

文章编号:1004-7220(2013)04-0363-03

· 专家论坛 ·

## 康复辅具设计中的生物力学研究

蒲 放, 樊瑜波

(生物力学与力生物学教育部重点实验室, 北京航空航天大学 生物与医学工程学院, 北京 100191)

**摘要:** 康复辅具对于提高残障人的生活质量、减轻家庭和社会负担具有重要意义。近年来,我国的康复辅具研究已经有了比较大的进步,而且从政策支持、科研资助、产业环境等不同角度看,目前都正处于最好的发展时机。生物力学在康复辅具的设计中具有重要作用,一方面,对身体障碍的生物力学特征的测量和评价是康复辅具设计的重要依据;另一方面,人体与辅具交互作用的生物力学问题,是康复辅具设计必须考虑的重要因素。作为本期专栏的导言文章,本文将简要综述我国康复辅具研究的现状,然后介绍康复辅具设计中的一些生物力学研究。

**关键词:** 康复辅具; 辅具产品; 生物力学

**中图分类号:** R 318.01      **文献标志码:** A

### Biomechanical research for design of rehabilitation technical aids

PU Fang, FAN Yu-bo (Key Laboratory for Biomechanics and Mechanobiology of Ministry of Education, School of Biological Science and Medical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** Rehabilitation technical aids have great significance in improving life quality of people with disability and reducing burdens of care for family and society. Nowadays, the policy, research funding and industrial environment in China all provide a good chance for rehabilitation technical aids research, which has already made great progress. Biomechanics plays an important role in design of rehabilitation technical aids. On the one hand, biomechanics can provide important references for measurement and evaluation on biomechanical characteristics of physical disabilities, so the design of rehabilitation technical aids can meet the requirements of maintaining or improving biomechanical functional capabilities of individuals with disabilities. On the other hand, the biomechanical interaction between human body and rehabilitation technical aids should also be considered carefully during the optimization of design. As an introduction to this special issue on rehabilitation, this paper will briefly review the progress of rehabilitation technical aids research in recent years in China, and then introduce some biomechanical researches in development of rehabilitation technical aids.

**Key words:** Rehabilitation technical aids; Assistive products; Biomechanics

康复辅具(rehabilitation technical aids; assistive devices)是对身体功能障碍进行补偿、替代或修复最直接有效的手段之一,其服务对象既包括某些组织和功能全部或者部分丧失的残疾人,也包括身体功能退化需要辅助的老年人,还包括组织和功能暂时受损、需要借助辅助器具促进康复的伤病人。根据国家标准 GB/T16432《残疾人辅助器具分类和术

语》(等同国际标准 ISO-9999:2002)<sup>[1]</sup>,残障人辅助器具可以分为11个主类、135个次类、741个支类(ISO-9999:2007分为11个主类、129个次类和707个支类),有上万个品种。发展康复辅具对于提高残障人(残疾人、老年人、伤病人)的生活质量、减轻家庭负担以及保持社会的稳定和谐发展具有重要的意义。

收稿日期:2013-08-01; 修回日期:2013-08-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(11072022, 11120101001, 10925208)。

通信作者:樊瑜波,教授,博士研究生导师, E-mail:yubofan@buaa.edu.cn。

## 1 我国康复辅具研究的现状

根据2006年第2次残疾人抽样调查的结果,我国残疾人总数为8 296万,占人口总数的6.34%,预计2015年将超过1亿<sup>[2]</sup>;根据《中国老龄事业发展报告(2013)》,2013年我国的老年人口数量将突破2亿大关,达到2.02亿,老龄化水平达到14.8%,失能老人将达到3 750万<sup>[3]</sup>,这对我国康复服务提出了非常大的挑战,但目前我国康复服务水平与到2015年实现“人人享有康复服务”的目标要求存在明显差距。为此,大力发展康复辅具技术和产品,利用科技的力量来减轻家庭和社会的负担,已经成为社会各界的共识。

近年来,随着“残障人生活保障辅具研究”、“残障人功能康复辅具研究”、“肢体康复训练及语音发生辅具研发”、“服务机器人”等多个科技支撑计划项目和863计划项目的开展,以及“科技助残计划”、“福康工程”等项目的实施,在康复辅具领域已经突破了一批重大关键技术和共性技术,形成了一些重要研究成果,如智能轮椅、仿生大腿假肢、矫形器的计算机辅助设计、尿便失禁监测与预警、电子人工喉、视障者阅读辅助器具、偏瘫/截瘫患者运动康复训练系统、室内移动装置、残障人专用生活起居床、数字化助听器、盲文复印机等。同时,已经形成了较为稳定的研究队伍,既有国家康复辅具研究中心、中国残疾人辅助器具中心这样专门承担辅助器具科研和推广任务的国家级专业机构,也有香港理工大学、上海交通大学、清华大学、北京航空航天大学、浙江大学、西安交通大学等国内一流大学和中国科学院的一些院所;而“康复辅具产业技术创新战略联盟”的建立对于整合该领域各单位优势资源,优化康复辅具产业的结构也将具有重要的促进作用<sup>[4]</sup>。

