

基于前向式推论型感性工学的踝关节康复产品设计策略

柴欣欣, 康红娜, 续皓楠

南华大学, 松霖建筑与设计艺术学院, 湖南 衡阳

收稿日期: 2023年6月14日; 录用日期: 2023年8月22日; 发布日期: 2023年8月30日

摘要

本文为探求踝关节康复产品的设计策略, 获取其用户的主要感性需求, 基于感性工学的设计理论, 通过深度访谈、问卷调研进行量化研究, 制作了意象尺度图。借助SPSS数据统计软件量化用户群体的情感认知, 获得了客观的数据分析结果, 挖掘用户的主要需求, 并提出基于前向式推论型感性工学的踝关节康复产品设计策略, 为后续的康复产品设计提供具有针对性的参考。

关键词

感性工学, 踝关节, 康复产品, 设计策略, SPSS

Research on Ankle Rehabilitation Product Design Strategy Based on Forward Inference Kansei Engineering

Xinxin Chai, Hongna Kang, Haonan Xu

Solux College of Architecture and Design, University of South China, Hengyang Hunan

Received: Jun. 14th, 2023; accepted: Aug. 22nd, 2023; published: Aug. 30th, 2023

Abstract

To explore the design strategy of ankle rehabilitation products and obtain the main emotional needs of their users, based on the design theory of Kansei engineering, quantitative research was carried out through in-depth interviews and questionnaires, and image scale maps were made. With the help of SPSS data statistics software to quantify the emotional cognition of user groups, we obtained objective data analysis results, mined the main needs of users, and proposed a design

strategy for ankle rehabilitation products based on forward inferential Kansei engineering, which provides targeted reference for subsequent rehabilitation product design.

Keywords

Kansei Engineering, Ankle Joint, Rehabilitation Products, Design Strategy, SPSS

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

踝关节是人体下肢运动的重要承重关节，人在进行行走、跑跳等运动时，踝关节意外失稳受伤的几率很大，所以踝关节损伤是一种最常见的临床骨科病症之一，居全身关节损伤的首位，根据临床经验表明，约 30% 的运动损伤来源于踝关节损伤。

当前在我国的医疗保健系统中，踝关节康复训练主要是在医院的康复中心或其它医疗康复机构中进行，一般需要康复医师与患者单独地面对面进行配合[1]，并且主要以徒手辅助训练患者为主，康复效率低，康复体验差。为了改变其现状，国内外各研究机构与高校都进行了各项不同的康复训练产品研究与设计。与传统的康复治疗方式相比，康复训练产品的投入与使用大大降低了人力成本与治疗成本，提高了患者的康复训练效率与康复体验感。

在我国的相关政策中，自党的十八大以来，党中央把维护人民健康摆在更加突出的位置，不断推进健康中国建设，国务院印发《“健康中国 2030”规划纲要》，提出要把保障人民健康放在优先发展的战略位置，这必将成为我国医疗健康产业发展的重要引擎[2]。在这种大环境的驱使下，医疗器械产业的设计以及制造产业也进入了快速发展阶段，国内康复市场潜力巨大，发展前景广阔。

本文针对踝关节康复的难点与痛点，结合现有的产品技术与踝关节康复的产品需求，得出踝关节康复产品的设计策略。

2. 国内外研究现状

目前，国内外已经开始逐渐研发踝关节的康复训练产品，并体现便携高效的特点。但是我国起步较晚，且市场上产品不够完善。与国内市场相比，国外市场的康复器械产品更多的是高便携性，高智能化的踝关节康复产品。发达国家关于康复训练装置的研究可以追溯到二十世纪。2004 年麻省理工学院的 Blaya J 等人提出一种 V 型可变阻抗踝关节矫形器，可以协助落足步态[3]。2011 年新西兰奥克兰大学 Xie S Q 等人研究制造了一种气动肌肉驱动式踝关节康复器械[4]。2012 年日本的 Hiroshi Takemura 等研制了基于 Stewart 结构的可穿戴式踝足康复训练设备[5]。2014 年美国的 Park Y L 等人设计了一种由气动人工肌肉驱动的主动软踝足矫正装置，可以在不限制关节活动的前提下对穿戴者提供一定的功能辅助，提高肌肉使用量从而促进踝关节康复[6] [7]。2020 年印度的 Tribedi Sarma 等人研究了一种动力踝关节矫形器，该产品配有微控制器和机械电机，可改善踝关节损伤患者的运动[8]。

