

老年人人因工程研究热点的文献分析 及其产品设计启示

黄河¹, 臧勇²

(1.常州大学, 江苏 常州 213159; 2.浙江农林大学, 杭州 311300)

摘要: **目的** 梳理和分析近十年来面向老年人的人因工程研究内容和趋势, 并思考其对老年人产品设计的启示。**方法** 搜集人因工程领域的9本SCI/SSCI国际权威期刊上2011—2021年针对老年人的研究文献, 通过文献统计并利用可视化工具VOSviewer软件进行关键词共现和时间跨度的聚类分析, 掌握当前国际上老年人人因工程研究的热点和前沿, 分析和总结研究的方法、特点和趋势, 并思考当前热点和前沿对老年人产品设计的启发。**结论** 当前老年人人因工程研究秉持“以人为本、以用户为中心”的思想, 且与最新技术的联系日趋紧密, 研究内容和应用范围不断扩大, 研究技术和手段更为丰富, 学科交叉性更加凸显, 其国际热点主要集中在行为和任务绩效、产品和技术的使用、身心健康、摔倒风险和行动安全、姿势和劳作健康五个方面, 而新技术的接受、生理信号测量与虚拟技术的使用、认知与决策分析是新兴方向。面向老年人的产品设计应当重视老年人的安全和健康关切, 聚焦人机关系和人机分析, 考虑老年人的接受度和独特需求, 深入到老年用户的心理和情感层面, 进行更科学和精确的测试与评估, 从而提升设计品质。

关键词: 老年人; 人因工程; 研究热点; 产品设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)08-0299-13

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.08.031

Literature Analysis on Research Hotspots of Ergonomics for the Elderly and Enlightenment to Product Design

HUANG He¹, ZANG Yong²

(1.Changzhou University, Jiangsu Changzhou 213159, China;

2.Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

ABSTRACT: The work aims to sort out and analyze the research contents and trends of ergonomics for the elderly in recent ten years, and think about its enlightenment to product design for the elderly. Research literature on the elderly in 9 SCI/SSCI international authoritative journals in the field of ergonomics from 2011 to 2021 was collected. Keyword co-occurrence and time span cluster analysis was conducted through literature statistics with visualization tool VOSviewer. The current international hotspots and frontiers of ergonomics researches on the elderly were mastered. The research methods, characteristics and trends were analyzed and summarized and their enlightenment to product design for the elderly were taken into consideration. At present, ergonomics on the elderly stick to the idea of "people-oriented and user-centered" and the relationship between ergonomics and the latest technology is becoming closer. The research content and application scope have been continuously expanded, the research technology and means have become richer, and the intersection of disciplines has become more prominent. The international hotspots of ergonomics for the elderly mainly focus on five aspects: behavior and task performance, use of products and technologies, physical and mental health, fall

收稿日期: 2022-11-22

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(21YJC760029)

作者简介: 黄河(1983—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为适老化设计、人因工程研究。

通信作者: 臧勇(1974—), 男, 硕士, 教授, 主要研究方向为信息与数据可视化研究。

risk and action safety, posture and work health. The acceptance of new technologies, the use of physiological signal measurement and virtual technology, cognition and decision analysis are the new directions. The product design for the elderly should pay attention to the safety and health concerns of the elderly, focus on human-computer relations and human-computer analysis, consider the acceptance and unique needs of the elderly, go deep into the psychological and emotional levels of the elderly users, and adopt more scientific and accurate testing and evaluation, so as to improve the quality of design.

KEY WORDS: the elderly; ergonomics; research hotspots; product design

人因工程学，英文常译为“Ergonomics”，也被称为人机工程学或人类工效学。它作为一门注重生产和生活中“人”的要素，以优化人（或组织）与机器（或产品）乃至环境的关系、提升绩效为目标的交叉学科^[1]，在以用户为中心的体验经济时代越来越受到设计与研发部门的重视。由于老年用户生理和心理的特殊性，人因工程研究对当前适老化设计的重要性更加凸显，对产品与服务能否被用户更好地接受和使用提供了人本和科学的研究视角。部分学者对当前国内外人因工程研究的现状和热点进行了探讨，然而专门针对老年人群的相关研究却鲜见。因此，本文力求通过系统梳理和分析国际上针对老年人的人因工程研究热点和前沿，总结当前老年人人因研究的方法、特点和趋势，并思考其对老年人产品设计的启发，为与老年人相关的人因和设计研究提供参考与指导。

1 文献来源和统计分析

1.1 文献来源

本研究的数据来源于 Web of Science 数据库核心合集。选取了 9 本人因工程领域的 SCI/SSCI 双检索国际权威期刊^[2]（见表 1）作为研究样本，检索与老

表 1 选取的 9 本人因工程领域的国际权威期刊
Tab.1 9 international authoritative journals selected in the field of ergonomics

序号	期刊名称	影响因子*	JCR 分区
1	Applied Ergonomics	3.661	Q1
2	International Journal of Human-computer Studies	3.632	Q1
3	International Journal of Human-computer Interaction	3.353	Q1
4	Behaviour & Information Technology	3.086	Q1
5	Human Factors	2.888	Q1
6	Ergonomics	2.778	Q1
7	International Journal of Industrial Ergonomics	2.656	Q2
8	Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries	1.722	Q2
9	Interacting with Computer	1.174	Q2

注：*期刊影响因子数据为 2020—2021 年度

年人相关的文献。在搜集文献时，为避免对“老年人”一词不同英文表述的影响，力求更为全面，以“elderly、elderly people、older adults、older-adults、aging、ageing”为关键词，时间跨度设定为 2011—2021 的十年，经筛选，共计检索到 1 007 篇文献。数据下载日期为 2021 年 12 月 21 日。

1.2 文献统计分析

1.2.1 年度发文量统计

通过对文献数量的统计可以看出：近十年来，国际上人因工程领域针对老年人的研究数量呈不断上升的状态。伴随世界范围内人口老龄化程度的加剧和老年用户群体的激增，可以预见，研究数量的增长趋势仍将持续，老年人人因工程会得到更多学者的关注，见图 1。

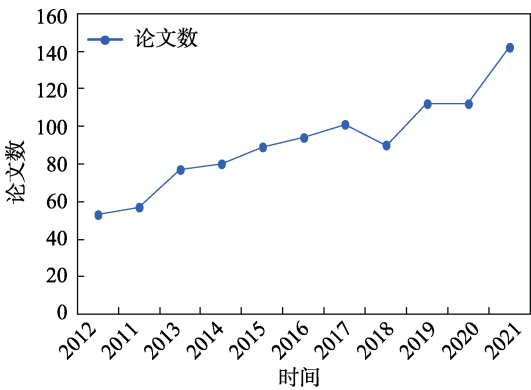


图 1 近十年针对老年人的人因工程研究年度发文量统计（2011—2021 年）

Fig.1 Statistics of annual research documents on ergonomics for the elderly in recent ten years (2011—2021)

1.2.2 发文国家/地区和学科分布

利用 Web of Science 分析搜索结果，根据发文国家/地区排序，可以看出针对老年人的人因工程研究已经引起了全世界范围内的共同关注，尤其是美国、英国、澳大利亚、德国、加拿大、西班牙、荷兰、法国等西方国家，以及中国、韩国、日本等亚洲国家，发文量较高，我国位居前列（见图 2）；这与我国当前面临的老龄化迅速加剧有很大关系，人口老龄化问题已成为了社会的重大关切，老年人人因工程研究得

到了来自国内不同科学学者的充分重视。此外, 根据 Web of Science 的类别分析还可以看出研究学科的大致分布, 研究学科的主体是人因工程学、人机工程学、工效学, 学科背景涉及较多的有: 工业工程、应用心理、计算机科学、控制论、心理学、行为科学、心理学跨学科和工程制造等 (见图 3)。这也从侧面说明交叉学科——人因工程中针对老年人的研究, 其发展和深入同样有赖工程、心理、设计等不同学科的交叉融合。

