

智慧养老背景下肌少症患者使用康复机器人的动机与障碍研究

丛树源*, 石磊#, 贺文萱

西安交通大学体育学院, 陕西 西安

收稿日期: 2026年2月4日; 录用日期: 2026年2月27日; 发布日期: 2026年3月5日

摘要

目的: 随着我国老龄化进程加速, 肌少症已成为严重损害老年人功能独立性与健康寿命的严峻公共卫生挑战。在“健康中国”与“智慧养老”国家战略背景下, 康复机器人虽被视为解决肌少症难题、实现主动健康的关键技术, 但在实际推广中面临老年用户接受度低、持续使用意愿弱的困境。本研究旨在基于智慧养老场景, 深入探究肌少症患者使用康复机器人的深层动机与多维障碍, 以期打破应用僵局提供理论依据与实践策略。方法: 本研究采用文献资料法与案例分析法, 以Web of Science、CNKI等权威数据库为来源, 系统梳理了2015~2025年间的相关文献。研究构建了整合技术接受模型(TAM)与整合型技术接受与使用模型(UTAUT)的复合理论框架, 并结合陕西省智慧养老供给侧改革的实证案例, 从绩效期望、努力期望、社群影响及便利条件等维度, 对“人-机-环境”交互中的核心要素进行深入剖析。结果: 研究发现, 患者的使用动机呈现出显著的层级递进特征: 从恢复行走自理能力的生理诉求, 上升至契合临床抗阻训练原则的精准康复需求, 最终指向实现生活自主权与社会连接的高阶心理诉求。然而, 阻碍因素更为显著, 其核心症结在于康复机器人领域存在严重的“供需错位”; 现有技术多基于脑卒中偏瘫模型研发, 侧重单侧代偿, 严重偏离肌少症患者“双侧肌力均匀衰退”与“步态波动大”的病理特征。这导致硬件上关节轴线不对齐引发物理损伤风险, 软件上因老年人皮肤干燥导致肌电信号(sEMG)采集失真, 加剧了“人机对抗”效应与技术焦虑。此外, 高昂的设备成本与居家运维体系的“服务真空”, 构成了难以逾越的环境壁垒。结论: 智慧养老背景下, 康复机器人应用困境的根源在于技术供给未能针对“衰老”特征进行适应性进化。要打破这一僵局, 未来研发必须完成从“神经损伤康复”向“适老功能增强”的范式转移, 重点解决生物力学适配性与多模态传感鲁棒性问题; 同时, 建议在供给侧构建“产品+服务”的双轮驱动模式, 加快专业康复人才培养以填补服务缺口, 从而精准匹配庞大的肌少症康复需求。

关键词

老龄化, 肌少症, 康复机器人, 应用障碍, 使用动机

*第一作者。

#通讯作者。

Research on the Motivations and Barriers to the Use of Rehabilitation Robots by Sarcopenia Patients in the Context of Smart Elderly Care

Shuyuan Cong*, Lei Shi#, Wenxuan He

School of Physical Education, Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi

Received: February 4, 2026; accepted: February 27, 2026; published: March 5, 2026

Abstract

Objective: With the accelerated aging process in my country, sarcopenia has become a serious public health challenge that severely impairs the functional independence and healthy lifespan of the elderly. Under the national strategies of “Healthy China” and “Smart Elderly Care”, rehabilitation robots are considered a key technology to address the challenges of sarcopenia and achieve proactive health. However, their actual implementation faces difficulties such as low acceptance and weak willingness to continue using them among elderly users. This study aims to deeply explore the underlying motivations and multidimensional barriers to the use of rehabilitation robots by sarcopenia patients in the context of smart elderly care, in order to provide theoretical basis and practical strategies for overcoming the application impasse. **Methods:** This study adopted literature review and case analysis methods, using authoritative databases such as Web of Science and CNKI to systematically review relevant literature from 2015 to 2025. The study constructed a composite theoretical framework integrating the Technology Acceptance Model (TAM) and the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT), and combined it with empirical cases of supply-side reform in smart elderly care in Shaanxi Province. It deeply analyzed the core elements in “human-machine-environment” interaction from the dimensions of performance expectancy, effort expectancy, social influence, and facilitating conditions. **Results:** The study found that patients’ motivations for using rehabilitation robots showed a significant hierarchical progression: from the physiological need to restore walking and self-care abilities, to the precise rehabilitation needs that align with clinical resistance training principles, and finally to the higher-level psychological needs of achieving autonomy in life and social connection. However, the hindering factors were more significant, with the core problem being a serious “supply-demand mismatch” in the field of rehabilitation robots; existing technologies are mostly developed based on stroke hemiplegia models, focusing on unilateral compensation, which seriously deviates from the pathological characteristics of sarcopenia patients, such as “uniform bilateral muscle weakness” and “large gait fluctuations”. This leads to risks of physical injury due to misalignment of joint axes in the hardware, and distortion of electromyographic (sEMG) signal acquisition due to dry skin in the elderly, exacerbating the “human-machine conflict” effect and technological anxiety. Furthermore, the high equipment costs and the “service vacuum” in home-based maintenance systems constitute insurmountable environmental barriers. **Conclusion:** Under the context of smart elderly care, the root cause of the difficulties in applying rehabilitation robots lies in the failure of technological supply to adaptively evolve to the characteristics of “aging.” To break this deadlock, future research and development must complete a paradigm shift from “neurological injury rehabilitation” to “age-appropriate functional enhancement”, focusing on solving biomechanical adaptability and multi-modal sensing robustness issues. Simultaneously, it is recommended to build a dual-driven model of “product + service” on the supply side,

