



立卧两用电动轮椅车的设计

任 怡, 张峻霞, 张建国, 胡 军
(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘 要: 在研究坐姿对身体产生的不利影响的基础上,突破传统轮椅的功能和结构,提出了一种可实现站立及仰卧姿态的电动轮椅车的设计方案,阐明了轮椅机构的工作原理,并对站立机构进行了运动分析.在 UG/Motion Simulation 模块中建立了轮椅虚拟样机,并进行了运动仿真,结果验证了轮椅机构的合理性.

关键词: 电动轮椅; 机构设计; 运动分析; 虚拟样机

中图分类号: TH112 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2009)01-0047-04

Design of Electric Wheelchair for Stance and Supine Posture

REN Yi, ZHANG Jun-xia, ZHANG Jian-guo, HU Jun

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: Based on studying adverse influence in sitting posture theory, broken through function and structure of traditional wheelchairs, a design of electric wheelchair for stance and supine posture was developed and the principle of work was clarified. The kinematics of mechanism of stance was analyzed. The virtual prototype of the wheelchair was built under UG Motion Simulation and was simulated kinematically. The rationality of mechanism design for the wheelchair was verified by the result of motion simulation.

Keywords: electric wheelchair; mechanism design; motion analysis; virtual prototype

目前,在我国人口中有 8 296 万残疾人,占全国总人口的比例为 6.34%,其中肢体残疾人数 2 412 万,占 29.07%^[1].据老龄委统计结果显示,截至 2004 年底,我国 60 岁以上的老年人已达到 1.43 亿,占全国人口总数的 10.97%以上,预计 2010 年将达到 1.6 亿^[2].高龄人一个很大的障碍就是步行能力减弱,最后还可能无法行走.因而,残疾人和老年人这个庞大的弱势群体需要一种适合他们心理和生理的代步工具来满足日常生活及参与社会活动的需要^[3-4].

坐姿是人体的一种自然姿势,它能够免除站立时人体的足裸、膝部、脊椎等关节部位产生的静态肌力,减少人体的耗能.但坐姿限制了人体的活动性,长期的坐姿对健康很不利,它会引起腹部肌肉松弛、下身肿胀、静脉压力增大、大腿局部受到压力增加血液回流阻力、脊柱不正常的弯曲,以及对某些体内器官的

功能(如消化器官、呼吸器官)造成损害,并且坐姿会在人体的主要支撑面上产生压力,一段时间内就会引发不舒适的感觉^[5-6].对于下肢残障者来说,由于下肢活动性的限制,坐姿是他们日常生活中最主要的行为方式,长时间坐在轮椅上对他们身体所产生的不利影响更为显著,因而需要一种使用舒适并能够辅助他们改变身体姿态的轮椅车来解决生活中的不便及身体康复问题.

我国市场上现有的多数轮椅车功能单一,对于残障患者所需要的身体康复锻炼、高端取物及与床之间的对接等功能的实现还停留在实验室或少数定做的模式,并没有产业化,在一定程度上还无法满足残障者的需要^[4],而为了满足不同功能需求而购买多种医疗辅助器械又会增加患者的经济负担.因此,设计一种多功能轮椅车,使残障者无需他人协助便能够实现

收稿日期: 2008-09-22; 修回日期: 2008-11-14

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2006AA040201); 天津市应用基础研究计划资助项目(07JCYBJC18700)

作者简介: 任 怡(1983—),女,天津人,硕士研究生.

以上动作,达到减轻护理人员工作强度、提高残障者生活质量的目的是非常必要的。

本文针对长期坐姿对人体产生的不利影响,设计了一种立卧两用电动轮椅车,并对其进行了运动分析与仿真。

1 轮椅的整体结构

针对下肢残障者的使用需求,新型轮椅车需满足几点要求:(1)通过座面倾斜和脚踏板的内收辅助使用者站立;(2)轮椅在站立姿态下能够正常行驶;(3)椅背能够达到平躺位置。这样的功能不仅能够解决残障者日常生活中的不便问题,提高行动自由度,还能够辅助完成一些简单的身体康复锻炼,促进残障者血液循环、增强心肺功能,减少长时间坐姿疲劳。对于护理人员来说减少了将残障者在轮椅与床之间移位的次数,降低了劳动强度。

传统轮椅的设计是将椅背、座面、脚踏、底架、驱动轮及从动轮安装在整体焊接架上,这样是无法实现辅助站立及平躺功能的。本文提出的设计思想是将椅背、座面、脚踏板和底架简化为多个杆件以铰链形式联接起来。为了能够使轮椅车在站立姿态下行驶,防止由于站立过程中重心前移而导致的轮椅车失衡,考虑在脚踏板连接架上加装两个小轮机构,使得站立姿态时轮椅车的支撑点前移,保证了重心的稳定性。轮椅车的整体机构简图如图 1 所示。

