·康复医学工程·

多模式下肢康复训练机器人的设计与实验分析*

张立勋[1] 李长胜[1] 刘富强[1]

摘要

目的:为满足下肢运动功能障碍患者的康复需要,设计了一种具有多种模式的下肢康复训练机器人。

方法:介绍了它的机械结构、系统的工作原理并对样机进行了实验分析。

结果:该机器人具有对患者进行主动运动、被动运动、辅助运动和主被动运动等训练模式。可以实现单关节的分离运动和多关节的协同运动。给出了患者髋、膝、踝关节做被动运动训练时往复运动机构末端的位置跟踪情况。基于柔顺性控制的脚踏板末端轨迹跟踪情况,以及被动运动时的足底力和腿部肌肉压力变化情况。

结论:通过样机实验,验证了该机器人的基本功能,经过进一步改进和完善,可为下肢运动功能障碍的患者提供有效的康复训练。

关键词 康复训练;康复机器人;下肢功能

中图分类号:R496,R681.8 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2011)-05-0464-03

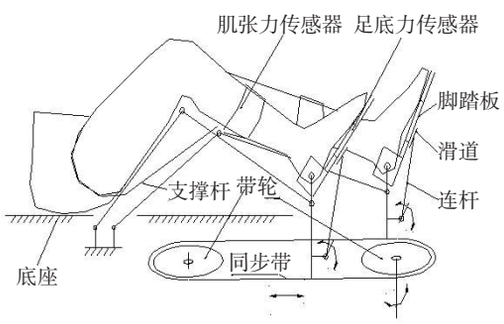
下肢运动功能障碍患者的不断增加,给患者本人、家庭和社会都带来了沉重的负担。目前有很多种治疗方法,但是无论采取哪种方法,都离不开对患肢进行运动康复训练。医学理论和临床康复实践表明,运动康复训练对恢复中枢神经系统功能,防止肌肉萎缩有着重要的意义[1]。康复训练不仅可以对患者施加精确的运动控制,也可以记录患者的治疗数据[2]。为解决上述问题,近几年来,国内外的研究机构相继研发了康复训练机器人,如德国的RECK公司研制的MOTOmed康复设备,它能够实现被动运动、主动运动和助力运动等功能[3]。美国密歇根大学研究的下肢康复机器人,实现了肢体的阻抗控制训练[4]。国内哈尔滨工程大学机电一体化实验室开发的一种下肢康复训练机器人,它可以通过模拟正常人行走的运动轨迹来对患者进行训练[5]。本文借鉴现有康复机器人的优点,介绍了一种结构简单、功能齐全的多模式下肢康复训练机器人,为脑卒中、偏瘫、脊髓损伤等下肢运动功能障碍的患者提供了多种训练方案,可用于下肢肌肉的训练。

1 机器人的结构及工作原理

下肢康复训练机器人的总体结构如图1所示,机器人主要由固定系统和为患者提供支撑的底座、使患肢进行往复运动的往复运动机构和用于训练踝关节的两套踝关节运动机构组成。有3个自由度,分别由3个直流力矩电机驱动。

往复运动机构包括同步齿形带和两个带轮。带轮与主运动电机相连,在它的驱动下,同步齿形带可以进行往复运动,带动患者的下肢做屈伸运动。踝关节运动机构包括脚踏板、滑道、连杆和支撑杆等。踝关节电机驱动连杆,使连杆做往复旋转运动并带动脚踏板旋转。支撑杆用于支撑患者的大小腿。在脚踏板上安装有压力传感器,用于检测康复训练时患者的足底力,在患者的小腿安装有肌张力传感器,用于检测患者是否发生痉挛。康复训练时,患者仰卧于机器人上,这样既有利于治疗,也给重度患者提供了方便。