accelerating the training of professional rehabilitation personnel to fill the service gap, thereby precisely matching the vast rehabilitation needs of sarcopenia patients.

Keywords

Aging, Sarcopenia, Rehabilitation Robots, Application Barriers, Usage Motivation

Copyright © 2026 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. 研究背景及意义

1.1. 研究背景

骨骼肌的肌量和肌力随着年龄增长而不断减弱, 在 50 岁后每年减少约 1%~1.2%, 而在 80 岁之后肌肉总量减少约 30%, 肌量和肌力下降更加明显[1]。我国目前以前所未有的速度进入老龄化社会, 老年人数量和占比迅速增长, 根据我国国家统计局的相关数据, 截至 2022 年末, 我国 60 岁及以上人口已超过 2.8 亿, 占总人口的 19.8%, 其中 65 岁及以上人口超过 2 亿, 占总人口的 14.9%。老龄化的发展带来了巨大的健康压力, 我国随之出台了智慧养老的相关政策以减轻我国健康发展的压力并提高老年人生活质量。我国老年居民的骨质疏松及肌少症等老年骨骼肌肉系统慢性疾病的发病率及患病率增长迅速。鉴于我国人口老龄化日益加剧, 我国老年居民的骨质疏松及肌少症患者将持续增加, 未来将成为我国老年居民的主要慢性疾病之一。严重影响生活质量, 且会给老龄化社会带来沉重负担, 需要积极干预[2]。在智慧养老新背景下, 外骨骼、康复机器人等智能辅助设备凭借其智能性、可定制性、高依存性的智能康复方案成为解决我国老年人肌肉健康问题的新关键, 被视为解决肌少症难题, 实现主动健康和功能维持的主要技术。

但是与学术界研究的热情相比, 外骨骼等智能康复设备在实际推广和应用过程中的效果并未达到预期。高昂的设备费用, 较高的学习成本以及对于新事物学习的抗拒性和恐惧都对该项技术的推广和应用造成了极大的阻碍。再好的技术和设备不能得到应用也无法解决问题。

此外, 肌少症的发生会更大程度地减少老年人的运动量, 导致骨骼肌功能进一步下降, 从而对老年人的身体机能代谢和健康寿命产生不良影响。在此背景下, 本研究聚焦于智慧养老背景下, 以肌少症患者为研究对象, 探究肌少症患者对智能康复设备使用的动机和阻碍。本研究目的在于回答在实现健康中国智慧养老的过程中, 患者使用外骨骼等智能辅助康复设备的动机是什么, 患者拒绝使用的阻碍和原因是什么。这些问题的回答有助于智能康复设备的实际应用和推广以及设备设计和技术算法的进一步优化。

1.2. 研究意义

本研究主要将运动生理学相关知识与相关权威统计数据相结合, 构建一个关于老年人使用康复机器人等智能康复设备的动机与阻碍的理论框架, 为后续相关设备或理论提供理论参考和实际依据。并且能够为智能康复设备的研发企业提供行动指南, 同时对企业提出了舒适性、经济性、易用性、安全性等核心需求, 也为算法准确性以及传感器准确性也提出了要求。此外, 本研究对于政策制定者明确了相关设备在使用过程中可能存在的潜在问题。

2. 发展现状

2.1. 智慧养老的内涵与发展

智慧养老最早由英国生命信托基金会提出,当时称为“全智能化老年系统”,即老人在日常生活中可以不受时间和地理环境的限制,在自己家中过上高质量、高享受的生活[3]。智慧养老(Smart care for the aged),是指利用信息技术等现代科学手段(如互联网、社交网、物联网、移动计算等),围绕老人的生活起居、安全保障、医疗卫生、保健康复、娱乐休闲、学习分享等各方面支持老年人的生活服务和管理,对涉老信息自动监测、预警甚至主动处置,实现这些技术与老年人的友好、自主式、个性化智能交互,一方面提升老年人的生活质量,另一方面利用好老年人的经验智慧,使智慧科技和智慧老人相得益彰,目的是使老年人过得更幸福,过得更有尊严,过得更有价值[4]。并且随着科技发展水平的提高,传感器的准确度和算法的准确度也大幅度提升为智能康复辅助设备的实际应用和发展提供了坚实的实践基础,为人进机退设备的实际应用提供了可能。