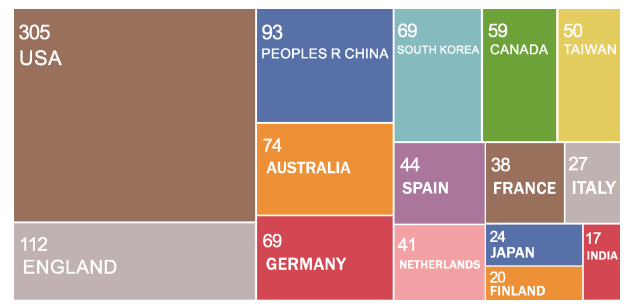


图 2 主要发文国家/地区树状图
Fig.2 Tree map of main countries/regions of published articles
(摘自 Web of Science)

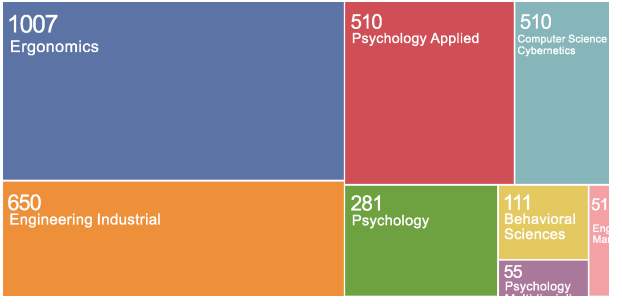


图 3 主要发文学科树状图
Fig.3 Tree map of main disciplines of published articles
(摘自 Web of Science)

1.2.3 高频被引文献分析

在 Web of Science 中将文献根据被引频次排序后, 统计出被引频率较高的前 10 篇文献, 见表 2。可以看出: 高被引文献较多地集中在 2015 年之前, 近几年的高被引文献相对较少, 健康、新技术接受和使用、用户绩效、记忆、驾驶等是经常涉及的研究主题, 利用年龄对被试者进行分组, 对老年用户和年轻用户进行比较也是常用的研究方法。

表 2 高频被引文献信息 (2011—2021 年)
Tab.2 High frequency cited literature (2011-2021)

序号	论文标题	作者	时间	被引
1	Understanding the new digital divide-A typology of Internet users in Europe	Brandtzaeg, Petter Bae 等	2011	163
2	Sensitivity of Physiological Measures for Detecting Systematic Variations in Cognitive Demand From a Working Memory Task: An On-Road Study Across Three Age Groups	Bruce Mehler 等	2012	148
3	Socially Assistive Robots in Elderly Care: A Mixed-Method Systematic Literature Review	Kachouie, Reza 等	2014	146
4	Gerontechnology acceptance by elderly Hong Kong Chinese: a senior technology acceptance model (STAM)	Chen Ke 和 Chan AHS	2014	141
5	Sharing Control With Haptics: Seamless Driver Support From Manual to Automatic Control	Mark Mulder 等	2012	130
6	Prevalence of musculoskeletal symptoms in relation to gender, age, and occupational/industrial group	Widanarko Baiduri 等	2011	101
7	Health monitoring through wearable technologies for older adults: Smart wearables acceptance model	Li Junde 等	2019	91
8	Personal and other factors affecting acceptance of smartphone technology by older Chinese adults	Ma Qi 等	2016	84
9	The patient work system: An analysis of self-care performance barriers among elderly heart failure patients and their informal caregivers	Richard J. Holden 等	2015	84
10	A Field Study on the Impact of Variations in Short-Term Memory Demands on Drivers' Visual Attention and Driving Performance Across Three Age Groups	Bryan Reimer 等	2012	79

2 老年人人因工程研究热点和前沿分析

2.1 研究热点分析

关键词是某一领域研究内容和方法的浓缩。关键词的频率高低能反映出研究热烈程度, 关键词的聚类分析则能反映出当前研究的大致方向和范畴。为避免英文表述的偏差, 本研究合并了 “older adults 和

older-adults、heart-rate 和 heart rate” 这样的相似关键词, 经过统计和归纳处理, 共得到老年人人因工程领域的高频关键词 32 个 (频次 ≥ 30), 见表 3。

同时, 将文献数据输入可视化工具 VOSviewer 软件, 进行关键词共现分析, 得到如图 4 所示的关键词共现聚类图谱。其中, 不同的颜色代表了依据关键词划分的聚类状态, 色块面积的大小表示关键词共现频率的高低, 线条的粗细则表示关键词之间联系的强弱。

表 3 高频关键词 (频次 ≥ 30)
Tab.3 High frequency keywords (frequency ≥ 30)

排名	关键词	频次	排名	关键词	频次	排名	关键词	频次
1	age	235	12	work	53	23	low-back-pain	38
2	performance	143	13	falls	49	24	acceptance	36
3	older-adults	113	14	impact	48	25	safety	36
4	health	93	15	risk-factors	46	26	posture	35
5	design	90	16	behavior	46	27	experience	34
6	aging	85	17	model	44	28	stress	33
7	ergonomics	58	18	task	44	29	disorders	32
8	musculoskeletal disorders	55	19	gender	43	30	walking	32
9	usability	54	20	fatigue	43	31	exercise	30
10	information	54	21	prevalence	40	32	systems	30
11	risk	54	22	technology	40			

