

· 康复医学工程 ·

# 一种轮椅式下肢助行机器人的设计及运动学仿真分析\*

白大鹏<sup>1</sup> 张立勋<sup>1,2</sup> 于彦春<sup>1</sup>

## 摘要

**目的:**设计一种轮椅式下肢助行机器人,以协助下肢患者进行日常的助行康复训练。

**方法:**利用升降机构和腿部助力机构来完成对下肢患者的助行康复训练,并通过 MATLAB 软件对腿部助力机构进行了运动学仿真分析。

**结果:**仿真结果表明,在腿部助力机构的带动下,患者腿部的运动规律符合正常人行走时的步态特征曲线。

**结论:**证明了机构设计的合理性,可以用于下肢患者的助行训练。

**关键词** 助行机器人;下肢助行;MATLAB 仿真

**中图分类号:**R496 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2010)-12-1176-03

**A design of lower limb walking aid robot with wheelchair style and its MATLAB simulation/BAI Dapeng, ZHANG Lixun, YU Yanchun//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2010, 25(12):1176—1178**

## Abstract

**Objective:** To design a lower limb walking aid robot with wheelchair style for helping patients with lower limb disabilities to take daily walking aid rehabilitative training.

**Method:** Walking aid rehabilitative training was realized by lifter and power-assisted mechanism of lower limbs. The analysis of kinematics simulation was carried out on power-assisted mechanism of lower limbs by using MATLAB software.

**Result:** The results of simulation showed that the motion law of patients' lower limbs was according with the gait characteristic curve of normal walking by taking the power-assisted mechanism of lower limbs.

**Conclusion:** The rationality of mechanism design was proved. And it can be used for walking aid rehabilitative training.

**Author's address** College of Mechanical and Electrical Engineering, Harbin Engineering University, Harbin, 150001

**Key words** walking aid robot; lower limb walking aid; MATLAB simulation

随着生理功能的衰退特别是下肢肌肉力量的退化,大部分老年人往往有行走能力而没有站立能力,许多有走动能力的老年人因为缺乏站立能力而被困在椅子上。中国随着人口老龄化的进程,很多老年人也普遍存在着站立困难的问题,需要进行康复训练和护理,才能够保证肢体的康复,不至于肌肉老损或坏死<sup>[1]</sup>。康复训练机器人作为一种自动化康复医疗设

备,它以医学理论为依据,帮助患者进行科学而又有效的康复训练,使患者的运动机能得到更好的恢复。

近年来,下肢康复机器人成为国内外的研究热点,许多研究机构取得了一定的研究成果。2007年由柏林自由大学和柏林慈善医院等机构共同开发出一种能帮助脑卒中患者训练下肢,恢复行走的新型康复机器人——触觉行走者(HaPitcwalker<sup>[2]</sup>)。卢布

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2010.12.012

\* 基金项目:863 项目(2008AA040203)

1 哈尔滨工程大学机电工程学院 703 所,150001; 2 通讯作者

作者简介:白大鹏,男,博士生; 收稿日期:2010-06-30

尔雅那大学研制了帮助患者站立的康复机器人 (standing-up robot assistive device<sup>[3]</sup>)。美国芝加哥大学研制了康复机器人 KineAssist<sup>[4]</sup>,该机器人主要是帮助偏瘫患者或行走不便的患者进行行走训练。清华大学在国家“863”计划支持下,从 2000 年起即开展了机器人辅助神经康复的研究,研制了卧式下肢康复机器人和步行康复训练机器人等<sup>[5]</sup>。哈尔滨工业大学具有代表性的是由该大学研制的下肢康复助行机构,主要包括穿戴在身上的助行行走机构和抬升机构<sup>[6]</sup>。哈尔滨工程大学机电一体化实验室一直致力于康复机器人领域的研究,研制的卧式下肢康复机器人可以在患者平躺时进行双腿的步态训练。远程控制下肢康复机器人可以模拟正常人行走的椭圆轨迹。上述各下肢康复机器人机械结构复杂、成本较高、不便于患者操作。患者无法独立进行助行康复训练。

