

基于 JACK 虚拟仿真分析的介助老人 护理床人机工程学设计

赵芳华, 孙惠东, 关玉明
(河北工业大学, 天津 300130)

摘要: **目的** 目前护理床普遍采用标准化设计, 针对介助老人及护理人员的双用户体验模型进行护理床人机工程学设计, 对现有护理床结构、功能提出改进方案。**方法** 以人机工程软件 Jack 为分析工具, 建立符合中国老年人身体尺寸模型和护理人员相关任务动作模型, 在此基础上进行虚拟仿真, 对介助老人护理床使用人机匹配性、不同姿势下的舒适度分析, 以及护理人员在护理任务中不同动作的舒适性、动作姿势和快速上肢分析, 并通过对静态人体尺寸与动态功能尺寸人机分析, 对现有护理床进行设计改进。**结论** 在护理床设计过程中进行介助老人和护理人员双用户人机工程分析, 有利于发现双用户在使用过程中不合理的设计内容, 得到新的基于人机工程学的护理床设计方法, 提高介助老人和护理人员的舒适性, 提高使用性能。

关键词: Jack; 介助老人; 人机工程学; 护理床

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)24-0030-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.24.005

Ergonomic Design of Nursing Bed for the Elderly Based on JACK Virtual Simulation Analysis

ZHAO Fang-hua, SUN Hui-dong, GUAN Yu-ming
(Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

ABSTRACT: At present, standardized design is generally used for nursing bed. Aiming at the dual-user experience model for assisting the elderly and nursing staff, the work aims to conduct ergonomics design on the nursing bed and propose improvement scheme of structure and function of the existing nursing bed. With the ergonomic software Jack as the analysis tool, the body size model of the Chinese elderly and the action model of the nursing staff's related tasks were established. On this basis, virtual simulation was performed. The human-machine matching and the comfort of different postures on the nursing bed for the elderly, the comfort of different actions of nurses in nursing tasks, action postures and rapid upper limb were analyzed. And through the man-machine analysis of static body size and dynamic functional size, the design of existing nursing bed is improved. The dual-user ergonomics analysis for the elderly and nursing staff in the nursing bed design process is beneficial to discover the unreasonable design content of the dual-user in the use process, and obtain a new nursing bed design method based on ergonomics, improve the use performance and the comfort of the elderly and nursing staff.

KEY WORDS: Jack; assisting the elderly; ergonomics; nursing bed

收稿日期: 2020-10-21

基金项目: 河北省社会科学基金 (HB18YS013)

作者简介: 赵芳华 (1980—), 女, 河北人, 硕士, 河北工业大学副教授, 主要研究方向为产品创新与设计理论、体验与服务设计。

通信作者: 关玉明 (1957—), 男, 河北人, 硕士, 河北工业大学教授、博士生导师, 主要研究方向为机电成套设备及关键技术。

目前我国 60 岁以上老年人占全国人口的 18.1%，且未来十年内这一数字将持续增长^[1]，护理工作及相关设备将出现大量缺口^[2]。老年人日常生活的需求不断被挖掘，不合理的设计导致产品难以满足现有需求，同时由于老年人机体功能的退化，高度依赖护理人员，设计相关产品时护理人员的使用需求也应被考虑在内。

1 用户群体特征分析

1.1 介助老人特征分析

我国老年长期护理分级标准始于 2001 年出台的《老年人社会福利机构基本规范》该规范规定：养老机构内老人的护理级别可根据生活自理能力和需求划分为三级，即自理老人（一般照顾护理）、介助老人（半照顾护理）、介护老人（全照顾护理）^[3]。在《养老设施建筑设计规范》中，介助老人的定义为：“生活行为需要他人和辅助设施帮助的老年人”^[4]，通常具有一定的运动机能障碍，运动机能障碍一般分为肢体瘫和非肢体瘫^[5]，介助老人常属于后者，这类老人在日常生活活动（Activity of Daily Living, ADL）评定中界定为“轻度或中度功能障碍”。

1.2 护理人员特征分析

调研结果显示，介助老人实际生活中的主要活动，包括如厕、沐浴、进食等，需要护理人员的介入。护理人员的护理行为见表 1。

由于护理工作需要，护理人员存在患肌肉骨骼疾病（MSDs）的风险^[6]，该风险是一个用于描述肌肉骨骼系统疾病的术语，可能涉及肌肉、神经、韧带、关节、软骨和脊椎盘的损伤）。护理人员在处理患者时，由于手动提升和不良的工作姿势，会感到背部和上肢疼痛和不适^[7]，因此需要重新设计用于介助老人使用的护理床以减少护理人员患肌肉骨骼疾病的风险。依据人机工程学原理，结合设计学、公共医学等理论，以介助老人与护理人员的实际需求，在传统护理床基础上进行功能、结构、尺寸的再设计，使其同时满足介助老人与护理人员的双重需求。

2 护理床人机工程分析基本流程

通过构建介助老人、护理人员、护理床三个模型，

表 1 护理人员护理行为	
Tab.1 Nursing behavior of nursing staff	
护理类型	护理行为
穿衣	需对老人身体姿势、位置等调整
沐浴	需对老人进行位置翻转，肢体调整
进食	包括起背、喂食等行为
如厕	辅助老人行走至卫生间

利用 Jack 软件的虚拟仿真工具对护理床的使用舒适性、可达性及护理人员的操作舒适性进行分析，发现现有产品设计的不足，基于分析结果对护理床功能、结构、尺寸进行设计。该分析流程见图 1。

