

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2019.01.011

康复训练机器人造型与交互界面设计研究

杨涛^{1,2},高学山^{2,3},戴福全¹,彭晋民¹,朱志涵¹

(1.福建工程学院 设计学院,福建 福州 350118;2.北京理工大学 机电学院,北京 100081;
3.哈尔滨工业大学 机器人技术与系统国家重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:为提升康复训练机器人的人机交互性和柔顺性,以及患者主动参与性和使用体验,基于AD理论和功能裁剪法研究了康复训练机器人的交互系统和美学风格,提出了一套适用于康复训练设备的设计开发准则,以用户为中心,对康复机器人设计的高技术性进行适度调整。新方法对该类新产品的研发具有指导意义。

关键词:康复机器人;美学;交互界面;公理设计

中图分类号: TB472

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2019)01-0062-03

Research on modeling and interactive interface design of rehabilitation training robots

YANG Tao^{1,2}, GAO Xueshan^{2,3}, DAI Fuquan¹, PENG Jinmin¹, ZHU Zhihan¹

(1.School of Design, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;
2. School of Microelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;
3. State Key Laboratory of Robotics and System, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: This study aims to enhance the human-robot interaction and flexibility of the rehabilitation training robot, and to strengthen the active participation and improve the user experience of patients. Based on AD theory and function trimming method, the interactive system and aesthetic style of the rehabilitation training robot were studied, and a set of design and development criteria suitable for rehabilitation training equipment were proposed. Appropriate adjustments were carried out for the high technology in the design of rehabilitation robots. The new method is of guiding significance for the research and development of the new products.

Keywords: rehabilitation robots; aesthetics; interactive interface; axiomatic design

近年来,因生活习惯和基因等因素引发的脑卒中患病者数量逐年增加,脑卒中术后造成的偏瘫患者数量每年约有200万,偏瘫患者如不及时进行康复治疗,将丧失行动能力,给社会和家庭带来沉重负担^[1]。现代康复医学已经证明:通过重复性康复训练,神经元可进行功能重组,重塑受损神经元功能,恢复因神经元受损造成的行为功能损伤。传统的人工物理治疗模式可以增强中风后的运动功能恢复,但这种方式劳动强度大、人工成本

高且容易引发辅助依赖,同时,我国的康复治疗师数量很少,患者与治疗师对应比约为100 000:1。康复机器人因其对重复和高强度康复训练的一致性,而逐步成为治疗中风和脊髓损伤康复的主要辅助设备。

1 康复训练机器人概况

临床研究表明,大脑神经元具有可塑性,重复性的肢体训练可促使神经元重组、代偿受损神经

收稿日期: 2018-10-31
基金项目: 福建省科技厅科技平台建设项目(2015Y2001-34; 2015Y2001-50);福建省中青年教育科研项目(JAT160313)
第一作者简介: 杨涛(1981-),男,河北唐山人,副教授,博士,研究方向:工业设计,康复机器人。
通信作者: 高学山(1966-),男,黑龙江齐齐哈尔人,教授,博士,研究方向:机器人技术。

元,从而实现运动功能恢复,因此,脑卒中患者在术后需要进行大量重复性肢体训练,从而实现康复。为解决康复医师数量不足、劳动强度大、工作枯燥等问题,随着机器人技术的发展,康复机器人逐渐成为服务机器人领域的新兴热点。从早期的单纯按固定轨迹进行末端牵引式的 MIT-Manus 机器人到可进行运动意图判别实现按意图辅助的 HAL 系列外骨骼机器人,康复机器人越来越追求交互性,强调患者的使用体验。

目前国内的下肢康复训练设备主要以进口为主,且存在以下3方面问题:

1) 医院所用的康复设备以被动式为主,机器人按固定程序带动患者进行康复训练,患者主动参与热情不高,长时间枯燥的重复性训练极大损害患者的康复信心。

2) 康复机器人的研究大多集中在行为感知与控制技术方面,在交互系统设计与康复设备美学方面尚待完善。造型设计仍遵循“形式追随功能”的经典工业设计原则进行,忽略康复患者的美学诉求与心理感受。近现代康复研究表明:患者心情对康复治疗有较大的影响,枯燥的康复治疗过程、单调的康复环境、冰冷的康复设备往往导致康复患者罹患抑郁症,不单影响康复治疗进程,还会导致其它更严重的问题,因此,康复机器人的设计不应过度关注控制技术,交互体验与美学诉求应受到足够重视。

3) 康复设备价格昂贵,大型康复医院才有配备,且费用较高,普通家庭难以承受。在人口老龄化及下肢功能障碍患者不断增加的趋势下,研发低成本、高效能的康复机器人已刻不容缓。

2 研究方法

2.1 公理设计

公理设计理论由 SUH 教授于 20 世纪 70 年代提出,其核心思想是将设计需求逐步映射到设计参数,并依据一定的评价标准(功能独立性公理、信息含量最少公理)对设计参数进行优选,并最终形成产品^[2-4]。

