

下肢残肢功能综合训练系统的研发

陶春静, 张晓玉

(国家康复辅具研究中心 科研管理部, 北京 100176)

摘要: 目的 为最大限度保留下肢截肢患者残肢残存功能,充分发挥假肢代偿功能,研制开发了具有数字化控制和反馈的下肢残肢功能综合训练系统。**方法** 由髋关节训练系统和膝关节训练系统两部分组成,可增大关节活动角度、增加残肢肌容积、促进残肢愈合。**结果** 根据多病科结合,成功研发出综合康复训练系统。**结论** 该系统从根本上提高截肢者的残肢功能,促进残肢定型,改善残肢装配假肢所需条件。

关键词: 下肢; 残肢残存功能; 假肢代偿功能; 关节训练系统; 活动病

中图分类号: R318.01 **文献标志码:** A

Rehabilitative training system for lower residual limbs

TAO Chun-jing, ZHANG Xiao-yu. (National Research Center for Rehabilitation Technical Aids, Scientific Management Department, Beijing 100176, China)

Abstract: Objective In order to maximumly remain the residual function of the lower residual limbs of amputation patient, and sufficiently bring in to full play of prosthesis, a rehabilitative training system of lower residual limbs was developed. **Method** The system comprises two parts: hip-joint training system and knee-joint training system, which could make the joint active angle improved, increase muscle volume of the residual limb and boost the concrescence of residual limb. **Result** Based on multidisciplinary research, the rehabilitative training system has finally developed. **Conclusions** With this system, it could be realized to improve the function of the amputation patients, promote the residual limbs setting and improve the conditions needed in assembling prosthesis fundamentally.

Key words: Lower limb; Residual function; Compensation function; Training system; Range of motion

根据2006年第二次全国残疾人抽样调查数据,截至到2006年4月1日,全国各类残疾人总数为8296万人,占全国总人口的6.34%,其中肢体残疾2412万人,占残疾人总数的29.07%。按照1987年“三类残疾人的康复器械状况”抽样调查结果推算,有11.4%的肢体残疾者需要安装假肢,则2412万肢体残疾者中需要安装假肢的有274万人。假肢安装效果与假肢产品的质量、性能有关,更与残肢状况关系密切。患者截肢后及时的康复运动将为发挥截

肢者残肢的残存功能打下良好的基础^[1-3]。

目前,由于许多下肢截肢患者在截肢后没能及时进行康复训练,或康复训练缺乏专业的训练指导,从而导致残肢出现屈曲、畸形或肌萎缩,甚至出现严重的残肢痛。截肢患者残肢变形一旦形成,将会给假肢装配带来很大困难,给患者装配假肢后的步态、步行能力带来很大影响,使患者难以尽早重新融入社会^[4-6]。如何最大程度保留残肢残存功能,为充分发挥假肢代偿功能创造条件,是目前康复领域的重

收稿日期:2009-06-08; 修回日期:2009-07-08

基金项目:国家科技支撑计划项目(.2006BAI22B04)

作者简介:陶春静(1975-),女,博士,研究方向:康复工程

通讯作者:陶春静,助理研究员,E-mail:taochj@gmail.com

要研究课题之一。

本文从下肢截肢者装配假肢的实际需要出发,通过医学、康复工程学、机械设计学、控制学等多学科的结合,研制开发可增大关节活动角度、促进肌肉等长收缩、增加残肢肌容积、促进残肢愈合的下肢残肢功能训练系统,并提供基于人体工效学的模块化机构,配以肌电刺激、红外装置、肌电信号采集等模块,从根本上提高截肢者的残肢功能,促进残肢定型,改善残肢装配假肢所需条件。