3 介助老人人机数据分析

3.1 静态生理尺寸分析

由于老年人年龄增加，生理数据较成年人有显著变化，研究表明老年人人体尺寸较成年人各参数下降 2.8%^[8]，依据 Jack 中成年人人体尺寸数据，老年人人体尺寸数据可描述为：

$$H_o = H_y \times (1 - 2.8\%) \tag{1}$$

其中， H_o 表示老年人人体尺寸， H_y 表示为成年人人体尺寸，在成年人人体尺寸的基础上换算出老年人的身体尺寸，构建老年人生理尺寸模型。老年人人体尺寸见表 2。

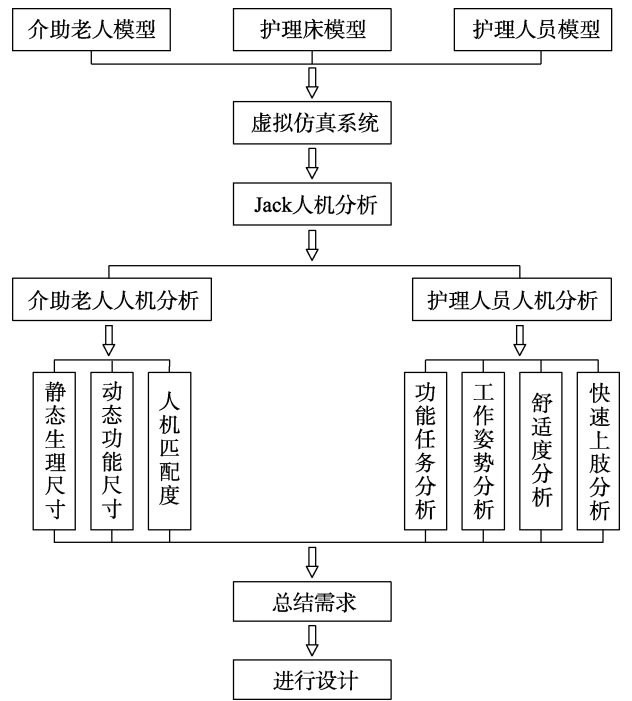


图 1 护理床 Jack 分析流程
Fig.1 Jack analysis process of nursing bed

表 2 老年人人体尺寸
Tab.2 Body size of the elderly

名称	老年男性/mm			老年女性/mm		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
身高 h0	1539	1631	1725	1442	1526	1613
上臂长 h1	281	304	329	255	276	298
前臂长 h2	210	230	251	188	207	227
大腿长 h3	416	452	491	391	426	463
小腿长 h4	329	359	392	304	334	364
膝高 h5	434	470	509	409	442	478

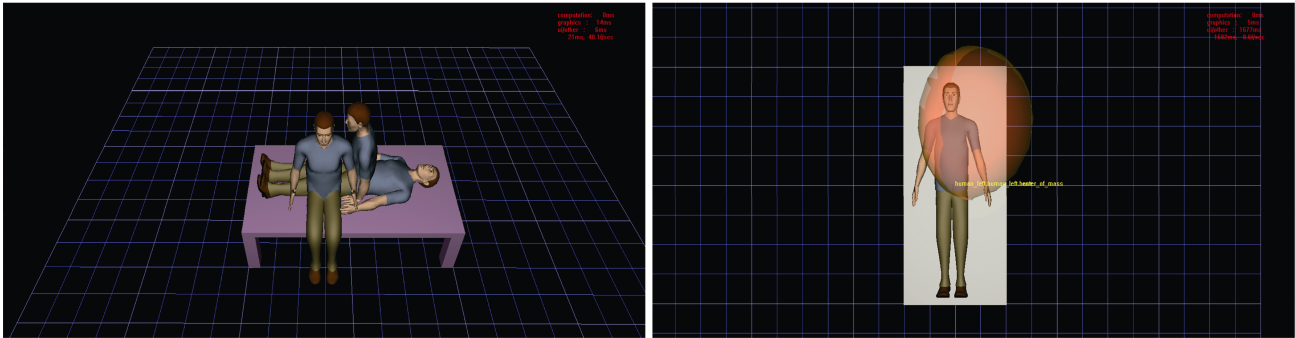


图 2 床体使用活动范围模型
Fig.2 Model of bed movement range

3.2 动态功能尺寸分析

通过对老人上下床的动作建模,同时考虑老人平躺状态下手臂可移动范围,根据 Jack 软件对老人模型活动范围分析,见图 2。

根据分析结果来看,在介助老人上下床的过程中,床体高度需根据老年人小腿加足高设定,同时考虑床垫修正量。上下床需要加装扶手用于辅助,方便老人利用扶手进行身体位置的移动,扶手位置应靠近老人上身一侧。从上图手部活动范围可知,手部活动范围与床体边缘交界处(扶手边缘位置),即从上边缘至胯骨处长度为扶手尺寸,根据老年人人体尺寸设计床体高度为膝高 h_5 第 95 百分位约为 510 mm,扶手长 807 mm。同时由于老人身体机能较成年人下降明显,对材质触觉反馈较弱^[9],因此在扶手材料选择上,不仅应考虑触觉反馈明显的材料,而且要保证质感的亲和。

4 护理人员人机数据分析

4.1 护理人员动作类型与人体数据

护理人员作为直接接触用户的工作人员,需对介助老人进行移位,易患肌肉骨骼疾病(MSDs)^[7],通过 Jack 中人体姿势模拟,分析不同姿势下的护理人员舒适度,由于护理人员涉及动作复杂,将护理任务分为床上护理与位置转移两种,其中床上护理涉及护理老人翻身、起背、曲腿等动作^[10],本文对此三个动作进行 Jack 虚拟仿真分析。

