

面向脑卒中患者的上肢康复产品人机工程设计

刘琳琳¹, 周恩玉¹, 赵烜东², 许继峰³, 李烜¹, 李明^{1*}

(1.天津科技大学 艺术设计学院, 天津 300222; 2.北京理工大学 设计与艺术学院, 北京 100081;
3.东南大学 艺术学院, 南京 211189)

摘要: **目的** 为提升脑卒中患者的康复体验, 帮助患者上肢恢复, 围绕患者的人机要素展开设计研究。**方法** 首先, 对脑卒中患者的生理和心理特征进行分析, 剖析病患显性和隐性障碍, 并调查上肢康复产品使用现状, 分析总结现有产品存在的问题, 为上肢康复产品提供设计依据; 基于人机工程学分析患者的上肢运动特征和信息感知特征, 探讨上肢康复产品设计的关键点; 依据用户分析和人机分析, 从产品尺寸、信息交互、色彩与材质等方面展开设计, 为患者上肢康复提供解决方案, 并通过对比分析验证设计方案。**结果** 通过系统研究患者与康复产品的人机特征, 设计出符合人体工学的上肢康复产品。**结论** 从人机工程学角度剖析脑卒中康复产品中存在的问题具有可行性, 通过借助其他感官通道能有效解决脑卒中康复产品在人机方面存在的问题, 为其他康复产品设计提供参考。

关键词: 人机工程学; 上肢康复; 产品设计; 感官体验

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)18-0061-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.18.008

Ergonomic Design of Upper Limb Rehabilitation Products for Stroke Patients

LIU Lin-lin¹, ZHOU En-yu¹, ZHAO Xuan-dong², XU Ji-feng³, LI Xuan¹, LI Ming¹

(1.Art and Design College, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China;

2.School of Design & Art, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

3.School of Art, Southeast University, Nanjing 211189, China)

ABSTRACT: The work aims to design and study the man-machine elements of patients to improve the rehabilitation experience of stroke patients and help patients recover their upper limbs. Firstly, physiological and psychological characteristics of stroke patients were analyzed. The dominant and invisible disorders were analyzed. The use status of upper limb rehabilitation products was investigated. And the existing problems of existing products were analyzed and summarized to provide the design basis for upper limb rehabilitation products. Secondly, based on ergonomic analysis of the upper limb movement characteristics and information perception characteristics of patients, key points of upper limb rehabilitation product design were discussed. Finally, based on user analysis and man-machine analysis, the design was developed from product size, information interaction, color and material to provide solutions for patients' upper limb rehabilitation, and the design scheme was verified through comparative analysis. Through the systematic study of the man-machine characteristics of patients and rehabilitation products, the ergonomic upper limb rehabilitation products were designed. It is feasible to analyze the problems existing in stroke rehabilitation products from the perspective of ergonomics, and the problems existing in man-machine aspects of stroke rehabilitation products can be effectively solved through other sensory channels, providing reference for the design of other rehabilitation products.

KEY WORDS: ergonomics; upper limb rehabilitation; product design; sensory experience

脑卒中又称中风,具有高发病率、高患病率和高致残率的特点,是当前世界上危害人类健康的重大疾病之一。每年有约 200 万人被脑卒中困扰,并有 70%以上的脑卒中患者会出现肢体偏瘫的症状,这对他们的生活质量产生极大的负面影响。有研究表明,患者通过脑卒中康复训练能有效地降低疾病的致残率^[1]。患者通过适量适当的康复训练,能够有效恢复肢体的行为能力。肢体行为能力的恢复对提升患者幸福感和愉悦感具有重要意义^[2]。在恢复训练过程中,上肢机能是脑卒中患者恢复的关键因素,因此众多学者聚焦于脑卒中患者康复训练的研究中,如程洪等^[3]归纳了国内外常见的肢体运动障碍康复机器人的类别及功能,阐述了认知康复机器人的工作原理;汪宗保等^[4]设计了一种可调节式的六自由度可穿戴式外骨骼,以帮助上肢运动障碍患者进行自主康复训练;马泽等^[5]设计了一种能实现肘部及肩部运动的上肢康复外骨骼;OU 等^[6]为偏瘫中风患者设计了一款可穿戴式外骨骼,能够通过帮助手指伸展以达到康复效果。FAIZ 等^[7]针对肌肉萎缩、中风患者康复训练的自由度,以更低的制造成本和更简单的组装维修方式为切入点,设计了一款手部康复产品。