2.2. 肌少症的现状以及干预手段的局限

目前我国正迅速进入老龄化社会,老年人的生活质量和健康保障成为我国当前发展的重要议题,不仅是我国目前整个世界都面临老龄化发展的问题。随着年龄增长,各系统机能退化以及肌少症的发生导致跌倒成为老年人受伤的主要原因。在美国估计有 2900 万人跌倒,其中老年人死亡 2.7 万,700 万人因跌倒而受伤,老年人身体机能的衰退是造成老年人摔倒多发的主要原因之一。据统计每年大约有 30% 以上的 65 岁以上的成年人发生跌倒而肌少症是造成这种现象的主要原因[3]。在早期的研究文献中肌少症的干预手段普遍是在患者确诊肌少症后通过运动干预的方式或配合药物治疗来延缓肌少症的进展,但是在实践过程中,无论是运动干预还是药物治疗抑或是二者结合进行都收效甚微[4]。在临床实践中,运动干预的局限性较大,由于老年人生理机能的退化和对运动的适应性等问题导致运动干预受到阻碍。

2.3. 康复机器人研究及其接受度现状

中国近 4000 万老年失能者丧失行走能力,康复技术人才缺口达 33 万;传统人工康复存在强度不足、效果量化难等问题,康复机器人可实现高重复性训练、量化评估,成为关键解决方案[5]。外骨骼技术作为一项新兴科技,无论应用于何种领域,都可能在诸多身体健康方面惠及大众。随着人口平均年龄增长及久坐生活方式的普及,肌肉减少症正以令人担忧的速度蔓延。随着科学技术发展当前世界已经出现多种穿戴式辅助康复机器人,例如 Ekso[®]、HAL[®]、步态管理辅助[®]、本田步行辅助[®]、Lokomat[®]、Walkbot[®]、Healbot[®]、Keecogo Rehab[®]、EX1[®]、地面穿戴式外骨骼、Eksoband[®]、动力踝足矫形器、HAL[®]腰部型、人体姿势矫正器[®]、步态增强与激励系统[®]、软体机器人服及主动骨盆矫形器。据研究发现,在多种健康状况下均取得显著积极成效,为肌少症以及其他原因导致的肌肉萎缩的缓解和康复提供了解决方案。其中最普遍的主要是 LLE (Lower Limb Exoskeleton),即下肢外骨骼。LLEs 的积极影响不仅限于对于认知功能的改善,更提升了患者下肢肢体肌肉质量和肌肉功能,其中包括肌肉运动能力以及日常活动需求[6]。

而在接受度方面,由于康复机器人用于医疗康复方面的普及度不高,但是外骨骼的市场迅速扩大已经接近 28 亿美元,但是我国普及度与欧美相比仍相对落后,其核心主要应用在中风或脊髓损伤后肢体功能的康复以及关节置换手术、运动员重大伤病以及老年人肌少症的运动康复等方面。

外骨骼已经从概念阶段转向临床实践阶段但在大范围普及仍有一定阻碍,中国市场迅速扩大,技术发展迅速逐步比肩国外,随着医保覆盖的扩大和技术的进一步发展外骨骼正在成为无数失去活动能力患者恢复行动能力的希望。

3. 研究模型与研究方法

3.1. 研究模型

UTAUT(整合型科技接受模式)是由 Venkatesh、Morris 等学者于 2003 年提出的技术采纳理论,用于分析个体对新兴技术的接受和使用行为。UTAUT 模型是以 TAM 模型为基础发展而来。基础的 UTAUT 模型包括四个研究要素,四个调节变量以及两个使用要素[7],经实验验证该模型的解释力度高达 70% [8]。根据移动电子健康服务的一些特质引入了“隐私关注”、“信任”以及“健康水平”等变量进行研究,研究发现付出期望正向影响用户对移动电子健康服务的使用意愿,“隐私关注”与“社会影响”通过中介变量“信任”来对用户的使用意愿产生显著影响。此外,“性别”、“经验”、“健康水平”、“服务提供商种类”对隐私关注起调节作用,“经验水平”和“健康水平”分别调节绩效期望和付出期望[9]。

3.2. 研究方法

主要使用文献分析法以及案例分析法进行分析,并结合 UTAUT 模型进行研究,通过 UTAUT 模型中的四个核心维度具有显著影响的四个变量即性别、年龄、自愿和经验进行分析。UTAUT 模型中各核心要素以及变量关系具体如图(图 1)所示。

