

便携式外骨骼肘关节康复训练装置的设计及测试*

梅 钊¹ 何龙文¹ 吴 磊¹ 简 卓¹

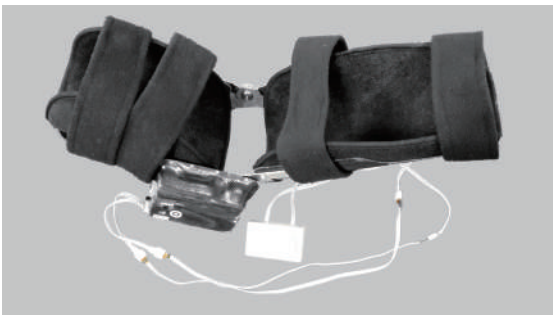
上肢功能的康复训练与功能恢复是脑卒中偏瘫患者康复过程中最为困难的一项。现代康复理论与实践证明,在脑卒中偏瘫康复治疗过程中,除了手术治疗和药物治疗外,科学的康复训练对脑卒中偏瘫患者的肢体功能康复起着重要的作用^[1-3]。采用智能康复装置进行康复训练,能解决传统康复训练方法中存在的如低效、枯燥、效果不一、缺乏评价等诸多问题。所以,利用智能康复装置来帮助偏瘫患者完成上肢的康复训练成为国内外的一种发展趋势。外骨骼式上肢训练装置由于其可穿戴性高、便携性好,能够有效实现康复训练与运动辅助功能的有机结合,研究结果表明具有较高临床价值与应用前景。但由于国内骨骼式康复训练装置的研究刚开始不久,大部分仍停留在实验室阶段,尚未进入产业化或临床应用。而国外对可穿戴式外骨骼辅助装置的研究在10年前已经开始,但多用于军事目的,真正应用于康复辅助领域也是近几年才开始出现的,而且主要是集中在手部功能的康复训练,对肘关节乃至肩关节开展的研究甚少,所以该方面亟待国内开展相关研究。外骨骼(exoskeleton)一词来自生物学,指一种可穿戴机器人,增强使用者完成某些肢体动作的能力。外骨骼机器人技术是融合了传感、控制、信息,并为操作者提供一种可穿戴的机械机构的综合技术^[4],当然也可用于肢体障碍患者的康复训练。本文将介绍一种单自由度的便携式外骨骼肘关节康复训练装置。

1 便携式外骨骼肘关节装置介绍

1.1 装置结构描述

本文所介绍的是一种单自由度的便携式外骨骼肘关节康复训练装置,如图1所示。该肘关节矫形训练器包括两个佩戴装置,分别用于固定前臂与大臂。两个佩戴装置之间通过活动转轴连接,活动转轴的一侧与动力箱连接。动力箱中包含了直流电机、减速箱及控制电路等部分。动力箱能够输出旋转运动,带动固定好的前臂与大臂完成屈伸运动。佩戴装置处设计有收紧装置,主要利用粘扣带和固定扣实现收紧功能,粘扣带采用弹性材料制成,所以其松紧是可以方便调

图1 便携式外骨骼肘关节康复训练装置



节的,使用时会更加舒适。
为充分利用脑卒中偏瘫患者残余的身体功能(如残侧肌肉微弱收缩功能、患侧肌肉收缩功能、健侧运动功能)作为信号源来控制、操作外骨骼式智能肘关节运动辅助系统,本装置设计了两种运动触发方式,一种是按键触发,一种是肌电信号触发。触发接口从动力箱中引出,使用者可根据需要连接按键模块或肌电电极模块。

本文肘关节训练装置所使用的电机为直流电机,电机输出端设计有微型减速箱。本装置的详细设计参数如表1。

1.2 装置使用流程

表1 便携式肘关节康复训练装置详细技术参数

项目	参数
工作温	-10℃—40℃
静态电流	1mA
开合速度	30mm/s(双通道模式)或 10—40mm/s(比例控制)
电池容量	1000mAh
操作电压	6V
负载重量	1500g
最大肘屈角度	100°
最大肘伸角度	180°
重量	2000g
最小肌电信号强度测试	0.05V
最大可运动载荷	1500g