我国关于踝关节康复训练产品的研究与设计起步较晚，现主要分布于理工科高校的研究室中。市场上常见的踝关节康复产品也主要是活动度较低的低端康复训练器械[9]。2014 年清华大学研发了一款用于抑制肢体痉挛的踝关节康复机构，但结构简单，效率较低[10]。2020 年电子科技大学的周聪研发了一款

可穿戴式绳驱动踝关节康复器械, 该装置具备传感系统, 可以对患者进行被动康复训练与步态康复训练[11]。

目前, 国内外关于踝关节的康复训练产品在市面上较少, 主要的设计停留于研究阶段, 并向和智能化和多自由度复合训练发展。大部分康复设施的结构繁琐笨重, 美观程度不够, 便携程度低, 因此具备较大的研究设计发展空间。

3. 感性工学概述

3.1. 概念

感性在产品的开发设计中意为消费者对于某一件产品所产生的心理感觉与意向。这是一个多维度的反应过程, 是从感觉到知觉的心理行为, 并通过肢体与言语表现出来[12]。感性工学是一种运用工程技术手段来探讨“人”的感性与“物”的设计特性间关系的理论及方法。在产品领域, 它将人们对“物”(即已有产品、数字或虚拟产品)的感性意象定量地表达出来, 并与产品设计特性相关联, 以实现在产品设计中体现“人”(这里包括消费者、设计者等)的感性感受, 设计出符合“人”的感觉期望的产品[13]。感性工学是基于人因工程的面向消费者的产品设计技术, 可以将人们模糊的感性需求以及意象转化为定量的形式元素。

3.2. 前向式推论型感性工学

据学者研究, 感性工学分为以下三种: 定性推论式感性工学、正逆结合型感性工学和数学模式型感性工学[14]。

前向式推论式感性工学属于正逆结合型感性工学, 是将感性的意象词义与形式元素连接, 构建感性工学系统, 以此实现感性意象与产品设计元素的转化。此系统可分为“前向定量推论式感性工学”与“逆向定量推论式感性工学”两大类型。前者是将用户的感性需求转化为产品的设计要素, 而后者则是将设计师的设计方案转化为用户的感性评估, 以确定是否符合设计师所要达成的感性意象[15]。

4. 踝关节康复产品设计研究

通过患者访谈、患者家属访谈、康复治疗师访谈得出一些常见或特殊需求, 整理并汇总需求, 访谈中发现, 踝关节患者的主要表现是由脚踝扭伤引起的脚部力量、感觉和控制能力不足。由于踝关节骨折患者个体差异化的原因, 为了筛选更重要的需求, 使用 SD 法问卷调查将其进行量化研究, 计算出各个样本感性意象的均值, 制作成意象尺度图, 从而得出用户对于踝关节康复产品的期望。由于此时获得的用户期望有十个, 较为宽泛, 为了进一步确定关键词, 借助 SPSS 数据统计软件, 将用户群体对踝关节康复产品的语义评分数据进行主成分分析, 通过因子旋转对数据进行降维处理, 获得数值最大的主成分, 比较绝对值的大小以此来量化用户的感性认知, 从而将患者、患者家属、康复治疗师踝关节康复产品的感性认知转化为设计师的理性思考, 获得客观的数据分析结果, 为后续的康复产品设计提供具有针对性的数据参考[16]。

4.1. 目标用户调研

此次调研针对的用户主要是踝关节意外损伤后需要进行康复训练的人群, 以及因其他原因造成的踝关节活动受限需要进行踝部被动静态牵伸训练的人群。调研对象包括踝关节骨折病人、其家属和康复医师三个群体。