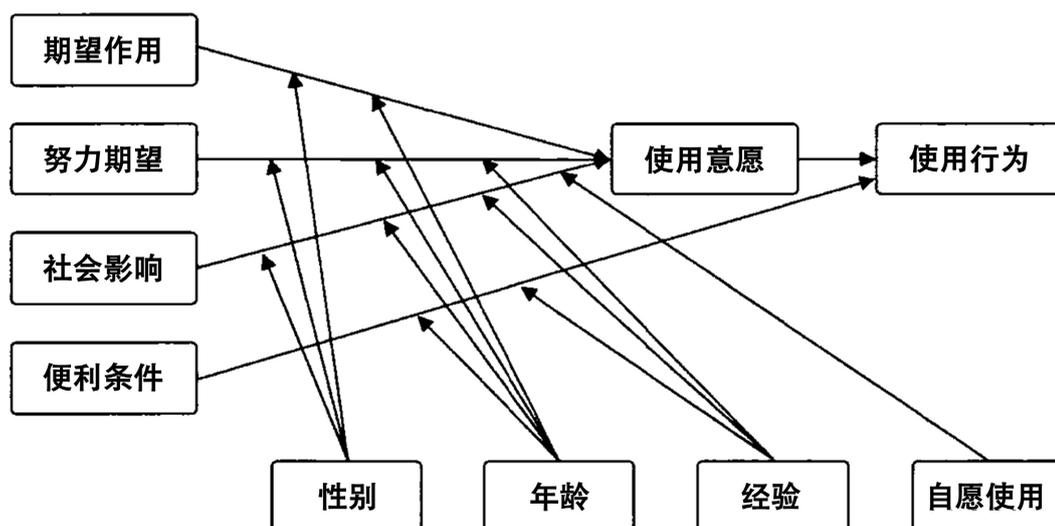


Figure 1. UTAUT model
图 1. UTAUT 模型

4. 动机与阻碍

4.1. 动机

首先,康复机器人通过程序化手段完美契合了肌少症临床抗阻训练(Resistance Training, RT)的核心原则。研究表明,针对肌少症的运动干预必须具备足够的强度、频率和进行性负荷,才能有效改善 II 型肌纤维的横截面积并抑制肌肉量流失[10]。传统的运动干预因缺乏量化监控,往往存在“训练负荷不足”或“过度疲劳”的矛盾。康复机器人则能通过预设的算法,根据患者肌肉力量的实时波动动态调整阻力大小,实现高强度、高重复性的精准抗阻训练。这种“剂量-反应”关系的优化,通过满足患者“获得最大化康复获益”的心理预期,显著增强了其生理驱动力[11]。

通过研究发现国内该方面的研究较少仍集中在通过运动或者运动与药物干预相结合的方法对肌少症

进行干预, 药物质量方面主要是以重组生长激素和 IGF 为主, 物理治疗是临床上预防和治疗废用性骨骼肌萎缩的一种重要和有效的手段主要是电刺激治疗, 针灸治疗等[12]。外骨骼的发展历程明确了其应用从军事动力增强逐步拓展至康复、辅助生活等领域[13]。经过分析和对比发现, 肌少症患者使用康复机器人辅助自身康复的动机是多方面的, 随着技术的发展康复辅助机器人逐渐轻量化无线缆化进一步减轻了老年肌少症患者的穿戴负担, 通过肌电信号传感器来判断患者的运动意图, 提升患者运动的自主性成为患者接受康复机器人的潜在动机。

从临床角度看, 肌少症患者康复机器人的使用属于契合临床干预需求(运动训练)、匹配分阶段康复目标、实现个性化精准训练[14], 并且在实践过程中可以与物理治疗干预和药物治疗干预相结合提高干预效果。同时在智慧康养系统的迭代中, 集成传感器(如压力感受器和光栅)能精准测量握力、步速及骨骼肌指数, 并将结果实时反馈至交互终端[15]。这种直观的康复进度展示让患者能清晰感知自身机能的微弱改善, 从而在心理上产生强烈的成就感, 克服了传统康复中因“进度不可见”导致的厌学与放弃情绪[16]。

欧盟研发的护理型机器人已具备健康监测(体温、血压)、生活服务(用品传递、送饭)、情感互动(游戏、视频救援) [17]等功能, 可降低老年人的孤独感同时提升老年人的自理能力, 同时构建网络化养老平台, 实现家政预约、紧急呼叫等一站式服务, 且建立统一服务标准与信息化监管体系, 并以此提高老年人生活质量, 成为老年人使用该类设备的动机。

从技术接受模型(TAM)的角度看, 对生活自理能力与尊严的追求构成了高阶动机。康复机器人不仅是医疗器械, 更是患者重拾行走自主权和保护晚年尊严的媒介。实证调研显示, 老年患者对功能性辅助机器人的接受度在很大程度上取决于其能否支持日常生活活动(ADL)的独立完成[18]。这种“感知有用性”不仅体现在力量增强上, 更体现在摆脱他人照护、重获社会参与自由后的心理重塑。

在生活中肌少症患者核心需求是维持/提升髋膝踝多关节肌力、降低跌倒风险、保障行走自理能力[5]。机器人的“多关节协同训练”“高重复性训练”特性, 契合肌少症“抗阻运动干预”的临床原则; 跑步机式的体重支撑系统适配高龄、肌力严重不足的肌少症患者早期康复, 地面式的便携性适配居家中期康复, 覆盖患者全康复周期需求, 从而加速患者康复进度, 满足患者恢复行动能力的意愿。