上述研究对脑卒中患者的康复产生了积极作用,但主要集中于结构创新和设计,在人机方面研究并不充分。而人机工程学是一门综合性学科^[8],它不仅着眼于产品本身,也立足于人的角度,充分考虑人的生理、心理特征,进而设计出用户使用体验更佳的产品,帮助用户提升工作效率。

本文剖析脑卒中患者特征及用户在上肢康复产品使用过程中存在的痛点,从人机工程学的角度分析、解决现有问题,在产品尺寸、信息交互、材质与色彩方面进行设计,从而提升上肢康复产品的使用体验。

1 脑卒中患者的特征

根据病情的不同,脑卒中患者需针对性地进行康复治疗,其中第三级康复治疗是脑卒中患者迈向正常生活的最后阶段,主要以家居和社区康复训练为主。生理上,此阶段的脑卒中患者具备一定的自主行为能力,大部分生命指标已得到极大改善,但是其在运动功能方面仍需进行持续的锻炼,需要通过外界干预的方式恢复肌肉活力;心理上,在病症的作用下,患者容易产生自卑、抑郁、焦虑、孤独等诸多负面情绪^[9]和抗拒心理,从而阻碍康复进程。同时,患者也渴望得到家人和社会的关怀与尊重,为此应给予脑卒中患者足够的关心,使其树立自立自强的生活观念。

2 上肢康复产品问题分析

为深入了解现有脑卒中康复产品中存在的痛点

问题,笔者前往当地医疗器械用品店和康复中心,了解现有康复训练器械的外观、材质、价格和结构等情况,并与脑卒中患者、医生、康复师和患者家属等进行了交流(如图 1 所示),从而归纳出现有脑卒中康复产品的不足。



图 1 康复中心实地调研

Fig.1 Field research of rehabilitation center

1) 产品人机体验感欠佳。市场上部分脑卒中上肢康复产品较为简陋,产品结构与锻炼方式同质化严重,从而限制了康复产品的功能研发,人机体验方面也未能满足用户相关需求。以手部握力球和五指拉力器为例,该类产品仅能实现简单的抓握能力锻炼,对手部更为精细化动作的训练效果不明显。绝大多数的康复产品仅是利用产品部件带动患者上肢完成被动训练,相关辅助功能不足,导致康复产品的人机关系不和谐。

2) 忽视用户情感关怀。脑卒中患者的情感较为脆弱且情绪波动较大,而现有的上肢康复辅具的交互渠道又较为局限,仅着眼于患者肢体的屈伸运动,缺乏在视觉和听觉等其他感官通道的互动。单一的功能模块和重复的运动锻炼方式极易使患者感到乏味无趣,持续一段时间后,如果脑卒中患者观察不到明显的康复效果,容易产生挫败感,不利于康复训练的持久推进。

3 基于人机工程学的上肢康复产品设计分析

3.1 上肢运动空间

3.1.1 手臂运动空间

手臂运动所涉及的关节活动有:肩关节的屈伸、内外旋转,以及外展内收;肘关节的屈伸及旋前旋后;腕关节的屈伸及外展内收,肩、肘、腕关节的运动见图 2。由于脑卒中患者的主要症状为一侧肢体偏瘫,康复训练以坐姿为主,肩部活动范围较大,需要充足的动力和结构来锻炼上肢肌力,不适于可穿戴式外骨骼康复产品的研发。腕关节活动涉及的桡侧屈腕肌、尺侧屈腕肌等,这些肌群的运动对整个手臂的康复训练效果并不显著。而肘关节能够锻炼肱二头肌、肱肌、

