

踏步康复训练器把手舒适性设计研究

付晓莉, 赵云

(中原工学院, 郑州 451191)

摘要: **目的** 旨在有效提高踏步康复训练器把手的使用舒适性, 满足不同患者训练需要, 提升患者使用体验。**方法** 根据患者训练需要, 调研总结市场现有的踏步康复训练器把手设计所存在的问题, 分析影响把手使用舒适性的人机尺寸、抓握方式、外观特征等设计要素, 提出基于人机舒适性的踏步康复训练器把手设计原则, 依此对把手进行重新设计, 综合应用 CATIA 软件、语义差异法、李克特量表法等, 对新型把手进行人机舒适性仿真分析及外观特征舒适度评价。**结果** 把手设计的合理性对患者使用舒适度具有一定影响。**结论** 新型把手设计符合患者使用的生理习惯与心理需求, 有效提升了使用舒适度, 给患者带来更加积极的使用感受, 为踏步康复训练器把手的舒适性设计提供了依据, 也为康复医疗产品把手设计提供了参考。

关键词: 舒适性; 设计原则; 仿真分析; 踏步康复训练器; 把手

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)10-0178-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.10.025

Comfort Design of Stepping Rehabilitation Trainer Handle

FU Xiao-li, ZHAO Yun

(Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 451191, China)

ABSTRACT: This study aims to effectively improve the comfort of the handle of the stepping rehabilitation trainer, so that it can meet the training needs of different patients, and improve the patient experience. According to the needs of patient training, the survey summarizes the existing problems in the handle design of the existing step rehabilitation training device in the market, analyzes the design factors such as man-machine size, grip style, and appearance characteristics that affect the comfort of the use of the handle. Based on the principles of the handle design of the stepping rehabilitation trainer, the handle was redesigned based on the comprehensive application of CATIA software, semantic difference method, Likert scale, etc., to perform human-machine comfort simulation analysis and appearance feature comfort evaluation on the new handle. The result was that the rationality of the handle design has a certain impact on the comfort of the patient during the use process. In conclusion, the design of the new handle conforms to the physiological habits and psychological needs of patients, effectively improves the comfort of patients, and brings more positive experience to patients, provides a basis for the comfort design of the stepping rehabilitation trainer handle and a reference for the design of rehabilitation medical products handle.

KEY WORDS: comfort; design principles; simulation analysis; stepping rehabilitation trainer; handle

把手作为连接产品与用户的介质, 以抓握或支撑等方式作用于用户, 其设计好坏直接影响产品功能的

发挥, 在很大程度上决定了用户的使用体验^[1]。目前, 国内现有踏步康复训练器生产企业多关注于功能硬

收稿日期: 2021-02-21

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目 (19A460033)

作者简介: 付晓莉 (1962—), 女, 河南人, 中原工学院教授, 主要研究方向为工业设计技术理论及应用、机械设计、康复产品工业设计创新方法及应用。

通信作者: 赵云 (1994—), 男, 河南人, 中原工学院硕士生, 主攻工业设计理论及应用。

件、机械结构、尺寸载荷等问题，忽视了把手在患者使用过程中发挥的重要作用，对其安全舒适性关注不足。针对患者身体情况及心理状态的特殊性，把手设计更应从患者使用生理习惯、心理感受两个层面进行使用舒适性研究分析，使其更好地满足患者使用需要，体现人文主义关怀^[2]。

1 踏步康复训练器

1.1 踏步康复训练器工作原理

踏步康复训练器主要受众人群为下肢关节肌肉损伤以及神经肌肉控制障碍等患者。通过踏步康复训练，改善患者运动控制状态，增强下肢控制能力及平衡能力，进而恢复行为能力。踏步康复训练器主要由显示屏，把手，阻尼油缸，脚踏板等部件构成，见图 1。使用时患者手握把手，双脚置于脚踏板，由医护人员利用绑带将其脚部固定，然后患者有规律地进行踏步康复动作。由于患者下肢行为能力差，在训练过程中，

很大程度上依靠手部使力完成指定动作，把手设计得不合理极易造成患者腕部肌肉损伤，甚至身体失衡。

1.2 踏步康复训练器把手设计现状

通过现场拍摄、用户访谈等方法，对市场现有踏步康复训练器把手种类及患者使用状况进行采集，归纳可知，现有踏步康复训练器把手在使用时患者上肢不自然伸展、腕部处于强迫体位等现象普遍存在，容易产生肢体疲劳，甚者导致患者上肢关节损伤。市场现有踏步训练器把手分析，见表 1。市场现有踏步康复训练器把手主要有体前和体侧两种使用方式，按照其形状差异将其划分为四类：*L* 型把手，可供体前和体侧抓握，方便变换姿势，但是其高度过高，容易造成肩部上移，产生疲劳，且造型单薄，产生不稳定感；*U* 型把手，造型小巧，双手抓握距离过小，踏步过程中重心不稳、易跌倒；框型把手，抓握姿势可变换，抓握位置角度偏大，致使腕部不自然受力；1 字型把手，把手角度可进行调节，减少腕部损伤，但其抓握