机器人提供的高强度、高重复性、多关节协同的抗阻训练解决了传统人工训练中强度难以量化、枯燥且重复性不足的痛点。更重要的是, 其灵活的训练模式能够覆盖从肌力严重衰退初期需要体重支撑的跑步机训练, 到恢复阶段居家使用的地面便携式训练, 实现了与患者“全周期康复需求”的精准匹配, 直接满足了患者“尽快好起来”的愿望, 其安全可控的特性也显著降低了高龄患者在训练中的跌倒风险。但是在针对高龄受试者的临床观察中发现, 由于肌少症患者皮肤菲薄且耐压性差, 这种持续的寄生力(最高可达 200 N)在穿戴接口处极易诱发皮肤损伤[16]。部分学者研究案例进一步证实, 在长时康复训练中, 由于错位导致的反复摩擦与局部高压部分受试者出现了严重的局部红肿甚至压疮, 甚至有案例记录了因错位产生的过度扭矩导致了胫骨平台骨折[18]。

集成健康监测、生活辅助乃至情感互动功能的机器人, 能在日常生活中提供支持, 降低孤独感, 这满足了老年肌少症患者在生理功能恢复之外, 对于安全、陪伴与社会融入的深层心理与社会需求。

因此, 患者的动机是一个由内而外、层层递进的有机整体: 从解决肌力衰退、恢复行走自理的核心生理诉求出发, 到追求更科学、高效、安全的个性化康复体验, 最终升华至借助技术重建生活自主性、安全感与社会联系, 以实现更高品质的晚年生活。

4.2. 阻碍

尽管外骨骼机器人技术跨越了百余年的演进历程——从 1883 年 Yagn 提出的辅助行走概念雏形, 到 1960 年代 Hardiman 等军用动力增强装置的硬核探索, 最终演变为 21 世纪以 ARMin、Lokomat 及 HAL

为代表的商业化康复系统[17]——但其技术基因中根深蒂固的“工业负载”与“神经康复”逻辑，并未真正针对肌少症完成适应性进化。现有的主流康复机器人大多基于脑卒中或脊髓损伤的临床模型研发，这导致了根本性的病理特征错位[19]。脑卒中患者的典型特征是偏瘫带来的不对称步态与痉挛，康复重点在于单侧肢体的轨迹纠正与功能代偿；而肌少症患者面临的是随年龄增长而发生的全身骨骼肌质量流失、双侧下肢肌力均匀衰退以及本体感觉的迟钝。若强行使用针对偏瘫设计的单侧驱动设备，不仅无法解决肌少症患者双腿支撑力不足的问题，反而可能因设备重量分布不均破坏患者原本脆弱的平衡机制。此外，现有设备多采用刚性连杆结构，其预设的标准化步态轨迹无法包容肌少症患者因肌肉萎缩产生的代偿性步态(如步幅变小、步宽增加)，这种“强行矫正”会在训练中引发严重的“人机对抗”效应，导致代谢消耗增加而非康复获益，甚至诱发医源性软组织损伤[20]。

在 UTAUT 模型中，用户的态度受社会环境影响深远。研究发现，老年肌少症患者在使用大型、显眼的康复外骨骼时，往往会产生强烈的“社会污名化”心理压力，认为佩戴机器象征着机能彻底丧失，从而产生逃避心态[21]。这种心理负担与对失控的恐惧交织，形成了严重的“技术焦虑”，使得患者即便感知到设备有用，也会因担心他人眼光或设备故障而拒绝尝试。

老年人常伴有骨质疏松、脊柱后凸及关节退行性变形，导致其解剖学关节中心位置高度异质化，而现有的外骨骼设备仅允许有限的连杆长度调节，无法实现对复杂体型的精准包容。最为致命的是“关节轴线动态不对齐”问题[22]：当机器人的机械轴心与人体生物轴心在运动中发生微小偏离时，会产生极大的“寄生力矩”与剪切力。对于皮肤变薄、皮下脂肪减少的老年人而言，这种错位不仅会带来难以忍受的压迫性疼痛，还可能导致压力性损伤(褥疮)。在动力形态上，矛盾同样突出：液压或大扭矩电机驱动的刚性外骨骼虽然能提供足够的起立辅助力，但其笨重的自重极大增加了穿戴者的代谢负担，使得“辅助”变成了“负重”；而以气动人工肌肉为代表的软体外骨骼虽然解决了轻量化问题，但其对气源和复杂管路的依赖彻底牺牲了居家使用的移动性[23]。此外，老年人皮肤普遍干燥、角质层增厚且松弛，这会导致表面肌电信号的接触阻抗剧增，信噪比大幅下降，使得基于运动意图识别的控制算法极易出现延迟或误判，造成动作卡顿或突发失控。患者进行康复训练过程中，肌肉活动变化导致，高阻抗使得热噪声显著，且由于电极与皮肤之间缺乏电解质凝胶填充微观间隙，形成了不稳定的电容耦合导致设备传感器产生高阻抗，高阻抗直接导致 sEMG 信号的信噪比降低，大量的环境工频噪声混入微弱的肌电信号中，使得传统的阈值判别算法失效[24]。

