

基于 Jack 虚拟仿真的老年人临终关怀转移机设计研究

张芳兰^a, 孙佳欣^a, 王帅^b, 张俊瑶^a, 周舒婷^a, 牛晓娟^a

(燕山大学 a.艺术与艺术学院 b.机械工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: **目的** 为了提升老年人临终患者的尊严感和舒适性, 解决其移动、如厕、沐浴等生活行为受限问题, 降低照护人员身体施力负荷, 设计开发一款基于 Jack 虚拟仿真评估的转移机方案。**方法** 通过对目前市场上临终关怀辅助移动类产品的调研, 发现产品在使用过程中存在功能结构单一、操作姿势不当、使用环境受限等问题, 运用 Jack 软件中的 RULA 方法评估照护人员的工作姿势风险, 采用观察法、访谈法及质性研究法对用户需求进行研究, 结合人机尺寸分析, 提出设计解决方案。**结果** 通过以上方法, 实现了转移机的方案设计, 对设计方案进行人机适配度评估、可视域分析、舒适度评估及快速上肢评估, 验证了设计方案的合理性。**结论** 设计方案提升了临终患者的生活质量, 满足了其在多种场景中的使用需求, 减轻了照护人员的工作负荷, 为后续的老年人临终关怀转移机设计提供了理论及方法支撑。

关键词: 老年人临终关怀; Jack 虚拟仿真; RULA 上肢评估; 用户需求; 转移机设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)08-0161-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.08.016

Design of Elderly Hospice Transfer Machine Based on Jack Virtual Simulation

ZHANG Fang-lan^a, SUN Jia-xin^a, WANG Shuai^b, ZHANG Jun-yao^a,
ZHOU Shu-ting^a, NIU Xiao-juan^a

(a. School of Art and Design, b. School of Mechanical Engineering, Yanshan University,
Hebei Qinhuangdao 066004, China)

ABSTRACT: The work aims to design and develop a transfer machine solution based on Jack virtual simulation evaluation to improve the sense of dignity and comfort of terminally-ill elderly patients, solve their problem of restricted mobility, toileting, bathing, and other living behaviors, and reduce the physical force load of caregivers. Through investigation of existing hospice-assisted mobile products in the market, it was found that the products had problems such as single functional structure, improper operation posture, and limited use environment during the use of the products. The RULA method in the Jack software was used to evaluate the operational posture risk of caregivers. The observation method, interview method and qualitative research method were adopted to study user needs and propose design solutions in combination with man-machine size analysis. Through the above methods, the scheme design of the transfer machine was realized. The design scheme was evaluated for man-machine matching degree, visual field analysis, comfort assessment, and rapid upper limb assessment, which verified the rationality of the design scheme. The design scheme improves the living quality of terminally-ill patients, meets their needs in various scenarios, reduces the workload of caregivers, and provides theoretical and methodological support for subsequent design of the elderly hospice transfer machine.

KEY WORDS: hospice care for the elderly; Jack virtual simulation; RULA upper limb assessment; user needs; transfer machine design

收稿日期: 2022-11-25

基金项目: 2020 年度河北省教育厅普通高等学校青年拔尖人才计划项目 (BJ2020088); 国家社会科学基金艺术学项目 (2021BG02536); 2020 年度河北省社会科学基金项目 (HB20YS005); 2022 年省级研究生专业学位教学案例 (库) 立项建设项目 (KCJSZ2022030)

作者简介: 张芳兰 (1980—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为产品创新设计理论与方法, 智能设计与人因工程等。