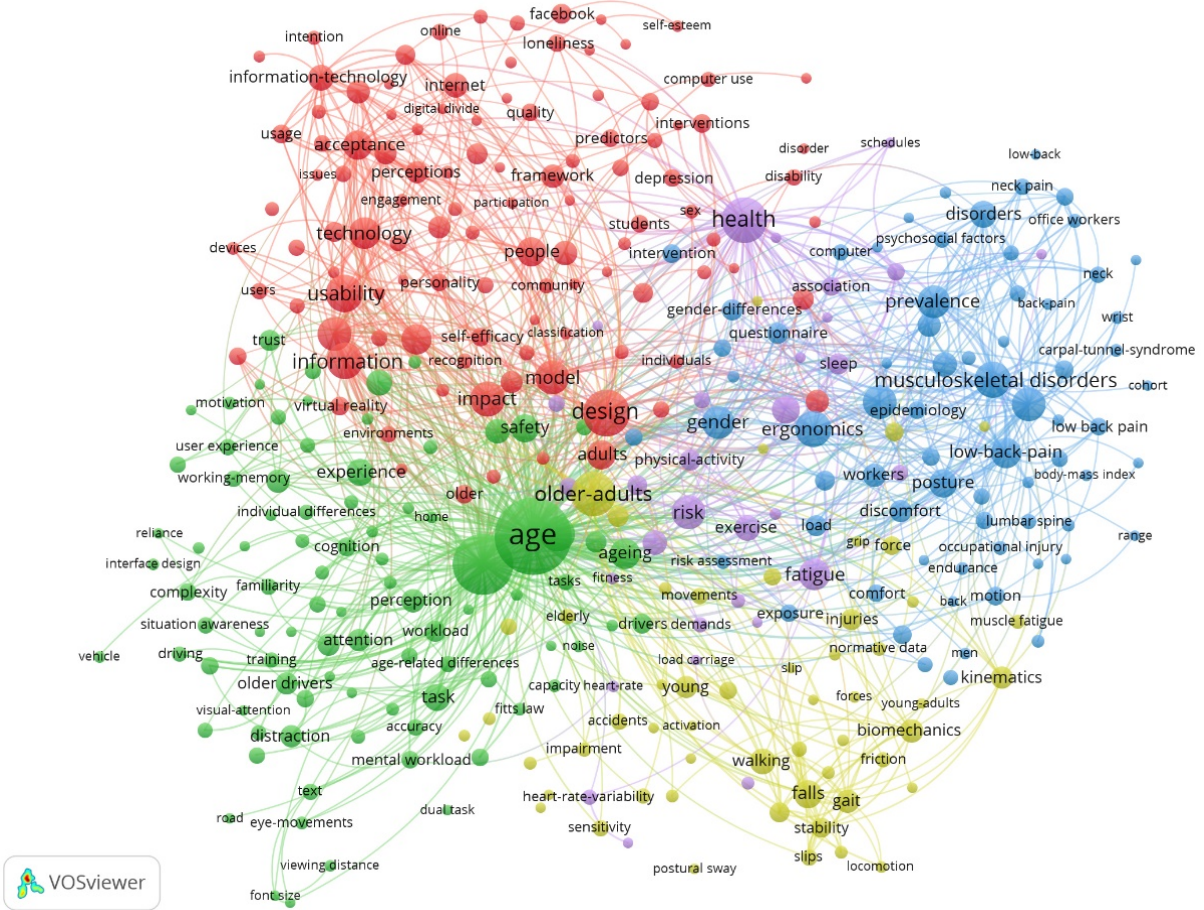


图 4 关键词共现聚类图谱
Fig.4 Clustering map of keyword co-occurrence

结合高频关键词的统计和关键词共现分析得出的聚类结果 (见表 3—4)，可以将当前国际上面向老年人的人因工程研究大致归纳为以下五个主要热点方向：

2.1.1 老年用户的行为、记忆力和任务绩效研究

该热点方向核心的关键词为“绩效、任务和行为”，围绕它们的高频关键词有“老化、年龄差异、

影响、记忆、理解、注意力、驾驶”等 (见图 4 中绿色部分)。

该热点比较常见的研究方式是通过任务测试与分析，尤其是将老年组与中青年组被试者进行比较 (实验通常用年龄作为区组变量)，来研究老化对用户绩效、行为、理解、记忆、注意力等方面的影响，从而为相关领域的人因与设计改进提供实证数据和

启发。例如:Aarts等^[3]比较了不同光照条件下,老年人和年轻人阅读药物标签时错误数量的差异,发现照明、标签类型、字体大小都会影响阅读错误率,且老年人比年轻人犯的错误更多;Zivotofsky等^[4]比较了年轻人和老年人对穿过马路所需时间的预估能力,发现老年人即使正确地评估了道路状况,也可能因为低估了穿过马路所需时间而危及安全;Cheong等^[5]比较了青年、中年、老年被试者使用鼠标为载体的目标运动能力的差异,发现年龄不仅影响手的灵巧度,也影响手指的点击速度。

需要注意的是:该方向还有一个比较集中的研究内容是针对老年驾驶员的行为、反应、策略和安全的研究。Ward等^[6]通过模拟实验研究了老年人在驾驶环境中的多任务处理能力;Hong等^[7]比较了老年和年轻驾驶员在接近十字路口时制动与停车反应的差异;Zahabi等^[8]的研究显示与中、青年驾驶员相比,老年驾驶员表现较差,控制策略也更为保守。在西方国家,老龄驾驶员的数量相当多。英国2012年的统计数据显示:60岁以上的司机就超过了1500万,80岁以上的司机超过100万^[9],所以有关老年人驾驶的研究开展很早。虽然目前国内老年驾驶员的比例不高,但我国在2020年出台的新驾考政策放宽了年龄上限,因此该部分的国外研究成果将更具有价值和借鉴意义。由于老年人群生理机能的普遍下降,老年人驾驶这一关乎交通安全的重要主题,其研究热度也将会一直保持。

综上所述,目前对老年用户行为、记忆力和任务绩效的研究,秉持了人因工程通过实验手段来获取数据进行量化分析的一贯特点,以任务测试的实证研究为主,偏重通过年龄分组的对照实验来获取用户绩效数据,探索老年人因为生理退化而产生的行为与表现差异,但受实验模拟性质的限制,同时所获数据也存在被试样本量的局限,未来结合大数据进行人因分析^[10]、在实际场景中的自然实验或提高测试场景的仿真度将会是解决途径。

2.1.2 老年人使用产品和技术的相关研究

该热点方向的研究内容大多与产品和技术的使用相关,其范围较广,涵盖了一般工业产品(如工具、日用品、家电、扫地机器人等)、信息通信产品(如电脑、手机、移动互联网等)及智能穿戴、健康监测设备、辅助生活技术等,部分研究还探讨了用户对环境和设施(如公园、厨房)的需求。核心关键词为“设计、模型和可用性”,围绕它们的高频关键词有“人体测量、信息、技术、互联网、包容性设计、电脑使用、界面设计、用户接受”等(见图4中红色部分)。

目前,研究对象以ICT(信息与通信技术)产品为主,目的是分析信息时代老年人接受和使用信息、通信和网络技术的障碍与困难,理解和消除“数字鸿沟”,促进信息技术更好地服务于老年人的数字化生

活与健康养老。

首先,在研究方法上以调查访谈、用户评价的统计分析、原型可用性测试为主,老年用户更多地参与到了可用性问题的讨论和评价当中,他们的反馈和偏好得到了较高的重视,这一点上也体现了人因学倡导的UCD理念^[1]。Vaziri等^[11]利用在线问卷和深入访谈调查了技术和社会认知因素对老年人使用健康信息技术的影响;Li和Luximon^[12]通过可用性测试和深入访谈研究了老年人对移动界面导航的使用,认为内容导向的导航设计更有利于老年人;Urbano等^[13]通过测试实验发现老年人更偏好拟物化的图形用户界面。部分研究引入了多元统计方法(如结构方程模型SEM)来分析和预测多种技术接受因素的相互影响。Mariano等^[14]利用多元统计分析了影响老年人技术接受的多种因素,并首次将刻板印象的威胁纳入了考量。其次,包容性设计是该热点中比较常用的理念,《Applied Ergonomics》就曾在2015年以包容性设计为主题开设一期专辑,探讨了包容性设计的历史、现状、方法和面临的挑战等^[15-17]。最后,还需要注意基础的人体测量仍是人因工程研究的重要组成部分,尤其是老年人群人体测量数据^[18]的获取和分析,对老年人产品与环境设施的设计至关重要。除了传统的人工测量方法,三维人体扫描技术^[19]也逐渐应用于老年人人体测量以提高效率和精度。

如前文所述,对老年人使用产品和技术围绕着包容性设计理念进行研究,近年来对信息技术和数字产品的关注居多,主要通过用户访谈和可用性测试分析技术时代老年用户的使用问题和偏好,定性与定量研究相结合,追求客观实证,用户参与可用性研究的介入程度加深,其重要性日益凸显。同时,人体测量和数据更新等基础人因研究并未停滞,新的人体测量技术提升了老年人人体测量的效率和精度,可为后续与老年相关的各项研究提供更准确的基础性数据。

2.1.3 与老年人身心健康相关的研究

该热点方向的核心关键词为“健康、压力、疲劳和锻炼”,围绕它们的高频关键词有“睡眠、疾病、痴呆、肥胖、心理行为、干预、护理、力量、管理”等(见图4中紫色部分),相关研究不仅关注老年人的生理健康,也探讨了老年人的心理健康。

一方面,在生理健康上,主要研究两个部分:一是辅助技术和工具对改善老年人生理退化问题的帮助、对疾病(如视觉障碍、高血压、心力衰竭、老年痴呆)症状的缓解、对老年人用药管理和自我护理的影响等;二是肥胖和锻炼对老年人生理机能(主要是肌肉力量)的影响。研究方法主要分为两类:一类是以实验的方式通过数据分析生理老化对机能的影响或评估干预技术手段的提升效果,例如:Cavuoto和Nussbaum^[20]通过实验发现肥胖老人虽然肩关节力量有所提高,但耐力下降明显;Kim和Cho^[21]开发了采

