

文章编号:1004-7220(2011)04-0291-03

· 述 评 ·

康复工程中的生物力学问题

张 明¹, 樊瑜波², 王喜太³

(1. 香港理工大学 医疗科技及资讯学系, 香港; 2. 北京航空航天大学 生物与医学工程学院, 北京 100191;

3. 国家康复辅具研究中心, 北京 100176)

摘要: 做好康复工作不仅能提高残疾人及老年人的生活素质, 同时也可减轻家庭及社会的负担。我国经济的不断发展和人们生活质量的提高, 将康复工作推向一个新的水准。生物力学是康复辅具设计与安装的重要基础。肢体康复的主要目的是最大限度地恢复失去的肢体支撑及运动功能, 故了解力在体内及身体与支撑之间的传递非常重要。通过生物力学的研究, 可以设计出优化的康复辅具及训练方案。本文综述了康复工程中生物力学研究的主要热点, 包括人机界面生物力学和肌骨系统的运动动力学, 以及其他的研究, 如寻找适合的控制信号和先进的材料研发, 为康复辅具的开发提供理论基础。

关键词: 康复工程; 辅助产品; 残疾; 生物力学; 运动学

中图分类号: R 318.01 **文献标志码:** A

Biomechanics in rehabilitation engineering

ZHANG Ming¹, FAN Yu-bo², WANG Xi-tai³ (1. Department of Health Technology and Informatics, the Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China; 2. School of Biological and Medical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China, 3. National Research Centre for Rehabilitation Technical Aids, Beijing 100176, China)

Abstract: Rehabilitation engineering can not only improve life quality of the elder and people with disability, but also reduce burdens of the society and family for care at the same time. With the development of economy and improvement of life quality, rehabilitation engineering will be raised to a new level. Biomechanics provides fundamental basis for the design and assembly of rehabilitation products. As the main reason for rehabilitation is to maximally restore the lost function of body support and exercise, it is important to understand the force transmission and interaction between the body and supporting device. Through biomechanical research, optimized assistive technology for rehabilitation and training program can be designed. This paper will review the major focus on biomechanics research in rehabilitation engineering, including body support interfacial biomechanics, musculoskeletal kinematics and kinetics, finding appropriate control signals, and developing advanced materials, so as to provide theoretical basis for the development of rehabilitation products.

Key words: Rehabilitation engineering; Assistive technology; Disability; Biomechanics; Kinematics

据统计,我国有9 000多万残疾人,人口老龄化过程正在加快。目前60岁以上人口已超过1.7亿,资料显示50%以上的老年人需要康复服务。搞好康复工作不仅能提高残疾人及老年人的生活素质,

同时也可减轻家庭及社会的负担。我国经济的不断发展和人们生活质量的提高,将康复工作推向一个新的水准。目前康复工程产品及服务已经形成了一个巨大的产业。但是康复工程产品具有针对性强、

收稿日期:2011-07-20; 修回日期:2011-07-27

通讯作者:张明,教授,香港理工大学肌骨生物工程研究中心主任。E-mail: ming.zhang@polyu.edu.hk。

适应面窄、产品种类多、用户的经济承受能力有限等特点^[1],国内的相应产业及服务仍有待进一步发展。

生物医学工程在肢体康复中起了巨大的作用,包括设计出用于治疗医疗、监测评估、辅助防护及训练等方面的先进设备及器材,协助医师及治疗师制定康复治疗及辅助方案,并在衣、食、住、行等各个领域开发出相应的辅助产品。生物力学是康复辅具设计与安装的重要基础。肢体康复的主要目的是最大限度地恢复失去的肢体支撑及运动功能,通过辅助技术提高其独立生活或生活自理的能力。因此,了解力在体内及身体与支撑之间的传递是非常重要的。通过生物力学的研究,可以设计出优化的康复辅具及训练方案。康复工程中的生物力学研究主要围绕以下几个方面开展。

1 人机界面生物力学

康复辅具与人体直接接触,肩负着联接和承载的功能。不合理的界面设计将会导致不舒适、疼痛甚至是组织的损伤,长时间的受压可能损伤软组织或产生压疮。所以如何合理传递和分布界面的载荷,以致在行动中不会产生疼痛和不舒服,也不会由于过载对皮肤及皮下软组织产生伤害,是设计中主要考虑的问题^[2]。

常见的身体支撑包括假肢、矫形器、轮椅、床、及足底支撑等,支撑界面的好坏直接影响其功能和使用时的舒适程度。所有身体的重量需要通过皮肤及皮下软组织传递到支撑体上,但身体上很多部位的软组织不像脚底一样适应于承载,而且有些软组织甚至已经受过伤害。了解力对皮肤及皮下组织的损伤,才能设计出优化的支撑界面。作用在皮肤上的力可以分成几种:大的冲击力可能造成皮肤的直接划伤;中度的力尽管不会造成即时损伤,但长时间的作用可能造成积累性伤害,其伤害取决于载荷的形式。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,如行走中的足底力,可能形成血泡或水泡、皮肤变厚、鸡眼等损伤。因此,研究力载荷对皮肤及皮下软组织的影响及损伤时,需要考虑作用力的状态,包括力的大小、方向、分布及作用时间。