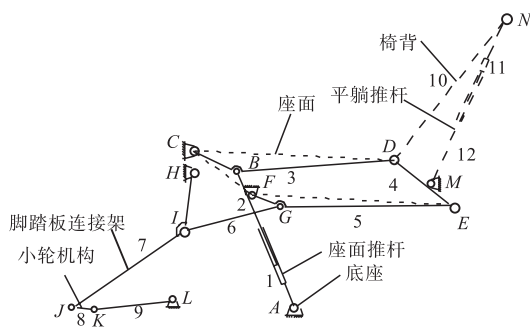


图 1 轮椅整体机构简图

Fig.1 Schematic diagram of wheelchair mechanism

2 机构的工作原理

如图 1 所示,轮椅车的整体机构由站立和仰卧两个自由度均为 1 的连杆机构组成。两个机构的运动相互独立,保证了残障者使用时的安全性,避免造成二次伤害,这样也减少了运动控制的难度。图 1 中,杆 1 至杆 9(实线)构成了站立机构,杆 10、11、12(虚线)构

成了仰卧(平躺)机构。需要说明的是,铰链点 D 是两个机构的共用点,即座面与椅背的联接点,在站立机构运动时它是活动的,而在仰卧机构运动时它是固定的, DM 相当于机架。

2.1 站立机构

如图 2 所示,站立机构由一个电动推杆控制,9 个活动构件和 13 个低副构成。机构中 $A、C、F、H、L$ 为轮椅底架上的固定点, $C、D、E、F$ 四点构成了一个平行四边形。其工作原理为:当座面推杆匀速伸长推动杆 3 转动时,在杆 5 与杆 6 的拉动下杆 7 向内侧收回,此时座面倾斜角逐渐变大,脚踏板内收,逐渐形成站立姿态。在杆 7 收回的同时, K 点向下方运动,联接在脚踏板上的小轮机构实现了与地面的支撑,车体的支点前移,中间从动轮悬空。

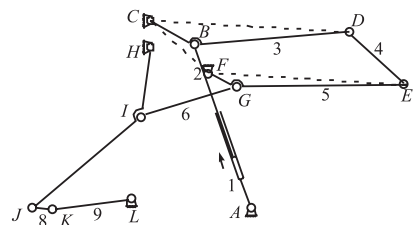


图 2 轮椅站立机构简图

Fig.2 Schematic diagram of standing mechanism of wheelchair

2.2 仰卧机构

在仰卧机构运动时,站立机构运动锁定, D 点成为机架上固定铰链点。仰卧机构初始位置(实线)及倾斜 65° (虚线)时的位置如图 3 所示。铰链点 N 的运动轨迹就是以 D 点为圆心以杆 10 的长为半径的一段圆弧。

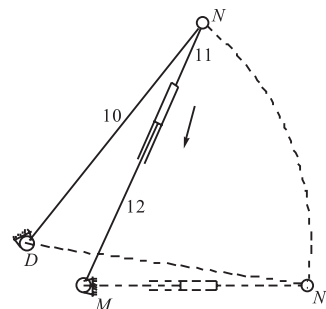


图 3 轮椅仰卧机构简图

Fig.3 Schematic diagram of supine mechanism of wheelchair

由独立电动推杆控制的仰卧机构对于上肢功能障碍的使用者来说,只要能够控制操纵杆就能够自由变换位姿,而不需要像某些手动调节靠背的轮椅那样需要旁人协助才能完成平躺动作。

3 站立机构的运动分析

合理的结构尺寸是设计的关键,也是保证轮椅能够完成预期功能的前提.电动轮椅车的国家标准和人机工程学中人体尺寸是设计结构尺寸的依据.通过对轮椅机构的运动分析,可得到各构件的点的位移、速度、加速度等规律.由于站立机构由多个连杆组成,结构复杂,因而对其进行运动学分析.

对站立机构建立如图4所示的坐标系, C点和H点共线,以过A点的水平线和过C点垂线的交点为坐标系原点,OA为X轴正方向,OC为Y轴正方向,夹角以逆时针方向为正.