用经皮神经电刺激疗法 (TENS) 的智能保健手套来治疗老年患者的高血压并验证了产品的有效性; 另一类是用深度访谈了解老年人的健康问题与用户需求, 例如: Caldeira 等^[22]通过访谈研究了患有多种慢性病 (MCC) 老年人的自我护理和健康管理策略。

另一方面, 在心理健康上, 研究以减少老年人孤独感、压力、抑郁、焦虑等负面情绪, 促进社交与积极情绪的培养为主。其中, 围绕新冠肺炎疫情这样的突发公共卫生事件对老年人群心理的影响, 人因学者也开展了相关研究, Kayis 等^[23]利用自我报告形式的网络调查发现新冠疫情会导致老年人孤独感增强, 并可能引起精神健康状况下降; Fuss 等^[24]通过调查发现通过电脑端的媒介交流有益于疫情下老年人的身心健康, 并提高他们的社交能力。

此外, 近期研究还关注了老年人的 “e-health”, 即通过信息和网络技术来改善老年人的健康生活质量, 帮助他们就医、保健和康复管理等。例如: Kamalpour 等^[25]研究了在线社区对老年人的潜在益处, 揭示了在线社区对老年人从困境中恢复的促进作用; Srinivas 等^[26]针对慢性心力衰竭的老年人开发了健康应用程序, 并进行了专家评估与可用性测试。

基于上述研究可以发现, 目前的人因工程对老年人生理和心理健康都比较关注, 生理侧重实验分析方法, 心理以调查为常用手段主要针对负面情绪的缓解, 近期对如何利用互联网信息技术来影响老年人心理健康的关注度较高。在生理健康的测量上, 数据受实验样本量且跨国别、跨人种的研究较少的限制, 未来对不同地域人群的比较可能是突破; 心理健康的研究偏重访谈调查, 受访者的主观影响较大, 后续可与生理信号测量相结合, 以求测量数据更为客观、准确。

2.1.4 摔倒风险和行动安全的相关研究

该热点方向的研究聚焦于 “摔倒、滑倒、跌倒” 这类危及老年人人身安全的伤害与风险, 老年人的步态、稳定性、平衡控制、生物力学和运动学的相关研究均围绕这一中心展开。核心关键词为 “摔倒、步行、步态和稳定性”, 围绕它们的高频关键词有 “滑倒、伤害、意外、生物力学、平衡控制和运动学” 等 (见图 4 中黄色部分)。研究主要采用包含导致滑倒因素的模拟场景实验, 通过测力板、运动捕捉系统、肌电图等测量手段获取被试者的生理数据, 分析不同因素、方式与状态对老年人摔倒风险的影响。

首先, 由于摔倒与人体的足部和下肢关系最为密切, 不少研究专注于分析足部运动学、鞋垫设计、地面摩擦及下肢肌肉力量对老年人摔倒的影响。Allin 等^[27]研究了行走时足部运动学与滑倒之间的关系, 发现存在两个可修改的足部运动学特征能提高避免跌倒的可能性; Qu^[28]研究了不同类型鞋垫对老年人姿势稳定性的影响, 发现静态姿势稳定性不受鞋垫的影响, 而杯状鞋垫和刚性鞋垫具有更好的动态姿势稳定

性; Kleiner 等^[29]研究了地板对赤脚步态的影响并发现在相似的步速下, 老年被试者可能会因为足底敏感度的下降, 在脚趾离开阶段需要较高的摩擦系数。

其次, 虽然实验中一般都会采用安全措施来保护被试者 (如使用安全带), 但部分实验由于风险较高, 所以使用中青年被试者来进行测试。例如: Zamora 等^[30]运用中年女性被试者的行走实验得出了兼顾安全性与舒适性的地面最佳摩擦系数范围, 可以帮助地砖行业制定和选择最佳解决方案; Qu 等^[31]使用年轻被试者分析了滑倒后恢复平衡成功与失败两种状态下的下肢肌肉反应的差异, 研究结果有助于制定预防老年人摔倒的指导方针。

综上所述, 当前对老年人摔倒和行动安全的人因研究以降低老年人摔倒风险和提高安全系数为目的, 力图提供数据支持或进行干预手段的验证, 偏重使用模拟实验来获取生理测量数据, 启发相关的人因和设计改进或用以比较不同的方案; 部分风险高的实验采用中青年被试者替代老年被试者, 但同时也影响了实验的针对性和数据的准确性, 通过诸如 VR 技术让老年人利用可穿戴设备在虚拟现实参与测试^[32], 也许是未来研究的发展方向; 此外, 目前研究主要关注引起摔倒的物理因素 (如鞋垫、地面摩擦等), 对可能引起老年人摔倒的个人主体和其他场景因素 (如晕倒、下肢乏力、风险预判、光线和照明、台阶高度、障碍物等) 研究不足, 亟待拓展; 对引起摔倒的多种因素进行综合分析也将会是研究趋势。

2.1.5 与劳动、作业和姿势相关的职业健康研究

该热点方向主要是针对老年人在劳动、不同工种和作业及姿势中的职业健康研究。核心关键词为 “肌肉骨骼伤病、疼痛、劳动、工作和工效学”, 围绕它们的高频关键词有 “肌肉骨骼损伤、下腰痛、脖子痛、脊柱症状、体力、举重、姿势和职业健康” 等 (见图 4 中深蓝色部分)。

其中, 像抬举物品、重复的肢体活动、躯干弯曲这样的体力劳动对老年人生理机能的要求和身体的损伤都比脑力劳动高, 因此成为了该方向研究的重点。研究方法大多数为工作状态或模拟工作状态下的任务测试实验, 以获取相关的测量数据 (包括表面肌电信号、运动捕捉数据、姿势持续时间、力量测量值等)。Song 和 Qu^[33]发现在提举任务中, 老年人在开始时的躯干屈曲更低, 倾向于使用更安全的举重策略; Claudon 等^[34]的研究发现灵活的时间限制可以提高老年装配工人的生产绩效并降低生物力学负荷; Vazirian 等^[35]的研究则发现老年人的腰椎在躯干屈曲运动中的作用较小。部分研究还运用了老年员工工作负荷和症状的自我报告, 如 Liu 等^[36]通过老年工人自我报告形式的问卷调查发现他们的肌肉骨骼伤病 (MSDs) 更严重。

此外, 对不同年龄组工人进行比较也是常用的研

为代表的信息产品的接受、使用与满意度上,部分研究也关注了智能穿戴^[39]、智能机器人^[40]等新兴产品。其中,香港城市大学的 Chan, A. H. S. 作为典型学者,一直致力于研究老年人对新技术的接受和使用问题。他结合技术接受模型理论(TAM)提出了老年人技术接受模型(STAM)^[41],并携团队研究了老年人对智能手机、平板电脑、智能穿戴等一系列产品与技术的用户接受问题,探讨了影响老年人技术接受的多种主、客观因素,如:身体机能、生活态度与满足感、社会关系、认知能力、健康状况、便利条件、技术焦虑、自我效能等^[42-44],其研究成果也成为了后续很多研究的参考文献,可见老年人使用新兴技术产品正在引起学界越来越高的重视。目前该领域的研究方法主要以问卷、访谈为主,统计学定量分析与定性分析相结合,理论模型主要以技术接受理论(TAM、TAM2、TAM3、UTAUT、UTAUT2)和社会认知理论(SCT)为基础^[11,45]。