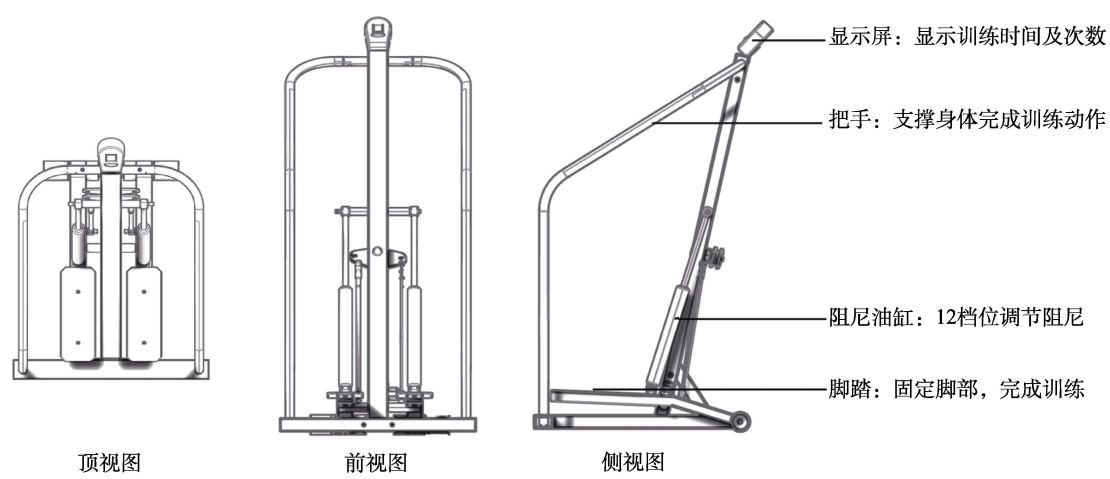


图 1 踏步康复训练器结构组成
Fig.1 Structure composition of stepping rehabilitation trainer

表 1 市场现有踏步康复训练器把手分析
Tab.1 Handle analysis of existing stepping rehabilitation trainers in the market

把手类型	图例	功能分析	存在问题
<i>L</i> 型		手握位置可变换置于胸前与体侧	把手过高，使用时上臂上移易疲劳，造型单薄
<i>U</i> 型		手握姿势可适度变换	双手抓握距离小，重心不稳，易跌倒
框型		手部位置可变换	抓握位置角度偏大，腕部不自然受力
1 字型		把手角度可进行调节，减少腕部损伤	抓握姿势单一，不利于长时间训练

姿势单一,不利于长时间训练。由此可知,现有踏步康复训练器把手设计对其人机舒适性考虑欠缺,主要存在人机尺寸不合理、手部抓握不舒适、外观设计不适宜等问题。

2 踏步康复训练器把手舒适性研究

抓握是手的基本功能,踏步康复训练过程中,由于康复训练的需要,需长时间进行抓握操作,因此,把手人机舒适性尤为重要。就把手设计而言,须结合人机工程理论对人机尺寸、抓握方式、外观设计等进行综合考量,提高把手设计舒适性与合理性,降低康复训练过程中患者上肢损伤风险,避免消极情绪产生。

2.1 人机尺寸舒适性

合理的人机尺寸是产品人机舒适性的基础^[3],人体上肢运动范围及操作习惯是踏步康复训练器把手尺寸设计重要依据,以避免把手使用过程中肢体不自然动作的产生,减少肌肉疲劳及损伤。通过测试发现,把手抓握高度、抓握宽度以及把手横剖面外接圆直径、长度都对使用舒适性产生直接影响。

2.1.1 把手抓握高度和宽度

把手抓握高度、宽度等尺寸的选择,取决于对人体尺寸数据的分析。踏步训练过程中把手设计过高,会导致患者上臂抬高,与身体距离过大,会导致患者上肢过度伸展,反之则会出现蹲身或屈曲,容易产生疲劳;把手抓握宽度过近,出现身体重心不稳,过远则上臂过度外展,三角肌、肱二头肌肉持续发力,不易长期使用。