图1 下肢康复训练机器人总体结构



2 机器人的控制系统

患者从发病到治愈过程中,经历不同的恢复阶段,实现多种运动训练模式对患者的康复具有重要意义。针对这种

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2011.05.016

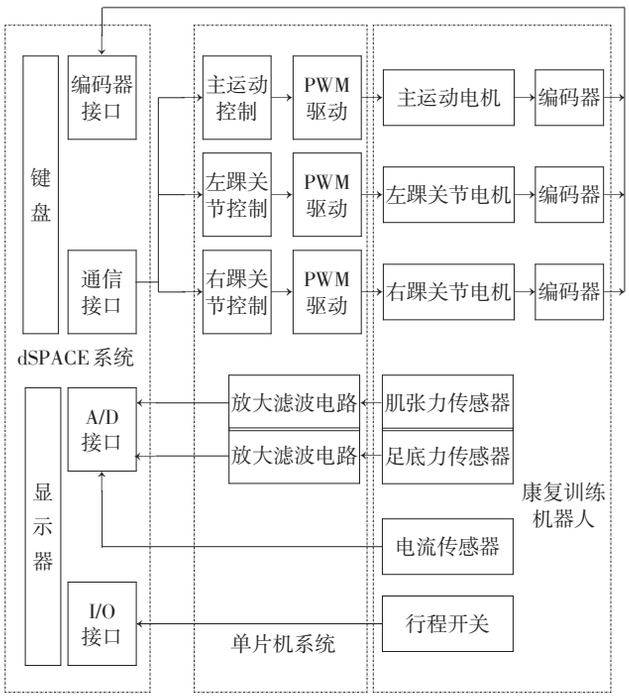
*基金项目:黑龙江省自然科学基金(F200904)

1 哈尔滨工程大学机器人研究所,哈尔滨,150001

作者简介:张立勋,男,教授,博士生导师; 收稿日期:2010-06-30

情况,该康复机器人提供了被动运动、辅助运动、主动运动以及主被动运动等多种训练模式。其控制原理图如图2所示。

图2 下肢康复训练机器人控制原理



该系统主要由dSPACE半物理仿真系统及单片机系统组成。下肢康复机器人上安装的足底力传感器、电流传感器,检测的信号经过放大滤波后,通过A/D接口传输给dSPACE系统处理并应用实现了基于力反馈及电流反馈的控制。肌张力传感器获得人体运动信号,提供了判断是否发生肌肉痉挛的依据。电机上安装有编码器,把机器人运动的位置信号反馈给系统,实现了位置闭环控制。

①被动运动是指患者完全依靠外力的帮助来完成的训练,在康复训练的初期,患肢丧失肌肉力量,无法自己运动,被动训练可以有效地促进肢体功能的恢复。在被动训练中,机器人既可以对患者进行单纯的轨迹训练,又可以实现基于力反馈的柔顺性训练。在单纯的轨迹训练时,患者处于放松的状态,脚踏板以一定的轨迹和速度带动患者下肢运动。进行柔顺性训练时,通过力传感器检测足底力并在控制中加入力反馈环节实现柔顺性控制,满足患者的舒适度要求并提高康复训练的安全性。

②当患者的肌肉有一定的力量,但不足以进行日常活动时,辅助运动可以发现并增强患者的剩余力量,提高患者信心。辅助训练通过为患肢提供助力或抗阻来实现。阻力或抗阻的大小根据患者病情的严重程度来调节。

③在康复后期,患者已经具备了完全依靠自己的力量来完成运动的能力。这时患者可以进行主动运动,患者在机器人上训练时,机器人不提供阻力或者助力,只对运动数据起到测量和记录的作用。

④主动运动和被动运动相结合的训练方式用于患者单侧患肢发生病变或者两侧患肢病变程度不同的情况。患者的一侧患肢做主动运动,带动另一侧患肢做被动运动。通过感知主动与被动运动患肢的足底力来调节他们之间力的比例关系。

肌肉痉挛的检测对患者的治疗具有重要意义[6]。在康复训练的过程中,患者如果发生肌肉痉挛,该机器人能够及时检测并做出反应,采取一定的措施,以保护患者的安全。同时,针对患者病患的不同部位,该机器人可以分别对下肢进行单关节和多关节训练,如对踝关节的康复训练、髋膝关节的训练以及对髋膝踝关节同时进行康复训练。

3 样机及实验分析

下肢康复训练机器人样机如图3所示。康复训练时,患者仰卧于机器人上,使双脚固定在踏板上,在患者腿部安装肌张力传感器。

患者在对髋膝踝关节做被动运动训练时往复运动机构末端的位置跟踪情况如图4所示,以时间为横坐标,腿屈伸的方向为纵坐标,速度为0.05m/s,通过编码器读取反馈的位置信号,控制方式为单纯的位置闭环,由轨迹跟踪的情况可知,被动运动实现了较好的效果。

图5为考虑到柔顺性的脚踏板末端轨迹跟踪情况,以时间为横坐标,脚踏板与水平方向的角度为纵坐标,速度为7.5°/s,把足底力的信号反馈到控制系统中。由轨迹跟踪的情况可知,这种控制方式对患肢具有一定的柔顺性,提高了安全性和舒适度。