然而,总体而言,不管是从康复辅具的品种数量上还是从技术水平上看,我国目前与发达国家仍然有非常显著的差距,能够自主设计和生产的康复辅具产品不到全部品种的1/5,且大部分为中低端产品。

为显著提升我国康复辅具产品的总体水平,医疗器械科技产业“十二五”专项规划中<sup>[5]</sup>,明确提出了“围绕我国‘人人享有康复’的需求,根据普惠化、智能化、个性化等发展趋势,研究结构替代、功能代偿、技能训练、环境改造等技术产品,积极发展肌电及神经控制等智能假肢、人工耳蜗等智能助行/助听/助视辅具,老年人行为功能训练系统,脑卒中病

人及运动功能缺失病人的康复训练系统等产品,加快智能化、低成本的先进康复辅具的研发”,这将为我国康复辅具的发展提供良好的契机。

## 2 康复辅具设计中的生物力学问题

康复辅具的设计需要综合应用康复医学、生物力学、机械、电子、信息、化学、材料等多学科的知识。其中,生物力学具有极为重要的作用,尤其是对于假肢矫形器类、个人移动类、技能训练类、生活类、环境改善类的辅具。这主要表现在两个方面:

### 2.1 身体障碍生物力学特征的测量与分析是康复辅具设计的重要依据

康复辅具是对残障人的身体障碍进行补偿、替代或者修复,为了使康复辅具达到设计目标,首先需要对障碍的特征进行有效的测量和评价,而生物力学特征是生理系统的重要指标之一,因此也是进行康复辅具设计的重要依据。比如,随着年龄的增加,老年人的运动功能会发生衰退,表现为肌力下降、关节活动度受限、运动控制失调,进而会带来平衡能力、协调能力、应激响应能力的降低和跌倒风险的增加;为了设计老年人的助力、助行和防跌倒设备,就必须从生物力学角度对老年人的运动特征及相关的因素进行准确的描述和测量。又如,人体支撑界面直接影响假肢、矫形器、轮椅等辅具的功能和使用时的舒适程度,但身体上很多部位的软组织本身并不适合承载,这就需要了解这些软组织的力学特性,以便优化这些辅具的设计<sup>[6]</sup>。

随着测试技术和计算技术的进步,面向康复辅具设计的生物力学特征测量呈现向客观化、量化发展的趋势。比如,对于脑瘫患者运动功能的评价、脑卒中患者的手功能评价等<sup>[7]</sup>,传统方法主要依靠各种量表来进行评价,而现在越来越多地通过运动分析系统、数据手套、肌力测试系统等各种设备来进行量化的评价;而由三维运动捕获系统、测力台、高速摄像机、压力平板、肌电仪、以及逆向动力学软件等系统进行的定量步态分析已经在智能假肢、助行器设计中不可或缺<sup>[6]</sup>。

生物力学特征测量的另一个趋势是由静态、单一的测试条件向动态、持续、复杂的测试条件发展。比如,随着可穿戴式测试技术的发展,使得以前只能在实验室受控条件下进行的运动功能测试,可以在日常自由活动中或者特殊作业任务中持续进行,基于这种测试所得到的生物力学特征更能反映真实情况,因而所设计出来的假肢、助行器等辅具将具有更

广的适用性<sup>[8]</sup>。

人体内部组织力学特性的在体测试目前仍然面临较大的挑战。以脊柱矫形器的设计为例,目前矫形器的设计依据主要是人体的外部轮廓集合特征,以及基于X光片测量的脊柱畸形分型(King分型、Lenke分型等),这些分型都主要是基于几何特征<sup>[9]</sup>,而矫形器的矫形效果主要决定于施加在脊柱上的矫形力是否恰当,因此对患者脊柱畸形从生物力学角度进行评价和分型将显著提升矫形器的设计水平,但目前还没有被广泛认可的对脊柱生物力学响应进行在体测试的系统。在脑瘫足踝矫形器等类似矫形器的设计中也面临同样的问题,这就需要进行进一步研究新的测试技术和系统。

