

· 综述 ·

下肢康复训练机器人的研究进展

郝正玮 李建民 赵雅宁 沈海涛

下肢康复训练机器人既可以模拟正常人的行走姿态,又可以承担一部分的人体重量,可用以对下肢有运动功能障碍的患者进行有效的康复训练^[1]。传统的康复疗法通常包括体位变换、平衡训练、关节运动、步行、强化肌力、神经促进技术等方法,这些传统的训练方法能够提高患侧肢体的肌肉收缩力,促进运动模式的再学习及多方向的反应能力,提高步态控制能力,增加下肢的负重能力^[2]。但传统的康复疗法一方面只是重视下肢功能的康复,并不能直接改善步态;另一方面至少需要 2 名治疗师来协助完成各种动作,不仅要协助行走,而且还要协助其上下台阶等,往往这些动作是治疗师不能帮助完成的动作^[3]。现代运动学研究发现,不断地重复训练有助于促进机体的运动功能恢复,运动疗法可通过特定的训练,来达到提高神经功能的可塑性。下肢康复训练机器人是以一种高度重复精确的生理步态模式对双下肢提供连续的安全指导,具有高强度性和可重复性,可进行更长更持久的训练^[4]。本文主要针对下肢康复训练机器人的研究进展进行综述。

下肢康复训练机器人的发展

Handy 是第一台在商业上获得巨大成功的康复机器人^[5],为了更好地促进运动功能的康复和实现运动控制,20 世纪 90 年代开始出现辅助运动的康复训练自动化机器人,国内外许多机构开始利用机器人的康复技术进行康复训练以及进行减重步行辅助训练^[6]。而下肢康复机器人作为一种医疗康复机器人,也越来越多的受到产业界的关注。2000 年美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)和加州大学洛杉矶分校(University of California-Los Angeles, UCLA)研制了一种治疗脊髓神经损伤患者的下肢康复机器人设备,中国哈尔滨工业大学对下肢运动障碍的患者在机器人辅助运动过程中的重心控制也进行了研究,并自主研制出一种下肢康复训练机器人^[7]。机器人康复训练用于患有神经系统功能障碍的患者已逐渐得到认可^[8]。吴涛等^[9]报道了下肢康复训练机器人模拟外骨骼的辅助腿,带动患者下肢进行康复训练;其髋关节和膝关节是一个完整的外骨骼式结构驱动,且都受机器人系统软件所控制,可以确保在预先设定的生理步态模式下进行训练^[10]。

下肢康复训练机器人的临床应用

一、下肢康复训练机器人脑卒中偏瘫的临床应用

脑卒中是严重威胁人类生命的疾病之一,其发病率、病死率及致残率均较高,步行功能及日常生活能力受到较大影响。发

病后肢体运动功能障碍是最常见的运动功能障碍,85% 脑卒中幸存者的首要康复目标是恢复其步行功能^[11];异常步态是由于偏瘫患者的下肢肌肉无力、伸肌痉挛和伸肌共同模式等原因而导致的^[12]。目前有研究证实,下肢康复训练机器人能改善脑卒中患者的步行功能。Husemann 等^[13]将 30 例急性脑卒中偏瘫患者分为两组,训练 4 周后,研究数据结果表明,两组患者在功能评分上差异无统计学意义,而机器人组在步态及体质方面均有很大的改善,且差异有统计学意义。Westlake 等^[14]将 16 例脑卒中偏瘫患者随机分为两组,训练 4 周后,用步行速度、患侧步长的比例、快步行走、6 m 步行测量和电池减重模块临床试验进行评估,结果表明,机器人组在增加步速、患侧步长比例均得到改善,且差异有统计学意义,而对照组只有平衡能力稍有改善。这表明,下肢康复训练机器人的应用在训练初期可以更加有效地帮助患者协调其步态,从而为患者创造一个更加个性化和多样化的训练,机器人辅助训练能帮助患者稳定骨盆和躯干,通过减重装置防止膝关节进一步过度屈曲和肢体廓清障碍,在其控制下更加接近正常的生理步态模式。Mayr 等^[15]研究发现,30% 减重量改善患者步态和步行能力的效果优于无减重组,在较快的速度时机器人组仍能保证正常步态模式,并提高步速和增加步长。