通信作者: 孙佳欣 (1998—), 女, 硕士生, 主攻产品创新设计理论与方法。

我国第七次全国人口普查统计结果表明, 60 岁及以上人数占比为 18.70%^[1], 老龄人口比例加速上升, 人口老龄化现象也开始逐渐受到我国社会各界的普遍重视^[2]。作为发展中国家, 我国人口老龄化趋势具有程度深、速度快、养老负担重等特点^[3], 而在中国目前的社会环境下, “421” 模式的家庭组成日益常见^[4], 子女在父母赡养以及临终阶段面临巨大的压力, 这一问题也为养老服务组织、公共养老服务、养老产品等方面带来巨大冲击和挑战。面对数量逐渐增加的老年人口, 如何使每一个个体有尊严地面对衰老和死亡^[5], 已经成为社会性议题。张琳^[6]以社会工作的专业视角, 对晚期癌症患者的居家临终关怀社会支持网络进行了构建。郭其花等^[7]对临终关怀如何降低死亡恐惧产生了关注。丁敏等^[8]提出临终关怀应与分级医疗相结合, 并完善了临终关怀系统。以上研究大多针对患者自身, 未对照护人员进行研究, 没有考虑临终患者和照护人员两类人群的移动辅助需求。因此, 临终患者及照护人员需要有安全、舒适的移动辅具帮助患者提高生活质量, 减轻照护人员的工作负担。

1 老年人临终关怀辅助移动类产品分析

临终关怀的对象是预计生存时间不满 6 个月的末期患者, 其目的是使患者体面地离去。临终关怀能够针对不同临终患者的实际情况, 为其提供个性化的姑息治疗手段, 帮助患者缓解症状, 对患者病情发展予以延缓^[9]。目前, 市场上针对临终患者的辅助移动类产品有轮椅、转移机、拐杖、转移板四类。对临终关怀移动类产品进场调研, 其局限性如下:

- 1) 轮椅: 功能结构单一, 使用时费力, 对路况要求较高。
- 2) 移位机: 机体结构庞大, 患者使用时需要自主坐立, 不能满足患者在不同空间的移动需求。
- 3) 拐杖: 仅限于有站立能力的患者使用, 患者上身的自由度有限, 稳定性差且有失去平衡的风险。
- 4) 转移板: 四肢无力的患者无法使用, 且产品的使用环境有限。

以上临终关怀移动类产品只能为患者提供移动辅助功能, 未能同时满足患者与照护人员在不同场景的使用需求。

2 基于 Jack 快速上肢评估的临终关怀照护任务模拟

2.1 基于 Jack 虚拟仿真的 RULA 分析方法

研究表明临终关怀照护人员在重复辅助卧床患者进行翻身、搬运移动的过程中身体负荷加剧, 肌肉骨骼疾患风险高达 91.4%^[10]。目前肌肉骨骼疾患风险评估方法主要有快速上肢评估法 (Rapid Upper Limb

Assessment, RULA), 上肢负荷评估 (Loading on the Upper Body Assessment, LUBA), 工作体位分析系统 (Ovako Working Posture Analysis System, OWAS)^[11]等。其中 RULA 的应用最为广泛, Saptaputra 等^[12]利用 RULA 评估, 证明了医院袋鼠式护理姿势存在风险, 并设计了一款人机工学座椅, 从而降低照护人员的疾患风险。Rizzuto 等^[13]使用 RULA 评估了运动捕捉系统结合虚拟现实头戴设备模拟现实职业任务的可行性。Bora 等^[14]通过建立自动神经网络搜索模型, 预测工业车辆驾驶员 RULA 分数, 帮助驾驶员降低不良姿势风险。孙林辉等^[15]提出通过 RULA-AL 方法提高企业工人作业效率。因此, 可以借助 RULA 有效实施快速上肢工作风险评估。

RULA 方法将人体分为 A 组上臂、前臂、腕部, B 组颈部、躯干、腿部, 根据 A、B 姿势得分, 结合使用肌肉和施加力量加权得分, 得到分数 C、D, 将 C、D 分数组合计算为最终评估分数, RULA 评估流程见图 1。RULA 结果的评估标准用 1~7 分表示, 见表 1。