在前期的样本产品图片收集与分类中, 通过比较各类产品的知名度与销量, 每类选取一个代表性的

产品，总共获取 5 个样本产品，见图 1。



Figure 1. Samples of ankle rehabilitation product
图 1. 踝关节康复产品样本^①

在用户访谈中收集到 84 个感性词汇并建立语义空间，见表 1，通过文本的归类和整理、语义的聚类与提炼，筛选了十对语义相对的词汇，分别是硬朗的和圆润的、小巧的和厚重的、智能的和机械的、多功能的和单一功能的、整体的和拆卸的、操作简单的操作复杂的、色彩淡雅的和色彩明艳的、单一色彩的和多彩的、材质封闭的和材质透气的、材质柔软的和材质硬挺的，见表 2。

基于语义差分法对这 5 款踝关节康复产品的样本进行问卷调研，通过李克特五级量表将十对感性词汇进行量化评分，制作并发放调查问卷共 100 份，由 100 名被测用户对语义相对的词汇进行评分，以了解目标群体对现有踝关节康复产品的感觉意象。共回收收到 95 份有效问卷。语义评分五阶量表见图 2。

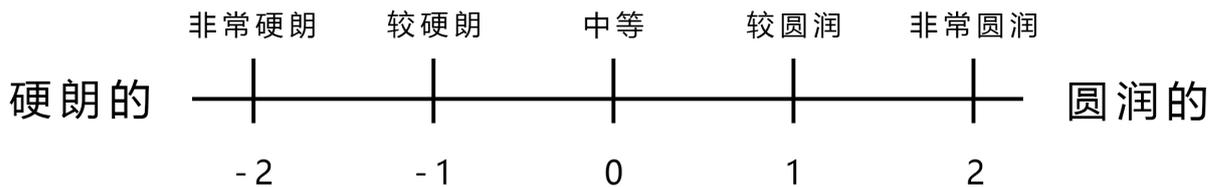


Figure 2. Semantic scoring five scale
图 2. 语义评分五阶量表^②

4.2. 用户需求归纳与总结

通过 5 款踝关节康复产品样本图片和 10 对感性词汇结合获得的问卷数据，获得每个样本的感性意象数据，计算平均值以得出感性意象词汇均值，见表 3，将从造型、功能、色彩、材质四个特征范畴绘制意象尺度图。每个特征范畴都对应有两对感性意象词汇，这两对感性词汇被标记为 x 轴和 y 轴，将其分别置于二维坐标系的两端。以造型为例，硬朗的与圆润的标注为 x1 轴，置于 x 轴的正负两端；小巧的与厚重的标注为 y1 轴，置于 y 轴的正负两端，将每个样本的问卷数据均值置于坐标系并连点成线形成折线图，依此绘制出其他 4 份意象尺度图，见图 3。造型方面的意象尺度图为图 a。功能为图 b 和图 c，色彩为图 d，材质为图 e [17]。

从造型、功能、色彩、材质四个特征范畴的意象尺度图可以了解用户群体对踝关节康复产品的感性倾向，获得以下结论：

1) 在造型范畴中，有 3 个样本处于 x_1 轴负轴，表明用户更喜欢硬朗的踝关节康复产品。有 3 个样本处于 y_1 轴负轴，表明用户喜欢厚重的踝关节康复产品。可见用户更加喜爱硬朗且较为厚重的踝关节康复产品。

Table 1. Semantic space**表 1. 语义空间**

可调节的	硬朗的	厚重的	柔软的	智能的	人性化的
单一色彩的	硬质感的	布料的	金属的	柔和的	坚硬的
稳重的	封闭的	淡雅的	多彩的	整体的	易拆的
明朗的	稳定的	耐脏的	冰冷的	操作复杂的	圆润的
安全的	明艳的	宏大的	小巧的	可移动的	透气的
易清洗的	可冲洗的	温暖的	专业的	曲线的	省力的
有尊严的	牢固的	沉稳的	符合人机的	男女适用的	沉重的
易收纳的	易搬运的	有弹性的	充气的	有针对性的	现代的
恢复性强的	轻便的	易组装的	充电的	左右适用的	多功能的
轻巧的	易操作的	温柔的	性价比高的	可触摸的	方便的
可感应的	有效的	易用的	舒适的	明亮的	医疗辅助的
方便清洁的	居家感的	可独自使用的	可加热的	方便移动的	温馨的
机械化的	单一功能的	硬挺的	便携的	稳固的	便于打理的
固定的	环保的	保健的	健康的	快乐的	可洗的