压疮,又名褥疮,是由不同程度压力而引起的损

伤,常发现于长期卧床不起及坐轮椅的病人。一旦产生压疮,病人需要特殊护理,给患者带来极大的痛苦,也可能带来并发症,是目前临床中造成最大经济损失的病症之一。压疮形成的原因一直是重要的研究课题。作用于皮肤表面的力,包括正压力和剪切力,是主要的外部因素;皮肤所处的环境,如温度、湿度及卫生条件也被认为是可能导致压疮的外部原因^[2]。其研究包括实验和计算模拟,尤其是采用有限元方法,为优化设计合理的支撑界面提供了生物力学基础,从而提高舒适性,减少软组织损伤。

2 肌骨系统的运动动力学

通过运动分析系统测量和计算机模拟,研究关节肌肉力及力传递是康复工程的又一重要研究领域。大量的实验研究为康复辅具的设计提供了力学基础。步态分析研究人的行走模式,找出人行走的共性,研究病人步态的差异。与正常步态相比较,可以找出病人走路的特点,从而判断假肢或矫形器的设计与安装的好坏^[3]。步态分析设备包括用来测量行走中地面反力的力台和运动记录系统,从位移计算出速度、加速度、关节角位移、角速度、角加速度、功率等参数。采用逆向动力学技术可预测任意关节的力和肌肉力,了解康复辅具对载荷大小及力传递的改变,也为建立有限元应力/应变分析模型提供力及运动边界条件。

由于实验测量人体某些参数的困难,计算模拟也广泛应用在运动及动力学研究中。现代数字影像技术、数字解剖人技术、以及生物力学建模和运动学/动力学分析测试技术的发展,使得我们可以建立拟实仿真的人体肌肉骨骼系统的生物力学模型。利用这些模型,可以更容易、更深刻地探索人体解剖、生物材料力学特性与功能间的关系,更便利且精确地开展面向病人的手术设计和规划、医疗器械及康复辅具装置的优化设计,以及康复训练功效的评价等。

实际上,不同的生物力学分析技术可用于人体运动或力学分析的不同方面,比如,动力学/运动学分析和测试技术可用来建立人体运动学/动力学模型,进而可用来预测肌肉、关节力。有限元技术则已被广泛用于肌骨系统局部组织应力/应变的分析,用于植入物评价和优化设计、用于个体化手术规划等。

由于人体的高度复杂性,目前还难以建立整个人体的同时可用于动力学/运动学分析和组织应力分析的三维有限元模型。鉴此,建立了多层次人体肌骨系统的动力学模型,以及局部的三维有限元应力分析模型^[4-7]。多层次的计算模拟具有广泛的应用空间,例如,可用于面向病人的手术设计和规划、医疗器械及康复辅具装置的优化设计,以及康复训练功效的评价等。在本模型平台中,将包括可对骨植入物、康复设备进行评价和优化的功能。

本期“康复工程中的生物力学”专刊发表了8篇有关生物力学在康复工程中的研究论文。这些论文的内容涵盖康复生物力学的基础研究、康复工程临床和产品设计、以及康复训练的相关研究。从这些论文中,可以了解我国康复工程研究的最新进展。

生物力学研究和其他相关研究必将为设计出优化的康复辅具、服务及训练计划提供基础信息。这些研究包括:(1)寻找或提取功能障碍者自身残留的控制信息,包括身体运动信号、肌肉形态,肌电信号、脑电信号、神经信号等,来适当控制辅助或训练装置^[8];(2)研制先进的功能材料,包括界面压力分布及温湿调控,防感染,快速取形,高强度的轻型材料等。

致谢:感谢香港教育资助委员会 GRF (PolyuU5331/07E, PolyuU5352/08E), 国家自然科学基金(10925208)资助。

参考文献:

- [1] 朱图陵. 残疾人辅助器具基础与应用 [M]. 北京:求真出版社,2010.
- [2] 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.
- [3] Lee WCC, Zhang M, Chan P, *et al.* Gait analysis of flexible-shank low-cost trans-tibial prosthesis [J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehab Eng*, 2006, 14(3): 370-377.
- [4] 张明,张德文,余嘉,等. 足部三维有限元建模方法及其生物力学应用[J]. *医用生物力学*,2007,22(4): 339-344.
Zhang M, Zhang DW, Yu J, *et al.* Human foot three-dimensional finite element of modeling and its biomechanical applications [J]. *J Med Biomech*, 2007,22(4): 339-344.
- [5] Cheung JTM, Zhang M. A 3-dimensional finite element model of the human foot and ankle for insole design [J]. *Arch Phys Med Rehab*, 2005, 86(2): 353-358.
- [6] Jia XH, Zhang M, Lee WCC. Load transfer mechanics between trans-tibial prosthetic socket and residual limb-dynamic effects [J]. *J Biomech*, 2004, 37(9): 1371-1377.
- [7] Mak AFT, Zhang M, Boone DA. State-of-the-art research in lower-limb prosthetic biomechanics-socket interface [J]. *J Rehab Res Dev*, 2001, 38(2): 161-174.
- [8] Popovic D, Sinkjar T. Control of movement for the physically disabled [M]. Germany: Springer, 2000.