二、下肢康复训练机器人脊髓损伤的临床应用

由于脊髓损伤所导致的神经功能缺失具有不可逆性,损伤的神经元难以再生,这不会仅影响脊髓损伤患者康复治疗的效果,而且还会影响患者的运动功能。康复医学的目的是利用以医学为主的多种手段,设法使患者受限或丧失的功能和能力恢复到可能达到的最大限度,以便他们能重返社会。Protas 等^[16]报道,减重运动平板训练已经成为康复治疗的手段之一,它能使脊髓损伤患者在缺乏中枢控制的情况下实现正常步行模式的训练,也有改善其步行功能的作用。但要想实现重复一致的步态训练是非常困难的,目前已有多种类型的康复机器人应用于神经康复领域,可为神经损伤患者提供强化步行功能的训练^[17]。Nooijen 等^[18]将 51 例脊髓损伤患者随机分为人工协助步行训练、智能减重步行训练、手动减重步行训练和机器人步行训练四组,完成 12 周训练,在训练前、后分别进行 10 m 步行速度评价,研究结果表明,下肢康复训练机器人在改善步态方面有很大进步。步行速度是反映患者步行能力的一个重要指标,且步行速度的改善与步长的改善有紧密的联系^[19]。下肢康复训练机器人是带有强制性的步态训练方法,其强迫性运动以及平板速度的逐步增加,患者就会努力摆动其下肢,从而会更大的向前迈步,使其步长增加,同时步长的增加又会提高步速。

三、下肢康复训练机器人帕金森病的临床应用

帕金森病通常以步态异常为主要临床表现,其冻结足是帕金森病的一种现象,是指突然步态冻结,起步犹豫、突然不能抬起双脚向前迈步,至今还没有一个具体的治疗方案,一些

药物治疗只能帮助其症状减轻或者缓解。Miyail 等^[20]用减重步行训练和传统康复训练研究比较,结果显示,减重步行训练对提高步行速度优于传统康复组,但减重步行训练的步态模式不可重复且没有对患者进行直接反馈;而 Lo 等^[21]对 4 例帕金森患者用下肢康复训练机器人治疗 5 周后,发现机器人减重步行训练对帕金森患者降低冻结足的发生率以及改善其步态的功能都要优于传统康复组。下肢康复训练机器人可以增加训练的可重复性并且矫正其步态,其可能原因:一方面矫正器带动患者腿部在跑台上运动,可实现大幅度的步态训练;另一方面在训练过程中患者的双腿在跑步台上大幅度的向前迈步,从而促进髌、膝关节的分离运动,增强了患侧下肢的负重能力;患者还可以进行踏步走、摆臂走等运动,以改善步行的稳定性及协调性。

四、下肢康复训练机器人多发性硬化症的临床应用

大多数多发性硬化患者会逐渐发生步态异常,可在疾病的早期就出现,并呈进行性恶化趋势。重复性步态训练是帮助患者改善步态的一种干预措施。Lo 等^[22]将 13 例患有多发性硬化症的患者按随机数字表法分为两组,在完成第一阶段的训练后要有 6 周的休息时间,受试者还要接受一段时间的替代治疗;所有的受试者要进行持续 3 周的训练;训练前后都要进行 25 m 步行距离、Kurtzke 扩展残疾状态量表(extended disability status scale,EDSS)、双侧肢体支撑时间、步长比和 6 m 运动平板实验,结果发现,治疗组的临床效果无显著差异。该研究结果显示,步态显著改善和 EDSS 评分明显增加,其中 25 m 步行距离改善了 31%,6 m 步行距离改善了 38.5%,EDSS 评分增加(EDSS 评分是目前评价多发性硬化功能障碍的金标准);但该项研究初步显示,任务重复性步态训练可使患者的步态得到显著改善;下肢康复训练机器人可以模拟正常人的行走姿态,并且可以承担一部分人体的重量,对下肢有运动障碍的患者进行有效的下肢康复训练。

总结与展望

下肢康复训练机器人的生物反馈系统不仅能及时地评估患者的行走能力,还能及时地提高和改进步行功能。目前对于康复机器人的研究仍有一定的发展空间,治疗师只有全面地了解和掌握康复机器人,才能使机器人更好地应用于临床;治疗师可以根据患者的运动能力不断地调整训练参数,使患者在精确控制的情况下最大限度不断地发挥自主运动能力,获得最佳的运动训练效果^[23]。在治疗效果方面,下肢康复训练机器人对神经系统疾病后步行能力的提高证据尚不充分,有待进一步研究。机器人以替代物理治疗师,辅助患者进行步态训练,其主要结构形式之一是外骨骼式的辅助腿带动人体下肢完成行走训练,目的在于帮助患者进行运动学习和矫正步态模式,正确的步态模式是保证训练效果的重要前提,避免偏瘫步态,使患者的双腿在跑步台上不断地运动。与跑步机相比,下肢康复训练机器人是康复医学和机器人技术的完美结合,不再把机器人当作辅助患者的工具,而是把机器人和计算机结合当作提高临床康复效率的新型治疗工具。下肢康复机器人作为一种自动化设备,可以帮助患者进行科学和有效的康复训练,使患者的肢体运动机能得到更好的恢复^[7]。