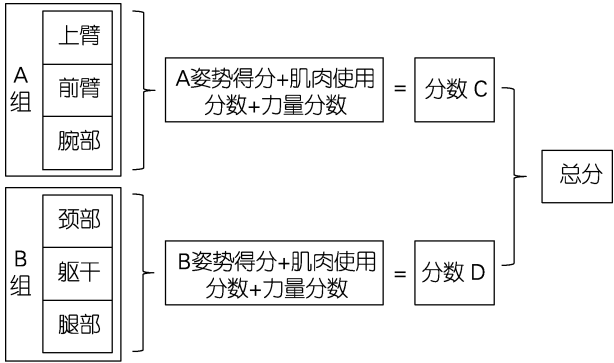


图 1 RULA 评估流程
Fig.1 RULA assessment process

表 1 RULA 结果的评估标准
Tab.1 Evaluation criteria for RULA results

分值	状态
1~2	该姿势风险可忽略
3~4	该姿势具有一定风险
5~6	该姿势存在风险, 需研究并改变
>7	该姿势存在严重风险, 需立即研究并改变

2.2 起身辅助任务模拟评估

在 Jack 软件中选择中国人体尺寸数据库, 创建临终患者及照护人员的人体数字化模型, 导入同等比例的产品模型并模拟使用场景。由于女性担任照护角色偏多, 且多为矮瘦女性照护人员, 因此将照护人员人体模型设定为第 5 百分位女性。老年临终患者中有身材高大的男性患者, 因此将老年临终患者设定为第 95 百分位男性。评估临终关怀照护人员工作姿势对上肢肌肉骨骼的影响, 利用 Jack 软件的 RULA 工具

对照护人员起身辅助任务进行模拟评估，辅助患者起背见图 2，辅助曲腿任务见图 3。



图 2 辅助起背任务
Fig.2 Assisted back up task



图 3 辅助曲腿任务
Fig.3 Assisted leg bending task

照护人员辅助临终患者起背任务、辅助曲腿任务 RULA 评分见表 2。由表 2 评分结果可知，照护人员辅助起背、辅助曲腿任务得分均为 7 分，表明照护人员使用以上姿势进行起身辅助任务时，容易对肌肉骨骼造成损伤，需要立即调整。

表 2 辅助起背和曲腿任务 RULA 评分
Tab.2 RULA score of assisted back up and leg bending tasks

任务名称	上臂/分	前臂/分	腕部/分	腕部旋转/分	颈部/分	躯干/分	负荷/kg	总分
起背	5	3	3	1	5	6	>10	7
曲腿	3	3	3	2	1	4	2~10	7

2.3 移动任务模拟评估

在 Jack 软件中建立临终患者及照护人员的人体数字化模型，并建立简易床模型和轮椅模型模拟真实任务场景，照护人员移动患者任务分为辅助搀扶患者和移动患者两种。对照护人员的任务行为进行分析，辅助搀扶任务见图 4，辅助移动任务见图 5，各部位 RULA 评分见表 3。由评分可知，临终患者照护人员搀扶患者姿势的 RULA 评分为 6 分，临终患者照护

人员采用抱姿移动临终患者的姿势评分为 7 分，均属于高风险动作，需要变换以上姿势，并且同一姿势不应保持过久，否则会给照护人员肌肉骨骼带来不利影响。



图 4 辅助搀扶任务
Fig.4 Assisted support task

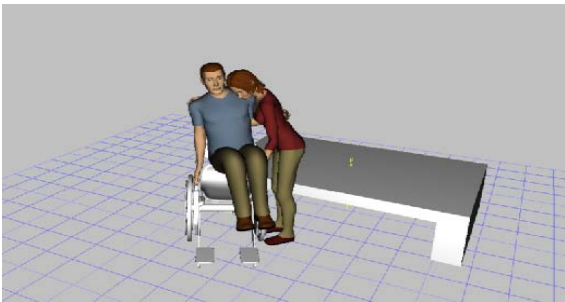


图 5 辅助移动任务
Fig.5 Assisted mobility task

表 3 辅助搀扶和移动任务 RULA 评分
Tab.3 RULA score of assisted support and mobility tasks

任务名称	上臂/分	前臂/分	腕部/分	腕部旋转/分	颈部/分	躯干/分	负荷/kg	总分
搀扶	2	3	2	1	5	3	2-10	6
移动	4	2	3	1	4	3	>10	7

以上研究证实了照护人员对临终患者进行的辅助起背、曲腿、搀扶、移动等照护任务姿势存在风险，长时间维持以上工作姿势会对肌肉骨骼造成损伤。因此，在进行以上照护任务时，需要为照护人员设计一款安全工作姿势范围内的转移机。