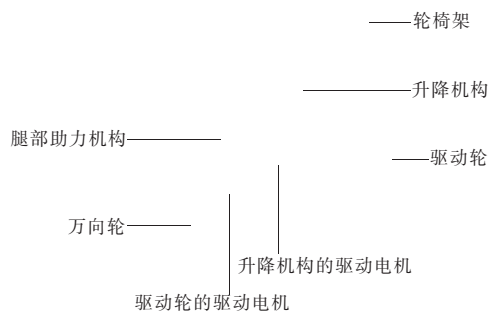
本文设计了一种轮椅式下肢助行机器人,可以使患者独立地在家中或室外进行助行康复训练。该轮椅不但可以进行助行康复训练,还可以进行起坐功能的康复训练。

## 1 助行轮椅的总体结构

助行轮椅的 Autodesk/Inventor 三维装配图如图 1 所示,主要包括轮椅架、轮椅的驱动轮和万向轮、驱动轮的驱动电机、升降机构、升降机构的驱动电机和腿部助力机构。轮椅的中间位置安装升降机构和升降机构的驱动电机,腿部助力机构安装在轮椅左右两侧。此助行轮椅有两种训练模式,一种是起坐功能的康复训练,另一种是助行康复训练。

使用时,患者可以进行独立操作,并配有言语提

图 1 助行轮椅三维装配图



示功能。进行起坐功能训练时,首先将轮椅驱动轮的驱动电机锁定,使轮椅无法运动从而确保下肢患者进行起坐训练的安全性。患者在坐姿的状态下,系好安全带,手扶在轮椅左右两侧的扶手上,通过控制面板来控制升降机构,以进行起坐功能的训练。同时,患者可以根据自身的情况选择适合自己的升降速度来进行起坐功能的训练。

进行助行康复训练时,首先使患者坐到可升降座位上,系好安全带,防止下肢患者在进行助行康复训练时身体前倾。然后,手扶在轮椅左右两侧扶手上,通过控制面板来控制升降机构使自己达到站立的状态,同时升降机构起到对身体的支持作用。最后启动助行功能键进行助行康复训练,患者可以根据自身的情况来选择合适的助行速度进行训练。助行训练时,升降座位可以进行少量的前后调整,与人之间的配合运动具有一定的柔顺性,以避免患者感到不适。康复训练后,患者在通过控制面板来控制升降机构使自己回到坐姿的状态。

### 1.1 升降机构

升降机构的三维设计图如图 2 所示,主要包括滑轨、滑块、靠背板、靠背支架、升降座位、行程开关、过轮等。升降机构安装在轮椅的正中央,驱动电机带动过轮转动的同时,使得升降座位沿着与地面之间成  $45^\circ$  角的方向上运动,从而实现了升降机构的往复运动。当滑块碰到滑轨上下两端的行程开关时,升降座位停止运动。只需一台电机即可完成对升降机构的控制,从而实现带动下肢患者进行起坐功能的训练。

### 1.2 腿部助力机构

图 3 为腿部助力机构的三维示意图,主要包括

图 2 升降机构的三维图

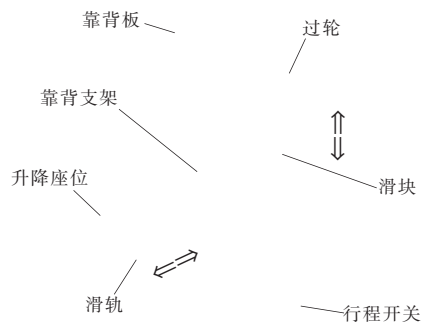
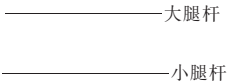