Table 2. Imagery word pairs**表 2. 意象词对**

属性	词对
造型	硬朗的
	小巧的
功能	智能的
	多功能的
	整体的
	操作简单的
色彩	淡雅的
	单一的
	多样的
材质	封闭的
	柔软的
	圆润的
	厚重的
	机械的
	单一功能的
	拆卸的
	操作复杂的
	明艳的
	透气的
	硬挺的

2) 在功能范畴中, 有 3 个样本位于 x_2 轴正轴, 说明用户更喜欢机械的踝关节康复产品。有 3 个样本位于 y_2 轴正轴, 表明用户更喜欢单一功能的康复产品。有 3 个样本位于 x_3 轴负轴, 表明用户更喜欢整体的康复产品。有 3 个样本位于 y_3 轴正轴, 表明用户喜欢操作简单的康复产品。可见用户更加喜爱机械的、整体的、单一功能且操作简单的康复产品。

3) 在色彩范畴中, 有 5 个样本落在 x_4 轴负轴, 表明用户更喜欢颜色淡雅的踝关节康复产品。有 5 个样本落在 y_4 轴负轴, 表明用户喜欢色彩单一的踝关节康复产品。可见用户更加喜欢色彩淡雅且单色的踝关节康复产品。

4) 在材质范畴中, 有 4 个样本坐落于 x_5 轴正轴, 表明用户更喜欢材质透气的康复产品。有 3 个样本

坐落于 y_5 轴正轴, 表明用户喜欢材质较为硬挺的康复产品。可见用户更加喜欢材质透气且硬挺的康复产品。

Table 3. Average value of sensory imagery vocabulary
表 3. 感性意象词汇均值

种类	感性词对	标注	样本编号				
			1	2	3	4	5
造型	硬朗的 - 圆润的	x_1	-0.39	0.56	0.85	-1.52	-1.47
	小巧的 - 厚重的	y_1	0.11	-1	-0.19	1.58	1.27
功能	智能的 - 机械的	x_2	0.69	0.52	-1.36	0.96	-0.4
	多功能的 - 单一功能的	y_2	0.58	0.54	-1.23	0.35	-0.8
	整体的 - 拆卸的	x_3	0.63	0.09	-0.62	-0.22	-0.29
	操作简单的 - 操作复杂的	y_3	-1.16	-0.85	-0.03	0.22	0.6
色彩	淡雅的 - 明艳的	x_4	-0.82	-1.19	-1.09	-0.27	-0.88
	单一的 - 多彩的	y_4	-0.65	-1.26	-1.03	-1.31	-0.95
材质	封闭的 - 透气的	x_5	0.69	0.8	0.67	-0.95	0.15
	柔软的 - 硬挺的	y_5	0.36	-1.14	-1.02	0.83	0.79