## 2.2 人体与辅具的生物力学交互作用是康复辅具优化设计的重要因素

为了对残障人的身体障碍进行补偿、替代或者修复,康复辅具必须和人体发生交互,生物力学因素在这种交互过程中有着重要的影响。

首先,实现人体与辅具耦合,需要基于人体的生物力学特征,从生物力学角度对交互方法进行设计。以外骨骼系统(exoskeletons)的设计为例,为了保证外骨骼系统能与人体的运动协调并提供有效的支持,就需要通过各种传感器,实时采集并分析人体的姿态、位置,然后采用各种描述人体运动规律的模型对下一步的姿态、位置进行预估,在此基础上,通过控制系统使外骨骼系统对人体提供适当的支撑和助力<sup>[10]</sup>;另一方面,当人体附加了外骨骼系统时,本身的运动特性、运动控制策略也会发生较大的改变,也需要开展相关的生物力学研究。目前,这方面的主要研究重点包括人体运动控制(motor control)模型的建立,用以操作辅具的特殊生理信号特征的描述,以及辅具与人体的耦合建模等。

其次,辅具对人体影响的研究中,也有大量的生物力学问题。比如,假肢、矫形器、轮椅等辅具的人体支撑界面,如果受力情况不好,不仅会导致不适,而且可能造成皮肤及软组织的直接或积累性伤害,长时间的静态载荷可能阻塞血液供应,导致缺氧以至造成压疮,长时间的动态循环载荷则可能形成血泡或水泡或导致皮肤变厚,这就需要采用实验或者计算的方法对辅具作用下支撑界面的应力分布进行分析,以及对软组织的损伤机理进行生物力学研究<sup>[6,11]</sup>。又如,肌骨系统在矫形器、助力系统作用下,可能发生适应性的改建,对这种改建过程的生物力学研究和对改建结果的预测,将有助于这些辅具

的优化设计。这方面的研究有两个比较重要的发展方向:一是人体组织在辅具作用下的生物力学响应机理;另一个是基于个性化生物力学响应分析的辅具优化设计。

康复辅具在我国具有非常重大的需求,从政策支持、项目资助、技术积累、学术队伍、产业环境各个不同角度看,目前都正处于最好的发展时机。生物力学在康复辅具的设计、应用中具有重要作用,相关研究的进展将有助于显著提升我国康复辅具的水平。

本期专栏将发表8篇与康复相关的生物力学研究论文,既有特殊条件下人体生物力学响应的分析,也有对辅具的生物力学优化设计,可以为相关的研究提供参考。

## 参考文献:

- [1] GB/T16432—2004 残疾人辅助器具分类和术语[S]. 2004.
- [2] 第二次全国残疾人抽样调查办公室. 第二次全国残疾人抽样调查资料[M]. 北京:中国统计出版社, 2007: 1311-1313.
- [3] 吴玉韶. 老龄蓝皮书:中国老龄事业发展报告(2013)[M]. 北京:社会科学文献出版社, 2013.
- [4] 陈光. 浅谈我国辅助器具科研工作未来发展[J]. 中国康复理论与实践, 2012, 18(3): 201-202.
- [5] 国科发计[2011]705号. 关于印发医疗器械科技产业十二五专项规划的通知[EB/OL]. [http://www.most.gov.cn/fg-gw/zfwj/zfwj2011/201201/t20120118\\_92018.htm](http://www.most.gov.cn/fg-gw/zfwj/zfwj2011/201201/t20120118_92018.htm).
- [6] 张明, 樊瑜波, 王喜太. 康复工程中的生物力学问题[J]. 医用生物力学, 2011, 26(4): 291-293.  
Zhang M, Fan YB, Wang XT. Biomechanics in rehabilitation engineering [J]. J Med Biomech, 2011, 26(4): 291-293.
- [7] Oujamaa L, Relave I, Froger J, et al. Rehabilitation of arm function after stroke. Literature review [J]. Ann Phys Rehabil Med, 2009, 52(3): 269-293.
- [8] Bruin ED, Hartmann A, Uebelhart D, et al. Wearable systems for monitoring mobility-related activities in older people: A systematic review [J]. Clin Rehabil, 2008, 22(10): 878-895.
- [9] Lowe T, Berven SH, Schwab FJ, et al. The SRS classification for adult spinal deformity: Building on the king/moe and lenke classification systems [J]. Spine, 2006, 31(9s): S119-S125.
- [10] Mikolajewska E, Mikolajewski D. Exoskeletons in neurological diseases-Current and potential future applications [J]. Adv Clin Exp Med, 2011, 20(2): 227-233.
- [11] Mak AFT, Zhang M, Tam EWC. Biomechanics of pressure ulcer in body tissues interacting with external forces during locomotion [J]. Ann Rev Biomed Eng, 2010, 12(1): 29-53.