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2015.11.014
*基金项目:上海市残联 K2012023 肘关节矫形训练器研发项目;上海市科委 12DZ1506700“科技创新行动计划”;上海市浦东新区科委 PKJ2012-P06“科技发展基金创新基金”项目
1 上海市残疾人康复职业培训中心,200127
作者简介:梅钊,男,一级假肢师; 收稿日期:2014-09-15

首先根据用户残侧的肌电信号状况判断患者是否满足使用肌电信号进行控制的要求,若满足,则将肌电采集电极连接至装置动力箱输出的数据接口上,若不满足,则将按键控制模块连接上去。用户将肘关节训练装置佩戴好后,收紧粘扣带,使装置与用户上肢保持相对固定即可。

若用户使用肌电方式触发动作,则需将肌电电极置于上臂皮肤表面,具体位于上臂肱二头肌屈肘肌群和肱三头肌伸肘肌群^[5],需根据实际情况做些许调整。点击安装完毕,打开电源,用户即可通过屈肘和伸肘来控制肘关节的屈伸训练。用户的肌电信号强度越大,肘关节屈、伸运动的速度也就越大。

若用户使用按键模块触发动作,则仅需用健侧手指分别按下按键模块上的屈、伸按钮即可控制肘关节的屈、伸训练。此状态下,肘关节的屈、伸速度是恒定的。

2 表面肌电信号识别及处理

本文所设计的便携式外骨骼肘关节康复训练装置使用人体表面肌电信号作为控制数据源的一种。表面肌电信号(sEMG)是由肌肉兴奋时所募集的运动单位产生的动作电位序列(motor unit action potential trains, MUAPT)在皮肤表面叠加而成,是一种非平稳的微弱信号。正常人肌电信号为mV级别,本文所设计的肘关节训练装置是针对脑卒中患者使用的,这类人群存在痉挛、不自主运动、肌无力等病症,这使得他们的肌电信号相比于正常人来说要复杂得多。

使用肌电信号作为本装置的控制源的重要优势是能够极大地增强用户的训练参与程度及主动性。因为肘关节的动作都由用户的主动运动来控制,且装置会根据患者释放的肌电信号强度做出相应的正向反馈,这使得用户努力去训练的意愿更加强烈。所以,采集及处理脑卒中患者的肌电信号是本设计的肘关节训练装置中的关键一环。

2.1 信号采集

本文设计了用于采集用户表面肌电信号的肌电信号传感器。肌电信号传感器采用低功耗放大器作为前置放大器,可有效衰减各种干扰信号,此前置放大器与电极集成在一起,成为肌电信号传感器。在采集肌电信号前,使用70%的酒精棉清洁前臂皮肤表面,去除油脂与灰尘,然后佩戴肌电信号传感器且注意收紧粘扣带,使得传感器能够紧贴于前臂皮肤。

2.2 信号处理

后级放大及滤波进一步滤除干扰信号,对已放大的伸肌信号和屈肌信号进行预处理,然后输入微处理器。由微处理器进行信号识别输出控制信号到控制电路,控制电路输出的信号进入微电机驱动电路,由微电机驱动电路驱动肘关节的微电机工作,带动康复训练器运动。肌电信号处理流程图如图2所示。

2.3 微控制器控制流程

肌电信号数据经过采集、处理电路后由AD模块转化为数字信号进入微控制器。微控制器对肌电信号的强度、方向、有效性进行判断,并以此为依据进一步控制电机运转。控制流程如图3所示。默认设置为两个电极控制电机,技师可改为单通道模式,使用一个电极触发控制微电机,或开关控制,适用于中风较严重的患者。

图2 信号采集处理流程图

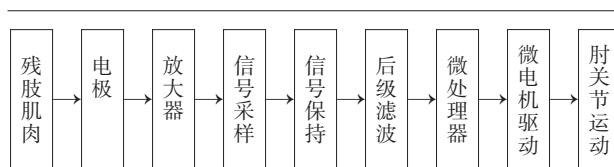
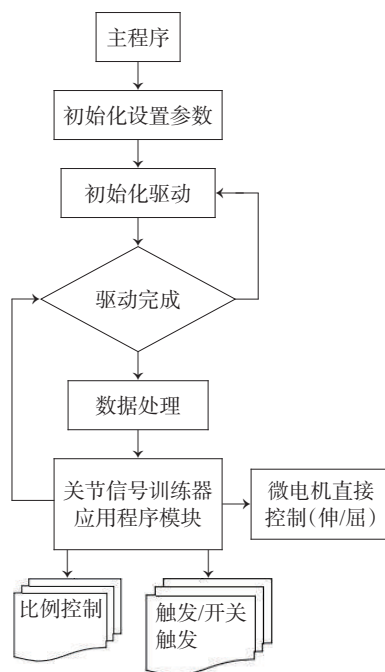