按照人机工程学原理,人体进行直立作业时,上臂自然下垂,小臂接近水平状态或稍向下时,肢体不易产生疲劳,且工作面高度距肘部以下 30~50 mm 最为适宜。两手抓握宽度应与肩宽、前臂运动范围相适应,以维持身体重心平衡。把手到身体的距离与前臂长及其操作舒适区域有关。为了使把手设计具有普遍

适用性,扩大适用人群范围,其尺寸按女性第 5 百分位和男性第 95 百分位人体尺寸为依据。据《中国成年人人体尺寸(GB/T 10000—1988)》,肘高一般为 899~1096 mm,考虑脚踏板高度 150 mm,因此,把手设计体前抓握高度为 1019~1196 mm,体侧抓握高度 826~938 mm 为宜。前臂长 193~258 mm,肩宽为 320~403 mm,参考水平面手部操作区域划分,舒适区运动范围以肩关节中心为半径 400 mm 内,见图 2。因此,体前抓握位置间距为 320~403 mm,便于双手向前施力^[4],距前胸长度 243~298 mm,体侧抓握位置间距 620~703 mm 为宜。

2.1.2 把手横剖面外接圆直径和长度

把手横剖面外接圆直径和长度应与手长、手宽相适应^[5],以产生最大握力。直径过小,会导致手掌局部压力大,压迫神经和血管,产生疼痛感。直径过大不好施力,降低手部操作的灵活性。由中国成年人人体尺寸可知,掌宽一般在 70~89 mm,手长为 159~196 mm,考虑操作修正量,因此,把手长度取 110~129 mm 最为合适,一般不得小于 100 mm。抓握直径取 30~50 mm,适合手部着力抓握。

2.2 抓握方式舒适性

长期进行踏步康复训练时,不恰当的抓握姿势不仅使作业效率下降^[6],同时可能会造成手腕及手部肌腱等损伤。观察可知,现有踏步训练器使用过程中,存在手部抓握重心偏移现象,导致腕部不自然受力,见图 3。因此把手设计除高度、宽度等基本尺寸满足人机舒适操作之外,还应保证腕部自然伸展,满足手部生理结构。

1) 健康的抓握方式应避免腕部不自然受力,保证肘关节、腕关节、手心轴处于顺直状态。手部不良姿势,见图 4。手是由跨过腕道的腱的手臂腕骨伸肌和曲肌连到手指进行控制,而腕道由手背骨以及相对的横向腕部韧带形成,且手部各种动脉和神经穿过腕道,如出现抓握姿势不当时,手腕偏离中间位置;处