3 转移机用户需求及人机数据分析

3.1 用户需求分析

临终患者、照护人员是临终关怀的目标对象，采用观察法、访谈法获取用户需求，并结合 NVivo 软件对用户需求进行质性研究分析。运用观察法记录临终患者及照护人员两类人群的行为和活动特征。运用访谈法预先设定访谈问题，访谈前告知受访者访谈目的，对每个受访者进行编序，过程经允许后以文字、图片、录音等形式进行记录，访谈时间设定为 15~30 min，因临

终患者身心状况的不稳定性,在访谈过程中主要对其家属进行访谈。在访谈后,对访谈过程资料以文字形式进行转录,共建立了 11 个受访者家庭案例和 2 个照护人员案例,以质性分析步骤对转录资料进行分析。

步骤一:阅读转录文字资料并结合相关文献进行综合分析,将资料分为临终患者和照护人员两类人群,分析内容如下:

1) 临终患者在生命末期有生理、情感等层面的支持需求。患者在生命弥留之际需要舒适、尊严、家人陪伴和愿望满足,需要在家庭氛围的关怀下获得安全和满足感。患者丧失自理能力后,处于卧床状态,生活范围仅局限在家庭或病房中。同时在患者如厕时,如厕隐私性、尊严感未得到保障。

2) 照护人员面临身体负荷、心理压力等问题。卧床临终患者移动不便,照护过程烦琐复杂,在移动

临终患者的过程中采用抱、抬、背等方式,增加了身体负荷,易造成肌肉骨骼疾病,并且身体负荷劳累加剧也会导致心理压力增加,因此照护人员需要相应的移动辅助工具。

步骤二:将访谈记录中出现的观点进行汇总和初步编码,获得一级编码。通过对文字资料的分析归纳,分别将临终患者和照护人员的情感需求、生理需求设为一级编码。

步骤三:在一级编码的基础上对内容进行再次提炼,获得二级编码。在一级编码的基础上发掘更深层次的需求设为二级编码。

步骤四:对两级编码内容进行总结,对访谈内容进行质性分析,将访谈中提及的相关需求频数在 NVivo 软件中进行归纳,临终患者、照护人员的需求编码内容见表 4。

表 4 临终患者及照护人员需求编码汇总
Tab.4 Summary of coding needs for terminally-ill patients and caregivers

一级节点	二级节点	提及频数	部分编码内容
患者情感需求	情绪疏导	15	……我想出去走走,不想一直待在这里,一直到死/最喜欢的就是家里的小孩子都在身边,享受天伦之乐……
	完成心愿	9	
	家庭支持	9	
	尊严舒适	12	
患者生理需求	衣食住行	3	……偶尔清醒,呻吟,我们哄她喝点水,连吞咽都是困难的/他就是动不得,动一下都痛……
	痛苦缓解	9	
	专业护理	10	
照护人员情感需求	情绪管理	6	你还要把心态调整好……/气氛很压抑,不好沟通……
	正向沟通	5	
照护人员生理需求	精力充沛	6	虽然身体很累,……我还是坚持做瑜伽、跑步……
	身体健康	1	

由以上需求编码内容可知,患者对转移、家庭沟通、尊严、舒适等需求迫切,照护人员情绪管理、减轻身体负荷等需求亟需满足。因此根据患者及照护人员的需求,转移机设计应以便捷移动、保障如厕隐私、沐浴舒适、家庭环境融入、符合人机工程学等为设计方向,并且应采用积极明亮的色彩,疏导患者及照护人员的情绪。

3.2 人机尺寸分析

根据我国 GB/T 10000-1988 标准中 36~60 岁男性和 36~55 岁女性在坐姿或站姿状态下的人体尺寸测量项目,确定产品尺寸范围。产品的尺寸大小需要符合多数人群,故选取第 99 百分位的男性尺寸作为最大取值,第 1 百分位女性尺寸作为最小取值。对患者坐姿、卧姿进行人机尺寸分析,患者坐卧辅具展开总长度应以第 99 百分位男性为参考,最短长度不低于 1 798 mm。背部支撑应以第 99 百分位的男性坐高为参考,最小高度设定为 973 mm。坐具深度应综合参考第 1 百分位的女性人体尺寸,以保证双膝正常活动,坐深尺寸以 386 mm 为参考。小腿支撑处长度应