肌少症患者的能量储备较低，任何额外的物理负荷都可能导致过度疲劳。实验数据证明，现有的硬质康复机器人由于自重及结构限制，往往在辅助力的同时增加了患者的整体代谢成本，甚至出现“辅助后比步行更累”的负激励现象[25]。此外，针对肌少症的双侧非对称步态，现有设备缺乏足够的自适应补偿能力，软体机器人在复杂社区环境下的稳定性不足，反而增加了患者维持平衡的“努力期望”感，导致康复动力不足[26]。

在人机交互与认知心理层面，技术门槛与老年人生理退化的矛盾构成了隐形的“数字壁垒”。根据技术接受模型(TAM)，老年用户对康复技术的采纳意愿取决于“感知易用性”与“感知有用性”。然而，现有外骨骼系统往往配备复杂的图形化界面、繁琐的绑带系统及多步骤的校准流程，这对于普遍存在认知处理速度下降、工作记忆衰退甚至轻度认知障碍的老年肌少症患者而言，构成了过高的认知负荷[27]。当这种操作上的挫败感与穿戴时的物理不适(如束缚感、疼痛)叠加时，极易诱发患者的焦虑、对跌倒的恐惧以及对机器人的不信任感。

从“便利条件”维度看，经济支出与家庭支持是落地的先决条件。相关研究对中国医保政策的分析显示，尽管智慧养老被提倡，但高端康复机器人的租赁和购买尚未完全纳入长期护理保险范围，高昂的自费比例抑制了刚需群体的消费[28]。同时，康复机器人并非患者单人操作，其复杂的穿戴和日常维护需

要家属的高度参与，这种衍生出来的“照护负担”往往导致家庭决策层最终放弃使用设备[29][30]。

5. 研究结论与建议

5.1. 研究结论

本研究立足于“智慧养老”的国家战略背景，通过文献资料法并结合 UTAUT 模型和 TAM 模型对肌少症患者使用康复机器人的动机与阻碍进行了系统性的梳理与分析。研究表明，尽管康复机器人被视为解决老龄化社会肌少症难题、实现老年人主动健康的关键技术手段，但在实际推广中存在显著的应用偏差。本研究主要得出以下结论：

第一，康复机器人的临床应用存在显著的“失衡现象”供需严重错位，尚未真正应用至肌少症群体。研究发现，目前康复机器人的研发与应用高度集中于脑卒中(中风)及脊髓损伤患者的神经康复领域，技术相对成熟且临床应用广泛；相比之下，针对肌少症患者的应用尚处于起步阶段，普及率极低。这种应用现状的巨大落差，直接导致了肌少症患者面临“有康复需求但无适用设备”的尴尬境地，也是本研究揭示的后续一系列技术与服务阻碍的根本成因。

第二，肌少症患者的使用动机呈现出从“生理机能重塑”向“生活自主权回归”递进的层级特征。尽管应用尚少，但肌少症患者对该技术的潜在动机十分强烈。核心动机始于对恢复行走能力与自理能力的迫切生理诉求。康复机器人提供的“高强度、可量化、多关节协同”训练模式，精准契合了肌少症“抗阻干预”的临床原则，弥补了传统人工康复强度不足的短板。随着技术向智能化发展，基于肌电信号的意图识别赋予了患者运动的主动权。更深层次的动机在于，通过集成健康监测与网络化服务的护理型机器人，构建了老年人的安全支持网络，满足了其对安全感、社交融入及晚年生活尊严的心理渴望。

第三，“数字鸿沟”与“服务真空”构成了制约技术落地的环境与心理双重屏障。在微观个体层面，复杂的操作系统与老年人日益衰退的认知能力形成冲突，高认知负荷结合佩戴不适，诱发了老年人对技术的恐惧与不信任。在宏观环境层面，供给侧缺乏针对居家养老场景的低成本、适老化产品。更为严峻的是，康复技术人才与售后服务体系的严重缺失，导致设备进入家庭后缺乏专业的调试与维护，陷入“有硬件、无服务”的困境。

第四，在便利条件维度，尽管政策端大力推动，但执行端面临“有硬件、无服务”的困境。专业康复人才的缺口导致居家场景下的设备调试与运维缺失。同时，老年人皮肤阻抗特性导致的传感失效(sEMG不稳)与复杂的数字化交互界面，加剧了“技术焦虑”，使得先进技术难以转化为实际的康复效能。

综上所述，智慧养老背景下肌少症患者使用康复机器人的主要矛盾，在于庞大的肌少症康复需求与当前高度倾斜于脑卒中康复的机器人技术供给体系之间的矛盾。现有的技术逻辑大多是为“偏瘫”服务的，而非为“衰老”服务的。要打破这一僵局，未来的技术研发必须完成从“神经损伤康复”向“老年机能衰退康复”的转移，并在产品设计中同步解决生物力学适配性、认知交互易用性以及居家服务可及性三大关键问题。