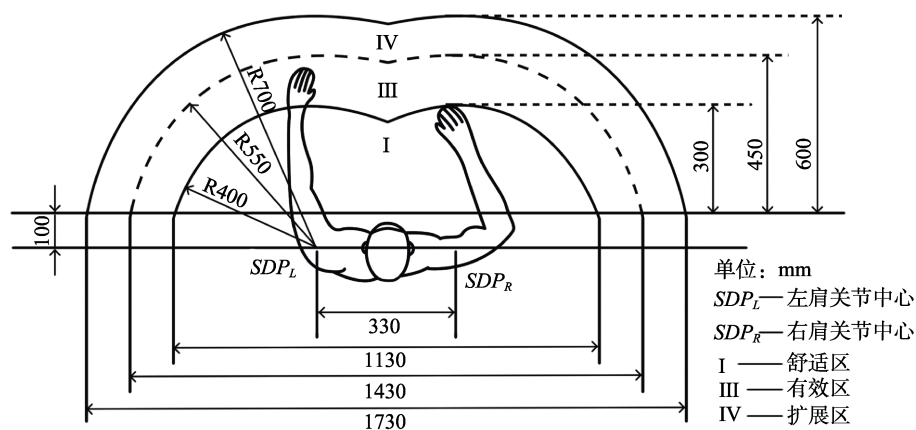


图 2 水平面手部操作区域划分

Fig.2 Division of horizontal hand operation area

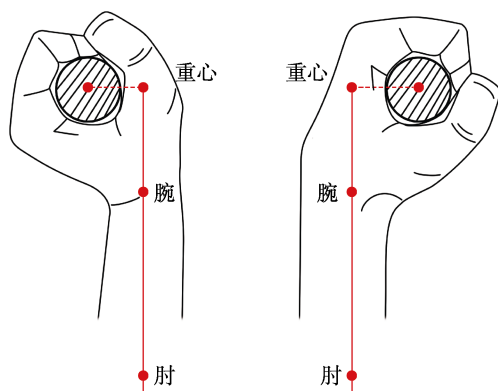


图 3 抓握重心偏移

Fig.3 Deviation of grasping center of gravity

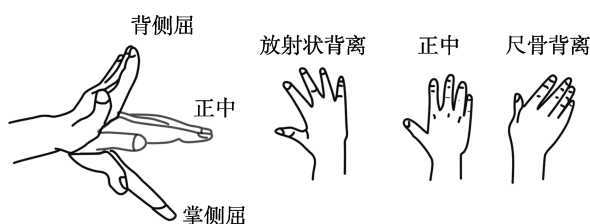


图 4 手部不良抓握姿势

Fig.4 Poor grip posture of the hand

于背屈、掌面弯曲、放射状背离、放射状背离、尺骨背离等别扭姿势,会使腕部横韧带压迫穿过腕道的肌肉和神经,且小臂主要肌肉和血管会发生扭曲,导致小臂肌肉疲劳。成年人的掌侧屈最大活动角度为 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$,背侧屈最大活动角度为 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}$,结合前文前臂舒适使用高度,当把手抓握轴线与小臂所在平面垂直体前时,把手主要抓握位置应与水平面呈 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,体侧抓握时手柄呈 10° 时,有利于手腕保持顺直状态,减少腕部疲劳。

2) 通过对手部生理结构研究分析可知,大鱼际肌、小鱼际肌等部位肌肉丰满,可有效减少压迫,应是把手压力主要作用部位。掌心部位肌肉最少,且此处血管和神经分布较为密集,压力过大容易局部缺血导致麻木、疼痛,因此,把手设计时掌心区应避免直接受力,使掌心与把手之间存在间隙。综上分析可知,把手设计时其横剖面以圆润为宜,避免三角形、方形等,防止其与掌心的直接接触。

2.3 外观特征舒适性

产品的外观特征是产品情感寄托的载体和表达的方式^[7]。踏步康复训练器把手人机舒适性外观特征设计的重点在于,重视对用户心理健康的呵护。在人机尺寸、使用方式等方面实现舒适性的基础上,将“人文关怀”理念融入其中,充分考虑患者由于身体伤残、长期训练而引发的态度消极、厌倦治疗等不良情绪,对把手外观造型、色彩和材质等外观特征进行合理优化,以减少患者心理抵触,增强患者治疗积极性,提升患者使用体验。

2.3.1 造型设计

现有踏步训练器出于加工制作的便捷性,把手造型以直线为主,且转折生硬,具有攻击性,缺乏对残障人士心理的呵护。研究表明,由于曲线之间在曲度和长度上都可不同,因而具有装饰性,看起来更舒服,给人带来柔和、圆润的心理效果,因此把手造型塑造时应以曲线为主,在满足基本人机舒适性基础上对把手外形进行合理调整,使其具有亲和力。

2.3.2 色彩搭配

和谐统一的色彩不仅能够给患者带来愉悦感,而且能够使产品整体达到视觉上的均衡性。踏步训练器由于其硬件结构尺寸以及工作机制的客观限制,容易造成视觉上的重心不稳,增加患者紧张感。现有把手设计色彩搭配普遍以黑白灰为主,给人带来忧郁、压抑的心理感受。绿色系不但具有良好的视觉平衡效果,同时象征着生命与活力,能够向患者传达出健康与希望的信号。因此,医疗产品把手设计时应运用绿色对把手进行色彩搭配,满足患者心理安全感,提升患者治疗信心。

2.3.3 材质选择

基于手握支撑功能的合理性考虑,把手支撑部分应选用金属材质,且应对其表面进行喷涂处理,避免高反光,减弱视觉硬度。抓握部分采用软质橡胶、软质PVC塑料等材料,以保证患者抓握柔软性、舒适性的同时,使其具有接触心理安全感。

3 踏步康复训练器把手舒适性设计原则

在踏步康复训练器把手设计过程中,设计人员往往将其作为辅助部件来对待,忽视了把手在康复训练过程中的重要性。缺乏对其舒适性的深入研究,无法满足患者康复训练过程中生理舒适性要求,同时欠缺对患者心理状况的关照,导致使用满意度下降。综合以上研究,提出以下踏步康复训练器把手人机舒适性设计原则。

1) 把手高度可调节。由于不同性别、年龄的患者人体尺寸存在较大差异,为了扩大适用人群,确保不同患者的使用舒适度,把手高度可在一定范围内进行调节^[8]。

2) 把手横剖面圆润且使用时手腕处于顺直状态。圆润的横剖面可有效避免手掌局部受力带来的刺痛感,使用时手腕顺直则保证了手腕和手臂不会发生转动,避免承受扭力,对神经、肌肉等造成压迫,保证了把手的抓握舒适性。