满足第 1 百分位女性和第 99 百分位男性,尺寸应为 327~458 mm。辅具肩背部、臀腿部、脚部支撑板的宽度应参考第 99 百分位男性的最大肩宽、坐姿臀宽、坐姿两肘肩宽三个部位的尺寸,其中应以坐姿两肘肩宽为标准,即辅具支撑宽度下限为 527 mm。辅具推手高度应以第 1 百分位女性肘高为最低高度,最高不应超过 1 119 mm。为避免在使用过程中存在视野盲区,最大高度不应高于第 1 百分位女性的身高(1 445 mm)。考虑产品在家庭环境的适配度,座椅的坐深需综合考虑使用马桶时座面和马桶的契合度,马桶的宽度为 360~400 mm,因此坐深应为 386~400 mm。房门宽度一般为 800~900 mm,因此辅具最大宽度不应大于 800 mm,距离地面的最低高度应为 350 mm。同时在设计概念中,还应设计升降、折叠结构,以满足不同患者的身体尺寸需求。

4 转移机设计方案

4.1 设计方案

依据用户需求和确定的人机尺寸,在犀牛 6.0 中

建立转移机模型, 并将模型导入 Keyshot 中赋予产品材质属性, 产品渲染效果图见图 6。产品设计的目的是帮助照护人员减轻照护负担, 实现临终患者的短距离移动。对卧床临终患者进行转移时, 照护人员需要将临终患者转移到模块化支撑板上, 再通过调节辅助支撑板的角度, 调整到坐姿状态, 转移机使用过程见图 7。



图 6 产品渲染效果图
Fig.6 Product renderings



图 7 转移机使用过程
Fig.7 Use process of transfer machine

在产品的结构上, 为了适应不同人体尺寸临终患者的使用, 座椅、扶手结构均可根据需求调节。在产品的材质上, 主要采用轻质铝镁合金环保材料, 强度高且利于回收。通过调节隐藏式液压装置升降台, 能

实现座面高度的改变。可折叠扶手能通过转轴调节扶手的高度, 在不使用的状态下可以折叠隐藏, 照护人员根据需求能自由对模块化软垫进行个性化搭配。底部导向轮的伸缩臂能够在座椅的坐、卧姿调整过程中保证其重心的稳定性, 可改变角度和长度。照护人员辅助患者起身、转移患者任务姿势存在一定的风险, 其中对照护人员肩颈部位的影响明显, 因此在转移机的设计中, 增加可调节的背部、臀部、小腿、脚部支撑板, 与驱动轮、导向轮结合使用能够便捷地转移患者, 减轻了照护人员的肩颈压力负荷, 产品结构图见图 8, 产品尺寸见图 9。

在转移机的应用场景中, 患者可以在如厕、沐浴以及参与家庭聚会等场景中使用, 见图 10。当临终患者有如厕需求时, 照护人员将临终患者移动到马桶上方, 在操控面板上将转移机设置为如厕状态, 调节转移机座椅与马桶口贴合, 通过操控面板打开便槽。为了加强临终患者的自理尊严和自信心, 在便槽的设计上, 可以由临终患者按下背部支撑板上的按钮自行打开。为避免临终患者在其他场景使用时产生违和感, 日常生活中便槽处于关闭状态。转移机整体机身防水设计, 并且模块化支撑板可拆卸, 便于清洁。当临终患者需要洗头、沐浴时, 照护人员可根据具体的清洁方式调整产品位置。通过将转移机的小腿支撑板、脚部支撑板安装到模块化接口处, 从而实现座椅状态, 使临终患者能加入家庭的聊天、聚餐中。