肱桡肌、旋前圆肌等多处肌肉, 对上肢康复治疗发挥着至关重要的作用, 因此选取肘关节运动作为上肢康复锻炼的主要方式。

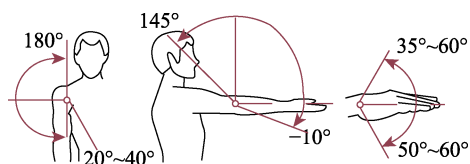


图 2 肩、肘、腕关节运动范围
Fig.2 Range of motion of shoulder, elbow and wrist

正常人肘关节的屈伸运动范围为 $-10^{\circ}\sim 145^{\circ}$, 脑卒中患者刚开始时训练角度不宜过大, 应根据患者的康复情况循序渐进地进行。考虑到脑卒中患者的生理特性, 过大的驱动力和过快的速度极易造成安全隐患, 在设计时可根据用户的康复情况, 采用可调节式驱动关节。此外, 产品与上肢接触区域要避免选择运动关节附近, 骨突起, 肌腱, 血管密集, 以及神经敏感脆弱等部位, 以免限制关节活动, 设备的穿戴部分可贴合前臂与上臂的中间位置, 能避免与敏感脆弱部位相接触, 且对关节活动影响较小。

3.1.2 手部运动空间

人手的骨骼主要由腕骨、掌骨、指骨组成, 指骨与指骨之间形成掌指关节 (MCP)、近端指间关节 (PIP)、远端指间关节 (DIP), 指关节运动包括屈伸、内收和外展。通过指关节运动, 人手可以实现抓、握、拿、捏, 以及其他精细活动。抓和握基本可以覆盖手部大多数关节的运动, 因此手部训练应以抓握为主进行设计, 抓握所涉及的主要关节及大致活动范围如图 3 所示。

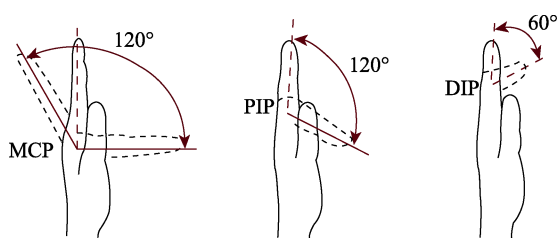


图 3 手指关节及活动范围
Fig.3 Finger joints and range of motion

手部的自由度较高, 康复设备关节处的设计较为复杂, 传统可穿戴式手部康复产品较为笨重, 存在穿戴不便的问题。考虑到脑卒中患者手部活动范围受限, 在设计时可以减少关节的活动范围, 使患者更容易使用和控制产品, 避免因关节冗余出现控制困难、操作困难的问题。针对产品笨重的问题, 在设计中可以考虑使用硅胶等柔性材质, 既能减轻产品重量, 也能使患者穿戴更为舒适。通过采用半包形式, 减轻设备体量, 增加产品透气性, 使患者使用更加舒适、穿戴更加便捷、设备更加易用。

3.2 感官信息处理

上肢康复产品除需满足基本的康复训练功能之外, 还需要便于患者使用。脑卒中患者信息处理能力较弱^[10], 为设计出与脑卒中患者生理和心理相协调的康复产品, 需要对人的视觉、听觉等信息处理感官进行分析, 运用多种交互方式给予用户反馈, 使用户拥有更自然的交互体验^[11]。

人通过视觉获得的信息主要有产品的文字图案说明、色彩、造型等。在文字图案说明方面, 脑卒中患者的视觉信息处理能力较弱, 文字说明宜采用可视化的形式, 增加图形文字与背景的对比度, 提升可读性和易读性; 在色彩方面, 宜选用冷色、浅灰色、白色等低饱和度的颜色, 这类颜色更为柔和, 不会对视觉造成强烈刺激, 不易引起的患者情绪波动; 在产品造型方面, 应避免尖锐锋利的尖角, 给患者足够的亲和感。

听觉在康复设备中也起着重要作用, 宋琼等^[12]证明多感官刺激有助于改善脑卒中患者焦虑抑郁的情绪, 提升患者的生活质量。多感官刺激也能弥补单一视觉刺激的缺陷。人的听觉能够处理内容较短、易懂的信息, 使用语音提示音和指令来提示患者如何进行操作, 能够辅助康复患者进行训练。