3) 抓握姿势可变换。患者进行训练时,肢体长时间保持同一姿势,会导致同一部位肌肉持续紧绷,容易产生疲劳。因此,把手设计应满足不同的抓握姿势,如手心轴水平抓握、手心轴垂直抓握等方式进行

变换,有效减轻患者疲劳度。

4)表现形式具有亲和力。病人是特殊群体,由于其身体状况差,训练过程中难免产生负面情绪与抵触心理。因此,要求踏步康复训练器把手设计不但满足生理上的舒适安全,更应注重其心理的关爱与呵护。把手设计时其造型设计、色彩搭配与材质选择均应以关注患者心理健康为前提,丰富设计造型,优化色彩搭配,软化把手质地,提高患者使用积极性,减轻康复训练抵触感。

4 踏步康复训练器把手设计与评价

4.1 踏步康复训练器把手设计实践

基于上文设计原则,对踏步康复训练器把手进行改进。设计一款既能满足患者生理使用舒适性需求,又能为其带来良好心理感受的踏步康复训练器把手。

在把手底部位置安装高度调节装置,通过旋转限位螺母,提拉或按压把手进行150 mm以内的高度调节,使用时可根据患者使用状况进行调节。为了防止长时间维持同一姿势,减少使用疲劳度,提供了体前抓握和体侧抓握两种抓握姿势,患者可根据自身需要进行选择。外观特征上,出于对患者心理感受的呵护,造型采用对患者形成半包裹的方式,增加使用安全感,大弧度曲线与直线的融合,避免了棱角的攻击性。下部分以黑色为主,上部分白色、绿色进行搭配,增强视觉稳定性与安全感。同时,绿色也传达出生命与活力,有助于提高患者使用积极性。绿色抓握部分材质为软质橡胶,增加抓握舒适度,支撑部分微颗粒磨砂喷涂,增加亲和力,踏步康复训练器设计效果,见图5。

4.2 踏步康复训练器把手设计评价

4.2.1 使用姿势舒适性评价

通过CATIA软件中的人机工程模块,对把手使用姿势进行人机舒适性分析。由于CATIA V5 HBR模块的数据库中没有中国人人体尺寸数据,因此选取了与中国人平均身材最为接近的日本人人体的模型,并参照GB/T 10000—1988《中国成年人人体尺寸》对其部分尺寸参数进行修正,以满足实际应用需要。本文以CATIA中第50百分位人体模型为例,构建虚拟仿真系统。

首先,在系统中确定人体模型各关节的自由度,并在相应自由度下进行角度值与舒适度值的划分。将角度范围分为3个等级,分别为舒适区(100分)、有效区(80分)、扩展区(60分)^[9]。相关部位舒适度划分,见表2。模拟患者的体前抓握和体侧抓握两种操作状态见图6:图6a为体前抓握状态;图6b为体侧抓握状态。最后由CATIA姿势分析模块进行量化评价,得分结果见图7。其中,图7a为体前抓握舒适度的得分;图7b为体侧抓握舒适度的。由得分结果可看出,患者通过新型把手进行训练时,人体整体舒适度较高,把手设计合理。

4.2.2 外观特征舒适性评价

语义差异法是通过语义上的差别来评价产品外观质量的方法^[10]。本次研究通过语义差异法将用户心理感受以量化的数字进行反映,完成对市场现有踏步康复训练器把手、新型踏步康复训练器把手造型、色彩等外观特征舒适度评价。

首先,通过调研获取了50个有关把手心理舒适度的感性词汇,将语义接近的词进行合并,筛选了7



图5 踏步训练器把手设计效果
Fig.5 Design rendering of stepping trainer handle

表 2 相关部位舒适度划分
Tab.2 Classification of comfort of relevant part

身体部位	自由度/(°)	舒适区 角度/(°)	有效区 角度/(°)	扩展区 角度/(°)
颈椎	DOF1	0~10	-10~0	-21~-10
			10~15	15~24
	DOF3	0	-30~0 0~30	-75~-30 30~75
胸椎	DOF1	0	-5~0	-10~-5
			0~10	10~15
腰部脊柱	DOF1	0	5~15	-15~-5
			15~40	40~60
上臂	DOF1	0~50	-20~0	-60~-20
			50~100	100~170
	DOF2	0~50	-8~0	-18~-8
			50~60	60~80
前臂	DOF3	0~30	-10~0	-20~-10
			30~45	45~97
	DOF1	70~100	45~70	0~45
手	DOF1	-15~20	100~125	125~140
			-45~-15	-70~-45
	DOF2	-10~10	10~50	50~80
			-20~-10	-30~-20
			10~15	15~20