图3 微控制器控制流程图



3 样机测试实验

本文按照设计要求进行了样机试制,并对样机开展了测试实验。测试主要包括3个项目,分别是最小可操作肌电信号强度测试、肌电控制准确性、末端负载大小测试。测试情况如图4所示。

3.1 最小可操作肌电信号强度测试

由于脑卒中患者的肌电信号比正常人微弱,所以本装置能否顺利检测脑卒中患者的肌电信号是十分关键的指标。本项测试逐步向下设置装置识别动作的肌电信号阈值,并利

用正常人作为肌电信号源进行测试。要求测试者进行微动作触发肌电信号,检测系统能够识别肌电信号的下限。

经过测试,得出本文设计的便携式外骨骼肘关节康复训练装置能够识别最小的肌电信号强度为 500μV,能够满足脑卒中患者的正常使用。

3.2 肌电控制准确性

脑卒中患者的肌电信号除了在强度方面比正常人更加微弱之外,也更加的混乱。所以要求本装置能够正常的识别脑卒中患者的控制意图也是十分关键的指标。本项测试要求脑卒中偏瘫患者佩戴本装置进行肘关节屈、伸控制测试,各进行 100 次,统计触发次数、误触发次数和正确触发次数。测试结果见表 2。从测试结果可以看出,本文设计的便

表 2 肌电控制准确性测试结果

项目	测试次数	触发次数	正确触发次数	正确率(%)
屈	100	100	98	98
伸	100	100	98	98

携式外骨骼肘关节康复训练装置能够以 98%的正确率识别脑卒中患者控制意图,满足设计要求。

3.3 末端负载大小测试

本文利用自制的测试装置完成实验,如图 5 所示。该装置使用时,在布袋中放置 4kg 重的杠铃片,并利用皮带将布袋挂在用户前臂,用户则控制肘关节训练器完成屈曲动作。测试结果显示,本装置能够顺利带动 1500g 的杠铃片完成屈曲动作,满足一般日常需求。

图 4 样机测试情况

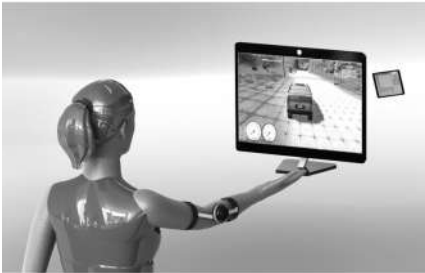


图 5 自制负载测试装置



4 小结

本文介绍了一种单自由度的便携式外骨骼肘关节康复训练装置的设计方法及其实物样机。该肘关节训练装置设计有开关控制及肌电信号控制两种控制源,方便患者训练,临床测试结果表明,可满足脑卒中患者的功能训练,同时还能实现脑卒中患者日常运动辅助的功能,满足设计要求。

参考文献

[1] Ostwald SK, Davis S, Hersch G, et al. Evidence-based educational guidelines for stroke survivors after discharge home

[J]. J Neurosci Nurs, 2008, 40(3): 173—191.
[2] 夏军, 周新萍, 夏宏杰. 早期康复训练对脑卒中患者偏瘫肢体功能恢复的影响[J]. 卒中与神经疾病. 2007,14(6):372—373.
[3] 徐海波, 陈红. 30 例脑卒中偏瘫患者康复训练效果分析[J]. 齐齐哈尔医学院学报, 2007,(12): 1477—1478.
[4] 贺琛, 张小栋, 杨玉涛. 上肢外骨骼机器人控制系统建模与设计[J]. 测控技术, 2009, 12(28):31—35 .
[5] Catherine A. Biofeedback. In: Catherine A. Occupational therapy for physical dysfunction[M]. Baltimore: Williams & Wilkins, 1995.645—657.