

下肢康复机器人对脑瘫患儿步行能力改善的研究进展

郭海滨, 周璇, 杜青

【关键词】 脑瘫; 下肢康复机器人; 步态训练; 研究进展

【中图分类号】 R49; R742.3 【DOI】 10.3870/zgkf.2021.06.013

脑性瘫痪(cerebral palsy, CP)简称 CP, 由先天性发育缺陷或获得性疾病等非进行性脑损伤所致, 患病率约为每 1000 活产儿中有 2.0~3.5 个^[1]。CP 主要表现为身体活动受限, 永久性运动和姿势障碍^[2], 约 25% 的 CP 患儿不能行走。因此, 改善 CP 患儿行走能力来提高其生活自理能力十分重要。传统的下肢康复包括由治疗师指导进行的减重步态训练、平衡训练等, 以及使用矫形器治疗^[3]。CP 持续终身, 需要长期进行规范化康复, 意味着大量人力物力的消耗。我国康复技术人员仅 4 万余人, 80% 从事成人康复, 而我国 CP 患儿高达 200 万^[4], 仅靠当前人力难以满足需求。而康复机器人弥补了这一问题, 具有很大的发展潜力。下肢康复机器人是根据机器人学、仿生学、控制理论以及信息处理技术等原理, 设计出的可穿戴在人体下肢并可在使用者操纵下完成特定动作的智能化、机械化的仿生机器人^[5]。在 CP 康复领域, 机器人可与特定任务结合, 进行主、被动训练, 帮助 CP 患儿改善特定的关节肌肉功能。下肢康复机器人的疗效已被多项研究证明, 机器人辅助步态训练可改善 CP 患儿的步行速度, 耐力和粗大运动能^[6]。与人力康复相比, 机器人康复具有一些优势, 包括安全性、参与性、可重复性、步态一致性以及节约人力^[7]。但价格高昂在一定程度上限制了其在临床上的应用。本文重点综述下肢康复机器人在 CP 患儿中的应用进展、疗效及其存在的问题。

1 下肢康复机器人概述

1.1 发展历史 20 世纪 80 年代是康复机器人研究的起步阶段, 美国、英国、加拿大在康复机器人方面的研究处于世界领先地位。随着材料、控制系统、传感等机器人技术飞速发展, 智能化、机械化、自动化程度的

提高, 1990 年以后康复机器人的研究进入到全面发展时期。德国的步态训练机器人(Gait trainer I)可改善患儿的站姿。1999 年 Lokomat 推出一种典型的减重式外骨骼机器人更是将下肢康复机器人的发展推向新的台阶, 驱动自主带动人体下肢在跑步机上进行减重步态康复训练, 提供合适的负重, 可改善患儿步态, 至今仍是应用最广泛的下肢康复机器人^[8]。目前, 以上两种机器人已有儿童型, 用于 CP 患儿的步态训练。

1.2 应用方向 下肢康复机器人主要针对三种应用方向而开发。第一, 主要应用于步态康复, 即帮助运动障碍患儿进行骨骼肌肉力量、运动控制和步态康复训练。第二, 主要应用于人体运动辅助, 针对瘫痪而失去下肢运动能力的患儿, 帮助其恢复站立、坐下、走路等日常活动能力。第三, 主要应用于增加健全人群的身体力量, 主要用于军事、救灾等^[9]。

1.3 功能分类 下肢康复机器人根据功能通常分为两类: ①“末端执行器型”, 如 Gait Trainer(德国)和 LokoHelp(美国), 末端执行器型机器人作用在足部, 通过足部关节的运动带动患者的全身肌肉恢复运动。②“外骨骼型”, 如 ReWalk(德国)和 Lokomat(瑞士), 外骨骼型机器人是作用在双腿, 帮助没有站立能力的 CP 患儿实现坐、站、行走、上下楼梯等基本身体活动^[10]。

1.4 国际常见机型及应用分类 目前国际上有多种类型下肢康复机器人已投入临床, 逐渐取代传统康复训练器械。按应用方向, 可将国际上常见的下肢康复机器人分为 3 类。①应用于步态康复: 如日本 Cyberdyne 公司研发的 HAL 机器人, 可通过动力单元及各类传感器等, 作用于髋、膝、踝关节, 可根据患儿重心变换进行实时辅助。HAL 的独特优势是具有生物意识控制系统和自主控制系统^[10-11]。HAL 配合理疗, 可使 CP 患儿步态得到明显改善^[12]。与 Lokomat 不同, HAL 是可穿戴的机器人, 因此可以在跑步机以外的场地上进行步态训练。此外, HAL 可以进行除步行以外的训练, 例如站立, 爬楼梯和下肢肌力锻炼。②应用于运动辅助: 如新西兰 Rex Bionic 公司研发的 Rex 机器人, 主要针对下肢松弛和瘫痪的患儿, 在髋、膝关节处