1 主体设计

针对患者下肢截肢后常见的挛缩现象以及相应的处理方法(如表1所示),设计下肢残肢功能综合训练系统。系统主体机构可实现各板块呈曲线平滑过渡,器械与人体接触部位符合人体工学,避免使用者产生不舒适感。训练机构通过数字化的控制系统设计,满足大腿截肢和小腿截肢患者对矫正运动和增强肌力运动的不同要求,帮助患者达到最佳训练运动量和最佳运动幅度,并可根据截肢患者体重、体位、截肢部位、残肢状况等个体因素调节承重量等训练参数。系统应带有外部动力源,可帮助不同失能程度的截肢患者进行综合康复训练。

表1 截肢后常见挛缩现象及相应处理方法

Tab.1 The contracture occurred after amputation and the corresponding deal method

截肢部位	关节	常见的挛缩	矫正运动	增强肌力的运动
大腿	髋	屈曲、外展、	伸直、内收	伸直、内收
小腿	膝	外旋屈曲	伸直	伸直

考虑以上因素,对训练系统主体结构的尺寸、运动方式、安全性等方面进行设计。通过调研及实践发现,设计一台可同时训练大腿、小腿残肢的系统容易造成设备体积过大,结构过于繁复等缺点而不利于设备的实际应用。针对大小腿截肢患者,本着实用、简约的目的对训练系统机械结构进行设计,采用髋、膝分开训练的方式,设计一套下肢截肢患者使用的综合训练系统。该下肢残肢功能综合训练系统由两部分组成,第一部分为髋关节训练系统,以训练大腿截肢者为主,采用站立式训练方式,可以实现残肢

的屈曲、内收和外展运动,可以进行髋关节等长、等张训练,为主动训练方式;第二部分为膝关节训练系统,以训练小腿截肢者为主,采用坐式训练方式,能够实现残肢的屈曲运动,完成膝关节等张、等速训练,既可以实现主动训练,也可以实现被动训练。

髋、膝关节训练器主要由机械部分和电气控制部分组成。训练系统的机械结构针对下肢截肢后易出现的挛缩和相应的处理方法而设计,能够满足大腿截肢和小腿截肢对矫正运动及增强肌力运动的不同要求。髋、膝关节训练系统中的主动训练阻尼源由磁粉制动器提供,膝关节训练系统中的被动训练功能由直流力矩电机完成。

1.1 髋关节训练系统设计

髋关节训练系统主要功能是完成大腿截肢患者髋关节的主动训练。大腿截肢患者功能损害的特点是髂腰肌、臀肌功能尚保留,髂胫束、腘绳肌、股直肌、缝匠肌及内收肌功能受损,同时失去肢体重力,破坏髋部肌力平衡,常有髋屈曲、外展、外旋挛缩等现象,截肢平面越高,其影响越大;坐骨结节承重假肢使承重点自髋臼后移至坐骨结节,对伸髋活动度及肌力要求更高。因此,应对大腿截肢患者进行髋关节活动度训练和肌力训练。

髋关节训练系统具有灵活、牢固支撑患者身体的支撑机构,系统机械结构如图1所示。磁粉制动器固定在可调节高度的支架上,磁粉制动器输出

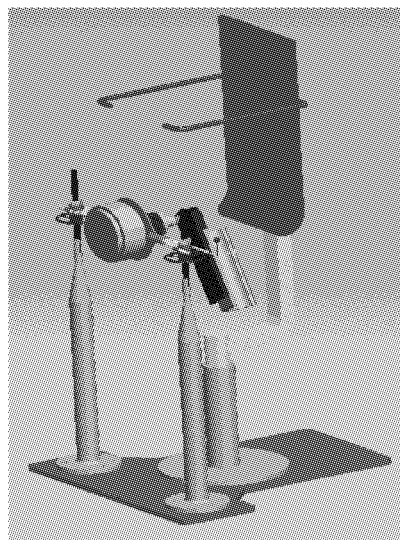


图1 髋关节训练系统机械结构图

Fig.1 Mechanism of hip joint training system

端同轴连接残肢端固定锁套(用于固定膝关节以上残肢)。患者可通过控制面板调节磁粉制动器的力矩,使残肢做左右往复或者前后往复锻炼。训练系统靠背采用弧形设计,主要是考虑到人体解剖结构,在长时间训练的情况下,可以减轻足部的压力。