总之,下肢康复训练机器人可模拟正常的生理步态模式,通

过连续不断的重复训练使患者日常生活活动能力得到训练和提高;可保证训练过程的一致性和持续性,实现训练方案及康复评估参数化,进一步提高康复疗效。

参 考 文 献

- [1] 高峰,杜良杰,李建军. 脊髓损伤患者的下肢功能重建:智能化康复手段. 中国康复理论与实践,2008,14:845-846.
- [2] 张金兰. 脑卒中偏瘫患者下肢功能障碍康复训练方法及效果分析. 齐齐哈尔医学院报,2006,27:224-225.
- [3] 喻锦成,符俏. 减重步行训练在脑卒中康复中的应用进展. 海南医学,2010,21:26-29.
- [4] Borggraefe I, Kiwull L, Schaefer JS, et al. Sustainability of motor performance after robotic-assisted treadmill therapy in children: an open, non-randomized baseline-treatment study. Eur J Phys Rehabil Med, 2010, 46:125-131.
- [5] Hillman M. Rehabilitation robotics from past to present—a historical perspective. Proceedings of the ICORR 2003 (The Eighth International Conference on Rehabilitation Robotics), 2003, 4:23-25.
- [6] Hesse S, Schmidt H, Werner C, et al. Upper and lower extremity robotic devices for rehabilitation and for studying motor control. Curr Opin Neurol, 2003, 16:705-710.
- [7] 谢欲晓,白伟,张羽. 下肢康复训练机器人的研究现状与趋势. 中国医疗器械信息,2010,16:5-8.
- [8] Bolliger M, Banz R, Dietz V, et al. Standardized voluntary force measurement in a lower extremity rehabilitation robot. J Neuroeng Rehabil, 2008, 5:23.
- [9] 吴涛,江迪锦,许志生,等. 下肢辅助机器人训练在脑卒中患者康复中的应用. 中华物理医学与康复杂志,2011,33:155-157.
- [10] Hornby TG, Campbell DD, Kahn JH, et al. Enhanced gait-related improvements after therapist-versus robotic-assisted locomotor training in subjects with chronic stroke: a randomized controlled study. Stroke, 2008, 39:1786-1792.
- [11] 徐广青,兰月,黄东锋,等. 运动想象对脑卒中患者偏瘫步态和步行能力的影响. 中国康复医学杂志, 2010, 25:942-946.
- [12] 王亚泉. 步态分析在偏瘫康复中的应用. 中国临床康复,2004,8:5332-5333.
- [13] Husemann B, Müller F, Krewer C, et al. Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: a randomized controlled pilot study. Stroke, 2007, 38:349-354.
- [14] Westlake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recover post-stroke. J Neuroeng Rehabil, 2009, 6:18.
- [15] Mayr A, Kofler M, Quirbach E, et al. Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the lokomat gait orthosis. Neurorehabil Neural Repair, 2007, 21:307-314.
- [16] Protas EJ, Holmes SA, Qureshy H, et al. Supported treadmill ambulation training after spinal cord injury: a pilot study. Arch Phys Med Rehabil, 2001, 82:825-831.
- [17] 郭素梅,李建民,吴庆文,等. 机器人步态训练对不完全性脊髓损伤患者肌肉及步行功能的影响. 中国康复医学杂志,2012,27:360-363.
- [18] Nuijten CF, Ter Hoeve N, Field-Fote EC. Gait quality is improved by locomotor training in individuals with SCI regardless of training approach. J Neuroeng Rehabil, 2009, 6:36.

- [19] 杨振中,贺雪琴,赵秀梅. 减重步行训练对不完全性脊髓损伤患者步行能力的影响. 现代医药卫生, 2006, 22: 1801.
- [20] Miyai I, Fujimoto Y, Ueda Y, et al. Treadmill training with body weight support: its effect on Parkinson's disease. Arch Phys Med Rehabil, 2000, 81: 849-852.
- [21] Lo AC, Chang VC, Gianfrancesco MA, et al. Reduction of freezing of gait in Parkinson's disease by repetitive robot-assisted treadmill training: a pilot study. J Neuroeng Rehabil, 2010, 7: 51.
- [22] Lo AC, Triche EW. Improving gait in multiple sclerosis using robot-assisted, body weight supported treadmill training. Neurorehabil Neural Repair, 2008, 22: 661-671.
- [23] 程方, 王人成, 贾晓红, 等. 减重步行训练机器人步态规划方法的研究. 康复医学工程, 2008, 23: 916-918.
- (修回日期: 2012-10-11)
(本文编辑: 汪 玲)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

