使用以及髋、膝、踝关节周围固定带的保护,使其能够在辅助步行功能训练中确保患者的安全性,避免了跌倒对患者造成损害的可能。Nam 等^[24]研究表明,下肢康复机器人取代了物理治疗师,为能独立站立的偏瘫患者提供了辅助步态训练,为脑卒中后步行的康复训练方法提供了创新的可能性。

2.4.2 下肢康复机器人在步行功能训练中的局限性

下肢康复机器人在偏瘫患者功能性步行训练的临床应用,仍存在一定的局限性,包括机器结

构复杂、训练模式僵化、价格昂贵等。复杂的穿戴步骤是下肢康复机器人的一大劣势,穿戴前需调节步态机械腿的长度,固定背部、大腿处、小腿处、足部等部位绑带,其中减重系统的悬吊工作还需 1~2 名康复治疗师协作才能完成。训练模式较为僵化,缺乏人机的互动以及情景结合的融入,训练模式单一难以提高患者康复的积极性,下肢机器人的训练枯燥、缺乏趣味性。造价昂贵使得普及率低,我国康复机器人的引进现状还是以综合实力强劲的大医院和规模性康复医疗中心为主,难以普及于地方及民营医院。此外,下肢康复机器人在影响短期肌肉活动和步幅参数方面的能力是有限的,其减重程度有限且量化缺乏统一的标准,而且下肢康复机器人训练的强度(频率和持续时间)以及与训练反应性相关的精确步态参数还需要进一步研究,但随着医工结合的不断深入,相信这些缺点会逐渐被改善^[25]。

3 小结与展望

随着脑卒中发病率、致残率的逐年升高,步行能力成为限制患者活动的主要功能障碍,这不仅影响了重要的基本日常活动,而且增加了跌倒的可能性,是影响患者康复疗效的重大障碍。近年来,下肢康复机器人被广泛应用于偏瘫患者步行的训练中,下肢康复机器人作为一种智能康复一体化设备,通过减重带支持患者减重步行,凭借其下肢机械臂的精准可调性达到有效重复锻炼,同时解放了康复治疗师的双手,节约了人力,为偏瘫患者功能性步行的康复提供了新方法和新希望。目前,临床上越来越多的运用下肢康复机器人结合生物反馈疗法、虚拟现实技术、功能性电刺激等辅助偏瘫患者的步行功能训练,均取得了良好的临床疗效。

下肢康复机器人作为一种有效的康复技术手段,目前已在临床上得到广泛的推广,但是临床研究多为小样本量研究,需要进行更大样本量的研究从而尽早统一训练的强度和频率。然而,单一下肢康复机器人介入辅助步行训练对偏瘫患者步行能力的恢复有一定的局限性,训练模式的僵化使患者参与度低,步行训练参数无统一的定量使其科学性有待考究。虽然下肢康复机器人存在一定的局限性,但相信随着科学技术的不断发展,下肢康复机

器人的技术也会更加完善,对脑卒中后偏瘫患者步行功能的改善具有深远的意义。

利益冲突:所有作者均申明不存在利益冲突。

参考文献:

- [1] Hobbs B, Artemiadis P. A review of robot-assisted lower-limb stroke therapy: unexplored paths and future directions in gait rehabilitation[J]. *Front Neurobot*, 2020, 14: 19. DOI: 10.3389/fnbot.2020.00019.
- [2] 云阳,甄希成,马宇飞. 下肢辅助器具对脑卒中后步行能力的影响综述[J]. *世界最新医学信息文摘(连续型电子期刊)*, 2019, 19(84): 24-25. DOI: 10.19613/j.cnki.1671-3141.2019.84.013.
- [3] Kim DH, Kang CS, Kyeong S. Robot-assisted gait training promotes brain reorganization after stroke: A randomized controlled pilot study[J]. *Neuro Rehabil*, 2020, 46(4): 483-489. DOI: 10.3233/NRE-203054.
- [4] Alingh JF, Groen BE, Kamphuis JF, et al. Task-specific training for improving propulsion symmetry and gait speed in people in the chronic phase after stroke: a proof-of-concept study[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18(1): 69. DOI: 10.1186/s12984-021-00858-8.
- [5] Edwin DO, Juan MG, Alberto J, et al. Robotics in health care: perspectives of robot-aided interventions in clinical practice for rehabilitation of upper limbs[J]. *Applied Sciences*, 2019, 9(13): 2586. DOI: 10.3390/app9132586.
- [6] Karunakaran KK, Abbruzzese K, Androwis G, et al. A novel user control for lower extremity rehabilitation exoskeletons[J]. *Front Robot AI*, 2020, 7: 108. DOI: 10.3389/frobt.2020.00108.
- [7] Bhardwaj S, Khan AA, Muzammil M. Lower limb rehabilitation robotics: The current understanding and technology[J]. *Work*, 2021, 69(3): 775-793. DOI: 10.3233/WOR-205012.
- [8] 刘中华. 下肢康复机器人的交互控制研究[J]. *人人健康*, 2019(17): 282-283.
- [9] Rodríguez-Fernández A, Lobo-Prat J, Font-Llagunes JM. Systematic review on wearable lower-limb exoskeletons for gait training in neuromuscular impairments[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18(1): 22. DOI: 10.1186/s12984-021-00815-5.
- [10] Jezernik S, Colombo G, Keller T, et al. Robotic orthosis lokomat: a rehabilitation and research tool[J]. *Neuro-*