值得注意的是,在科技加速更迭的当下,该部分研究成果的影响并不局限于人因领域,已拓展至信息科学^[46]、社会学^[47]、老年医学^[48]等相关领域;但由于目前的研究偏重用户主观反馈数据,对产品的使用绩效测试偏少,今后结合原型测试与用户主观评价来综合分析会是一个更合理的方向;此外,由于样本量的限制,调查数据大多数局限于一地或一部分人群,数据受人口统计学和个体因素(如教育程度、文化水平分布、计算机使用经验等)的影响较大,后续结合大数据开展研究也是更为科学的方向。

2.2.2 新测量手段和虚拟技术应用于老年人人因研究

一方面,近年来兴起的神经人因学使人因工程研究在传统方法之外有了新的途径。老年人人因研究中眼动、脑电(EEG、ERP)、肌电(EMG)、心率等生理信号的测量手段同样被逐渐使用了起来。

通过总结发现:首先,当前眼动和脑电主要用以分析老年人在网站、电子信息设备上的数字阅读表现及研究老年人驾驶行为^[49-50];肌电主要用以研究老年人的肌肉活动限制和肌肉骨骼损伤,像爬楼梯、体力劳动、意外滑倒等这些生物力学和运动学问题^[51-52];心率则主要用以分析老年人的心理负担和感知疲劳等^[53-54]。

其次,与传统的人因测量方法(诸如任务绩效和用户评价)相比,这些研究手段能从更加客观的角度利用生理数据分析老年人的人机问题、信息加工机制和因年龄不同表现出的差异,并且这些生理测量手段还有着对老年被试者的样本数量要求低的优势。综合了生理信号测量和主观评价的研究方式也逐渐展开,会更为全面和科学。相信伴随着老年人人因研究的趋热,未来这些生理信号测量技术的应用范围还将进一步拓展。

最后,像增强现实(AR)、虚拟现实(VR)这

样的新兴技术也被尝试应用于老年人人因研究,目前还处于初步的探索阶段,主要是用于增强用户体验^[55]、模拟相关场景与环境以评估用户的反馈^[56]。未来,虚拟技术对在危险情境(如摔倒、驾驶、逃生)中老年人的反应及应对^[32]、老年人的数字娱乐^[57]上的研究会更有潜力。与此同时,应当注意诸如AR、VR这样的新兴技术的使用,还需要充分考量老年人的接受度问题^[39],包括老年人是否更愿意与虚拟环境交互,如何以更易用、舒适和老年人喜爱的方式将这些技术融入人因测评和生活,以及比较老年人在虚拟环境和现实环境中的表现差异,都是值得深入的方向。

2.2.3 对老年用户的感知、认知和决策机制的分析

与认知科学越来越紧密地结合是当前人因工程研究的新趋势之一^[2],这一点在面向老年人的人因工程研究中也得以体现,主要集中在研究老年人的认知障碍、对信息(图像、信号、刺激)的感知和识别、对不同情境的认知特点、问题与决策等方面,其中,老年用户的信息加工方式、模式识别、注意、工作记忆、反应时间及影响因素等是经常切入的研究角度。研究方法以调查访谈、自我报告、用户任务测试、认知任务分析为主。目的是剖析老年人的认知机理,并尝试利用各种设计和技术手段来改善老年人的认知问题。Manca等^[58]通过游戏实验调查了轻度认知障碍的老年人与仿人机器人和平板电脑的交互,发现老年人对机器人表现出更高的热情和参与度;Kwee-Meier等^[59]调查了在模拟客船倾斜的紧急情况下,数字标识对老年人逃生决策和偏好的影响,发现老年人的决策更依赖于标识不断更新所提供的综合信息;Zhang等^[60]将传统的认知任务与乒乓球运动游戏相结合,研究其对老年人认知抑制训练的有效性,发现老年人在玩游戏后的认知任务测试中表现更好。

如上所述,目前对老年用户感知、认知和决策的研究方法比较丰富,通常主客观相结合,既有访谈与自我报告,也有任务测试和分析,偏重在信息感知和处理及情境决策并逐步应用于人机交互领域。未来,该部分还应当在人机交互、人机系统乃至人与智能体的交互和协作研究中进一步拓展,比如结合脑科学测量技术(EEG、ERP、fMRI、fNIRS等)、脑机交互技术来分析用户感知、识别和认知机理,深入到人的神经内部层面上了解人机交互时人的信息加工机制;同时,结合认知心理学进一步展开人机系统研究也是需要深入的方向;此外,还可包括进一步利用认知计算建模(PMJ)进行复杂的认知模拟和预测研究。

3 当前老年人人因工程研究的总结

通过分析当前老年人人因工程研究的热点和前沿,可以看出研究数量和质量都在不断提升,研究深度和广度也在不断拓展,总体上呈现出以下几个主要

特点和趋势: 一是“以人为本、以用户为中心”的研究思想贯穿始终。当前研究的目标都是为了老年人的福祉 (well-being), 满足他们安康、舒适、愉悦、满意度等多层级需求, 因此会聚焦于身心健康、摔倒风险和行动安全、新技术和产品的接受与使用等这些老年人比较重视的主题。二是研究内容和应用范围不断扩大, 与最新技术的联系日趋紧密。研究内容从基础性的人体测量、人机关系和作业分析, 到健康和安全、用户认知与决策分析、人机交互, 再到由于新的人机关系所带来的自然用户界面、自适应界面甚至包括对人工智能引发的人机信任和伦理的再思考; 研究对象则涵盖了一般生活物品、辅助设施和工具、计算机、互联网信息技术产品、健康监测设备等, 并开始关注科技快速更迭下的人工智能、机器人等新领域。三是研究技术和手段更为丰富, 呈现多样化的研究方法。除了传统人因研究常用的绩效实验和调查访谈, 正着

力结合当前的各种主流技术和手段 (生理信号测量、虚拟技术、仿真模拟、多模态传感技术、认知计算建模、情感计算、大数据等) 探索更为客观和精准的人因要素分析。以量化数据为基础、主客观分析相结合, 还包括多种测量手段和研究方法的并用与相互参照都是发展趋势。四是不同专业背景的相关研究聚焦老年人因, 学科交叉性更加凸显。在老年人因领域, 人因工程学科的多学科交叉融合特征也体现得十分明显: 老年人因相关研究的学者涵盖了心理学、统计学、信息工程、计算机科学、工业工程、设计学、社会学、行为科学、管理学甚至老年医学和生命科学等众多不同学科背景, 可见, 人因工程所倡导的用户中心理念已被其他学科广泛认可、分享并付诸实践。