中华医学会杂志社对一稿两投问题处理的声明

为维护中华医学会系列杂志的声誉和广大读者的利益, 现将中华医学会系列杂志对一稿两投和一稿两用问题的处理声明如下:

1. 本声明中所涉及的文稿均指原始研究的报告或尽管 2 篇文稿在文字的表达和讨论的叙述上可能存在某些不同之处, 但这些文稿的主要数据和图表是相同的。所指文稿不包括重要会议的纪要、疾病的诊断标准和防治指南、有关组织达成的共识性文件、新闻报道类文稿及在一种刊物发表过摘要或初步报道而将全文投向另一种刊物的文稿。上述各类文稿如作者要重复投稿, 应向有关期刊编辑部做出说明。

2. 如 1 篇文稿已以全文方式在某刊物发表, 除非文种不同, 否则不可再将该文投寄给他刊。

3. 请作者所在单位在来稿介绍信中注明文稿有无一稿两投问题。

4. 凡来稿在接到编辑部回执后满 3 个月未接到退稿, 则表明稿件仍在处理中, 作者欲投他刊, 应事先与该刊编辑部联系并申述理由。

5. 编辑部认为文稿有一稿两投嫌疑时, 应认真收集有关资料并仔细核实后再通知作者, 同时立即进行退稿处理, 在做出处理决定前请作者就此问题做出解释。期刊编辑部与作者双方意见发生分歧时, 应由上级主管部门或有关权威机构进行最后仲裁。

6. 一稿两用一经证实, 期刊编辑部将择期在杂志中刊出其作者姓名和单位及撤销该论文的通告; 对该作者作为第一作者所撰写的一切文稿, 中华医学会系列杂志 2 年内将拒绝其发表; 并就此事件向作者所在单位和该领域内的其他科技期刊进行通报。

中华医学会杂志社

本刊对来稿中统计学处理的有关要求

1. 统计研究设计: 应交代统计研究设计的名称和主要做法。如调查设计(分为前瞻性、回顾性或横断面调查研究); 实验设计(应交代具体的设计类型, 如自身配对设计、成组设计、交叉设计、析因设计、正交设计等); 临床试验设计(应交代属于第几期临床试验, 采用了何种盲法措施等)。主要做法应围绕 4 个基本原则(随机、对照、重复、均衡)概要说明, 尤其要交代如何控制重要非试验因素的干扰和影响。

2. 资料的表达与描述: 用 $(\bar{x} \pm s)$ 表达近似服从正态分布的定量资料, 用 $M(Q_R)$ 表达呈偏态分布的定量资料; 用统计表时, 要合理安排纵横标目, 并将数据的含义表达清楚; 用统计图时, 所用统计图的类型应与资料性质相匹配, 并使数轴上刻度值的标法符合数学原则; 用相对数时, 分母不宜小于 20, 要注意区分百分率与百分比。

3. 统计分析方法的选择: 对于定量资料, 应根据所采用的设计类型、资料所具备的条件和分析目的, 选用合适的统计分析方法, 不应盲目套用 t 检验和单因素方差分析; 对于定性资料, 应根据所采用的设计类型、定性变量的性质和频数所具备的条件以及分析目的, 选用合适的统计分析方法, 不应盲目套用 χ^2 检验。对于回归分析, 应结合专业知识和散点图, 选用合适的回归类型, 不应盲目套用简单直线回归分析, 对具有重复实验数据的回归分析资料, 不应简单化处理; 对于多因素、多指标资料, 要在一元分析的基础上, 尽可能运用多元统计分析方法, 以便对因素之间的交互作用和多指标之间的内在联系进行全面、合理的解释和评价。

4. 统计结果的解释和表达: 当 $P < 0.05$ (或 $P < 0.01$) 时, 应说明对比组之间的差异有统计学意义, 而不应说对比组之间具有显著性(或非常显著性)的差别; 应写明所用统计分析方法的具体名称(如: 成组设计资料的 t 检验、两因素析因设计资料的方差分析、多个均数之间两两比较的 q 检验等), 统计量的具体值(如 $t = 3.45$, $\chi^2 = 4.68$, $F = 6.79$ 等), 应尽可能给出具体的 P 值(如 $P = 0.0238$); 当涉及到总体参数(如总体均数、总体率等)时, 在给出显著性检验结果的同时, 再给出 95% 可信区间。