

下肢康复机器人骨盆机构设计及运动仿真

程泓井¹ 郭 帅^{1,2} 谢春生¹ 马光伟¹ 李华伟¹

摘要

目的:设计一种下肢康复机器人的骨盆机构,帮助偏瘫患者进行运动训练。

方法:通过滑块、四杆机构和关节球轴承实现骨盆的相关自由度运动,并利用UG的运动仿真模块对骨盆机构进行运动仿真分析。

结果:仿真结果证明本研究设计的康复机器人骨盆机构能够满足正常人行走的轨迹要求。

结论:证明了机构设计的合理性,可以用于下肢康复训练。

关键词 下肢康复;机器人;骨盆;运动仿真

中图分类号:R496 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2014)-01-0059-03

人体在行走过程中骨盆发挥着重要的平衡作用,平衡功能对偏瘫患者的康复非常重要,骨盆产生非正常运动轨迹时,将直接影响到步态的运动特征。根据神经易化技术原理,强化骨盆的控制能力可促进下肢的运动功能,骨盆的训练能够改善身体两侧的平衡能力,加快偏瘫患者的康复效率。现有下肢康复机器人多数没有骨盆机构,一般通过将穿戴于患者躯干处的安全带垂直吊起以达到减重和保护患者的目的,患者在训练过程中受到很大的束缚,不能自由地活动自己的身体,忽略了平衡训练对偏瘫患者康复的重要性,影响了康复进程。

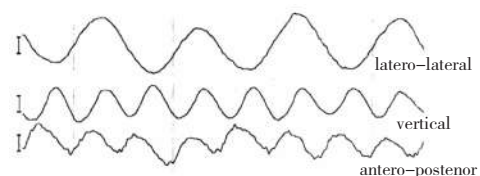
为解决现有下肢康复机器人的不足,本研究在分析了人体骨盆运动规律的基础上设计了一种下肢康复机器人的骨盆机构,通过夹持在患者骨盆两侧给患者提供支撑和保护,有效地减少对患者的束缚,保证骨盆的各个自由度能够自由活动,患者在训练过程中能够自由活动自己的身体,进行侧倾平衡训练,在训练腿部行走功能的同时训练平衡能力,训练过程更加舒适,能够很好地辅助患者进行下肢康复训练。

1 人体骨盆运动自由度和轨迹分析

人体骨盆是由2块髌骨和骶骨、尾骨依靠结缔组织连结而成盆状的骨性结构^[1],其上与腰椎相连,下与股骨构成髌关节,是脊柱与下肢之间的桥梁,身体的重量通过骨盆传递到下肢,下肢的震动也通过骨盆上传至脊柱,因此,它既作为脊柱的一环而运动,又以髌关节为轴作相对于下肢的运动。以髌关节为轴作相对于下肢的运动是骨盆最主要的运动形式。

正常人体的骨盆部位有6个自由度,分别为髌关节处的扭转、俯仰和侧倾3个转动自由度及骨盆的左右、前后和上下3个方向的移动自由度。人在正常行走过程中,骨盆具有4个自由度(1R3T)^[2]:沿左右方向(X轴即矢状轴)的移动、沿前后方向(Y轴即冠状轴)的移动、沿上下方向(Z轴即垂直轴)的移动和绕Z轴的转动(扭转运动)。侧倾运动主要涉及人体的平衡功能,俯仰运动则出现在弯腰等动作中。Bruan和Fischer提出人体运动信息测量的基本参数包括各个关节角度的测量及肢体运动参数的测量,并发明了一种基于盖斯勒管、音叉和摄像机测量肢体三维运动参数的方法^[3]。图1所示为1997年Zijlstra和Hof通过图像采集系统得到了人在跑步机上行走时骨盆在前后、左右、上下方向的运动轨迹图^[4],图中左侧竖直的刻度表示20mm。

图1 人体正常行走时骨盆运动轨迹图



正常行走时为减少人体重心的移动,骨盆的一侧旋前,另一侧旋后,即进行骨盆的扭转运动,两侧各为4°,总共约8°。骨盆的扭转及上下移动使人体重心不断转移,达到向前行走的目的^[5]。骨盆沿X轴、Y轴、Z轴的平移(左右、前后、上下3个方向的移动),以及绕Z轴转动(扭转运动)的拟合方程为^[6]:

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2014.01.013

1 上海大学机械制造及自动化学院,上海市宝山区,200444;2 通讯作者

作者简介:程泓井,男,硕士研究生;收稿日期:2013-03-14

$$i=A_i \sin(2\pi t/T+\theta_i)$$

式中: i 为 x, y, z 和 q ,分别代表左右、前后和上下3个方向的移动位移和扭转的角度, A_i 分别为左右、前后和上下的移动、扭转的幅值,不同人的幅值不同; θ_i 为初始相位(以右脚足跟着地的瞬间开始计算); T 为步态周期。此方程说明骨盆在上下、前后、左右方向的移动及扭转运动的运动轨迹均按正弦规律变化。