2.2 功能裁剪法

功能裁剪法最早由 S.S. Litvin 和 TRIZ V.M. Gerasimov 在 20 世纪 90 年代中期提出^[5],建立在产品功能系统分析基础上进行问题分析和系统改进的方法。功能裁剪法的目标是用最少的成

本,最低的资源消耗达成系统最佳的功能,提升系统的理想度。经过裁剪后的系统,结构更加简化、成本更低、而性能保持不变或更好,使产品趋于理想解。常用裁剪手段包括重复功能整合、有害功能去除、有用功能转移/替代等。

2.3 基于公理设计与功能裁剪法的产品开发

公理设计理论可以规范设计开发过程,避免因个人顿悟、试错开发等造成的开发成本过高。功能裁剪法是公理设计的有益补充,是具体的工程手段,提高产品的理想度。综合两者的优点,先以公理设计理论进行产品的需求分析,并根据需求找到理想的设计参数,对设计参数运用功能裁剪法进行方案优化,最终找到理想解。

3 设计展开

下肢康复机器人的设计应体现功能美、科学美、技术美、造型美。初期确定康复机器人的基本功能需求,围绕康复医院、康复治疗师、患者3方面进行原型设计。这三者需求在有些方面是相互矛盾、相互耦合的,如患者希望康复训练的模式可以随自己意愿实时切换;康复医师则认为需按照科学的流程进行,在特定的肌肉群训练没有达到预期前,不允许患者切换模式,否则会导致误用综合症和过用综合症;患者希望康复机器人的操作使用要简单,最好一键功能全通;而康复医院从设备的安全管理、保养维护及训练数据的采集等方面,要求先进行校对、复位,根据患者的体重、身高、康复进度、主治医师所安排疗程进行机器人操作和权限设置。这些问题就需要运用公理设计(AD)理论、发明问题创新解决理论(TRIZ)等进行创造性解决。

3.1 新型康复机器人总体设计

- 1) 辅助康复医师对患者进行康复训练治疗;
- 2) 监测、记录康复状态,为制定治疗方案提供参考依据;
- 3) 提供全方位安全防护;
- 4) 易用操控使用,提供主、被动两种训练模式。

基于公理设计与功能裁剪法对上述需求进行功能技术参数映射与具体方案构想:①为使患者用最少的控制操作实现康复机器人全方位运动训练,应用功能裁剪法,将速度控制与转向控制两部件合成一个控制手柄;②采用双轮差速控制驱动,为患者提供高精度控制体验;③在状态监测需求

方面,设计信息公理进行分析评价,运用功能整合法,采用光电传感器完成多种监测需求。

3.2 康复机器人造型与交互系统设计

应用公理设计进行造型意象分析,在常规分析基础上,应用设计逻辑和工程工艺条件分析对造型设计过程进行约束,以成本评价等手段优选造型方案。

个人护理及医疗机器人在满足基本安全要求的基础上,还应避免机器人行为可靠性及外观所引发的误操作。配色统一,以表现健康、光明、向上的明亮色系为先,造型庄重、简洁,硬朗中表现柔和、体贴,呈现高品质;机器人需要给人以亲切、友好、智能的意象,为拉近与使用者的距离,采用仿生法塑造机器人造型。

遵循以上设计原则,设计了几款康复机器人,见图 1。



图 1 组新型康复训练机器人设计方案
Fig.1 Four design schemes of new rehabilitation training robots

参考文献:

[1] 郭金华. 中国老龄化的全球定位和中国老龄化研究的问题与出路[J]. 学术研究, 2016(2): 61-67.
[2] SUH N P. The principle of design[M]. Oxford: Oxford University Press, 1990.
[3] KO Y T. Modeling a hybrid-compact design matrix for new product innovation[J]. Computer & Industrial Engineering, 2017, 107: 345-359.
[4] 杨涛, 高学山, 彭晋民, 等. 基于扩展 AD 理论的下肢康复机器人概念设计研究[J]. 机械设计, 2018, 35(7): 114-118.
[5] GERASIMOV V, LITVIN S. Main principles and postulates of the methodology for the performance of the TRIZ based value engineering analysis; Parts 4 and 5[J]. TRIZ Journal, 1992,3(2):7-45.

在综合考虑美学、人性化、成本等因素后,最终选取方案 4 作为最终方案。

在交互控制系统设计方面,分为传感器感知系统、人机交互系统、底层控制系统 3 级,部分交互控制界面见图 2。



图 2 部分交互控制界面
Fig.2 Several parts of the interactive control interface

4 结论

基于 AD 理论和功能裁剪法对下肢康复训练机器人进行了深入研究,并对康复机器人的美学设计原则进行了探索,按公理设计理论和功能裁剪法的美学原则进行了该类产品的造型设计和交互设计,得到的方案简洁、大方、操作简便,符合患者的行为特征,对康复训练起到积极作用;同时,该设计方法可有效降低产品设计中的信息含量,提升设计效率、品质与产品开发效率。