- modulation, 2003, 6 (2): 108-115. DOI: 10. 1046/j. 1525-1403. 2003. 03017. x.
- [11] 王静,陆蓉蓉,白玉龙. 下肢外骨骼康复机器人在脑卒中康复中的应用研究[J]. 上海电气技术, 2019, 12 (1): 7-13. DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-540X. 2019. 01. 003.
- [12] Zhang X, Yue Z, Wang J. Robotics in lower-limb rehabilitation after stroke [J]. Behav Neurol, 2017, 2017: 3731802. DOI: 10. 1155/2017/3731802.
- [13] Kim HY, Shin JH, Yang SP, et al. Robot-assisted gait training for balance and lower extremity function in patients with infratentorial stroke: a single-blinded randomized controlled trial [J]. J Neuroeng Rehabil, 2019, 16 (1): 99. DOI: 10. 1186/s12984-019-0553-5.
- [14] Hall AL, Bowden MG, Kautz SA, et al. Biomechanical variables related to walking performance 6-months following post-stroke rehabilitation [J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2012, 27 (10): 1017-1022. DOI: 10. 1016/j. clinbiomech. 2012. 07. 006.
- [15] Huang VS, Krakauer JW. Robotic neurorehabilitation: a computational motor learning perspective [J]. J Neuroeng Rehabil, 2009, 6: 5. DOI: 10. 1186/1743-0003-6-5.
- [16] Louie DR, Mortenson WB, Durocher M, et al. Exoskeleton for post-stroke recovery of ambulation (ExStRA): study protocol for a mixed-methods study investigating the efficacy and acceptance of an exoskeleton-based physical therapy program during stroke inpatient rehabilitation [J]. BMC Neurol, 2020, 20 (1): 35. DOI: 10. 1186/s12883-020-1617-7.
- [17] Esquenazi A, Talaty M. Robotics for lower limb rehabilitation [J]. Phys Med Rehabil Clin N Am, 2019, 30 (2): 385-397. DOI: 10. 1016/j. pmr. 2018. 12. 012.
- [18] Khan AS, Livingstone DC, Hurd CL, et al. Retraining walking over ground in a powered exoskeleton after spinal cord injury: A prospective cohort study to examine functional gains and neuroplasticity [J]. J Neuroeng Rehabil, 2019, 16 (1): 145. DOI: 10. 1186/s12984-019-0585-x.
- [19] 胡坤,刘辉辉,张晓武. 下肢智能康复机器人对脑卒中偏瘫患者下肢运动功能的影响 [J]. 神经损伤与功能重建, 2019, 14 (1): 22-25. DOI: 10. 16780/j. cnki. sjssgncj. 2019. 01. 006.
- [20] 刘金明,王国军,于利国,等. 虚拟现实技术联合交替垂直振动训练改善脑卒中恢复期患者平衡功能和步行能力 [J]. 神经损伤与功能重建, 2021, 16 (7): 419-422. DOI: 10. 16780/j. cnki. sjssgncj. 20210047.
- [21] Zhang F, Li K, Wu D, et al. Therapeutic effect of Ai-Walker on balance and walking ability in patients with stroke: A pilot study [J]. Top Stroke Rehabil, 2021, 28 (3): 236-240. DOI: 10. 1080/10749357. 2020. 1802969.
- [22] Taki S, Imura T, Iwamoto Y, et al. Effects of exoskeletal lower limb robot training on the activities of daily living in stroke patients: retrospective pre-post comparison using propensity score matched analysis [J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2020, 29 (10): 105176. DOI: 10. 1016/j. jstrokecerebrovasdis. 2020. 105176.
- [23] 舒国建,王化高,张录. 下肢智能康复机器人结合康复训练对脑卒中偏瘫患者下肢功能的研究 [J]. 按摩与康复医学, 2020, 11 (19): 61-63. DOI: 10. 19787/j. issn. 1008-1879. 2020. 19. 021.
- [24] Nam YG, Lee JW, Park JW, et al. Effects of electromechanical exoskeleton-assisted gait training on walking ability of stroke patients: A randomized controlled trial [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2019, 100 (1): 26-31. DOI: 10. 1016/j. apmr. 2018. 06. 020.
- [25] van Kammen K, Boonstra AM, van der Woude LHV, et al. Lokomat guided gait in hemiparetic stroke patients: the effects of training parameters on muscle activity and temporal symmetry [J]. Disabil Rehabil, 2020, 42 (21): 2977-2985. DOI: 10. 1080/09638288. 2019. 1579259.

(收稿日期 2020-11-14)

(本文编辑:石俊强)