5.2. 建议

5.2.1. 注重需求性

明确定位，聚焦老年人群体的健康管理和生活照料以及情感陪伴等领域的核心诉求，通过深度调研构建精准服务方案[31]。肌少症的康复方案尚未统一，目前主要由专科医生根据经验开具康复处方，但存在决策不精准、与个体实际不匹配等问题[32][33]。需与患者实际情况相结合，根据患者需求结合智能康复设备制定康复方案。根据老年人肌少症发展的阶段为患者制定其中，运动被认为是对抗肌肉质量和功能衰减的有效干预方式，并且多项研究已证实，运动可以显著改善肌少症患者的肌肉力量和质量[34]。对

于能耐受的肌少症老年人，中高强度抗阻运动可提高老年人肌肉质量及功能，改善身体素质。在此理论基础，与智能设备结合以提高康复效率。

5.2.2. 注重简易化

加强对康复从业人员的培养，以及对老年人数字素养提高的重视性，在此基础上与人工智能等现代化科学技术相结合，尽可能地简化智能康复设备的操作界面和操作难度。

5.2.3. 未来发展建议

未来设备发展应结合老年人的皮肤特征，并且充分考虑老年人穿戴衣物可能对设备收集的数据产生的影响。这要求未来设备设计不仅要考虑到电子科学和运动科学，还要考虑到皮肤科学，老年人的皮肤特点基于设备收集数据的准确性产生了极大影响。所以未来设备应着重发展如何获得准确数据，提高算法水平，与运动科学和皮肤科学相结合以提高患者的康复效率和质量。此外在进行康复时，还可以考虑对老年人皮肤角质进行一定的去除工作，以确保获得准确的数据。

基金项目

国家社会科学基金资助课题(25BTY114)，陕西省社会科学基金资助课题(2023Q003)，陕西省重点科技研发计划项目资助课题(2024GX-YBXM-287)。

参考文献

- [1] 胡世莲, 王静, 程翠, 等. 中国居民慢性病的流行病学趋势分析[J]. 中国临床保健杂志, 2020, 23(3): 289-294.
- [2] 何二颖. 弹力带抗阻运动对老年肌少症患者运动能力及生活质量的效果研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉体育学院, 2022.
- [3] 张楠. 刍议陕西智慧养老服务供给侧改革的困境及对策[J]. 商讯, 2023(3): 9-12.
- [4] 左美云. 智慧养老的内涵、模式与机遇[J]. 中国公共安全, 2014(10): 48-50.
- [5] Shi, D., Zhang, W., Zhang, W. and Ding, X. (2019) A Review on Lower Limb Rehabilitation Exoskeleton Robots. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, **32**, Article No. 74. <https://doi.org/10.1186/s10033-019-0389-8>
- [6] Gavrilă Laic, R.A., Firouzi, M., Claeys, R., Bautmans, I., Swinnen, E. and Beckwée, D. (2024) A State-of-the-Art of Exoskeletons in Line with the Who's Vision on Healthy Aging: From Rehabilitation of Intrinsic Capacities to Augmentation of Functional Abilities. *Sensors*, **24**, Article 2230. <https://doi.org/10.3390/s24072230>
- [7] Venkatesh, V., Morris, M.G., Davis, G.B. and Davis, F.D. (2003) User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View1. *MIS Quarterly*, **27**, 425-478. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- [8] 张培. 技术接受模型的理论演化与研究发展[J]. 情报科学, 2017, 35(9): 165-171.
- [9] 曾磊. 基于 UTAUT 模型的老年人智能足疗产品交互设计研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东理工大学, 2023.
- [10] Won, C.W., Kim, M., Yoo, J., et al. (2025) Position Statement: Evidence-Based Exercise Guidelines for Sarcopenia in Older Adults. *Korean Journal of Sarcopenia*, **9**, 1-15.
- [11] Delaire, L., Courtay-Breuil, A., Humblot, J., Vidal, H., Bonnefoy, M. and Meugnier, E. (2025) Influence of Resistance Training Variables to Improve Muscle Mass Outcomes in Sarcopenia: A Systematic Review with Meta-Regressions. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, **16**, 442-458. <https://doi.org/10.1002/jcsm.70162>
- [12] 黄智, 余斌. 废用性骨骼肌萎缩治疗的研究与进展[J]. 中国临床康复, 2004(35): 8060-8063.
- [13] Gopura, R.A.R.C., Bandara, D.S.V., Kiguchi, K. and Mann, G.K.I. (2016) Developments in Hardware Systems of Active Upper-Limb Exoskeleton Robots: A Review. *Robotics and Autonomous Systems*, **75**, 203-220. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.10.001>
- [14] Chen, L., Woo, J., Assantachai, P., Auyeung, T., Chou, M., Iijima, K., et al. (2020) Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 Consensus Update on Sarcopenia Diagnosis and Treatment. *Journal of the American Medical Directors Association*, **21**, 300-307.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2019.12.012>
- [15] Yu, H., Huang, S., Chen, G., Pan, Y. and Guo, Z. (2015) Human-Robot Interaction Control of Rehabilitation Robots with Series Elastic Actuators. *IEEE Transactions on Robotics*, **31**, 1089-1100. <https://doi.org/10.1109/tro.2015.2457314>