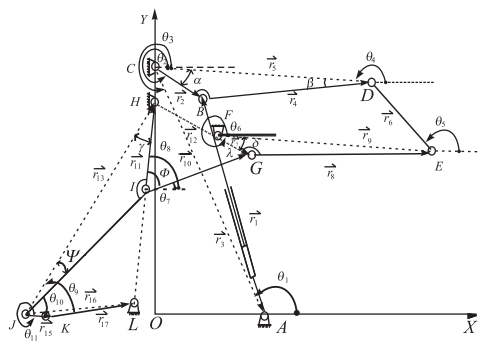


图4 站立机构几何模型和坐标系图

Fig.4 Geometric model and coordinates of standing mechanism

根据图4中的封闭向量关系,利用矢量方程解析法^[7]分析得到

$$\vec{r}_3 + \vec{r}_1 = \vec{r}_2 \tag{1}$$

将向量分别向x、y轴投影得到式(2).

$$\begin{cases} x: r_3 \cos \theta_3 + r_1 \cos \theta_1 = r_2 \cos \theta_2 \\ y: r_3 \sin \theta_3 + r_1 \sin \theta_1 = r_2 \sin \theta_2 \end{cases} \tag{2}$$

消去 θ_1 , 求解式(2)可得到

$$\theta_2 = \theta_3 + \cos^{-1} \left(\frac{r_2^2 + r_3^2 - r_1^2}{2r_2r_3} \right) \tag{3}$$

又有

$$\theta_3 = \frac{3}{2}\pi + \arctan \frac{|OA|}{|OC|} \tag{4}$$

其中 r_2 是已知变量,将 θ_2 代入式(2)可求得 θ_1 .根据各向量的几何关系,可得出各位置参数表达式:

$$\theta_4 = \theta_2 + \alpha + \beta - \pi = \theta_2 + \cos^{-1} \left(\frac{r_5^2 + r_2^2 - r_4^2}{2r_5r_2} \right) + \cos^{-1} \left(\frac{r_9^2 + r_7^2 - r_8^2}{2r_9r_7} \right) - \pi \tag{5}$$

$$\theta_6 = \theta_3 + \alpha - \delta = \theta_3 + \cos^{-1} \left(\frac{r_5^2 + r_2^2 - r_4^2}{2r_5r_2} \right) - \tag{6}$$

$$\cos^{-1} \left(\frac{r_9^2 + r_7^2 - r_8^2}{2r_9r_7} \right)$$

$$\theta_7 = \lambda + \theta_6 - 2\pi = \cos^{-1} \left(\frac{r_{10}^2 + r_{12}^2 - r_{11}^2}{2r_{10}r_{12}} \right) + \theta_6 - 2\pi \tag{7}$$

$$\theta_8 = \theta_7 + \phi = \theta_7 + \cos^{-1} \left(\frac{r_{10}^2 + r_{11}^2 - r_{12}^2}{2r_{10}r_{11}} \right) \tag{8}$$

$$\theta_9 = \pi - \theta_8 - \gamma = \pi - \theta_8 - \cos^{-1} \left(\frac{r_{11}^2 + r_{13}^2 - r_{14}^2}{2r_{11}r_{13}} \right) \tag{9}$$

$$\theta_{10} = \theta_9 - \varphi = \theta_9 - \cos^{-1} \left(\frac{r_{13}^2 + r_{14}^2 - r_{11}^2}{2r_{13}r_{14}} \right) \tag{10}$$

$$\theta_{11} = 2\pi - \angle LJK + \sin^{-1} \left[\frac{L_y - (OH - r_{13} \cos \theta_9)}{r_{16}} \right] = 2\pi - \cos^{-1} \left(\frac{r_{15}^2 + r_{16}^2 - r_{17}^2}{2r_{15}r_{16}} \right) + \sin^{-1} \left[\frac{L_y - (OH - r_{13} \cos \theta_9)}{r_{16}} \right] \tag{11}$$

式(11)中, L_y 表示L点Y方向的坐标值.

当轮椅车的结构参数确定时,可以求解某一铰链点的轨迹,例如图4中K点的位移轨迹为

$$\begin{cases} x_k = -(r_{13} \cos \theta_9 + r_{15} \cos \theta_{11}) \\ y_k = OH - (r_{13} \sin \theta_9 + r_{15} \sin \theta_{11}) \end{cases} \tag{12}$$

4 轮椅虚拟样机的建立与运动仿真

通过虚拟样机技术可以迅速地分析和比较轮椅车的多种参数方案,在运动仿真过程中能够检验机构的工作能力是否满足功能需要,即其工作轨迹的合理性.