根据 YY0003-1990 病床标准,床面长度 1900~2000 mm,宽度 900~1000 mm,床面离地高 480~630 mm,在犀牛中建立病床模型,选取 2000 mm×1000 mm×510 mm 作为尺寸标准,该数据满足中国 95%男性身体尺寸。将其保存为.stl 格式文件,并将该文件导入 Jack 中,由于人体尺寸呈现正态分布,因此构建中国男性身高第 50 百分位作为介助老人模型,中国女性身高第 50 百分位作为护理人员模型。

4.2 Jack 分析工具

4.2.1 工作姿势分析

工作姿势分析(Ovako Working Posture Analysis 简称 OWAS)基于背部、腿部和负载三部分的综合评价以快速检查工作姿势^[11]。该工具会提供一个姿势不适度得分来评估该姿势下工作人员的不舒适度,并提供纠正必要性等级来评价姿势纠正的必要性,共分为四个等级:级别 1 为姿势正常的,没有纠正的必要;级别 2 为姿势可能有一定不良影响,虽不需要立即采取行动,但也要近期调整;级别 3 为姿势有不良影响,应尽快纠正;级别 4 为姿势非常有害,必须立即纠正。

4.2.2 舒适度分析

舒适度分析(Comfort Assessment)用于评价护理人员某个姿势下关节及整体姿势的舒适度,该工具基于以下关键指标来评价舒适度,见表 3。

以用户关节力矩与最大关节力矩的比值描述舒适度,关节舒适度表达为^[12]:

$$C_j = 1 - I_{cj}, j = 1, 2, 3 \cdots n \tag{2}$$

其中 j 表示关节 n 为关节数 I_{cj} 为关节的不舒适度,为关节力矩 M_j 与最大关节力矩 M_{jmax} 的比值^[13],即

$$I_{cj} = \frac{M_j}{M_{jmax}} \tag{3}$$

$$C_j = 1 - \frac{M_j}{M_{jmax}} \tag{4}$$

表 3 舒适度分析测量部位及范围
Tab.3 Comfort analysis measurement location and range

测量部位	范围/°	典型值/°
头部弯曲角度 w1	-10~26	7
左/右上臂弯曲角度 w2	19~75	50
左/右肘弯曲角度 w3	86~164	128
左/右大腿弯曲角度 w4	90~115	101
左/右膝弯曲角度 w5	99~138	121
左/右脚弯曲角度 w6	80~113	9

Jack 中舒适度分析工具将各个关节弯曲情况予以显示, 根据数值及颜色即可判断整体舒适度。

4.2.3 快速上肢分析

快速上肢分析 (Rapid Upper Limb Assessment 简称 RULA) 工具能够分析护理人员在上肢动作中的危险。该工具基于人体的姿势、肌肉的使用、负荷的重量、任务的持续时间和频率变量来评价上肢动作的危险性。RULA^[14]输入量表见表 4, 分析结果分类见表 5。

4.3 翻身任务分析

护理人员对介助老人进行翻身这一任务构建相应人物动作模型, 进行工作姿势分析、舒适度分析、快速上肢评估, 见图 3。其中图 3a 为翻身工作姿势分析, 图 3b 为翻身舒适度分析, 图 3c 为翻身快速上肢分析。

分析结果表明, 该动作姿势“纠正需求”等级为级别 2, 表明该姿势可能有一定的不良影响, 应近期调整。舒适度相关数据表明护理人员手臂、肘部、膝盖弯曲角度均超出限值, 该姿势下舒适度较低, 长期以往易造成相关疾病。快速上肢评估分析结果见表 6。

最终得分为 7 分表明风险等级较高, 容易造成肌肉骨骼损伤。

综上所述, 护理人员在对介助老人进行翻身这一任务时, 动作姿势易造成不良影响, 患肌肉骨骼损伤风险等级较高, 会影响到护理人员健康, 应立即研究并改变。

4.4 起背任务分析

对护理人员对介助老人进行起背这一任务构建相应人物姿势模型, 进行工作姿势分析、舒适度分析、快速上肢评估, 见图 4。其中图 4a 为起背工作姿势分析, 图 4b 为起背舒适度分析, 图 4c 为起背快速上肢分析。

分析结果表明, 该动作姿势“纠正需求”等级为级别 2, 姿势有不良影响, 应近期调整。舒适度相关数据表明护理人员右肘、双腿及膝盖和左脚弯曲角度均超出限值, 表示该姿势下, 护理人员右肘、双腿及

膝盖和左脚负荷超出合理承受范围, 舒适度较低。

快速上肢评估分析结果见表 7。

最终得分为 6 分, 表明风险等级较高, 如果长期采用此动作容易造成肌肉骨骼损伤。

综上所述, 护理人员在对介助老人进行起背这一动作时, 动作姿势易造成不良影响, 患肌肉骨骼损伤风险等级较高, 影响护理人员健康, 不可长期进行此任务。

4.5 曲腿任务分析

曲腿这一动作主要是为介助老人进行腿部活动, 对护理人员对介助老人进行曲腿这一任务构建相应人物姿势模型, 进行工作姿势分析、舒适度分析、快速上肢评估, 见图 5。图 5a 为曲腿工作姿势分析, 图 5b 为曲腿舒适度分析, 图 5c 为曲腿快速上肢分析。

分析结果表明, 该动作姿势“纠正需求”等级为级别 3, 姿势有不良影响, 应尽快纠正。舒适度相关数据表明护理人员双腿及膝盖弯曲角均超出限值, 该姿势下舒适度较低。

快速上肢评估分析结果见表 8。

表 4 RULA 输入量表
Tab.4 RULA input scale

输入变量	变量输入范围	输出结果范围
上臂	-90°~180°	5
前臂	0°~180°	3
腕部	-90°~90°	4
颈部	-45°~90°	4
躯干	60°~120°	4
负重	0~10kg	3