由以上分析可知,人在正常行走时,左右、前后、上下3个方向的运动轨迹均为正弦运动轨迹,扭转运动角度范围为 $-4^\circ \sim 4^\circ$,轨迹曲线也为正弦曲线,侧倾运动有助于患者进行平衡功能训练。

2 康复机器人骨盆机构设计

基于以上分析,设计要求骨盆机构应具备左右、上下2个移动自由度和扭转、侧倾2个转动自由度,前后移动和俯仰转动通过机器人的其他部分来实现。左右移动自由度可通过一个四杆机构来实现,上下移动通过滑块导轨滑动实现,由一个关节轴承即可实现扭转和侧倾2个自由度。

骨盆机构的UG(unigraphics)三维造型如图2所示,其由基座、摇杆、连接盒、摆动件、延伸轴和支撑臂等几部分组成。基座将与机器人的同步带固定在一起,同步带由电机驱动运动从而带动骨盆机构通过基座沿机器人的立柱移动,实现骨盆的上下移动,基座通过滑块沿立柱移动以减小摩擦和磨损;连接盒通过摇杆可绕基座左右摇动,以实现患者骨盆处的左右移动;摆动件可绕连接盒进行扭转和侧倾运动,通过调节摆动件和连接盒之间的间隙可以调整患者骨盆侧倾运动的范围,通过连接盒内的机械结构可以限制扭转运动的范围,防止运动范围过大对患者造成伤害;据统计,中国人骨盆处宽度最小值为232.75mm^[7],因此设计摆动件的宽度为230mm,以保证大部分的人能够在本机构上进行康复训练,延伸轴可向外伸长调节与之相连的支撑臂间的距离,以适应不同患者的体型;支撑臂上将固定安全带,安全带穿戴于患者臀部,支撑臂夹持在患者骨盆两侧。

训练时,本研究设计的骨盆机构的支撑臂将夹持在患者骨盆两侧,这样的方式给患者的束缚较小,患者能够自由地

活动自己的身体,不仅能够进行行走运动训练行走功能,还能进行侧倾运动训练平衡功能,训练过程舒适;患者行走时本机构将跟随患者一起运动,保证患者骨盆的左右、前后、上下移动及扭转运动不受约束,而机构中的机械结构限制可以使患者的运动范围不会过大,保证患者的安全。

3 康复机器人骨盆机构运动仿真分析

为验证本康复机器人骨盆机构的上下、左右移动和扭转运动轨迹能够达到正常人行走轨迹的要求,利用UG的运动仿真模块对骨盆机构进行运动仿真分析。运动仿真模块(scenario for motion)是UG的CAE应用模块,提供机构的设计、分析、仿真和文档生成等功能。它既能进行运动学(kinematic)分析,又能进行动力学(dynamic)分析。当在仿真方案中创建连杆、运动副和驱动后,就可以观察机构的运动情况,并可以到机构运动仿真的动画以及位移、速度、加速度和作用力等数据^[8]。

为分析骨盆机构运动规律,在骨盆机构上取4个黑色标记点,如图2所示,其中点1代表基座的运动轨迹,点2代表连接盒的运动轨迹,点3代表摆动件的运动轨迹,点4位于两支撑臂中间,代表人体骨盆的运动轨迹。在点1处施加一个幅值为12的正弦驱动,点2处施加一个幅值为20的正弦驱动,点3处施加一个幅值为5的正弦驱动,各个标记点的运动轨迹如图3—8。

图6—8为标记点4在标记点1、2、3综合作用下上下、左右、扭转角度运动轨迹。在标记点1、2、3的综合作用下,仿真后得出的骨盆运动轨迹曲线大体都成正弦运动形态,左右运动和上下运动与图1所示正常人体运动曲线大体相似,骨盆机构的扭转角度范围在 $-5^\circ \sim 5^\circ$ 之间,比正常人行走时的 $-4^\circ \sim 4^\circ$ 略大,轨迹曲线也为正弦曲线,满足要求。仿真结果证明本康复机器人的骨盆机构能够保证骨盆的左右、上下和扭转等各个运动自由度按自然的方式运动且运动范围符合所述的要求达到正常人的运动轨迹,保证患者训练过程中骨盆机构对患者的束缚小,能够进行侧倾运动和训练平衡功能,符合康复训练要求。

4 结论

本研究从研究人体骨盆运动的要求出发,设计了一种用于下肢康复训练的骨盆机构,能够保证训练过程中患者骨盆的自由活动,减少对患者的束缚,保证患者正常行走并进行侧倾平衡训练。利用UG的运动仿真模块验证了本设计能够按照正常人骨盆运动的轨迹进行运动,验证了设计的可行性,可用于偏瘫患者进行康复训练。