4 上肢康复产品设计

4.1 产品尺寸和运动范围

为使康复辅具满足绝大多数患者的使用需求, 产品尺寸以人体上肢尺寸 P95 的数据为参考^[13]。成年男性上臂和前臂长度分别为 338 mm 和 258 mm, 成年女性上臂和前臂长度分别为 302 mm 和 234 mm。由于不同性别用户在人机尺寸方面存在差异, 故在产品长度方面具有可调节性, 范围在 435~485 mm。正常成年人上臂的宽度大约在 80~150 mm, 为给患者预留足够的穿戴空间, 将产品宽度定为 170 mm, 如图 4 所示。因肢体与产品接触区域要避免运动关节附近部位或敏感脆弱部位, 将康复辅具分成前臂部件与上臂部件两部分。上臂部件与肱三头肌接触, 前臂部件与前臂肌肉接触, 使肘关节具有自由活动的空间。

正常人群的手臂运动区间为 $-10^{\circ}\sim 145^{\circ}$, 以此为参考依据设定康复辅具前臂部件与上臂部件的运动范围为 $0^{\circ}\sim 125^{\circ}$, 如图 5 所示。

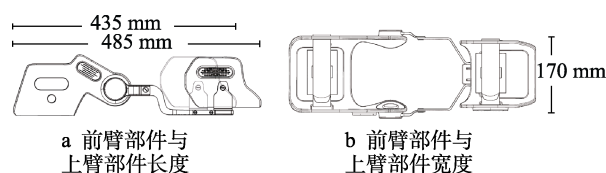


图 4 前臂部件与上臂部件尺寸
Fig.4 Dimensions of forearm parts and upper arm parts

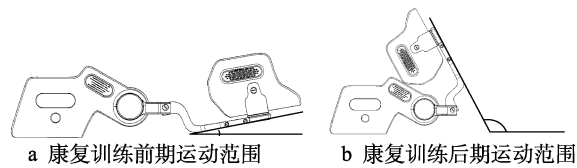


图 5 上臂和前臂部件运动范围
Fig.5 Range of motion of upper arm and forearm parts

成年男性手部的长度和宽度分别为 196 mm 和 89 mm，成年女性手部的长度和宽度分别为 183 mm 和 82 mm。以男性手部康复部件为例，因手掌部件具有一定厚度并需预留出穿戴空间，将男性手部部件的宽度定为 100 mm，手部部件的总长为 220 mm，见图 6。

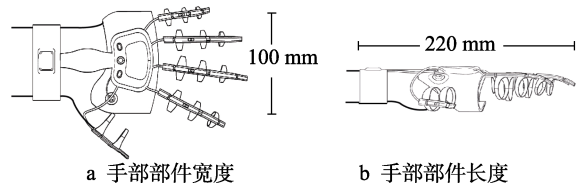


图 6 男性手部康复部件尺寸
Fig.6 Dimensions of hand rehabilitation parts for men

4.2 产品信息交互

用户在视觉方面对图形和符号的识读意愿往往高于纯文字信息，因脑卒中患者对于文字信息获取与分析能力较弱，故将部分产品交互信息以可视化的方式呈现^[14]。在产品侧面与顶面设计有电子屏（如图 7 所示），通过内部传感装置接收产品运动角度信息，随着角度的变化呈现出不同的表情和波点图案，见图 8。通过视觉信息进行反馈，用户能直观地了解自身康复情况，有利于提升用户在康复训练过程中的趣味性，增强脑卒中患者的自信心^[15]。

为减轻老年脑卒中患者的信息识读负担，缩短康复辅具与用户的距离感，在交互方式中为产品设计了听觉交互模块，能够提示用户具体的操作方式，在训练过程中也会播放舒缓的音乐，减轻因产品使用困难，而给用户带来的焦虑烦躁等负面情绪。