表 5 分析结果分类
Tab.5 Classification of analysis results

分	分析结果
1~2	未保持长时间情况下, 该姿势可行
3~4	较长时间后应研究并改变该姿势
5~6	一段时间后应研究并改变该姿势
7 以上	应立即研究并改变该姿势

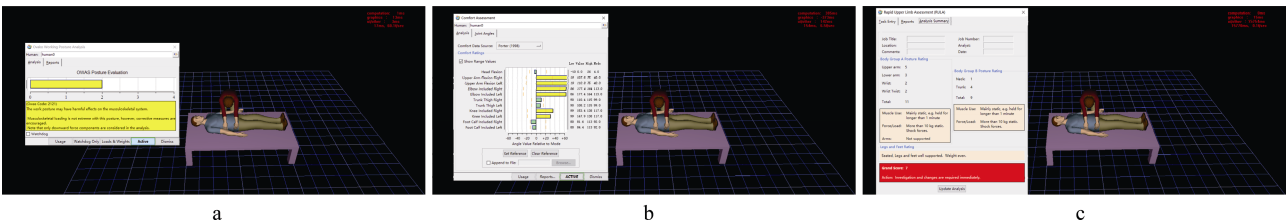


图 3 翻身任务分析
Fig.3 Assessment of turnover task

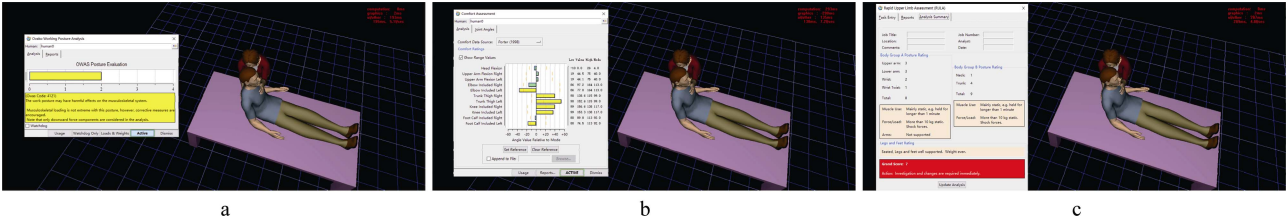


图 4 起背任务分析
Fig.4 Assessment of raise back task

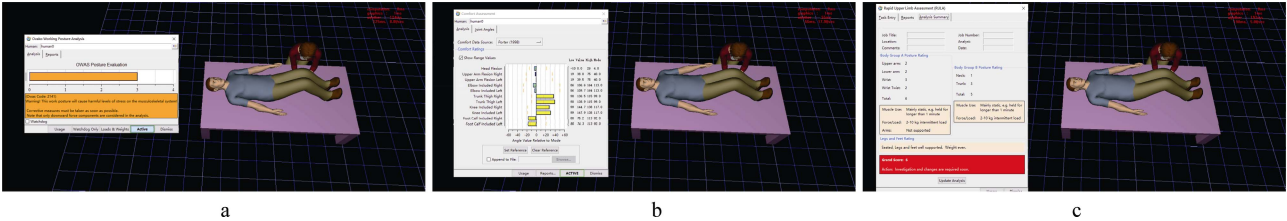


图 5 曲腿任务分析
Fig.5 Assessment of bent leg task

表 6 翻身快速上肢分析结果
Tab.6 Results of the rapid upper limb assessment of turnover

	评价部位	分数	得分	总计
初始分数 A	上臂	5	11	7
	前臂	3		
初始分数 B	腕部	2	9	
	颈部	1		
	躯干	4		
	负重	超过 10 kg		

表 7 起背快速上肢分析结果
Tab.7 Results of rapid upper limb assessment in raising back

	评价部位	分数	得分	总计
初始分数 A	上臂	3	8	6
	前臂	3		
初始分数 B	腕部	2	9	
	颈部	1		
	躯干	4		
	负重	超过 10 kg		

表 8 曲腿快速上肢分析结果
Tab.8 Results of rapid upper limb assessment

	评价部位	分数	得分	总计
初始分数 A	上臂	2	6	6
	前臂	2		
初始分数 B	腕部	3	5	
	颈部	1		
	躯干	3		
	负重	2~10 kg		

最终得分为 6 分，表明风险等级较高，如果长期采用此动作容易造成肌肉骨骼损伤。

综上所述，护理人员在对介助老人进行曲腿这一

动作时，动作姿势易造成不良影响，长期进行此任务患肌肉骨骼损伤风险等级较高，影响护理人员健康。

5 护理床改进设计

5.1 改进分析

5.1.1 层次分析法确定不同需求权重

通过分析可知，双用户模型中，介助老人与护理人员的需求应同时考虑，目标层构建为 A，对护理床准则层构建为介助老人需求 B₁、护理人员需求 B₂、综合需求 B₃ 三个准则指标，针对这三个准则指标细分出八项次准则指标，分别是功能满足 C₁₁、安全性 C₁₂、舒适性 C₁₃、易于操作 C₁₄、易改变姿势 C₁₅、可升降 C₁₆、使用便捷 C₁₇、造型美观 C₁₈^[15]。

构建判断矩阵与确定权重，根据一致矩阵法，即不把所有因素放在一起比较，而是两两比较。对比时采用相对尺度，以尽可能减少性质不同的诸因素相互比较的困难，以提高准确性。

成对比较矩阵是表示本层所有因素针对上一层某一个因素（准则或目标）的相对重要性的比较。成对比较矩阵的元素 a_{ij} 表示第 i 个因素相对于第 j 个因素的比较结果，这个值所代表的重要性^[16]见表 9。