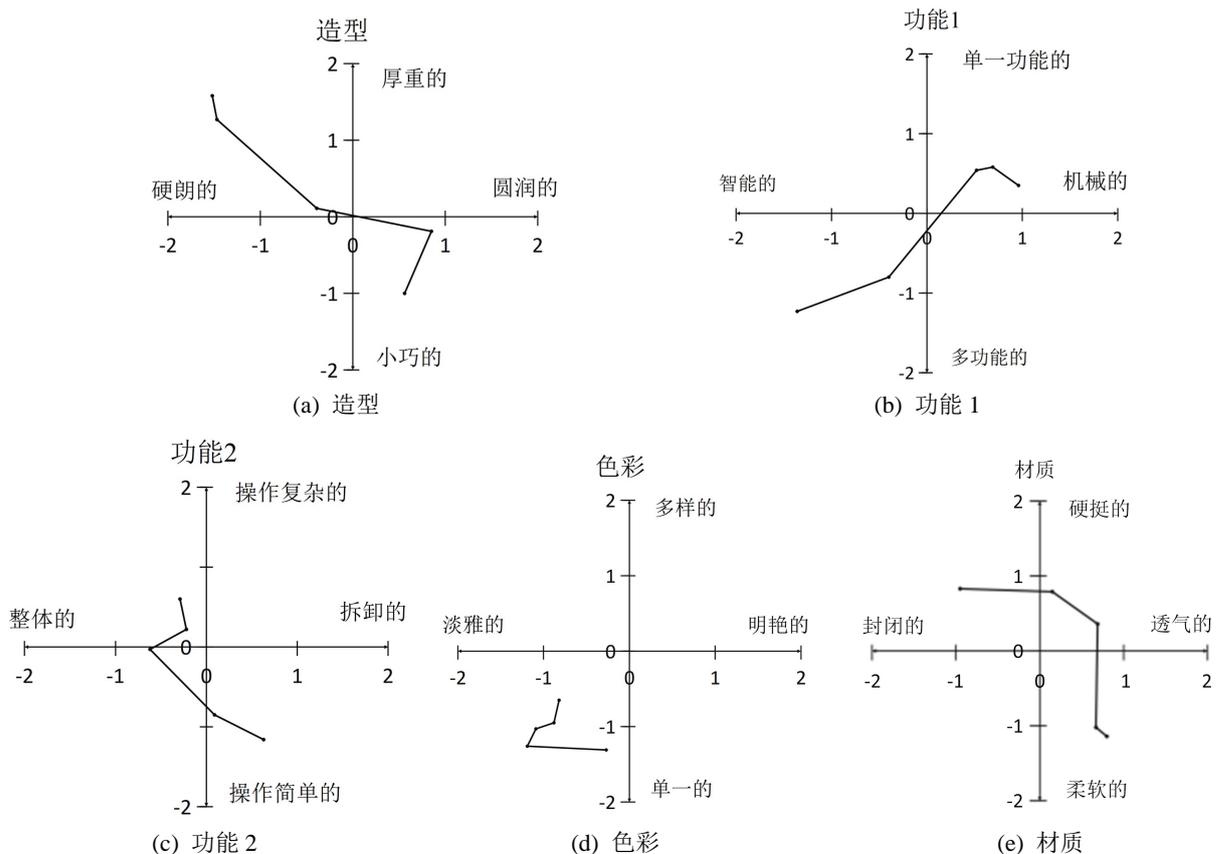


Figure 3. Image scale graph collection
图 3. 意象尺度图^③

4.3. 主成分分析

由于此时得出的设计点过多,为了缩小设计需求的范围,使主次关系更加明显,采用 SPSS 软件问卷数据进一步的统计分析。将初始数据导入 SPSS 软件中进行主成分分析,通过因子旋转对数据进行降维处理,以获取最少且最精准的产品意象词汇。经过 SPSS 因子分析,踝关节康复产品的样本数据统计量 $KMO = 0.729$,显著性水平 $P < 0.05$,见表 4,效度较高,因此该问卷数据适用于做因子分析。结合碎石图见图 4,辅助判断主成分提取个数,10 个主成分中有 2 个主成分的特征值 ≥ 1 ,在第 3 个主成分处折线突然变得平稳,因此提取两个因子进行旋转分析。利用最大方差法旋转之后获得的方差贡献率见表 5,由表格可知:踝关节康复产品的设计受两个主成分影响较大,成份一的方差贡献率为 30.646%,成份二的方差贡献率为 21.660%,两个成分累计贡献 52.307% 的方差,此贡献率基本可以覆盖和解释所有变量的信息。

Table 4. KMO value and Bartley sphericity test

表 4. KMO 值与巴特利球形检验

KMO 和 Bartlett 的检验		
取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量		0.729
	近似卡方	258.113
Bartlett 的球形度检验	自由度	45
	显著性	0.000

Table 5. Variance contribution value

表 5. 方差贡献值

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献值/%
1	3.065	30.646	30.646
2	2.166	21.660	52.307