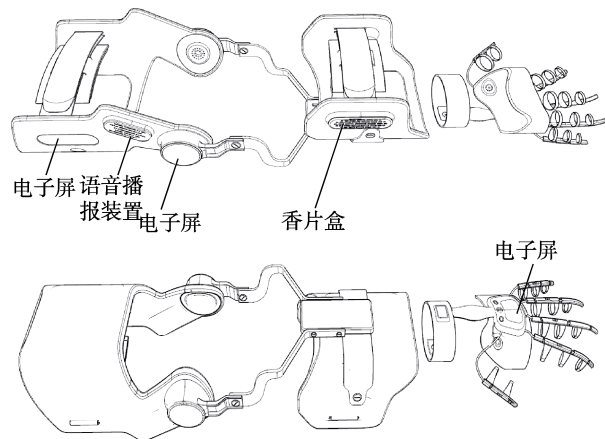


图 7 产品部件名称
Fig.7 Product part name

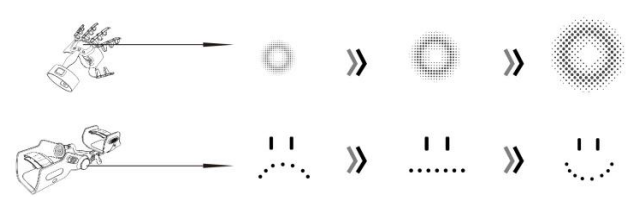


图 8 屏幕信息变化
Fig.8 Screen information change

4.3 产品材质与色彩设计

为避免强烈、鲜艳，以及压抑的色彩使脑卒中患者产生烦闷情绪，设计方案所采用的色彩主要以冷色为主。白色是医疗产品中普遍运用的色彩，给人以干净纯洁的心理感受，所以产品整体以白色为主。为弱化白色给人的冰冷感和距离感，在康复辅具的前臂与上臂部件局部搭配具有中性特征的灰色进行调和。除白色与灰色以外，蓝色也有使用户心情稳定、舒缓情绪的效果，手部康复部件的配色主要为天蓝色，见图 9。

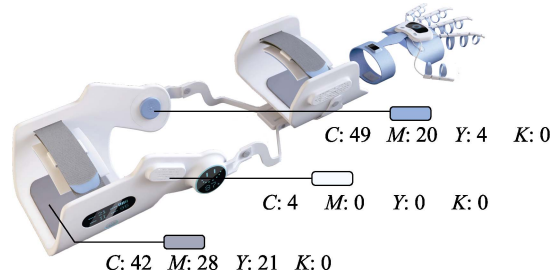


图 9 脑卒中上肢康复辅具色彩
Fig.9 Apoplexy upper limb rehabilitation AIDS color

以患者使用的舒适度和产品结构的稳定性作为材质选择的衡量指标，运用软、硬材料结合的方式进行设计^[16]。一方面，所选择的材料应具备易于穿戴和拆卸的特点。脑卒中患者的康复训练过程往往会持续较长时间，若产品较重，则会给用户使用产品带来负担与隐患。该类产品使用频率较高，对产品的稳定性与耐磨性要求高，所以上肢康复辅具的主体材料为塑料材质。结合脑卒中患者的生理特征并对不同类型的塑料进行比较分析后发现，ABS 塑料材质符合要求。该材质具有耐划、尺寸稳定、防潮、易加工等优势，是脑卒中上肢康复辅具的理想加工材料。另一方面，为方便用户完成屈伸锻炼，提升脑卒中康复辅具的舒适性，手部康复部件主要使用具有抑菌性和低敏感性的医用硅胶材质。在贴合用户手臂皮肤的区域，选用质地轻柔的太空棉材质作为托垫，以缓解屈伸训练过程中的疲劳感。

4.4 可行性验证

运用李克特量表对现有康复产品与设计方案进行评估项目进行赋分，分值为 1~5，依次表示“非常不满意”“比较不满意”“一般”“比较满意”“非常满意”。

根据信度分析方法, 计算校正项与总计相关性以及 α 系数值, 当 α 数值 >0.6 时, 则说明具有可信度。本次共收集问卷 53 份, 其中有效问卷 47 份, 数据结果见表 1。经计算, 所得数据的 α 系数均 >0.6 , 说明反馈结果具有可信度。根据问卷反馈结果中每项指标的平均分, 绘制出现有康复产品和设计方案的评估雷达图, 见图 10。此外, 利用 3D 打印制作案例样机, 观察产品的穿戴效果, 测量产品重量。本文的设计方案相比于其他康复产品, 在功能性、美观性、交互性等