表 9 重要性标度及其含义
Tab.9 Importance scale and its meaning

标度	含义
1	两个因素相比具有同样重要性
3	元素 i 相比元素 j 略显重要
5	元素 i 相比元素 j 明显重要
7	元素 i 相比元素 j 强烈重要
9	元素 i 相比元素 j 极端重要
2, 4, 6, 8	上述两相邻判断的中值
倒数	元素 i 相比元素 j 的标度为 a_{ij} ，反之为 $1/a_{ij}$

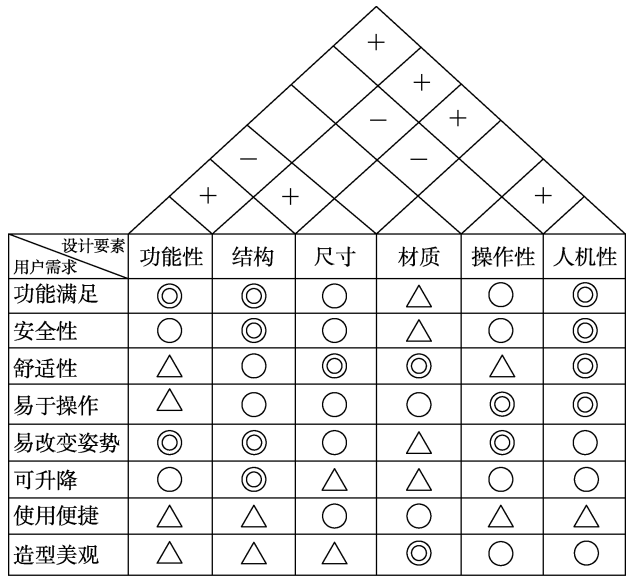
[illegible]

5.1.2 功能配置分析

根据以上指标层元素运用质量功能配置分析^[19], 见图 7。

质量功能配置分析中显示: 主要有三对矛盾, 分别是功能性与机构之间、功能性与尺寸之间、功能性与操作性之间的矛盾, 运用 TRIZ 矛盾解决方法解决以上冲突^[20], 冲突描述为希望提高的参数有 NO.35 (提高适应性或多用性)、NO.13 (提高结构的稳定性)、NO.3 (约束静止物体的长度)、NO.33 (可操作性)。冲突矩阵描述结果见表 13。

根据 TRIZ 相应的矛盾解决原理,通过查表可知,



⊙ 强相关 ○ 一般相关 △ 弱相关 + 正相关 - 负相关

图 7 质量功能配置分析

Fig.7 Quality function configuration analysis

可用的发明原理有 NO.1 分割原理、NO.7 套装原理、NO.29 气动与液压。

通过以上原理可知,通过内嵌轮椅的形式将护理床分割,实现介助老人的活动与减轻护理人员工作量,同时轮椅的变形过程由气动与液压实现^[21],便于介助老人和护理人员操作。

5.2 护理床尺寸设计

相关研究表明,65 岁以上老人与成年人相比,身体会发生明显变化,主要表现在体重增加,腰部、臀部尺寸增加,肩部尺寸减少^[8],故在进行床体尺寸设计时需考虑此相关变量。护理床不同结构对应尺寸见表 14。

根据老年人人体尺寸结合 GB/T 3328-2016,为满足老年人舒适性需求,护理床在尺寸设计上选择大尺寸,最终床体尺寸为 1900 mm×900 mm×510 mm。

5.3 内嵌式轮椅尺寸设计

轮椅人机涉及到坐姿数据,轮椅人体相关尺寸见表 15。

根据《医用电气设备第二部分:医用电动床安全专用要求》YY0571-2005 关于背板、大腿板、小腿板调节范围的建议值,医用电动安全床调节范围见图 8。

表 13 冲突矩阵描述结果		
Tab.13 Conflict matrix description results		
序	负相关特征	所属标准参数
1	功能性	35 适应性及多用性
	结构	13 结构稳定性
2	尺寸	3 静止物体的长度
	操作性	33 可操作性

表 14 护理床不同结构对应尺寸
Tab.14 Corresponding dimensions of different structures of nursing bed

名称	男性/mm			女性/mm			男女通用/mm			最终取值/mm
	P50	P95	中间值	P50	P95	中间值	P50	P95	中间值	
1/2 头加背部	746	908	827	657	696.5	676.75	721.25	782.5	751.875	850
臀部加大腿长	522	559	540.5	498	534	516	510	546.5	528.25	510
小腿长	369	396	382.5	344	370	357	356.5	383	369.75	357

表 15 轮椅人体相关尺寸
Tab.15 Relevant dimensions of human body in wheelchair

名称	男性/mm			女性/mm			男女通用/mm			最终取值/mm
	P50	P95	中间值	P50	P95	中间值	P50	P95	中间值	
坐姿颈椎点高	657	691	674	617	648	632.5	637	669.5	653.25	637
坐深	457	494	475.5	433	469	451	445	481.5	463.25	510 (坐垫修正量 65)
小腿加足高	413	448	430.5	382	405	393.5	397.5	426.5	411.75	430 (结构连接修正量 30)
坐姿臀宽	355			382			368.5			500 (两边余量 25, 坐垫修正量 40)
坐姿肘高	263	298	280.5	215	284	249.5	221.5	291	256.25	300 (结构连接修正量, 坐垫修正量 40)

根据图 8 所示,将护理床设计成四个板块分别为背部支撑板块、臀部支撑板块、大腿支撑板块、小腿支撑板块。由于此次设计中内嵌轮椅,大腿支撑板块与臀部支撑板块为轮椅形态下坐垫部分,为轮椅的稳定性与安全性,将这两部分合并成为一部分,护理床结构见图 9。