整合前述梳理和系统分析, 汇总出当前老年人人因工程研究的主要热点分布、对象与载体、手段和技术、相关学科和未来拓展方向, 见图 6。

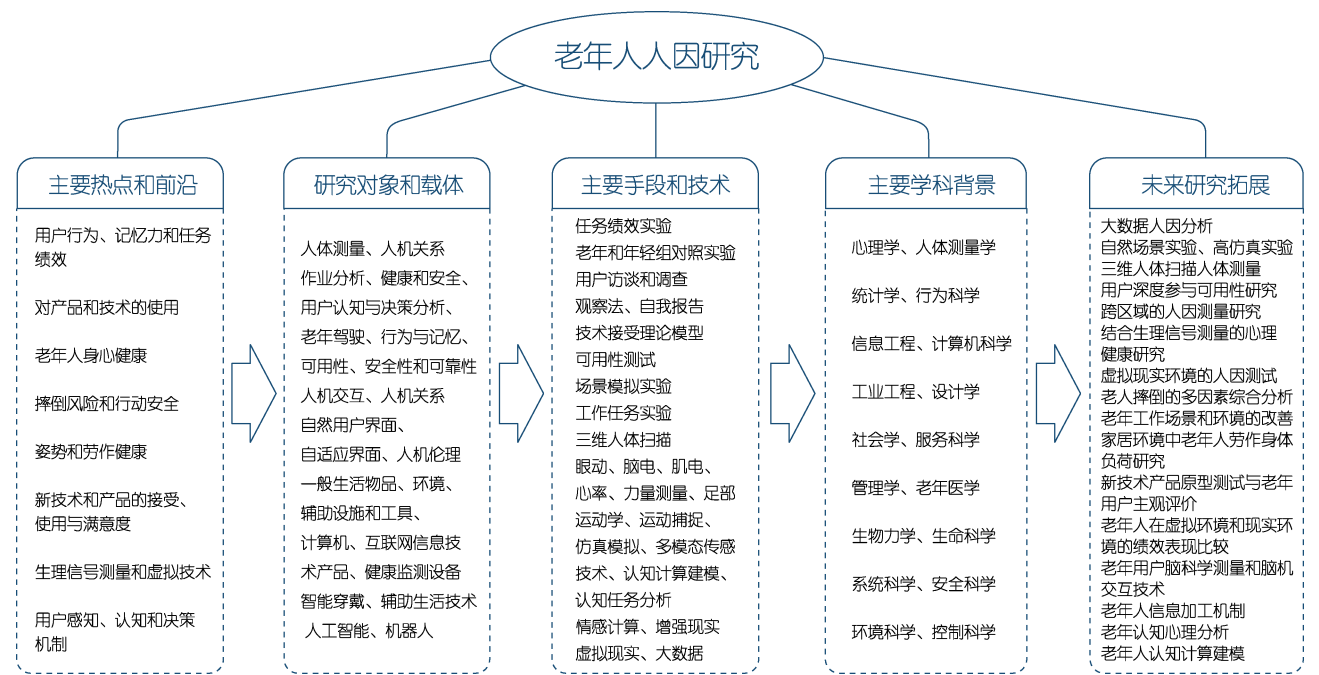


图 6 老年人人因研究的汇总

Fig.6 Summary of research on ergonomics on the elderly

4 当前老年人人因工程研究对老年人产品设计的启示

作为产品设计的重要支撑点或组成部分, 人因要素深刻影响甚至决定着产品设计的方向。用户需求、人机关系、交互行为和过程、用户体验等都是人因工程和产品共同聚焦的重点, 追求安全、合理和舒适也是两者相同的目标。当前老年人人因工程的研究可为老年人产品的设计提供从内容到方法的启发和指引, 主要体现在以下几个方面。

4.1 安全与健康是老年人产品设计的重要主题

安全与健康不仅是老年人人因工程研究的重点

内容, 也是老年用户最关注的核心需求。健康一直是老年人群最为关心的热门话题, 渴望长寿和健康是所有老年人共同的期望, 同时安全也是老年人产品基础的要求之一。这就需要设计师以提升老年人身心健康和人身安全为目标, 通过多种角度和途径去开发相应的产品。例如: 像公共健身器材这类能够锻炼老年人肌肉力量的产品, 设计时需要充分考虑其安全性, 避免老年人在产品使用过程中出现受伤或意外; 又例如: 设计师应当多关注老年人的睡眠质量、身体疲劳、疾病康复、摔倒的预防和及时地报警与救助等方面, 利用人工智能技术或者最新的传感技术, 去开发相应的老年人健康和安全管理产品。

4.2 基础性的人机分析仍是产品设计的重要方面

当前,人机关系早已由最初的人与机器交互(HMI)转向人与计算机交互(HCI),正逐渐向人与智能体交互演进(HAI)^[61],但无论产品和技术如何更新,其目标都是更好地为人服务和被用户使用。因此,以人为本的设计中心不会变,这其中基础性的人机分析必不可少。对老年人产品设计而言,首先,需要基础的人体测量数据,比如身高、眼高、坐高、四肢长、手指长度、体重等,以利于相关产品的尺度开发,但是我国成年人人体尺寸的测量相对滞后,针对老年群体的人体测量数据匮乏,急需更新;其次,对老年人力量、稳定性和操作精确度等的人机分析也十分重要,这些都会影响用户体验,甚至关乎错误率和操作安全;最后,虽然我国缺乏老年人职业健康方面的研究,但是对作业姿势和舒适度的分析仍然至关重要,因为老年人在生活中还会有很多劳作,比如照看小孩、清洁卫生、洗衣服等活动都需要弯腰,有时还需要采用下蹲这类困难的姿势,这些都反映出老年人更需要精心的人机关系设计,例如可以开发更方便老年人剪脚指甲的指甲刀^[62]。

4.3 设计创新需量体裁衣,考虑老年人接受度和需求

老年人产品设计需要量体裁衣,充分地考虑老年用户的特殊性,满足他们的需求。在当前新技术不断更新的科技浪潮和新产品层出不穷且更迭周期变短的背景下,产品的设计研发不应只关注于新技术带来的功能和创新,而忽视了老年人学习、认知、记忆和反应能力的下降。现实中,一些所谓的智能产品设计并没有得到老年人的认可和接受,反而给他们带来困扰,实际上很多时候老年人并不需要那么多的新功能,对产品的“智能”程度并不要求很高,也更希望与实体界面的交互,能对产品的运行过程有掌控感及由此产生安全踏实感^[63]。同时,人因学的研究表明:教育经历、社会支持、经济财力、健康状况等因素都会影响老年人对新技术的接受^[41],这一点也需要引起设计师注意,应当对不同背景的老年人群进行用户细分和有针对性的产品定位,也包括使用大数据更精准地把握目标用户群体的需求和偏好。此外,产品设计还应深入剖析老年人的需求细节,探寻用户痛点,开发真正属于他们想要的功能,提升用户满意度。

4.4 设计需要由用户的生理层面深入到心理层面

近年来,情感因素在老龄化研究中的重要性不断提高,这一点在老年人人因工程研究中也表现为以生理为主的人机工效正扩展到包含用户心理的认知与情感分析领域,真正由“人机”(Ergonomics)转向“人因”(Human Factors)。同样,产品设计中老年人情感需求应当引起设计师和研究者的重视。在要求产品满足安全性、有用性、易用性的基础上,老年用户还希望产品能带来情感上的愉悦、关怀、慰藉、共

鸣和促进沟通等^[64]。产品设计活动需要不断深入老年用户的心理层面,全方位地探析老年人群的一般心理(如:怀旧、怕孤独、希望被尊重等)及其不同生活阶段、健康状况和身体能力细分的老年人群(如:空巢老人、轻、中、重度失能老人)的心理,有针对性地设计开发相应的产品、功能乃至服务,也包括不断利用信息技术和网络产品来提升他们的社交能力。另外,还应当借鉴人因工程的研究手段,通过主观的自我报告与客观的实验测试相结合来掌握老年用户对技术与产品的偏好、接受度及情绪上所受影响,探究其背后的心理因素、动机、认知和决策机制,为产品的情感化设计提供指导。

4.5 设计过程需要更科学和精确的测试与评估

以往,产品设计活动对产品测试与评估的重视程度没有用户调研与分析、概念构思和方案设计高,其测评过程和方法也相对简单。尽管从学科性质来讲,人因工程或者人机工程研究一般不独立地设计开发具体产品,但是却最擅长通过测试和实验方法来分析产品的可用性,其实验设计和技术手段也更为科学合理,这一点值得产品设计去借鉴,除了一般常使用的任务绩效测试(含任务完成时、完成率、错误率等指标),新兴的生理信号测量手段如眼动、脑电、肌电、心率、动作捕捉技术等,都可以应用于产品的可用性测试与评估、设计方案的优劣比较等,甚至还可以考虑在虚拟现实或增强现实中进行产品的测试评估,以便更科学和准确地掌握产品开发中的优缺点和设计重点。

5 结语

老年人人因工程的研究为适老化产品设计提供了更为扎实的用户研究基础,有利于产品研发更为科学和合理。掌握当前老年人人因工程的研究热点和前沿,可以为老年人产品设计提供启发和指引。面向老年人的产品设计应当重视老年人的安全和健康关切,聚焦人机关系和人机分析,考虑老年人的接受度和独特需求,深入到老年用户的心理和情感层面,进行更科学和精确的测试与评估,从而提升设计品质。

参考文献:

- [1] 许为,葛列众.人因学发展的新取向[J].心理科学进展,2018,26(9):1521-1534.
XU Wei, GE Lie-zhong. New Trends in Human Factors[J]. Advances in Psychological Science, 2018, 26(9): 1521-1534.
- [2] 陈善广,李志忠,葛列众,等.人因工程研究进展及发展建议[J].中国科学基金,2021,35(2):203-212.
CHEN Shan-guang, LI Zhi-zhong, GE Lie-zhong, et al.