该机器人的脚踏板安装有力传感器,可以检测出在被动运动时足底力的变化情况。在患肢上安装有肌张力传感器,通过检测肌肉压力大小来反映肌张力状况。如图6和图7所

图3 下肢康复训练机器人样机

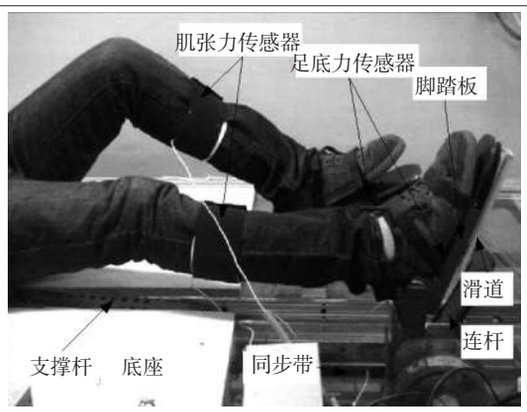


图4 往复运动轨迹的跟踪效果

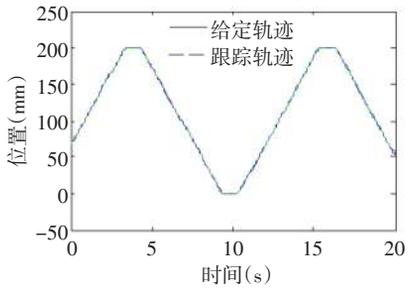


图5 考虑到柔顺性的脚踏板末端轨迹跟踪效果

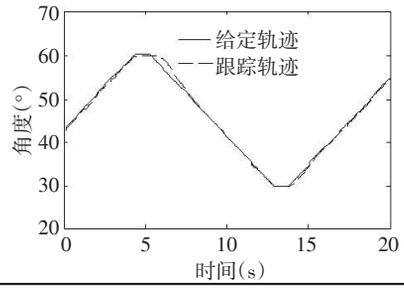


图6 被动运动时的足底力

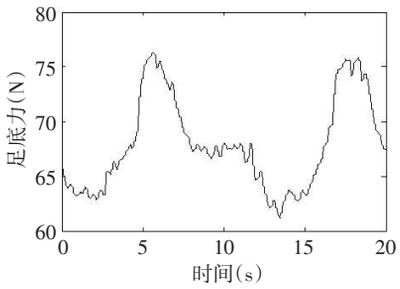
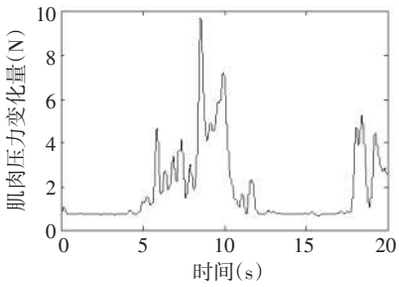


图7 被动运动时的肌肉压力



示为患者在对髋、膝、踝关节做被动运动训练时足底力和肌肉压力的变化情况。

横坐标为训练的时间,纵坐标分别为足底力和肌肉压力,由图6和图7可知,足底力和肌肉压力随着时间而不断变化,这些数据为以后进一步深入研究提供了参考依据。

4 结论

该机器人具有结构简单、成本低等特点。针对下肢运动功能障碍的患者,在不同的康复阶段可以提供多种模式的自动康复训练,可以适用于不同病情的患者。样机实验验证了所设计的康复训练机器人的可行性,经过进一步改进完善,可为下肢运动功能障碍的患者提供一种有效的方法。

参考文献

[1] 刘青,刘宏章,杨本华. 脑卒中患者肢体运动功能的系统康复治疗[J]. 中国康复, 2006,21(3):189.

[2] 叶晓勤,季林红,谢雁鸣,等. 康复训练机器人与传统中医康复方法相结合的探讨[J]. 中国康复医学杂志,2010,25(8):782.

[3] http://www.motomed.com[DB/OL].

[4] Simon AM, Brent Gillespie R, Ferris DP. Symmetry-based resistance as a novel means of lower limb rehabilitation[J]. J Biomech, 2007, 40(6):1286—1292.

[5] 张晓超,张立勋,颜庆. 一种新型三自由度下肢康复训练机器人步态机构运动分析及仿真[J]. 自动化技术及应用,2005,24(3):32—35.

[6] 郭铁成,卫小梅,陈小红. 改良Ashworth量表用于痉挛评定的信度研究[J]. 中国康复医学杂志,2008,23(10):906.

《软组织痛的基础与临床》出版

由李义凯教授主编的《软组织痛的基础与临床》一书近日出版,全书共48章1百万余字和近300幅与颈肩腰腿痛诊治相关的详实解剖图片。本书从解剖学、病因、病理、临床表现、诊断和鉴别诊断以及治疗方面较为全面、详细和系统的介绍了全身软组织痛的解剖学基础和临床诊治情况,书价280元。

地址:广州南方医科大学中医药学院,邮编:510515

联系方式:13728025284或liyikai88@sina.com