1.2 膝关节训练系统设计

膝关节训练系统功能主要是完成小腿截肢患者膝关节的主动训练和被动训练。小腿截肢患者的功能损害特点是膝及髌部易有屈曲挛缩及肌肉萎缩,足的蹬离作用及足跟着地时的足背伸动作丧失。因此,对小腿截肢患者进行关节活动度练习,以防止膝关节屈曲挛缩;同时,进行肌力练习,以锻炼股二头肌肌力为主,在训练关节活动度的同时,进行膝屈伸抗阻练习。

在膝关节训练系统的设计中,根据患者的实际情况,使膝下残肢的活动角度满足可变的要求。根据膝下残肢运动角度的变化,改变阻尼输出力矩,以实现等长、等张和等速训练,机械结构如图2所示。

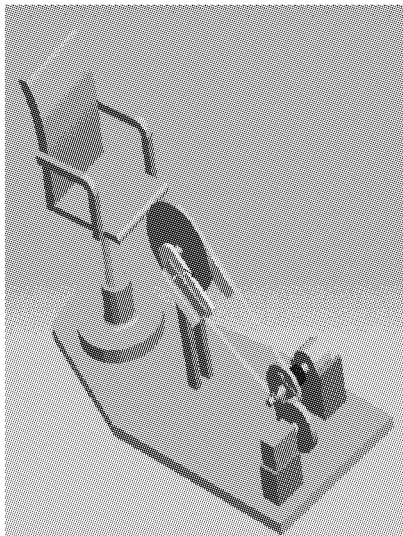


图2 膝关节训练系统机械结构图

Fig.2 Mechanism of knee joint training apparatus

1.3 悬吊和站立辅助机构的设计

设计悬吊和站立辅助机构,可以在保障患者安全的前提下实现辅助站立训练功能。悬吊机构具有适应不同体重、不同负重能力的可调节性能。站立辅助机构以保证患者安全稳定为前提,设计通用型临时假肢接受腔,实现站立平衡训练功能,提高患者

平衡感觉能力。通用型临时假肢接受腔采用气囊式结构,从而满足不同截肢患者的需求。

2 控制系统设计

髌、膝关节训练系统的机构运动既要能够模拟人体下肢运动规律,还要有足够的强度且稳定可靠,又要运动灵活自如。髌关节训练系统具有主动特性,膝关节训练系统既具有主动特性,又具有被动特性。髌、膝关节训练系统总体控制方案如图3所示。

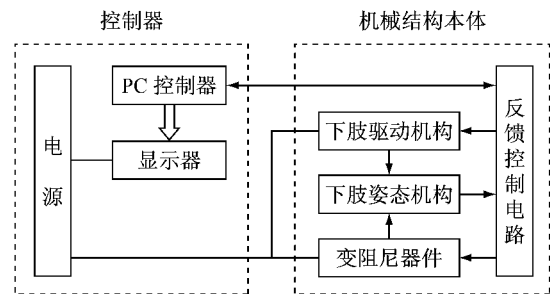


图3 控制系统总体设计方案

Fig.3 Design scheme of control system

根据髌、膝关节训练系统的训练流程,训练系统的整体控制模式是使用主控单片机分别控制主动和被动训练模式。髌、膝关节训练系统的阻尼源均由磁粉制动器提供。由于磁粉制动器的输出转矩与激磁电流成线性关系,所以控制磁粉制动器恒流驱动电路的电流就可以控制转矩。使用 ATmega16 单片机 PWM 输出信号控制磁粉制动器,通过输出不同占空比的周期性方波,对恒流控制电路进行调制,改变磁粉制动器的转矩输出,从而为训练系统提供不同的阻尼。控制系统框图如图4所示。