- Research Progress and Development Suggestions on Human Factors Engineering[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2021, 35(2): 203-212.
- [3] AARTS M P J, CRAENMEHR G, ROSEMAN A L P, et al. Light for Patient Safety: Impact of Light on Reading Errors of Medication Labels[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2019, 71: 145-154.
- [4] ZIVOTOFSKY A Z, ELDROR E, MANDEL R, et al. Misjudging Their Own Steps: Why Elderly People Have Trouble Crossing the Road[J]. Human Factors, 2012, 54(4): 600-607.
- [5] CHEONG Y, SHEHAB R L, CHEN L. Effects of Age and Psychomotor Ability on Kinematics of Mouse-mediated Aiming Movement[J]. Ergonomics, 2013, 56(6): 1006-1020.
- [6] WARD N, GASPAR J G, NEIDER M B, et al. Older Adult Multitasking Performance Using a Gaze-Contingent Useful Field of View[J]. Human Factors, 2018, 60(2): 236-247.
- [7] HONG S, MIN B, DOI S, et al. Approaching and Stopping Behaviors to the Intersections of Aged Drivers Compared with Young Drivers[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2016, 54: 32-41.
- [8] ZAHABI M, MACHADO P, LAU M Y, et al. Driver Performance and Attention Allocation in Use of Logo Signs on Freeway Exit Ramps[J]. Applied Ergonomics, 2017, 65: 70-80.
- [9] KARALI S, MANSFIELD N J, GYI D E. An Approach to Vehicle Design: In-Depth Audit to Understand the Needs of Older Drivers[J]. Applied Ergonomics, 2017, 58: 461-470.
- [10] DRURY C G. Human Factors/Ergonomics Implications of Big Data Analytics: Chartered Institute of Ergonomics and Human Factors Annual Lecture[J]. Ergonomics, 2015, 58(5): 659-673.
- [11] VAZIRI D D, GIANNOULI E, FRISIELLO A, et al. Exploring Influencing Factors of Technology Use for Active and Healthy Ageing Support in Older Adults[J]. Behaviour & Information Technology, 2020, 39(9): 1011-1021.
- [12] LI Qing-chuan, LUXIMON Y. Older Adults' Use of Mobile Device: Usability Challenges while Navigating Various Interfaces[J]. Behaviour & Information Technology, 2020, 39(8): 837-861.
- [13] URBANO I C V P, GUERREIRO J P V, NICOLAU H M A A. From Skeuomorphism to Flat Design: Age-Related Differences in Performance and Aesthetic Perceptions[J]. Behaviour & Information Technology, 2022, 41(3): 452-467.
- [14] MARIANO J, MARQUES S, RAMOS M R, et al. Too Old for Technology? Stereotype Threat and Technology Use by Older Adults[J]. Behaviour & Information Technology, 2022, 41(7): 1503-1514.
- [15] JOHN CLARKSON P, COLEMAN R. History of Inclusive Design in the UK[J]. Applied Ergonomics, 2015, 46: 235-247.
- [16] CLARKSON P J, WALLER S, CARDOSO C. Approaches to Estimating User Exclusion[J]. Applied Ergonomics, 2015, 46: 304-310.
- [17] FLETCHER V, BONOME-SIMS G, KNECHT B, et al. The Challenge of Inclusive Design in the US Context[J]. Applied Ergonomics, 2015, 46: 267-273.
- [18] KAEWDOK T, SIRISAWASD S, NORKAEW S, et al. Application of Anthropometric Data for Elderly-Friendly Home and Facility Design in Thailand[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2020, 80: 103037.
- [19] SIMS R E, MARSHALL R, GYI D E, et al. Collection of Anthropometry from Older and Physically Impaired Persons: Traditional Methods Versus TC² 3-D Body Scanner[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2012, 42(1): 65-72.
- [20] CAVUOTO L A, NUSSBAUM M A. Differences in Functional Performance of the Shoulder Musculature with Obesity and Aging[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2013, 43(5): 393-399.
- [21] KIM R H, CHO G. Effectiveness of the Smart Healthcare Glove System for Elderly Persons with Hypertension[J]. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 2013, 23(3): 198-212.
- [22] CALDEIRA C, GUI Xin-ning, REYNOLDS T L, et al. Managing Healthcare Conflicts when Living with Multiple Chronic Conditions[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2021, 145: 102494.
- [23] KAYIS A R, SATICI B, DENIZ M E, et al. Fear of COVID-19, Loneliness, Smartphone Addiction, and Mental Wellbeing among the Turkish General Population: A Serial Mediation Model[J]. Behaviour & Information Technology, 2022, 41(11): 2484-2496.
- [24] FUSS B G, DORSTYN D, WARD L. Social Function and Psychological Wellbeing among Older Australian Users of Computer-Mediated Communication: Does Social Distancing Impact Use?[J]. Behaviour & Information Technology, 2022, 41(14): 3001-3012.
- [25] KAMALPOUR M, WATSON J, BUYS L. How can Online Communities Support Resilience Factors among Older Adults[J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 2020, 36(14): 1342-1353.
- [26] SRINIVAS P, CORNET V, HOLDEN R. Human Factors Analysis, Design, and Evaluation of Engage, a Consumer Health IT Application for Geriatric Heart Failure Self-Care[J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 2017, 33(4): 298-312.
- [27] ALLIN L J, NUSSBAUM M A, MADIGAN M L. Feet