- [16] 夏海波. 技术迭代助推智慧康养发展[N]. 健康报, 2025-12-10(005).
- [17] Dollar, A.M. and Herr, H. (2008) Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Robotics*, **24**, 144-158. <https://doi.org/10.1109/tro.2008.915453>
- [18] Wang, Y., Chen, H., Cheng, H., Qiu, J., Huang, R., Zou, C., *et al.* (2025) The Attitudes and Acceptance of Functional Assistive Robots among Older Adults with Disabilities: A Mixed-Methods Study. *Innovation in Aging*, **9**, igaf097. <https://doi.org/10.1093/geroni/igaf097>
- [19] Aud, R., Farina, D., Vujaklija, I., *et al.* (2021) Soft Exosuits for Lower Extremity Assistance: A Review of Current Research and Commercial Devices. *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, **3**, 643-656.
- [20] Veneman, J.F., Kruidhof, R., Hekman, E.E.G., Ekkelenkamp, R., Van Asseldonk, E.H.F. and van der Kooij, H. (2007) Design and Evaluation of the LOPES Exoskeleton Robot for Interactive Gait Rehabilitation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, **15**, 379-386. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2007.903919>
- [21] Zhu, H., Wang, L., Zhang, J., *et al.* (2025) The Psychological Shadow: Social Stigma and Its Impact on the Adoption of Wearable Robots among the Elderly with Sarcopenia. *Technology in Society*, **76**, Article 102456.
- [22] Jarrasse, N. and Morel, G. (2012) Connecting a Human Limb to an Exoskeleton. *IEEE Transactions on Robotics*, **28**, 697-709. <https://doi.org/10.1109/tro.2011.2178151>
- [23] Awad, L.N., Bae, J., O'Donnell, K., De Rossi, S.M.M., Hendron, K., Sloom, L.H., *et al.* (2017) A Soft Robotic Exosuit Improves Walking in Patients after Stroke. *Science Translational Medicine*, **9**, eaai9084. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aai9084>
- [24] Bi, L., Guan, C., Wang, J., *et al.* (2019) A Review on Health Monitoring Systems for the Elderly: sEMG-Based Approach. *IEEE Access*, **7**, 36123-36132.
- [25] Gao, Y., Sun, T., Zhao, L., *et al.* (2024) Mechanical-Physiological Mismatch: Evaluating the Metabolic Cost of Rigid Exoskeletons in Sarcopenic Gait Rehabilitation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, **32**, 455-468.
- [26] Liang, W., Chen, X., Zhao, Y., *et al.* (2025) Adaptability of Soft Exosuits in Community-Based Sarcopenia Care: A Longitudinal Usability Study. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, **85**, Article 102612.
- [27] Czaja, S.J., Charness, N., Fisk, A.D., Hertzog, C., Nair, S.N., Rogers, W.A., *et al.* (2006) Factors Predicting the Use of Technology: Findings from the Center for Research and Education on Aging and Technology Enhancement (Create). *Psychology and Aging*, **21**, 333-352. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.21.2.333>
- [28] Sun, Q., Li, H., Zhang, M., *et al.* (2025) Economic Barriers to Smart Aging: An Analysis of Insurance Coverage for Rehabilitation Robotics in China. *Health Policy*, **130**, 112-124.
- [29] Martinez, A., Garcia, J., Rodriguez, M., *et al.* (2024) Sensory Feedback as a Safety Net: Reducing Anxiety in Sarcopenia Patients during Robotic Training. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, **28**, 2100-2112.
- [30] Liu, S., Zhang, T., Wang, X., *et al.* (2025) The Caregiver-Robot-Patient Triad: Understanding the Facilitating Conditions of Home-Based Robotic Rehabilitation. *Journal of Aging and Physical Activity*, **33**, 301-315.
- [31] 韩冰, 隆森林, 熊亮. 老年人智慧养老服务使用意愿影响因素研究——基于 UTAUT 模型的实证分析[J]. 中国市场, 2025(35): 47-50.
- [32] 李家辉. 老年肌少症的计算机辅助决策研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2022.
- [33] 沈睿, 王俊杰. 抗阻运动在老年肌少症患者中的应用研究进展[J]. 军事护理, 2023, 40(10): 84-87.
- [34] 张丽, 瓮长水, 赵占波. 全身振动训练对老年人下肢肌肉力量及功能干预效果的 Meta 分析[J]. 中国康复理论与实践, 2015, 21(10): 1222-1228.