5.4 护理床技术参数设计

为减轻护理人员工作强度,提高舒适性,护理床内嵌轮椅部分采用可升降设计,在坐垫位置增加电动起重装置,可实现床体的升降,电动起重装置位置见图 10。

护理床及轮椅结构见图 11,此设计已获得实用

新型专利,专利号为 ZL201921738755.6。

5.5 内嵌式轮椅人机分析

在设计轮椅具体尺寸时,参照上文中 Jack 老年人体尺寸表,选取其中相关数据,根据上表所列数据进行犀牛建模,构建内嵌轮椅的尺寸数据,导入 Jack 进行人机匹配度分析。由于此次设计是内嵌轮椅的护理床,所以护理床分为床体和轮椅两种形态。平躺姿势下人机匹配度见图 12。轮椅使用过程工作姿势分析见图 13。数字人模型参照上文中国老年人尺寸。

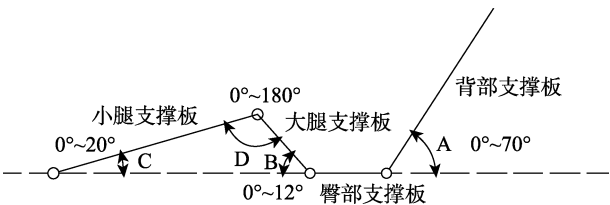


图 8 医用电动安全床调节范围
Fig.8 Adjustment range of medical electric safety bed

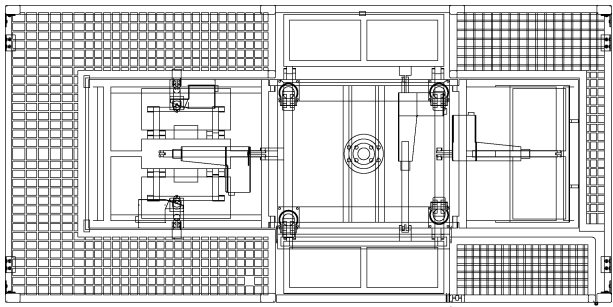


图 9 护理床结构设计
Fig.9 Nursing bed structure design

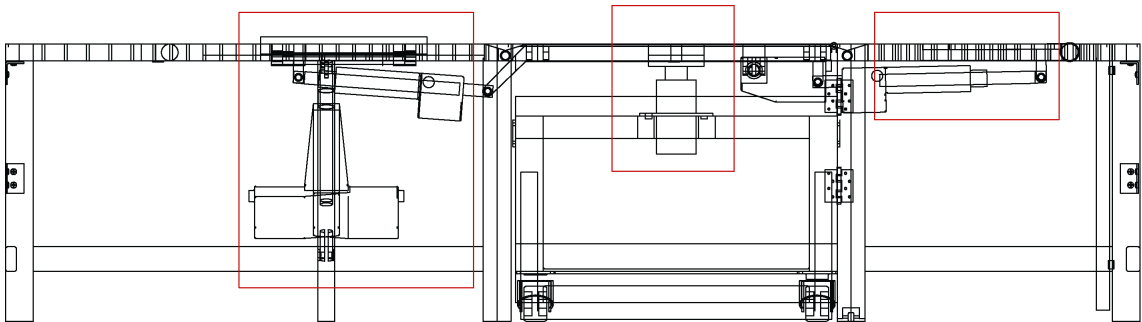


图 10 电动起重装置位置
Fig.10 Position of electric lifting device

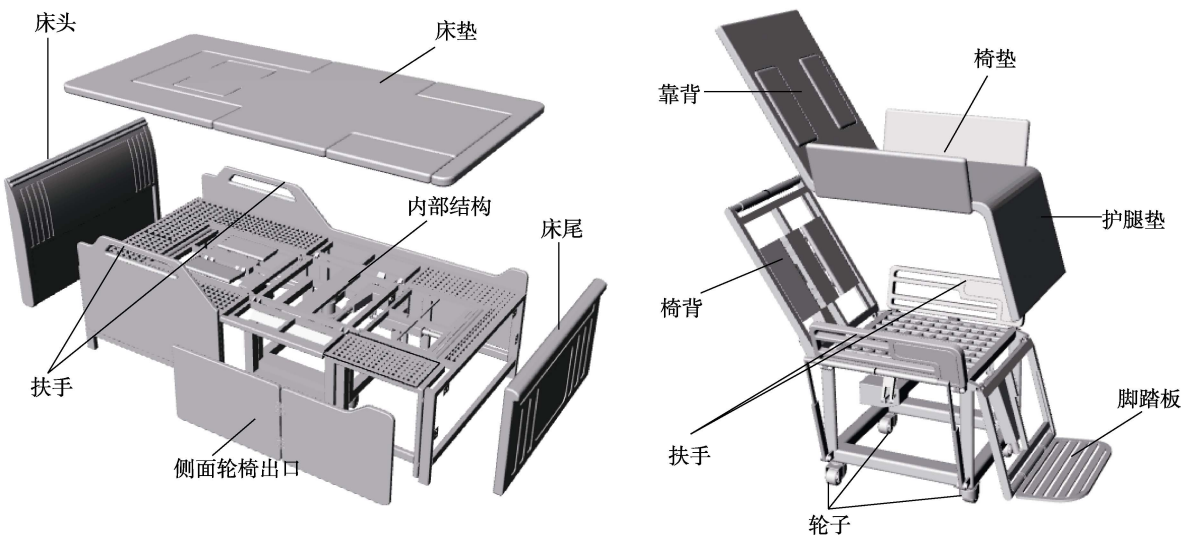


图 11 护理床及轮椅结构
Fig.11 Structure of nursing bed and wheelchair

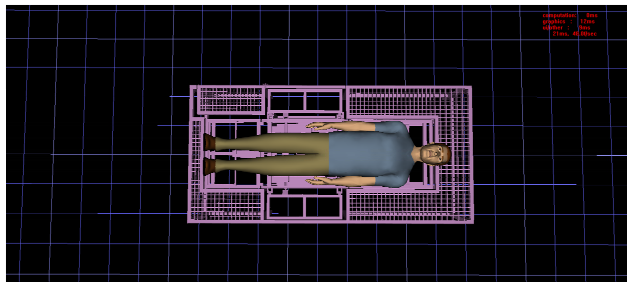


图 12 平躺姿势下人机匹配度
Fig.12 Man-machine matching degree in lying position

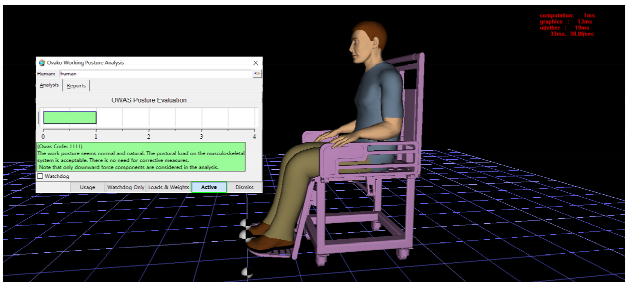


图 13 轮椅使用中工作姿势分析
Fig.13 Analysis of working posture during wheelchair use

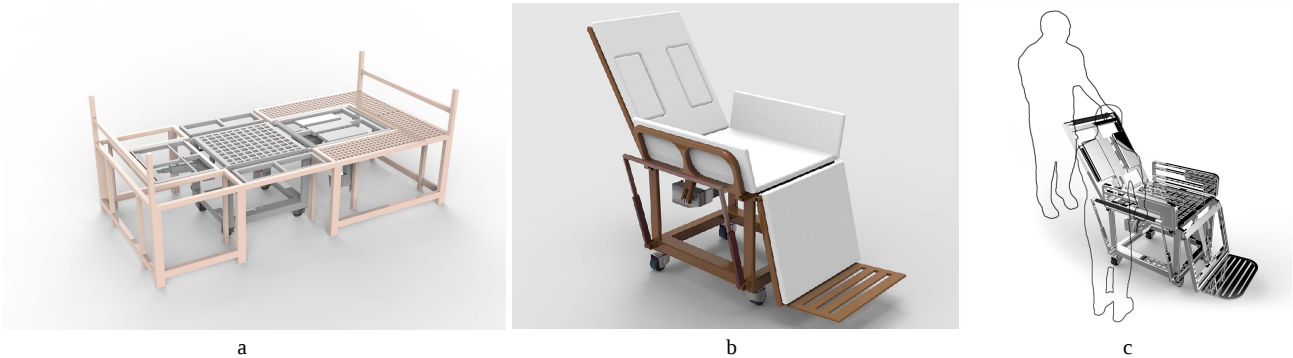


图 14 护理床及轮椅外观及使用情境
Fig.14 Appearance and use situation of nursing bed and wheelchair

结果显示平躺姿势下老人人体尺寸与轮椅尺寸匹配度较好，在轮椅形态下，利用 Jack 进行了姿势分析，“纠正需求”为级别 1，无需纠正，表明整体符合老年人人体尺寸。

5.6 护理床及轮椅外观设计

护理床外观涉及到介助老人使用的直观体验，根据老年人心理需求特点出发，需满足以下几点：情感化需求、使用便捷性与舒适性、审美需求^[22]，这些需求涉及护理床整体造型、材料使用和色彩搭配。老年人由于生理机能退化，为增加安全性，在造型设计中应避免尖锐的直角，采用圆滑的曲线过渡，同时通过增加细节的处理体现对老年人的心理关怀，材料使用上既要满足老年人由于触觉功能退化带来的不敏感性，又要保证产品的舒适度。护理床及轮椅外观设计及使用情境见图 14。图 14a 为护理床框架结构，图 14b 为轮椅外观，图 14c 为轮椅使用情境。