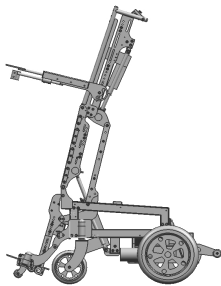
为了验证设计的合理性,创建完机构后,给每个铰链点定义需要的运动副,在电动推杆上添加运动驱动,定义完驱动类型后就可以进行仿真和干涉检验了.在UG NX5.0环境下建立了轮椅车的三维模型,并在Motion Simulation中定义仿真参数,建立轮椅车的虚拟样机^[8],如图5所示.

由于轮椅的站立和仰卧功能都要求匀速稳定运动,因而对座面推杆和平躺推杆分别设定驱动参数:设座面推杆的速度为10 mm/s,时间历程15 s,步数300;椅背推杆速度10 mm/s,时间历程10 s,步数200.图6为仿真过程中站立和平躺的位置.

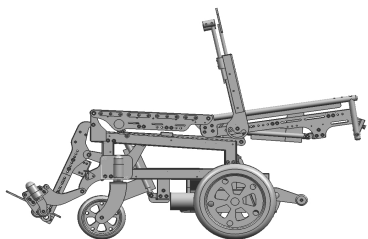


图5 轮椅虚拟样机三维模型

Fig.5 Virtual prototype model of wheelchair



(a) 站姿位置

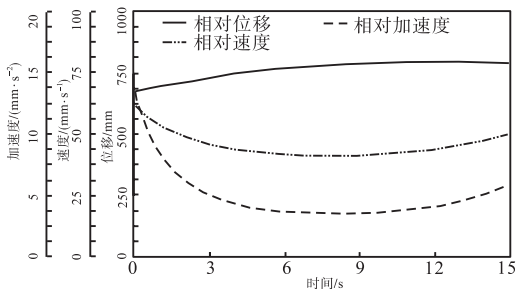


(b) 平躺位置

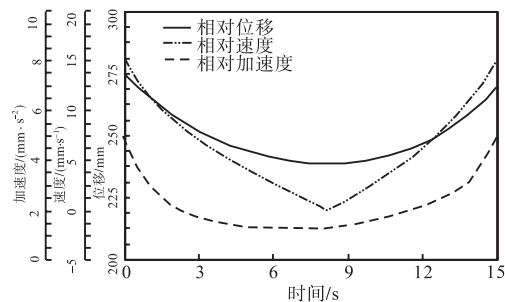
图6 轮椅仿真位置

Fig.6 Simulation position of wheelchair

通过以上仿真过程中轮椅的运动可以看出,本机构的动作与需求功能相一致,运动过程平稳,能满足设计要求.从仿真结果中能够提取各运动副铰链点的位移、速度、加速度曲线及数据的电子表格,从而获得需要的信息.图7为从仿真结果中提取的E点和J点位移、速度和加速度曲线.



(a) E点



(b) J点

图7 E点和J点的位移、速度和加速度曲线

Fig.7 Displacement, velocity and acceleration diagram of points E and J

5 结 语

针对传统轮椅产品的不足及对多功能轮椅的功能要求,本文设计了一种具有立卧两用功能的轮椅,并对其进行了运动分析,为轮椅的动力学分析及控制提供了理论基础.通过轮椅虚拟样机仿真得到的动画及曲线,可以判断出轮椅车站立及平躺的运动稳定,没有干涉现象,证明了轮椅机构设计的合理性.

参考文献:

- [1] 国家统计局.第二次全国残疾人抽样调查领导小组.第二次全国残疾人抽样调查发布数据公报 全国残疾人总数已达8 296万[J].中国残疾人,2006(12):5.
- [2] 全国老龄工作委员会办公室.中国人口老龄化发展趋势预测报告[J].中国妇运,2007(02):15-18.
- [3] 刘云,王艾伦.一种新型可卧立电动轮椅的研制与设计[J].机械与电子,2007(10):6-9.
- [4] 何清华,黄素平,黄志雄.智能轮椅的研究现状和发展趋势[J].机器人技术与应用,2003(3):12-16.
- [5] 陆剑雄,张福昌,申利民.坐姿理论与座椅设计原则及其应用[J].江南大学学报:自然科学版,2005,4(6):600-625.
- [6] 陆剑雄,张福昌,申利民.坐姿与座椅设计的人机工程学探讨[J].人类工效学,2005,11(4):44-49.
- [7] Hsin-Sheng Lee, Shinn-Liang Chang, Kuo-Huang Lin. A study of the design, manufacture and remote control of a pneumatic excavator [J]. International Journal of Mechanical Engineering Education, 2004, 32(4): 345-361.
- [8] 孙海波. UG环境下基于虚拟样机技术的凸轮机构动力学仿真、分析研究[D].昆明:昆明理工大学,2004.