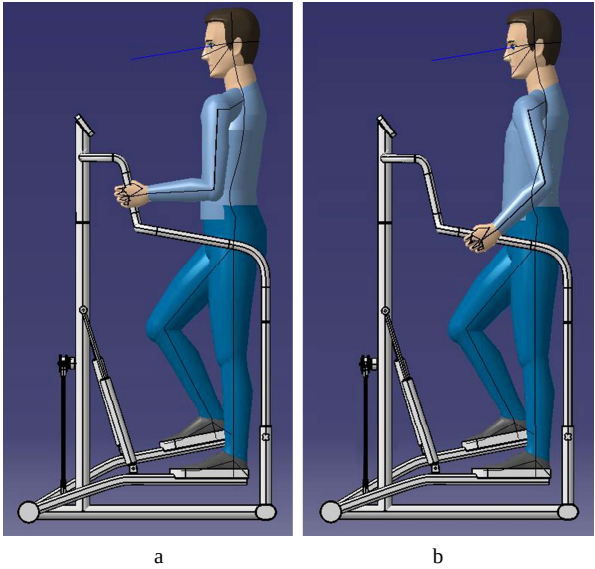


图 6 人体抓握状态示意图
Fig.6 Schematic diagram of human grip

组最能反映把手外观特征舒适性且意义相反的感性词汇来建立心理量化表，这些词汇分别是“温暖的—冰冷的”、“放松的—压抑的”、“柔和的—刚硬的”、“轻快的—笨重的”、“亲近的—疏远的”、“愉悦的—悲伤的”、“灵动的—死板的”，心理量化示意图见图 8。

最后，通过专家打分法，对 5 款把手外观特征进行评分，并对打分结果取平均数进行比较，完成把手外观特征舒适度评价。选定专家为具有较为丰富设计经验的设计学教授 2 位及研究生 10 位。感性词汇打分结果见表 3。结果表明，新型把手外观特征舒适度