6 结语

随着老龄化的加快，未来护理设备将不断向人机合理方向发展，本文运用 Jack 软件对护理床进行介助老人与护理人员双用户进行分析，通过层次分析法确定不同需求权重，为满足用户与护理人员需求改进了现有护理床的结构并结合功能配置分析得到基于 TRIZ 冲突矩阵的设计参数进而设计了符合人机工程的护理床，提高用户与护理人员的满意度。

参考文献：

[1] 国家卫生计生委统计信息中心. 第五次国家卫生服务调查分析报告[M]. 北京：中国协和医科大学出版社，2015.
National Health and Family Planning Commission Statistical Information Center. The Fifth National Health Service Survey Analysis Report[M]. Beijing: China Peking Union Medical College Press, 2015.

[2] 路畅. 面向下肢瘫痪老人的康复床设计与舒适性研究[D]. 大连：大连交通大学，2015.
LU Chang. Research on the Design and Comfort of Rehabilitation Bed for the Elderly with Paralyzed Lower Limbs[D]. Dalian: Dalian Jiaotong University, 2015.

[3] 张莹. 日本介护保险制度中老年长期护理分级标准研究[J]. 中国全科医学，2011，14(22): 2544-2545.
ZHANG Ying. Research on the Classification Standards of Long-term Care for the Middle and Elderly in Japan's Nursing Care Insurance System[J]. Chinese General Practice, 2011, 14(22): 2544-2545.

[4] 中华人民共和国建设部. 养老设施建筑设计规范 GB50867-2013[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2014.
Ministry of Construction of the People's Republic of China. GB50867-2013 Code for Architectural Design of Elderly Care Facilities GB50867-2013[M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2014.