基金项目: 上海交通大学“交大之星”计划医工交叉研究基金(YG2019ZDA23)

收稿日期: 2020-05-17

作者单位: 上海交通大学医学院附属新华医院康复医学科, 上海 200082

作者简介: 郭海滨(1996-), 男, 硕士研究生, 主要从事小儿康复方面的研究。

通讯作者: 杜青, duqing@xinhua.med.com.cn

助力,能将患儿从坐姿提升到机器人支撑的站立姿势,配合使用拐杖,使其能够参加由治疗师设计的步行和伸展运动,以帮助实现康复目标^[13]。同样还有以色列 ReWalk Robotics 公司研发的 ReWalk 机器人^[21]以及美国 Parker Hannifin 公司所研发的 Indego 机器人^[18],可通过传感技术来判断下肢运动状态,配合拐杖提供有力的髋部和膝关节支持,使患儿能够站立,行走,转身以及上下楼梯。③同时应用于步态康复和运动辅助:如美国 Ekso Bionics 公司研发的 Ekso GT,集以上两类机器人的功能,在髋、膝关节处助力同时配合使用拐杖,帮助患儿减轻体重、控制平衡,借由传感器与软件监测,不断调节腿部运动,最大程度减少代偿性步态^[19]。因此,具有不同步行能力的 CP 患儿可以选择不同的下肢康复机器人进行辅助治疗。可独立行走但步态不佳的患儿,可以选择 HAL、Lokomat 等机器人进行系统的步态康复训练,纠正其不良姿态;而无法独立行走的患儿则可以借助 ReWalk、Rex 等机器人辅助步行,重获行走能力,来提高日常生活活动能力。

2 下肢机器人促进脑瘫患儿步行能力恢复的机制

机器人神经康复技术的应用在一定程度上是基于神经可塑性理论,即通过行为训练恢复神经网络^[22-23]。训练中,CP 患儿以符合生物力学的正确方式反复练习步行运动,来诱导运动皮层表现的改善,恢复并增强肌肉群的能力,改善 CP 患儿协调性。康复机器人在减重状态下辅助 CP 患儿模拟正常步行周期,强化了外周深浅感觉的刺激^[4],同时康复治疗师设计个性化运动康复方案以适应不同 CP 患儿的特殊需求和能力,并且通过下肢康复机器人测量和量化运动的可能性,跟踪 CP 患儿的进展,从而改善预后^[24],改善的程度取决于练习量、重复次数以及特定任务^[7]。部分康复机器人自带驱动,如 ReWalk 可以提供强有力的支撑作用,配合拐杖可以实现坐、站立、行走等。将机器人技术添加到康复干预措施中,最重要的优势之一是其能够提供高强度和高剂量的培训,同时也能减轻康复治疗师的劳动负担^[23]。

3 下肢康复机器人在脑瘫患儿步行能力康复中的作用

近年来,下肢康复机器人对 CP 患儿步行能力的改善作用被越来越多的临床试验所证实。在康复治疗过程中,应用下肢康复机器人进行科学合理的训练,可以有效帮助 CP 患儿改善下肢关节活动,改善各种不良步态。

3.1 改善下肢关节活动 痉挛型是 CP 中最常见的类型。CP 患儿由于长期的肌肉痉挛及肌力不平衡,往

往继发不同程度的固定性畸形,甚至骨性畸形^[24]。下肢康复机器人可以在踝、膝关节处稳定关节活动,被动牵伸痉挛肌肉,减轻异常肌张力,同时提供助力,改善 CP 患儿下肢运动。Lee 等^[25]招募了 8 名双下肢痉挛的 CP 患儿(足趾朝内步态),使用踝/膝关节智能机器人伸展和新型离轴椭圆机训练器,执行特定对象的伸展和枢轴离轴神经肌肉控制训练程序(subject-specific stretching and pivoting off-axis neuromuscular control training,SS-POINT)进行了为期 6 周的神经肌肉控制训练,结果显示训练后步态功能的改善和足趾朝内角度的减小,还伴随着膝关节僵硬度的降低以及肌张力、关节活动度、Berg 平衡量表得分、本体感觉敏锐度和下肢神经肌肉控制的改善。Lerner 等^[26]基于标准的踝足矫形器(ankle foot orthosis,AFO)设计出新的外骨骼机器人,具有可调节的踝关节与膝关节,试验招募了 7 名粗大运动功能分级系统(gross motor function classification system,GMFCS)I-II 级患儿,结果显示该下肢机器人可改善膝关节的伸展同时又不减少骨骼肌活动,并改善了蹲伏步态。Lerner 等^[27]在另一项试验中设计了动力型足踝辅助装置,用以增加踝关节的推进力,改善下肢姿势并减少足底屈肌、腓肠肌的异常活动。Wallard 等^[28]招募了 30 名 GMFCS II 级的 8~10 岁的 CP 患儿,试验组 16 名使用 Lokomat 儿童版(最早适用于 4 岁)进行 4 周训练,对照组仅进行治疗师指导进行的物理治疗或作业治疗,结果显示试验组与对照组相比,红外线扫描下肢关节运动学数据,步行速度、步长以及步态对称性显著改善,粗大运动功能测试(gross motor function measure,GMFM)D 维度(站立)和 E 维度(步行/跑步/爬行)同样得到改善,动态姿势平衡得到控制。