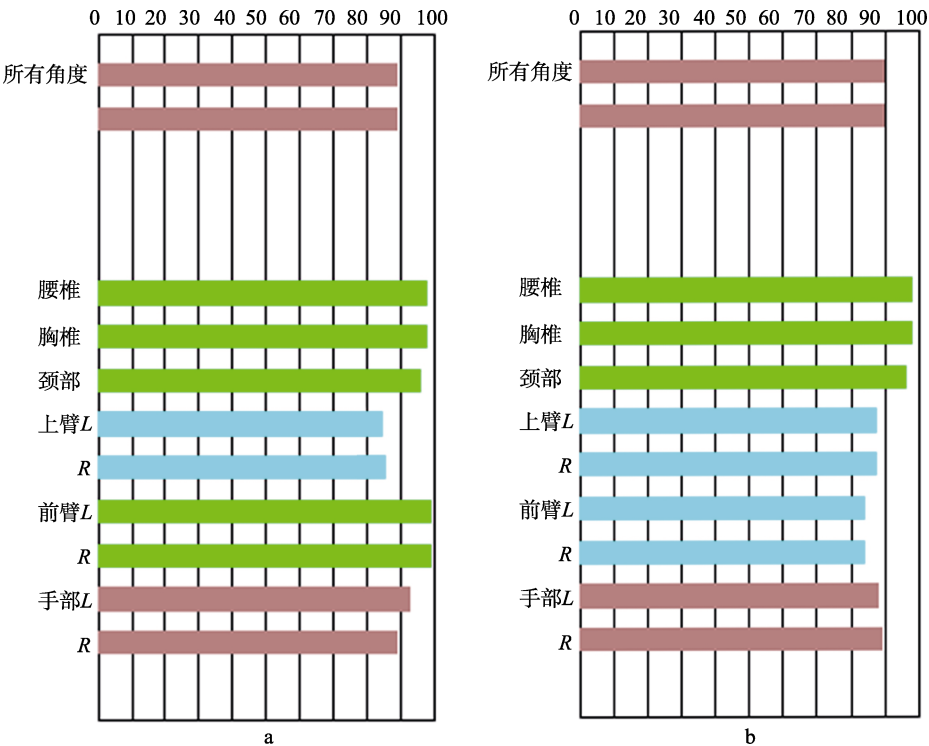


图 7 人体各部位舒适度得分
Fig.7 Human body comfort score

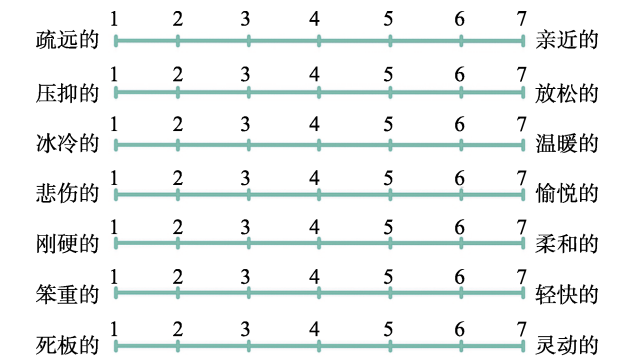


图 8 心理量化示意
Fig.8 Diagram of psychological quantification

表 3 把手外观特征感性词汇打分结果
Tab.3 Score results of handle appearance characteristics perceptual vocabulary

把手类型	亲近的	放松的	温暖的	愉悦的	柔和的	轻快的	灵动的
	疏远的	压抑的	冰冷的	悲伤的	刚硬的	笨重的	死板的
新型	5.8	6.0	6.1	5.4	6.2	5.8	5.9
L 型	2.6	1.5	1.3	1.6	2.7	2.6	1.4
U 型	3.2	1.8	2.2	2.6	3.4	3.2	2.8
框型	2.4	1.3	1.6	1.8	2.4	1.9	1.3
1 字型	1.2	1.6	1.2	1.1	1.0	1.8	1.4

表 4 10 名患者对指标权重的评价结果
Tab.4 Evaluation results of the index weights of 10 patients

材料特征	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
C1	0.2	0.3	0.1	0.4	0.1	0.3	0.4	0.2	0.3	0.1
C2	0.6	0.4	0.7	0.5	0.8	0.3	0.5	0.6	0.6	0.7
C3	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2

优于市场现有把手，能为患者带来更加积极的、健康的心理感受。

触觉舒适感与心理亲和感是舒适性设计的直接体现，材质作为用户感知、体验产品的重要载体，对产品触觉及用户心理产生直接影响。本次研究采用李克特五级量表对把手材料的用户感知体验进行度量，以此对新型把手接触舒适度与心理亲和感进行评价。

选取软质橡胶（A1）、PVC 塑料（A2）、ABS 塑料（A3）等三种把手材料作为研究样本，以光滑度（C1）、软硬度（C2）、冷暖度（C3）等影响触觉舒适感的材料特征维度作为用户体验评价指标，对 10 名康复训练患者 $U_s(s=1,2,3,\cdots,10)$ 进行实物材质评价试验和访谈，得到实验原始数据见表 4—5。首先，由 10 名患者对指标权重进行评价，获得指标权重 $W_i(i=1,2,3)$ ，其次在各指标下对材料样本进行评价，获得各样本加权平均值 $F_i(i=1,2,3)$ ，最后，用 F 值的

表 5 10 名患者对各样品在各指标下的评价结果
Tab.5 Evaluation results of 10 patients on each sample under each index

样品	指标	用户									
		U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
A1	C1	4	3	4	5	3	4	2	3	4	5
	C2	5	4	4	5	4	5	3	4	3	4
	C3	4	2	5	3	4	3	4	4	3	3
A2	C1	4	3	5	4	4	5	5	3	4	5
	C2	2	3	4	3	3	4	3	2	3	2
	C3	3	2	3	1	2	2	3	2	3	2
A3	C1	4	4	5	3	2	4	3	3	5	4
	C2	2	3	3	2	4	3	4	2	4	3
	C3	4	4	3	4	3	3	2	3	4	3

表 6 三种材料的用户感知体验综合评价值
Tab.6 Comprehensive evaluation value of user perception experience of three materials

i	W	F
1	0.24	3.818
2	0.57	3.098
3	0.19	3.225

大小反映该新型把手抓握材料接触舒适度和心理亲和感。结果表明，新型把手具有较高触觉舒适感与心理亲和感，符合患者使用舒适性需要，综合评价见表 6。

其中 W 值和 F 值的计算公式如下：

$$W_i = \frac{C_iU_1 + C_iU_2 + \cdots + C_iU_{10}}{10} \quad (\text{其中 } i=1,2,3)$$

$$F_i = \frac{W_1(A_iC_1U_1 + A_iC_1U_2 + \cdots + A_iC_1U_{10})}{10} + \frac{W_2(A_iC_2U_1 + A_iC_2U_2 + \cdots + A_iC_2U_{10})}{10} + \frac{W_3(A_iC_3U_1 + A_iC_3U_2 + \cdots + A_iC_3U_{10})}{10} \quad (\text{其中 } i=1,2,3)$$