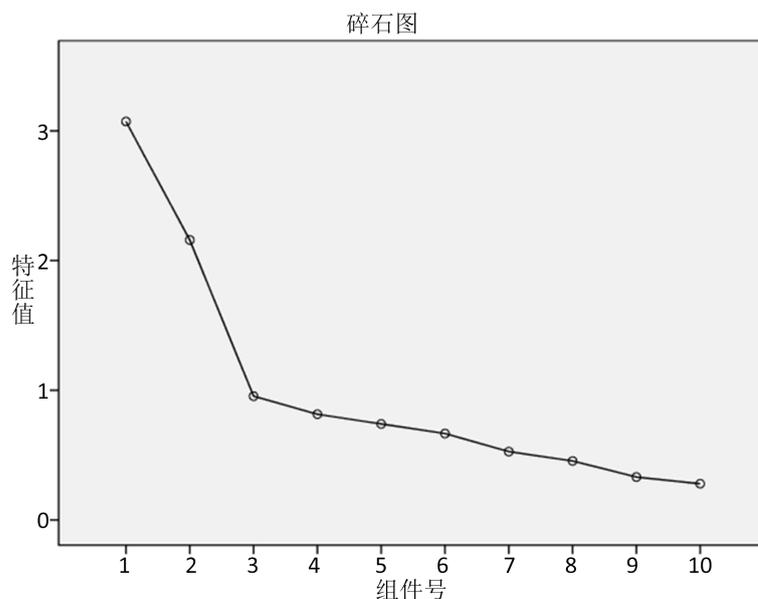


Figure 4. Scree plot

图 4. 碎石图^④

成份矩阵见表 6, 可见成份一中“机械”数值为-0.803, “单一功能”数值为 0.727, 这两个情感因素的绝对值最高, 可知消费者最为看重“机械”与“单一功能”; 其中, “机械”因素最受消费者重视, 这可能是由于患者希望通过机械性的缓和运动来恢复踝关节; 在成份一中, 消费者对“硬挺”、“操作简单”的重视程度也较高, 其数值分别为 0.721 和 0.719。在成份二中, 消费者最看重“单一颜色”和“淡雅”, 其数值分别为 0.817 和 0.775, 这符合患者对颜色的情感结构, 偏爱淡雅且单一颜色的康复产品。

Table 6. Composition matrix table
表 6. 成份矩阵表

	主成分	
	1	2
机械的	-0.803	/
单一功能的	0.727	/
硬挺的	0.721	/
操作简单的	0.719	/
厚重的	-0.662	/
整体的	0.355	/
单一色彩的	/	0.817
淡雅的	/	0.775
硬朗的	/	0.619
透气的	/	0.597

4.4. 设计研究归纳

根据表 6 的统计分析结果, 最终将踝关节康复产品设计的感性需求缩小范畴至“机械”、“单一功能”、“单一色彩”及“淡雅”。

1、机械功能: 用户在踝关节康复产品使用过程中, 更希望通过机械化、重复性的缓和运动来康复踝关节。

2、单一功能: 鉴于市面上多种多功能的踝关节康复产品, 用户更希望功能是单一的、精准的, 即实现踝关节康复功能。

3、颜色单色: 康复训练产品的色彩会在一定程度上起着刺激人心理和生理的作用, 使其产生共鸣。由于医疗康复产品需要体现专业且关怀的理念, 所以产品色彩只需要单色或者是同色系即可。

4、颜色淡雅: 踝关节康复产品的色彩应清新淡雅, 以传达出平静、理智、温暖的意象。

5. 结语

文章以前向式推论型感性工学原理为理论方法, 量化分析提取出产品的设计需求。首先收集大量踝关节康复人员、家属和康复师对于踝关节康复类产品的情感需求, 整理出十对意象词汇与五个踝关节康复产品的样本图片, 通过调查问卷得到用户对于产品样本在此感性词汇下的评分量表, 将定性的意象词汇转化为定量的数据[18]。获取用户对于踝关节康复产品的主要感性需求后, 根据这些感性词汇做针对性分析讨论, 研究出关于踝关节损伤后康复类产品的设计策略。这套策略不仅为踝关节康复产品的感性需求提供了合理的设计解决方案, 也为医疗康复类产品的设计提供了值得参考借鉴的策略和方法。

注 释

- ①图 1 来源：淘宝截图 <https://m.tb.cn/h.UAlpmyJ?tk=IMI8dskROzV>
<https://m.tb.cn/h.5aBCxhC?tk=OXsldskOxry>; <https://m.tb.cn/h.5afRWhP?tk=bF8ydskkwxI>
<https://m.tb.cn/h.5af8RzP?tk=IR9gdskkCLE>; <https://m.tb.cn/h.UAlt0js?tk=wTIdsklo4>
- ②图 2 来源：作者自绘
- ③图 3 来源：作者自绘
- ④图 4 来源：作者自绘