3.2 改善步态 CP 患儿存在马蹄内翻足步态、偏瘫步态、蹲伏步态等异常步态^[29-30]。下肢康复机器人可以提供程序量化训练,通过各种传感器进行反馈,实时纠正步态偏差。Wu 等^[31]招募了 23 名 GMFCS I-IV 级的 4~16 岁 CP 患儿,试验组 11 人使用三维电缆驱动机器人步态训练系统(three-dimensional cable-driven robotic gait training system,3DCaLT)进行为期 6 周的训练,结果显示试验组步行速度和 6 分钟步行距离有显著增加。Yazici 等^[32]选取了 24 名 GMFCS I-II 级的 5~12 岁 CP 患儿,试验组 12 人使用 Innwalk Pro 进行机器人步态训练(robot assisted gait training,RAGT)3 个月,干预后显示痉挛侧与非痉挛侧肌肉氧合有所增加,Berg 平衡量表得分、10 米步行速度、6 分钟步行距离、GMFM-88 得分、GMFM-D、E 表现显著改善。Wallard 等^[33]在另一个试验中招募了 30

名 GMFCS II 级的 8~10 岁 CP 患儿, 试验组接受 Lokomat 治疗 4 周, 并且使用红外照相机记录三维的全身运动数据用于进行步态分析, 结果显示上半身如头部稳定性、上臂摆动、躯干控制显著改善, 有利于控制身体平衡。Lefmann 等^[34]报道了 466 名 GMFCS 多数为 I~IV 级的 5~17 岁 CP 患儿, 穿戴 Lokomat 或 Gait Trainer GT I 下肢康复机器人, 结果显示 RAGT 有益于改善步态, 包括速度、站立能力和步行距离。Van 等^[35]提供的一些数据表明, 病情较重的 CP 患儿可能比病情较轻的患儿受益更多, 尤其是在步行相关结局指标方面。

4 脑瘫下肢康复机器人存在的问题和发展趋势

高速发展的科学技术为康复治疗提供了创新的手段, 将康复事业的发展推到了智能化、机械化的全新高度。目前下肢康复机器人技术已经较为成熟, 针对 CP 患儿的机器人种类繁多, 但也存在以下问题: ①设备笨重^[11-19](约 14kg 及以上), 不利于患儿穿戴; ②驱动器的体积、效率、耐用性均欠佳^[9]; ③人机接触面易出现摩擦伤、过敏红斑等^[36]; ④受限于电池电量^[11-19](约 1~2h), 步行时间短; ⑤价格昂贵; ⑥使用环境受限^[36]。此外, 目前尚无系统指标和具体治疗方案来评估和指导患儿使用下肢康复机器人^[37-38]。国内专家在积极研发各种新型下肢康复机器人, 期待该领域有望产生更多突破性进展, 生产出更加轻便、性价比高、智能的下肢康复机器人, 为 CP 患儿提供更好的服务。同时也期待康复医疗工作者早日制定科学有效的、统一的下肢康复机器人评价标准和治疗方案。

5 小结

下肢康复机器人越来越广泛应用于 CP 患儿的康复治疗中。大量临床证据显示, 对于 CP 患儿而言, 下肢康复机器人能够科学有效且安全的改善其步行能力, 继而提高生活质量, 促其更好地融入社会。可以预测, 随着下肢康复机器人功能完善、性能和可靠性的提高, 在不久的将来, 下肢康复机器人将会被更广泛地应用于 CP 等儿童疾病的康复治疗。