4.2 转移机人机评估

4.2.1 人机适配度评估

将产品三维模型导入 Jack 软件中进行人机适配度评估。由于产品座椅在转移患者上下床时为卧姿状

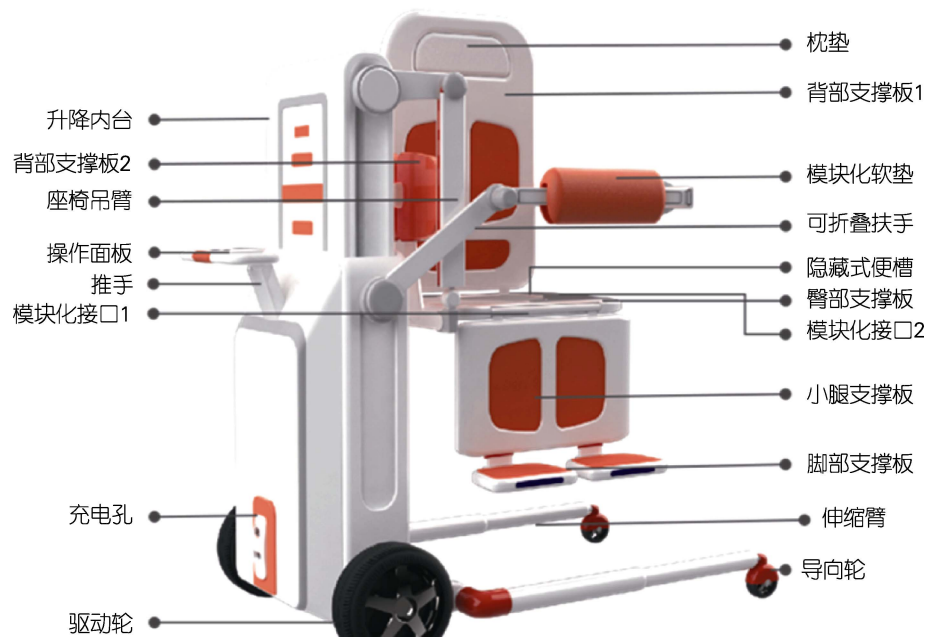


图 8 产品结构图
Fig.8 Product structure

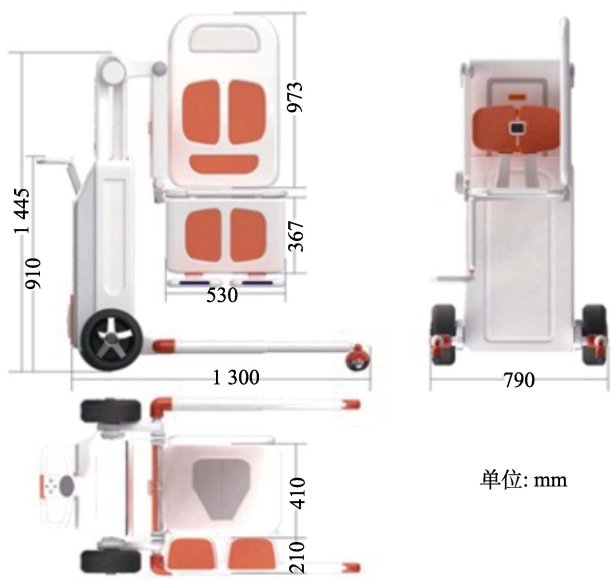


图 9 产品尺寸
Fig.9 Product size

态、进行移动时为坐姿状态，因此需要分别对产品的两个状态进行评估，卧姿人机适配度见图 11，坐姿人机适配度见图 12。根据人机评估结果可知，在患者平躺及坐姿状态下，身体各部位均能与产品尺寸适配，因此产品与人体的人机适配度合理。

此外，照护人员也是产品的使用者之一，照护人员在操作姿势下和产品的人机适配度见图 13。由评估分析可知，照护人员与产品推手高度及操控面板的适配度良好，机身尺寸符合使用需求。

4.2.2 可视域分析

照护人员在使用产品时需要时刻关注患者的状态，对照护人员在操作产品时的可视域进行模拟分析，照护人员在侧头、正视前方姿势下的可视域见图 14。可视域分析模拟了在机身升降台升至最高状态下，第 5 百分位人体尺寸女性视角范围，当机身下移或人体尺寸增加时，所注视的范围也会随之增加，照护人员观察画面见图 15。由可视域投影范围可知，