表 1 产品信度分析对比				
Tab.1 Product reliability analysis and comparison				
分析因素	校正项与总计相关性		Cronbach α 系数	
	现有产品	设计方案	现有产品	设计方案
功能性	0.265	0.483	0.722	0.679
智能性	0.590	0.414		
科学性	0.607	0.277		
创新性	0.051	0.456		
经济性	0.727	0.350		
交互性	0.335	0.211		

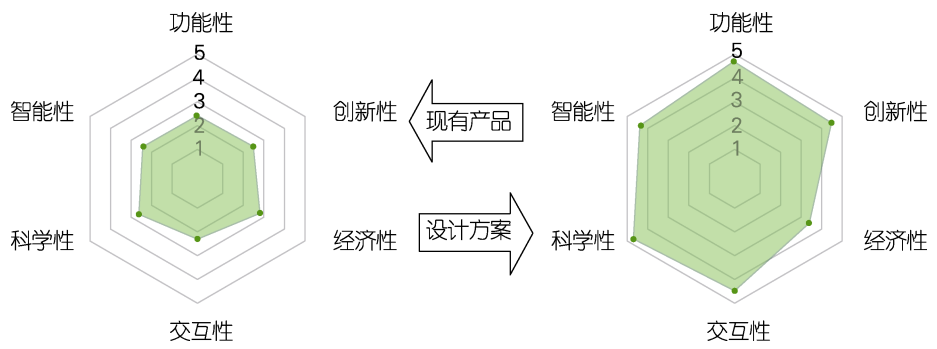


图 10 产品评估结果对比
Fig.10 Comparison of product evaluation results

5 结论

本文围绕患者的人机要素展开设计研究, 剖析出用户的显性和隐性障碍, 解析产品的设计缺陷, 并以人机工程学为基础挖掘出产品的设计关键点, 从而获得能使患者康复的产品解决方案。相比于已有的康复产品, 本文的设计案例功能模块更为丰富, 在满足基本康复活动的前提下, 从视觉和听觉两方面提升患者体验感。设计成果尝试通过融入其他感官通道的方式来缓解脑卒中康复产品中存在的不足。通过对产品进行可行性评估可知, 用户对所提出的设计案例总体认可, 为相关康复产品的研发提供了参考。

本文目前仅从人机体验方面对康复产品进行分析, 下一步研究中, 将聚焦人机仿真验证方面的研究, 提升评估精准性, 探索出更佳的脑卒中康复辅具设计方法。

参考文献:

[1] 赵峰, 董媛媛, 刘瀚之, 等. 面向社区的脑卒中患者上肢康复产品设计研究[J]. 包装工程, 2022, 43(18): 152-159.
ZHAO Feng, DONG Yuan-yuan, LIU Han-zhi, et al. Community Oriented Upper Limb Rehabilitation Product Design for Stroke Patients[J]. Packaging Engineer-

ing, 2022, 43(18): 152-159.
[2] 王壮, 王轶钊, 丘世因, 等. 脑卒中上肢康复机器人研究进展[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2023, 23(1): 15-21.
WANG Zhuang, WANG Yi-zhao, QIU Shi-yin, et al. Research Progress on Upper Limb Rehabilitation Robots for Stroke[J]. Chinese Journal of Contemporary Neurology and Neurosurgery, 2023, 23(1): 15-21.
[3] 程洪, 黄瑞, 邱静, 等. 康复机器人及其临床应用综述[J]. 机器人, 2021, 43(5): 606-619.
CHENG Hong, HUANG Rui, QIU Jing, et al. A Survey of Rehabilitation Robot and Its Clinical Applications[J]. Robot, 2021, 43(5): 606-619.
[4] 汪宗保, 汪宗兵, 杨永晖, 等. 上肢康复可穿戴式外骨骼助力机器人的机械设计与研究[J]. 中国医疗器械杂志, 2022, 46(1): 42-46.
WANG Zong-bao, WANG Zong-bing, YANG Yong-hui, et al. Mechanical Design and Research of Wearable Exoskeleton Assisted Robot for Upper Limb Rehabilitation[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2022, 46(1): 42-46.
[5] 马泽, 管小荣, 李仲, 等. 上肢智能康复外骨骼的设计与仿真[J]. 兵器装备工程学报, 2022, 43(6): 248-254.
MA Ze, GUAN Xiao-rong, LI Zhong, et al. Design and Simulation of Upper Limb Intelligent Rehabilitation Exoskeleton[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2022, 43(6): 248-254.