【参考文献】

- [1] 唐久来, 秦炯, 邹丽萍, 等. 中国脑性瘫痪康复指南(2015): 第一部分[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(7): 747-754.
- [2] Van Naarden Braun K, Doernberg N, Schieve L, et al. Birth Prevalence of Cerebral Palsy: A Population-Based Study[J]. Pediatrics, 2016, 137(1): 1-9.
- [3] 李晓捷, 庞伟, 孙奇峰, 等. 中国脑性瘫痪康复指南(2015): 第六部分[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(12): 1322-1330.
- [4] 王娟. 下肢康复机器人在小儿脑性瘫痪康复中的应用进展[J]. 国际儿科学杂志, 2017, 44(1): 52-54.
- [5] 魏小东, 孟青云, 喻洪流, 等. 下肢外骨骼机器人研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(4): 491-495.
- [6] Carvalho I, Pinto SM, Chagas DDV, et al. Robotic Gait Training for Individuals With Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2017, 98(11): 2332-2344.
- [7] Peri E, Turconi AC, Biffi E, et al. Effects of dose and duration of Robot-Assisted Gait Training on walking ability of children affected by cerebral palsy[J]. Technol Health Care, 2017, 25(4): 671-681.
- [8] Weiland S, Smit IH, Reinders-Messelink H, et al. The effect of asymmetric movement support on muscle activity during Lokomat guided gait in able-bodied individuals[J]. PLoS One, 2018, 13(6): e0198473.
- [9] Chen B, Ma H, Qin LY, et al. Recent developments and challenges of lower extremity exoskeletons[J]. J Orthop Translat, 2016, 5(2): 26-37.
- [10] Matsuda M, Iwasaki N, Mataka Y, et al. Robot-assisted training using Hybrid Assistive Limb(R) for cerebral palsy[J]. Brain Dev, 2018, 40(8): 642-648.
- [11] Cyberdyne. HAL for Well-Being Lower Limb Type Pro-CYBERDYNE[EB/OL]. [2020-05-25] <https://www.cyberdyne.jp/english/products/fl05.html>.
- [12] Kyousuke G, Kotani N, Hiroyuki F, et al. Effectiveness of the single-joint HAL robot suit for rehabilitation after orthopedic surgery[J]. Physiotherapy, 2015, 101(11): 806-807.
- [13] Rex Bionics Pty Ltd. Product Information-Rex Bionics[EB/OL]. [2020-05-25] <https://www.rexbionics.com/product-information/>.
- [14] Sandra P, Hideki K, Shigeki K, et al. Reshaping of Gait Coordination by Robotic Intervention in Myelopathy Patients After Surgery[J]. Frontiers in Neuroscience, 2018, 12(3): 99-99.
- [15] Rewalk Robotics. ReWalk Personal 6. 0-Rewalk-More Than Walking[EB/OL]. [2020-05-25] <https://rewalk.com/rewalk-personal-3/>.
- [16] 李龙飞, 朱凌云, 苟向锋. 可穿戴下肢外骨骼康复机器人研究现状与发展趋势[J]. 医疗卫生装备, 2019, 40(12): 89-97.
- [17] Prassler E, Baroncelli A. Team ReWalk Ranked First in the Cybathlon 2016 Exoskeleton Final [Industrial Activities][J] IEEE Robotics & Automation Magazine, 2017, 24(4): 8-10.
- [18] Parker Hannifin Corporation. Clinical Use/ Indego Exoskeleton[EB/OL]. [2020-05-25] <http://www.indego.com/indego/us/en/indego-therapy>.
- [19] Ekso Bionics. Exoskeleton for Stroke Recovery Gait Training/ Exso Bionics[EB/OL]. [2020-05-25] <https://eksobionics.com/eksoshealth/eksonr/patients/>.
- [20] Hocoma. Modules Hocoma[EB/OL]. [2020-05-25] <https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/modules/Pediatric-Orthoses>.
- [21] Hartigan C, Kandilakis C, Dalley S, et al. Mobility Outcomes Following Five Training Sessions with a Powered Exoskeleton