[5] 梅慧生. 人体衰老与延缓衰老研究进展—主要衰老学说介绍及评价[J]. 中华保健医学杂志，2003，5(3): 182-184.
MEI Hui-sheng. Research Progress on Human Aging and

- Anti-aging-introduction and Evaluation of Main Aging Theories[J]. Chinese Journal of Health Care Medicine, 2003, 5(3): 182-184.
- [6] GUMASING M J J, VILLAPANDO A C, PERNIA K C. An Ergonomic Design of Wheelchair Bed Transfer for Post Stroke Patients. Proceedings of the 2019 International Conference on Management Science and Industrial Engineering[C]. Manila: Mapua University, 2019.
- [7] SOUZA A C, ALEXANDRE N M C. Musculoskeletal Symptoms, Work Ability, and Disability among Nursing Personnel[J]. Workplace Health & Safety, 2012, 60(8): 353.
- [8] 胡海滔. 老年人的人体测量[D]. 北京: 清华大学, 2005.
HU Hai-tao. Anthropometry of the Elderly[D]. Beijing: Tsinghua University, 2005.
- [9] 杨婧婧. 基于感性工学的老年人医疗产品交互设计研究[D]. 西安: 西安工程大学, 2019.
YANG Jing-jing. Research on Interaction Design of Elderly Medical Products Based on Perceptual Engineering [D]. Xi'an: Xi'an Polytechnic University, 2019.
- [10] 周思源, 张秋菊, 阴贺生. 床椅一体化护理床抬背机构运动分析与滑移补偿[J]. 机械传动, 2018, 42(9): 90-96.
ZHOU Si-yuan, ZHANG Qiu-ju, YIN He-sheng. Motion Analysis and Slip Compensation of the Back Lifting Mechanism of the Bed-Chair Integrated Nursing Bed[J]. Mechanical Transmission, 2018, 42(9): 90-96.
- [11] 潘静, 初建杰, 闫妍, 等. 基于 JACK 的空间站实验舱内工作姿势的工效学分析[J]. 电子设计工程, 2015, 23(5): 34-36.
PAN Jing, CHU Jian-jie, YAN Yan, et al. Ergonomic Analysis of Working Posture in the Experimental Cabin of the Space Station Based on JACK[J]. Electronic Design Engineering, 2015, 23(5): 34-36.
- [12] 尹清松, 廖前芳, 周前祥, 等. 基于 JACK 的驾驶姿势的下肢关节受力及舒适度分析[J]. 航天医学与医学工程, 2016, 29(6): 440-445.
YIN Qing-song, LIAO Qian-fang, ZHOU Qian-xiang, et al. Analysis of Lower Limb Joint Force and Comfort Based on JACK Driving Posture[J]. Aerospace Medicine and Medical Engineering, 2016, 29(6): 440-445.
- [13] 滕俊章, 李焱, 吕治国, 等. 基于虚拟人的驾驶员踏板操作舒适性分析方法[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(S1): 193-196.
TENG Jun-zhang, LI Yan, LYU Zhi-guo, et al. A Virtual Human-Based Method for Analyzing the Comfort of the Driver's Pedal Operation[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(S1): 193-196.
- [14] MCATAMNEY L, NIGEL C E. RULA: A Survey Method for The Investigation of Work-Related Upper Limb Disor-Ders[J]. Applied Ergonomics, 1993, 24(2): 91.
- [15] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100.
DENG Xue, LI Jia-ming, ZENG Hao-jian, et al. Analysis of Analytic Hierarchy Process Weight Calculation Method and Its Application Research[J]. Mathematics in Practice and Knowledge, 2012, 42(7): 93-100.
- [16] 许雪燕. 模糊综合评价模型的研究及应用[D]. 成都: 西南石油大学, 2011.
XU Xue-yan. Research and Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation Model[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2011.
- [17] 李静, 朱子源, 祖江颖, 等. 基于 AHP-FCE 的多动症儿童体能类玩具设计与评价[EB/OL]. (2020-09-11) [2020-10-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200828.1753.008.html>.
LI Jing, ZHU Zi-yuan, ZU Jiang-ying, et al. Design and Evaluation of Physical Performance Toys for Children with ADHD Based on AHP-FCE[EB/OL]. (2020-09-11) [2020-10-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200828.1753.008.html>.
- [18] 王朗. 层次分析法中随机一致性指标的改进及应用[D]. 海口: 海南师范大学, 2017.
WANG Lang. Improvement and Application of Random Consistency Index in Analytic Hierarchy Process[D]. Haikou: Hainan Normal University, 2017.
- [19] 王佳帅, 江牧. 基于 QFD 和 TRIZ 的视障者药品标签器设计研究[J]. 包装工程, 2020, 41(12): 62-66.
WANG Jia-shuai, JIANG Mu. Research on the Design of Drug Labeler for the Visually Impaired Based on QFD and TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(12): 62-66.
- [20] 檀润华. TRIZ 及应用—技术创新过程与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.
TAN Run-hua. TRIZ and Application-Technological Innovation Process and Method[M]. Beijing: Higher Education Press, 2014.
- [21] 宋超. 基于人机工程学的辅助转移设计研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2019.
SONG Chao. Research on Assisted Transfer Design Based on Ergonomics[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2019.
- [22] 张文, 唐卫东, 鲁冠男. 基于老年患者情感的康复辅具设计研究[J]. 工业设计, 2020(4): 63-64.
ZHANG Wen, TANG Wei-dong, LU Guan-nan. Research on the Design of Rehabilitation Aids Based on the Emotions of Elderly Patients[J]. Industrial Design, 2020(4): 63-64.