5 结语

目前，现有踏步训练器把手设计缺乏对患者使用舒适性需求的全面考虑，本文在用户调研的基础上，对踏步康复训练器把手进行重新设计，综合考量了患者生理习惯和心理特点，使其在高度、尺寸、抓握方式上可适当调整，在外观特征上更加关照患者心理健康，从而有效提高了把手使用舒适性，满足患者使用需要，为康复设备把手的人机舒适性设计提供了参考。在后续研究中将结合产品样机，对其进行持续研究、分析，更好地完善把手舒适性研究。

参考文献:

- [1] 王继成. 产品设计中的人机工程学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
WANG Ji-cheng. Ergonomics in Product Design[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
 - [2] 窦金花, 覃京燕. 基于情感计算的弱势群体产品情感交互设计研究[J]. 包装工程, 2017, 38(6): 7-11.
DOU Jin-hua, QIN Jing-yan. Product Emotional Interaction Design of the Disadvantaged Groups Based on Affective Computing[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(6): 7-11.
 - [3] 黄迎亚, 吴晓莉. 基于 FAST 法的手推式轮椅改进设计与分析[J]. 机械设计, 2013, 30(9): 93-96.
HUANG Ying-ya, WU Xiao-li. Improved Design and Analysis of Manual Wheelchair Based on FAST Method[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(9): 93-96.
 - [4] OHNISHI A, TAKANOKURA M, SUGAMA A. Evaluation of Interhandle Distance During Pushing and Pulling of a Four-Caster Cart for Upper Limb Exertion[J]. Safety and Health at Work, 2016, 7(3): 237-43.
 - [5] 张春红, 蒋东, 刘艳霞. 户外手电筒的人性化设计研究[J]. 机械设计, 2014, 31(5): 97-99.
ZHANG Chun-hong, JIANG Dong, LIU Yan-xia. Study of Humanization Design on Outdoor Flashlight[J]. Journal of Machine Design, 2014, 31(5): 97-99.
 - [6] SANCIBRIAN R, GUTIERREZ-DIEZ, MARÍA C, TORRE-FERRERO C, et al. Design and Evaluation of a New Ergonomic Handle for Instruments in Minimally Invasive Surgery[J]. Journal of Surgical Research, 2014, 188(1): 88-99.
 - [7] 屈庆星, 郭伏, 胡名彩, 等. 产品外观解构与情感设计变量识别方法研究[J]. 人类工效学, 2017, 23(3): 67-73.
QU Qing-xing, GUO Fu, HU Ming-cai, et al. Research on Product Appearance Deconstruction and Emotional Design Variable Identification[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2017, 23(3): 67-73.
 - [8] 马广韬, 张晨光, 佟怡伶. 基于人机工程学的电脑椅设计[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2012, 28(2): 363-367.
MA Guang-tao, ZHANG Chen-guang, TONG Yi-ling. A Computer Chair Design Research Based on Ergonomics[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University(Natural Science), 2012, 28(2): 363-367.
 - [9] 胡志刚, 孙泽明, 马园园. 牙科椅不同俯仰角度的人体舒适度研究[J]. 包装工程, 2017, 38(16): 108-112.
HU Zhi-gang, SUN Ze-ming, MA Yuan-yuan. Human Body Comfort Degree in Different Pitch Angle of the Dental Chair[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(16): 108-112.
 - [10] 冯青, 武智灵. 基于感性意象的蒸馏酒容器形态设计[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 120-123.
FENG Qing, WU Zhi-ling. Research on Form Design of Distilled Wine Bottle Based on Kansei Image[J]. Food & Machinery, 2019, 35(3): 120-123.
-
- (上接第 162 页)
- [9] CHERRY C. Book Reviews: C. E. OSGOOD, G. J. SUCI and P. H. TANNENBAUM: The Measurement of Meaning, University of Illinois Press, 1957, Urbana, 342 pp[J]. Gazette, 1960, 6(2): 258-259.
 - [10] 朱赫. 基于认知耦合的产品意象形态仿生进化设计方法[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2018.
ZHU He. Bionic Evolutionary Design Method of Product Image Morphology Based on Cognitive Coupling[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2018.
 - [11] 杨涛, 田玮. 基于语义差分法的产品设计草图研究[J]. 蚌埠学院学报, 2015, 4(5): 61-63.
YANG Tao, TIAN Wei. Study on Product Design Sketch Based on Semantic Difference Method[J]. Journal of Handan University, 2015, 4(5): 61-63.
 - [12] 徐红磊. 拓扑性质约束下产品形态仿生设计研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
XU Hong-lei. Research on Product Shape Bionic Design under the Constraints of Topological Properties[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015.