- [J]. Top Spinal Cord Inj Rehabil, 2015, 21(2): 93-99.
- [22] Moon HY, Praag HV. Physical Activity and Brain Plasticity[J]. Journal of exercise nutrition & biochemistry, 2019, 23(4): 23-25.
- [23] Kleim JA, Jones TA. Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage[J]. J Speech Lang Hear Res, 2008, 51(1): 225-239.
- [24] 郑炳铃, 王健, 徐桂豪. 三维步态分析系统在脑瘫下肢矫形手术领域中的应用进展[J]. 中国当代医药, 2019, 26(14): 29-31.
- [25] Lee SJ, Jin D, Kang SH, et al. Combined Ankle/Knee Stretching and Pivoting Stepping Training for Children With Cerebral Palsy [J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2019, 27(9): 1743-1752.
- [26] Lerner ZF, Damiano DL, Bulea TC. A lower-extremity exoskeleton improves knee extension in children with crouch gait from cerebral palsy[J]. Sci Transl Med, 2017, 9(404): 9145-9145.
- [27] Lerner ZF, Harvey TA, Lawson JL. A Battery-Powered Ankle Exoskeleton Improves Gait Mechanics in a Feasibility Study of Individuals with Cerebral Palsy[J]. Ann Biomed Eng, 2019, 47(6): 1345-1356.
- [28] Wallard L, Dietrich G, Kerlirzin Y, et al. Effect of robotic-assisted gait rehabilitation on dynamic equilibrium control in the gait of children with cerebral palsy[J]. Gait Posture, 2018, 60(2): 55-60.
- [29] Armand S, Decoulon G, Bonnefoy-Mazure A. Gait analysis in children with cerebral palsy[J]. EFORT open reviews, 2016, 1(12): 448-460.
- [30] 陈秀洁, 姜志梅, 史惟, 等. 中国脑性瘫痪康复指南(2015): 第三部分[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(9): 972-978.
- [31] Wu M, Kim J, Arora P, et al. Effects of the Integration of Dynamic Weight Shifting Training Into Treadmill Training on Walking Function of Children with Cerebral Palsy: A Randomized Controlled Study[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2017, 96(11): 765-772.
- [32] Yazici M, Livanelioglu A, Gucuyener K, et al. Effects of robotic rehabilitation on walking and balance in pediatric patients with hemiparetic cerebral palsy[J]. Gait Posture, 2019, 70(4): 397-402.
- [33] Wallard L, Dietrich G, Kerlirzin Y, et al. Robotic-assisted gait training improves walking abilities in diplegic children with cerebral palsy[J]. Eur J Paediatr Neurol, 2017, 21(3): 557-564.
- [34] Lefmann S, Russo R, Hillier S. The effectiveness of robotic-assisted gait training for paediatric gait disorders: systematic review [J]. J Neuroeng Rehabil, 2017, 14(1): 1-1.
- [35] Van Hedel HJ, Meyer-Heim A, Rusch-Bohtz C. Robot-assisted gait training might be beneficial for more severely affected children with cerebral palsy[J]. Dev Neurorehabil, 2016, 19(6): 410-415.
- [36] Ueno T, Watanabe H, Kawamoto H, et al. Feasibility and safety of Robot Suit HAL treatment for adolescents and adults with cerebral palsy[J]. J Clin Neurosci, 2019, 68(10): 101-104.
- [37] 向小娜, 宗慧燕, 何红晨. 下肢外骨骼康复机器人对脊髓损伤患者步行能力改善的研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(1): 119-122.
- [38] Aurich-Schuler T, Warken B, Graser JV, et al. Practical Recommendations for Robot-Assisted Treadmill Therapy (Lokomat) in Children with Cerebral Palsy: Indications, Goal Setting, and Clinical Implementation within the WHO-ICF Framework[J]. Neuropediatrics, 2015, 46(4): 248-260.

· 外刊拾粹 ·

干针刺与皮质激素治疗外上髁炎的比较

对于持续性外上髁炎,目前使用的治疗方法包括干针(DN)和皮质类固醇注射。本研究比较了这两种方法治疗外上髁炎的疗效。这项前瞻性、随机化的临床研究纳入至少3个月的外上髁炎患者,所有患者使用非甾体抗炎药物和前臂支具治疗均无效。受试者被随机分为两组,一组接受干针治疗,另一组使用22号针注射2ml的甲强龙(40mg/mL)。DN治疗包括在外上髁区和桡侧腕短伸肌腱处插入15根不锈钢针。针被放置在骨头上并旋转三到四次,并保持10分钟。DN每周重复两次,共5个疗程。在基线、干预后3周和24周,采用盲法用患者评分网球肘评估问卷(PRTEE)对患者进行评分。DN组有52例,类固醇组有49例。两组均较基线有显著改善。在第3周和第24周,DN组的PRTEE评分明显优于皮质类固醇组($P<0.01$)。结论:这项研究对顽固性外上髁炎的治疗发现,在3周和24周的症状改善方面,干针优于皮质类固醇注射。

(武沙译)

Uygur E, et al. The Use of Dry Needling versus Corticosteroid Injection to Treat Lateral Epicondylitis: A Prospective, Randomized, Controlled Study. J Shoulder Elbow Surg, 2021, 30(1): 134-139.

中文翻译由 WHO 康复培训与研究合作中心(武汉)组织

本期由 中南大学湘雅二医院 张长杰教授 主译编