参考文献

[1] 吴剑明,董志江,王薇.不同田径项目中骨盆的运动形态及其作

图2 骨盆机构三维造型图

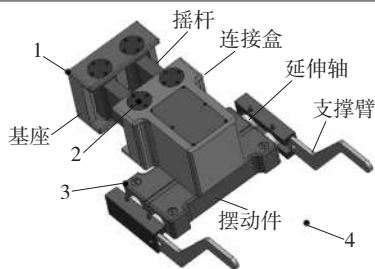


图3 标记点1上下运动轨迹

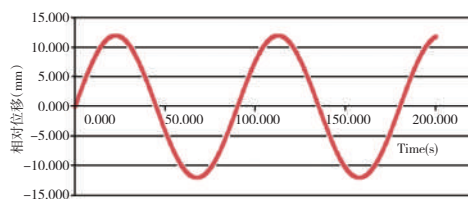


图4 标记点2左右运动轨迹

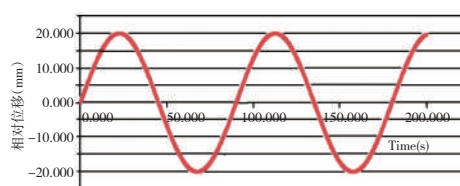


图5 标记点3扭转运动轨迹

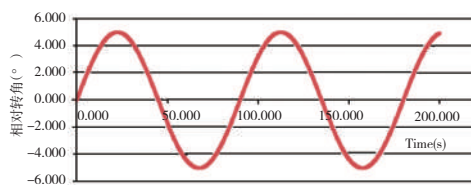


图6 标记点4上下运动轨迹

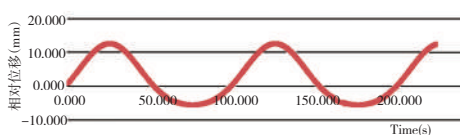


图7 标记点4左右运动轨迹

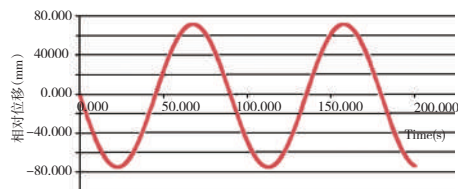
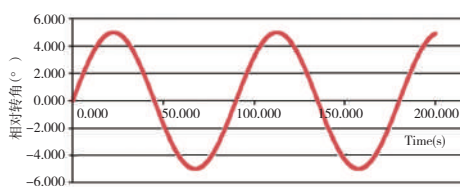


图8 标记点4扭转运动轨迹



- 用[J].哈尔滨体育学院学报,2009,27(6):91—93.
- [2] 张立勋,王克义,张今瑜等.基于绳索牵引的骨盆运动并康复机器人的可控性研究[J].哈尔滨工程大学学报,2007,28(7):790—794.
- [3] Bruane W, Fiseher O. Die rotationsmomente der Beugemuskeln am Ellbogengelenk des Menschen[J]. Vol.15. Abh.d.Königl. Sächs. Ges.d.Wissenschaften.Math.Phys.Klasse.1890.
- [4] Zijlstra W, Hof AL. Displacement of the pelvis during human walking: Experimental data and model predictions [J].

- Gait and Posture,1997,(8):249—267.
- [5] 赵凌燕.人体步态模型实验研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2008.
- [6] 王卫东,陈柏,王鹏,等.基于绳索驱动的并联康复机器人的研究[J].现代设计与先进制造技术,2012,41(11):31—35
- [7] 刘俊先,张兴和.中国正常人体测量值[M].北京:中国医药科技出版社,1994.5
- [8] 曹岩.UG NX7.0装配与运动仿真实例教程[M].西安:西北工业大学出版,2010.9.

第三届国际康复医学工程会议征文通知

为了适应及促进我国康复事业的发展,第三届国际康复医学工程会议(International Conference of Rehabilitation Medical Engineering)将于2014年5月23-26日在上海世博展览馆举办,会议期待建立一个全国性产学研医用的综合性技术交流平台,力求开展成一个具有国际影响力的高水平、综合性康复医学工程会议。大会与2014年5月26-28日在上海世博展览馆举办的第九届中国国际养老及康复医疗博览会同期举办。会议的主题是“Transforming Rehabilitation Research to Clinical Practice”。主办单位:上海交通大学、国家康复辅具研究中心,承办单位:上海交通大学康复工程研究所,技术支持:北美康复工程学会(RESNA)、中国生物医学工程学会,会议执行承办单位:上海国际展览中心有限公司。

即日起对外征文,征文范围(包括但不限于):假肢与矫形器技术,生物力学与步态分析,脑机接口技术,轮椅技术、交通无障碍技术,计算机无障碍技术,机器人康复技术、虚拟现实康复技术,家庭护理与监控系统,功能性电刺激,电生理信号检测与分析,可穿戴传感与刺激康复系统,运动检测与分析、运动康复,神经系统及康复,视觉听觉康复、神经康复,人工假体与置换技术,中国传统康复治疗方法,老年康复、护理与监测,关节外科与肌骨康复等。征文截止日期:2014年1月25日。