- Kinematics Upon Slipping Discriminate between Recoveries and Three Types of Slip-Induced Falls[J]. *Ergonomics*, 2018, 61(6): 866-876.
- [28] QU Xing-da. Impacts of Different Types of Insoles on Postural Stability in Older Adults[J]. *Applied Ergonomics*, 2015, 46: 38-43.
- [29] KLEINER A F R, GALLI M, ARAUJO DO CARMO A, et al. Effects of Flooring on Required Coefficient of Friction: Elderly Adult Vs. Middle-Aged Adult Barefoot Gait[J]. *Applied Ergonomics*, 2015, 50: 147-152.
- [30] ZAMORA T, ALCÁNTARA E, ARTACHO M Á, et al. Existence of an Optimum Dynamic Coefficient of Friction and the Influence on Human Gait Variability[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2011, 41(5): 410-417.
- [31] QU Xing-da, HU Xin-yao, LEW F L. Differences in Lower Extremity Muscular Responses between Successful and Failed Balance Recovery after Slips[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2012, 42(5): 499-504.
- [32] LAI C L, TSENG S Y, HUANG C H, et al. Fun and Accurate Static Balance Training to Enhance Fall Prevention Ability of Aged Adults: A Preliminary Study[J]. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 2013, 23(6): 517-527.
- [33] SONG Jia-hong, QU Xing-da. Effects of Age and Its Interaction with Task Parameters on Lifting Biomechanics[J]. *Ergonomics*, 2014, 57(5): 653-668.
- [34] CLAUDON L, DESBROSSES K, GILLES M A, et al. Temporal Leeway: Can it Help to Reduce Biomechanical Load for Older Workers Performing Repetitive Light Assembly Tasks?[J]. *Applied Ergonomics*, 2020, 86: 103081.
- [35] VAZIRIAN M, SHOJAEI I, AGARWAL A, et al. Lumbar Contribution to the Trunk Forward Bending and Backward Return; Age-Related Differences[J]. *Ergonomics*, 2017, 60(7): 967-976.
- [36] LIU H C, CHENG Ya-wen, HO J J. Associations of Ergonomic and Psychosocial Work Hazards with Musculoskeletal Disorders of Specific Body Parts: A Study of General Employees in Taiwan[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2020, 76: 102935.
- [37] GRUEVSKI K M, CALLAGHAN J P. The Effect of Age on in-Vivo Spine Stiffness, Postures and Discomfort Responses During Prolonged Sitting Expo-Sures[J]. *Ergonomics*, 2019, 62(7): 917-927.
- [38] HSIAO L P, CHO C Y. The Effect of Aging on Muscle Activation and Postural Control Pattern for Young and Older Computer Users[J]. *Applied Ergonomics*, 2012, 43(5): 926-932.
- [39] LI Jun-de, MA Qi, CHAN A H, et al. Health Monitoring through Wearable Technologies for Older Adults: Smart Wearables Acceptance Model[J]. *Applied Ergonomics*, 2019, 75: 162-169.
- [40] KHAKSAR S M S, KHOSLA R, SINGARAJU S, et al. Carer's Perception on Social Assistive Technology Acceptance and Adoption: Moderating Effects of Perceived Risks[J]. *Behaviour & Information Technology*, 2021, 40(4): 337-360.
- [41] CHEN Ke, CHAN A H S. Gerontechnology Acceptance by Elderly Hong Kong Chinese: a Senior Technology Acceptance Model (STAM)[J]. *Ergonomics*, 2014, 57(5): 635-652.
- [42] MA Qi, CHAN A H S, CHEN Ke. Personal and other Factors Affecting Acceptance of Smartphone Technology by Older Chinese Adults[J]. *Applied Ergonomics*, 2016, 54: 62-71.
- [43] MA Qi, CHAN A H S, TEH P L. Insights into Older Adults' Technology Acceptance through Meta-Analysis[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2021, 37(11): 1049-1062.
- [44] CHEN Ke, LOU V W Q, LO S S C. Exploring the Acceptance of Tablets Usage for Cognitive Training among Older People with Cognitive Impairments: A Mixed-Methods Study[J]. *Applied Ergonomics*, 2021, 93: 103381.
- [45] VASSLI L T, FARSHCHIAN B A. Acceptance of Health-Related ICT among Elderly People Living in the Community: A Systematic Review of Qualitative Evidence[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2018, 34(2): 99-116.
- [46] CAROUX L, CONSEL C, MERCIOL M, et al. Acceptability of Notifications Delivered to Older Adults by Technology-Based Assisted Living Services[J]. *Universal Access in the Information Society*, 2020, 19(3): 675-683.
- [47] ANGHEL I, CIOARA T, MOLDOVAN D, et al. Smart Environments and Social Robots for Age-Friendly Integrated Care Services[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(11): 3801.
- [48] CHU Li, CHEN H W, CHENG Pei-yi, et al. Identifying Features that Enhance Older Adults' Acceptance of Robots: A Mixed Methods Study[J]. *Gerontology*, 2019, 65(4): 441-450.
- [49] ROMANO BERGSTROM J C, OLMSTED-HAWALA E L, JANS M E. Age-Related Differences in Eye Tracking and Usability Performance: Website Usability for Older Adults[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2013, 29(8): 541-548.
- [50] MCDONNELL A S, SIMMONS T G, ERICKSON G G, et al. This is your Brain on Autopilot: Neural Indices of Driver Workload and Engagement during Partial Vehicle Automation[J]. *Human Factors*, 2021(8): 1-16.
- [51] HALDER A, GAO Chuan-si, MILLER M, et al. Oxygen

- Uptake and Muscle Activity Limitations during Stepping on a Stair Machine at Three Different Climbing Speeds[J]. *Ergonomics*, 2018, 61(10): 1382-1394.
- [52] VALIPOOR S, PATI D, STOCK M S, et al. Safer Chairs for Elderly Patients: Design Evaluation Using Electromyography and Force Measurement[J]. *Ergonomics*, 2018, 61(7): 902-912.
- [53] KAKAROT N, MÜLLER F. Assessment of Physical Strain in Younger and Older Subjects Using Heart Rate and Scalings of Perceived Exertion[J]. *Ergonomics*, 2014, 57(7): 1052-1067.
- [54] ZIJLSTRA E, HAGEDOORN M, KRIJNEN W P, et al. Route Complexity and Simulated Physical Ageing Negatively Influence Wayfinding[J]. *Applied Ergonomics*, 2016, 56: 62-67.
- [55] FENU C, PITTARELLO F. Svevo Tour: The Design and the Experimentation of an Augmented Reality Application for Engaging Visitors of a Literary Museum[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2018, 114: 20-35.
- [56] MONTUWY A, DOMMES A, CAHOUR B. Helping Older Pedestrians Navigate in the City: Comparisons of Visual, Auditory and Haptic Guidance Instructions in a Virtual Environment[J]. *Behaviour & Information Technology*, 2019, 38(2): 150-171.
- [57] SÁENZ-DE-URTURI Z, GARCÍA ZAPIRAIN B, MÉNDEZ ZORRILLA A. Elderly User Experience to Improve a Kinect-Based Game Playability[J]. *Behaviour & Information Technology*, 2015, 34(11): 1040-1051.
- [58] MANCA M, PATERNÒ F, SANTORO C, et al. The Impact of Serious Games with Humanoid Robots on Mild Cognitive Impairment Older Adults[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2021, 145: 102509.
- [59] KWEE-MEIER S T, MERTENS A, SCHLICK C M. Age-Related Differences in Decision-Making for Digital Escape Route Signage under Strenuous Emergency Conditions of Tilted Passenger Ships[J]. *Applied Ergonomics*, 2017, 59: 264-273.
- [60] ZHANG Hao, SHEN Zhi-qi, LIU Si-yuan, et al. Ping Pong: An Exergame for Cognitive Inhibition Training[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2021, 37(12): 1104-1115.
- [61] 宋武, 熊海林, 李艳. 工业设计视域下人因技术在人机智能交互中的应用[J]. *装饰*, 2019(2): 71-73.
- SONG Wu, XIONG Hai-lin, LI Yan. Application of Human Factors Technology in Human-Computer Intelligent Interaction from the Perspective of Industrial Design[J]. *Art & Design*, 2019(2): 71-73.
- [62] WU H C, CHIU M C, HOU Cheng-heng. Nail Clipper Ergonomic Evaluation and Redesign for the Elderly[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2015, 45: 64-70.
- [63] 黄河. 基于老年人技术接受模型的智能家电产品设计方法研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2019.
- HUANG He. Research on Design Methods of Smart Household Appliances Based on Technology Acceptance Model for Elderly People[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2019.
- [64] 王烈娟. 交互设计背景下老年产品设计研究[J]. *包装工程*, 2021, 42(4): 323-326.
- WANG Lie-juan. Design of Products for the Elderly under the Background of Interaction Design[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(4): 323-326.

责任编辑: 陈作