参考文献

- [1] 张俊佳. 基于用户体验的适老性手部康复训练产品设计研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 中原工学院, 2020.
- [2] 百度文库. 十三五时期中国大健康产业发展前景的深度分析[EB/OL].
<https://wenku.baidu.com/view/e898a626f6335a8102d276a20029bd64783e62a6.html?fr=sogou& wkts =1692880395255>, 2017-11-02.
- [3] Blaya, J. and Herr, H. (2004) Adaptive Control of a Variable-Impedance Ankle-Foot Orthosis to Assist Drop-Foot Gait. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, **12**, 24-31.
<https://doi.org/10.1109/TNSRE.2003.823266>
- [4] Xie, S.Q. and Jamwal, P.K. (2011) An Iterative Fuzzy Controller for Pneumatic Muscle Driven Rehabilitation Robot. *Expert Systems with Applications*, **38**, 8128-8137. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.154>
- [5] Takemura, H., Onodera, T., Ming, D., et al. (2012) Design and Control of a We Arable Stewart Platform-Type Ankle-Foot Assistive Device. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, **10**, 12-17.
- [6] Park, Y.L., Chen, B.R., Young, D., et al. (2011) Bio-Inspired Active Soft Orthotic Device for Ankle Foot Pathologies. 2011 *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, San Francisco, 25-30 September 2011, 4488-4495. <https://doi.org/10.1109/IROS.2011.6094933>
- [7] Park, Y.L., Chen, B.R., Pérez-Arancibia, N.O., et al. (2014) Design and Control of a Bio-Inspired Soft Wearable Robotic Device for Ankle-Foot Rehabilitation. *Bioinspiration & Biomimetics*, **9**, Article ID: 016007.
<https://doi.org/10.1088/1748-3182/9/1/016007>
- [8] Sarma, T., et al. (2020) Development of Active Ankle Foot Orthotic Device. *Materials Today: Proceedings*, **26**, 918-921.
- [9] 边辉, 汪琦, 刘晓, 等. 一种生物融合式踝关节康复机器人的设计[J]. 中国康复医学杂志, 2013, 28(7): 650-654.
- [10] Zhou, Z., Zhou, Y., Wang, N., et al. (2014) On the Design of a Robot-Assisted Rehabilitation System for Ankle Joint with Contracture and/or Spasticity Based on Proprioceptive Neuromuscular Facilitation. 2014 *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Hong Kong, 31 May-7 June 2014, 736-741.
<https://doi.org/10.1109/ICRA.2014.6906936>
- [11] 周聪. 可穿戴式绳驱动踝关节康复机器人设计研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- [12] 贾建云. 基于感性设计思维的老年人生活助手产品设计研究[D]: [硕士学位论文]. 齐齐哈尔: 齐齐哈尔大学, 2014.
- [13] 王洋, 王小雷, 邓曼玉. 基于感性工学的功能性婴幼儿服装设计研究[J]. 纺织导报, 2018(9): 88-91.
- [14] 李辉, 张淑红, 陈金周. 感性工学方法论及其在产品过程中的应用研究进展[J]. 湖南包装, 2016, 31(4): 23-27.
- [15] 百度文库. 感性工学在工业设计中的应用[EB/OL].
<https://wenku.baidu.com/view/563d548b33b765ce0508763231126edb6e1a764f.html?fr=sogou& wkts =1692880439934>, 2018-07-09.
- [16] 郑昕怡. 基于语义差分法的 421 家庭智能音箱外观设计[J]. 包装工程, 2020, 41(18): 132-138+171.
- [17] 高洋, 马东明, 钱皓, 智伟. 基于格式塔原理的系列文创产品设计研究[J]. 包装工程, 2020, 41(6): 115-122.
- [18] 郑震, 康红娜. 基于感性工学的物探人员失温防护设备设计研究[J]. 工业设计, 2022(12): 155-157.