- [6] OU Y K, WANG Y L, CHANG H C, et al. Design and Development of a Wearable Exoskeleton System for Stroke Rehabilitation[J]. Healthcare, 2020, 8(1): 1-14.
- [7] FAIZ S, WARIS A, MUSHTAQ S, et al. A Training Exoskeleton for Rehabilitation in Upper Extremity for Stroke Patients[J]. Journal of Computational Biophysics and Chemistry, 2022, 22(03): 273-281.
- [8] 丁玉兰. 人机工程学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2017.
- DING Yu-lan, Ergonomics[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2017.
- [9] 张蕊, 李壮苗, 庄玲玲, 等. 脑卒中后情感障碍患者叙事护理研究进展[J]. 护理学杂志, 2023, 38(4): 120-124.
- ZHANG Rui, LI Zhuang-miao, ZHUANG Ling-ling, et al. Research Progress of Narrative Nursing in Patients with Post-stroke Mood Disorders[J]. Journal of Nursing Science, 2023, 38(4): 120-124.
- [10] 公晨, 王荣丽, 王宁华. 周历活动规划评估脑卒中患者生态执行功能的初步研究[J]. 中国心理卫生杂志, 2022, 36(4): 324-330.
- GONG Chen, WANG Rong-li, WANG Ning-hua. A Pilot Study of the Weekly Calendar Planning Activity on Evaluating Ecological Executive Functions in Patients with Stroke[J]. Chinese Mental Health Journal, 2022, 36(4): 324-330.
- [11] 贾乐宾, 薛孝媛. 本能行为下智能康复产品的自然交互设计[J]. 包装工程, 2020, 41(10): 101-107.
- JIA Le-bin, XUE Xiao-yuan. Natural Interaction Design of Intelligent Rehabilitation Products under the User's Instinct[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(10): 101-107.
- [12] 宋琼, 马志辉, 郝习君, 等. 视听嗅触多感官刺激训练改善脑卒中后患者焦虑、抑郁和生活质量的效果[J]. 军事护理, 2023, 40(1): 57-60.
- SONG Qiong, MA Zhi-hui, HAO Xi-jun, et al. Effects of Multi-sensory Stimulation Training on Anxiety, Depression and Quality of Life in Patients with Stroke[J]. Military Nursing, 2023, 40(1): 57-60.
- [13] 王开放, 曹慧, 邢蒙蒙, 等. 康复外骨骼机器人在肢体康复中的应用进展[J]. 机械传动, 2022, 46(4): 10-21.
- WANG Kai-fang, CAO Hui, XING Meng-meng, et al. Application Progress of Rehabilitation Exoskeleton Robot in Limb Rehabilitation[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2022, 46(4): 10-21.
- [14] 王年文, 刘蕴华. 基于 FBS 模型与可拓变换的手部康复产品设计方法[J]. 机械设计, 2020, 37(10): 139-144.
- WANG Nian-wen, LIU Yun-hua. Design Method of Hand Rehabilitation Products Based on FBS Model and Extension Transformation[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(10): 139-144.
- [15] 徐静. 多学科集成下的老年智能产品设计研究[J]. 包装工程, 2022, 43(18): 144-151.
- XU Jing. Process Optimization of Multidisciplinary Integration in Intelligent Product Design for the Elderly[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(18): 144-151.
- [16] 杨冬梅, 刘佳鑫, 张健楠, 等. 面向居家辅助康复产品的设计评价方法[J]. 机械设计, 2022, 39(1): 154-160.
- YANG Dong-mei, LIU Jia-xin, ZHANG Jian-nan. Design Evaluation Method for Home-based Assisted Rehabilitation Products[J]. Journal of Machine Design, 2022, 39(1): 154-160.

责任编辑: 蓝英侨