图 10 转移机应用场景
Fig.10 Application scenarios of transfer machine

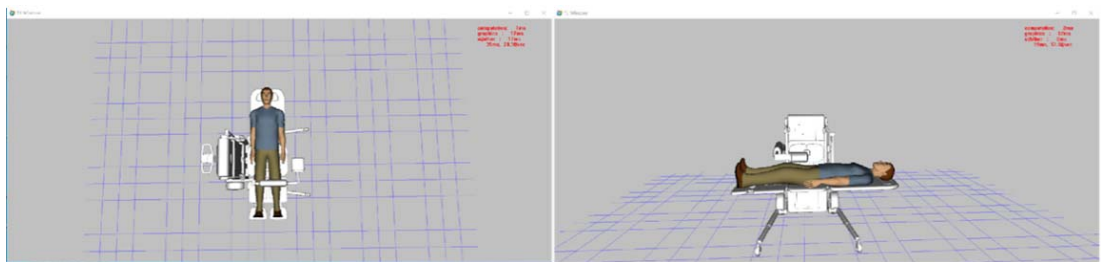


图 11 卧姿人机适配度
Fig.11 Recumbent man-machine matching degree

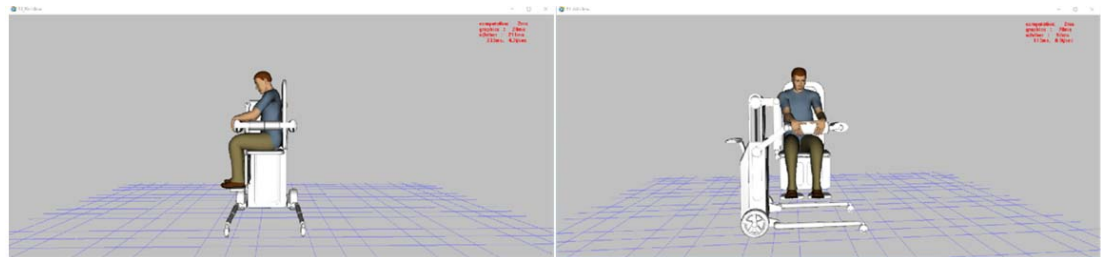


图 12 坐姿人机适配度
Fig.12 Sitting posture man-machine matching degree

表 5 辅助搀扶和转移任务 RULA 评分

Tab.5 RULA score of assisted support and transfer tasks

任务名称	上臂/分	前臂/分	腕部/分	腕部旋/转/分	颈部/分	躯干/分	负荷/kg	总分
控制转移机	0	3	2	1	1	1	<2	2

5 结语

通过对临终关怀相关文献及临终关怀转移类产品的调研,使用 Jack 软件 RULA 分析方法对照护人员工作任务进行分析,证实其工作姿势存在风险,采用观察法、访谈法和质性研究法对临终患者及照护人员两类人群进行用户需求分析,并使用 NVivo 软件对用户需求进行归纳总结,最后设计了一款适合于老年患者及照护人员使用的临终关怀转移机。设计方案不仅提高了临终患者的生活质量,还充分考虑了照护人员在照护过程中的使用需求。转移机设计满足了临终患者的日常转移、如厕、沐浴等多种场景需求,使临终患者能够舒适且更有尊严地度过生命末期。最后,对临终关怀转移机进行人机适配度评估、可视域分析、舒适度评估和快速上肢评估,验证了方案的合理性。

参考文献:

[1] 陆杰华,刘芹.中国老龄社会新形态的特征,影响及其应对策略——基于“七普”数据的解读[J].人口与经济,2021(5):13-24.
LU Jie-hua, LIU Qin. The Characteristics, Impact and Coping Strategies of the New Form of Aging Society in China-Based on the Interpretation of "Seven Population" Data[J]. Population and Economy, 2021(5): 13-24.

[2] 窦金花,覃京燕.智慧健康养老产品适老化设计与老年用户研究方法[J].包装工程,2021,42(6):62-68.
DOU Jin-hua, QIN Jing-yan. Age-appropriate Design of Smart and Healthy Elderly Care Products and Research Methods for Elderly Users[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(6): 62-68.