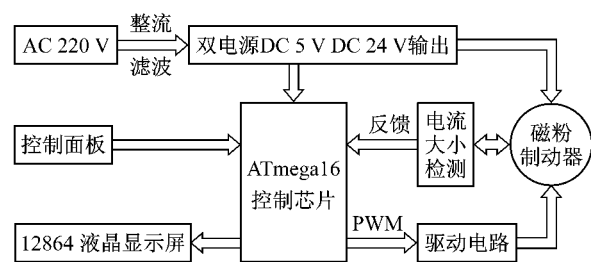


图4 控制系统的原理框图

Fig.4 Principle scheme of control system

3 多选扩充功能模块化设计

(1) 研制功能性电刺激模块。在下肢残肢功能综合训练系统中加入功能性电刺激模块,作为该系统可选的一项扩充功能,用以增加残肢肌容积,使患者更容易装配和使用假肢,并使截肢后失用性肌肉萎缩患者的肌肉萎缩情况得以缓解。

(2) 研制红外线、超声波理疗模块。加入该模块可以增强残肢皮肤强度,特别是残肢承重部位皮肤的耐受力,促进残肢愈合。

(3) 研制肌电采集模块。对截肢患者残肢训练中的肌电信号进行采集和提取,研究不同训练模式中肌电信号的特征,对等张、等长和等速训练模式进行识别和分类,判定和修改康复计划,并作为控制信号控制下肢残肢康复训练系统的依据。

根据患者不同训练情况科学合理地选择适当的活动范围和运动强度,建立一个实时监控系统。通过实时采集、分析和监测患者在训练过程中的脉搏、血压等各项生理指标,避免综合训练系统给患者身体造成二次伤害。

4 结束语

下肢残肢功能综合训练系统具有数字化控制的髋关节和膝关节训练机构,可以帮助下肢截肢患者达到训练最佳运动量和最佳运动幅度,也可根据截肢患者体重、体位、截肢部位、残肢状况等因素调节承重量等训练参数。训练系统带有外部动力源,可

帮助不同失能度的截肢患者进行综合康复训练,从而达到良好的训练效果。在下肢残肢综合训练系统中引入了高速率运算的单片机进行精准控制,并设计了直观的人机交互控制面板,便于受训者使用,解决了下肢截肢患者残肢功能训练问题。

下肢残肢功能综合训练系统是一个具有重要意义和挑战性的研究课题,在理论和实际应用方面还有大量的工作需要进一步探讨和研究。

参考文献:

- [1] 王耀兵,季林红,黄靖远.一种神经康复机器人的研制[J].机械科学与技术,2005,24(2):139-141.
- [2] 任宇鹏,王广志,高小榕,等.机器人辅助运动功能康复中的控制和评估策略[J].机器人技术与应用,2003(4):40-44.
- [3] 王喜太,杨鹏,闫和平.假肢接受腔计算机辅助设计与制造系统的研制[J].中国临床康复,2002,20(6):2998-2999.
- [4] 庞军,宋利山,伍艇.不同负荷下男子挺举的生物力学特征[J].西安体育学院学报,2003,20(2):59-62.
- [5] 范毅方,岑人经,袁支润.采用40个自由度十五刚体人体模型模拟运动动作[J].暨南大学学报(自然科学版),2000,21(1):32-36.
- [6] 金德闻,王人成,白彩勤.电流变液智能下肢假肢摆动相控制原理与方法.清华大学学报(自然科学版),1998,38(2):40-43.
- [7] 王喜太,王强,张晓玉,等.基于肌电传感器的下肢残肢康复训练模式识别的研究[J].中国康复理论与实践,2009,15(1):90-92.
- [8] 王强.肌电信号分析在下肢残肢训练系统中的应用研究[D].天津:河北工业大学硕士论文,2008.