图 3 腿部助力机构的三维示意图



驱动电机、涡轮蜗杆减速器、杆机构等。腿部助力机构采用对称的方式安装在轮椅的两侧。驱动电机和涡轮蜗杆减速器配合安装,用来提供对患者进行助行训练时的推动力。小腿杆中装有滑块,可以在下肢患者助行训练时进行自动调整,避免因无法调整使患者感到不适。进行康复训练时,大腿杆和小腿杆分别给大腿和小腿提供助行推力以达到助行的目的。

图 4 站立时姿态图

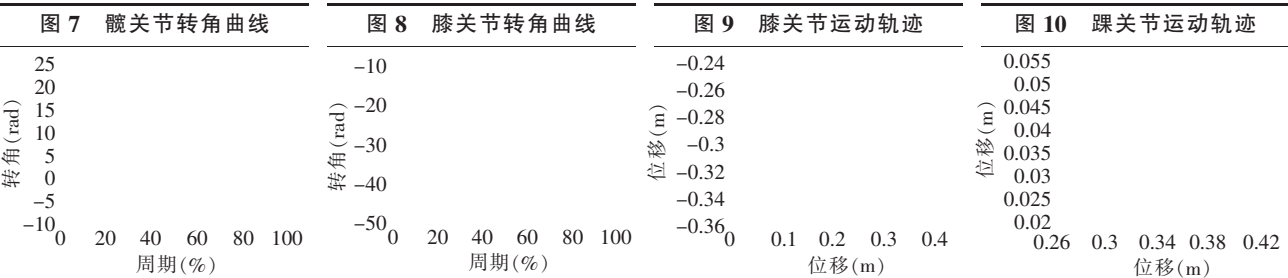
图 5 行走时姿态图

图 6 脚尖刚离开地面时姿态图

2 结果

为模拟人的步行姿态,利用 Autodesk/Inventor 软件描述了人体行走过程中可代表人体步态特征的姿态图。图 4 是人体站立时的姿态图,图 5 是左脚抬起向前行走时的姿态图,图 6 是左脚脚尖刚要离开地面向前行走时的姿态图。

为验证腿部助力机构设计的合理性,基于 MATLAB/Simulink 仿真环境及其下的机构仿真工具 SimMechanics,对单侧腿部助力机构进行了运动学仿真分析。仿真结果如图 7—10 所示。图 7—8 分别表示一个步态周期中,髋、膝关节的转角曲线。以电机所在位置为坐标原点,图 9—10 分别表示一个步态周期中,膝、踝关节的运动轨迹曲线。仿真结果表明,在腿部助力机构的带动下,患者腿部的运动规律符合正常人行走时的步态特征曲线,从而证明了腿部助力机构设计的合理性,可以用于下肢患者的助行训练。



3 结论

本文设计的一种轮椅式下肢助行机器人主要是在升降机构和腿部助力机构的协助下进行助行康复训练,只需一台电机即可完成对升降机构的控制,从而实现带动下肢功能障碍患者进行起坐功能的训练。仿真结果证明了机构设计的合理性,可以用于下肢患者的助行训练。

参考文献

[1] 王汪,金德闻.中国康复工程发展道路之思考[J].中国康复理论与

实践,2005,11(3):161—163.  
[2] Henning Schmid,Stefan Hesse,Rolf Bernhardt,et al. Haptic walker-A novel HaPtic Foot Device ACM Transaetions on AP-Plied PercePtion. 2005,2(2):166—180.  
[3] Kamnik R,Bajd T.Standing-up robot: an assistive rehabilitative device for training and assessment [J]. Journal of Medical Engineering & echnology, 2004,28(2):74—80.  
[4] Michael Peshkin, David A. Brown. KineAssist: A robotic over-ground gait and balance training device.Proceedings of the 2005 IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics[C].1.2005,Chicago,IL, USA: 241—246.  
[5] 程方,王人成,贾晓红,等.减重步行康复训练机器人研究进展[J].康复医学工程,2008,23(4):366—368.  
[6] 薛渊,吕广明.下肢康复助行机构本体设计及运动学分析[J].机械设计与制造,2006,(5): 131—133.