[3] 漆尉琦,李素,魏远廷.老龄化社会网购商品包装设计的人文关怀[J].包装工程,2021,42(14):256-262.
QI Wei-qi, LI Su, WEI Yuan-ting. Humanistic Care for the Packaging Design of Online Shopping in an Aging Society[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(14): 256-262.

[4] 李建伟,吉文桥,钱诚.我国人口深度老龄化与老年照护服务需求发展趋势[J].改革,2022(2):1-21.
LI Jian-wei, JI Wen-qiao, QIAN Cheng. The Development Trend of China's Population Aging and Elderly Care Service Demand[J]. Reform, 2022(2): 1-21.

[5] 宋靓璐,苏聪文.中国老年人死亡质量的研究现状与政策应对[J].北京社会科学,2021(6):119-128.
SONG Liang-jun, SU Cong-wen. Research Status and Policy Response of Death Quality of the Elderly in China[J]. Beijing Social Sciences, 2021(6): 119-128.

[6] 张琳.农村癌末患者居家临终关怀服务研究[D].济

南:山东大学,2021.
ZHANG Lin. Research on Home Hospice Care Service for Terminal Cancer Patients in Rural Areas[D]. Jinan: Shandong University, 2021.

[7] 郭其花,张会君.死亡凸显效应对临终关怀态度及死亡焦虑的影响[J].医学与哲学,2020,41(3):26-29.
GUO Qi-hua, ZHANG Hui-jun. The Influence of Death Salience Effect on Hospice Care Attitude and Death Anxiety[J]. Journal of Medicine and Philosophy, 2020, 41(3): 26-29.

[8] 丁敏,许岩丽,王雪凌.河北省城市社区居民临终关怀需求[J].中国老年学杂志,2020,40(3):644-647.
DING Min, XU Yan-li, WANG Xue-ling. Hospice Care Needs of Urban Community Residents in Hebei Province[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2020, 40(3): 644-647.

[9] LOW C E, PELLECCER D, SANTIVASI W L, et al. Deprescribing in Hospice Patients: Discontinuing Aspirin, Multivitamins, and Statins[J]. Mayo Clinic Proceedings Innovations Quality & Outcomes, 2021, 5(4): 721-726.

[10] 王思逸,吴玲玲,程长春,等.上海某医院护理人员肌肉骨骼疾患模式与危险因素[J].环境与职业医学,2019,36(2):112-120.
WANG Si-yi, WU Ling-ling, CHENG Chang-chun, et al. Patterns of Musculoskeletal Disorders and Associated Risk Factors of Healthcare Workers in a Hospital of Shanghai[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2019, 36(2): 112-120.

[11] 赵川,余隋怀,初建杰,等.基于模糊逻辑的快速上肢评估方法(RULA)改进[J].哈尔滨工业大学学报,2018,50(7):87-93.
ZHAO Chuan, YU Sui-huai, CHU Jian-jie, et al. Improvement of Rapid Upper Limb assessment(RULA) Based on Fuzzy Logic[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2018, 50(7): 87-93.

[12] SAPTAPUTRA S K, KURNIAWIDJAJA L M, SUSILOWATI I H, et al. Ergonomic Sofa Design to Support Kangaroo Mother Care in Indonesia[J]. Journal of Neonatal Nursing, 2021, 27(6): 471-475.

[13] RIZZUTO M A, SONNE M W L, VIGNAIS N, et al. Evaluation of a Virtual Reality Head Mounted Display as a Tool for Posture Assessment in Digital Human Modeling Software[J]. Applied Ergonomics, 2019, 79: 1-8.

[14] BORA S, BHALERAU Y, GOYAL A, et al. Computation of Safety Design Indexes of Industry Vehicle Operators Based on the Reach Angle, the Distance from Elbow to Ground and the Popliteal Height[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2019, 71: 155-164.

[15] 孙林辉,尚康,章艺蒙,等.汽车生产物流作业肌骨损伤评价方法改进研究[J].工业工程与管理,2019,24(5):195-202.
SUN Lin-hui, SHANG Kang, ZHANG Yi-meng, et al. Study of Occupational Musculoskeletal Disorders Evaluation Method in Automobile Production Logistics[J]. Industrial Engineering and Management, 2019, 24(5): 195-202.

责任编辑:马梦瑶