

康复机器人的实践应用与发展趋势

张栋林

DOI:10.32629/irmet.v3i2.19174

[摘要] 近年来,康复医学取得了长足的进步,但传统康复治疗模式仍存在诸多局限性。例如,人工康复治疗依赖治疗师的经验与体力,难以实现标准化、量化的康复训练;部分患者因康复周期长、过程枯燥而缺乏积极性,影响康复效果;基层医疗单位康复资源匮乏,难以满足广大患者的需求。而康复机器人的出现为解决这些问题带来了新的契机,其融合了康复医学、生物力学、机械学、电子学、材料学、计算机科学以及机器人学等诸多学科知识,可以辅助或替代人力完成肢体运动功能重建、日常活动支持及康复护理任务。并且随着技术的不断进步和政策的大力支持,康复机器人行业呈现出快速发展的态势,已成为国际机器人领域的研究热点。

[关键词] 康复机器人; 优势; 挑战; 实践应用; 发展趋势

中图分类号: R730.9 **文献标识码:** A

Practical Applications and Development Trends of Rehabilitation Robots

Donglin Zhang

[Abstract] In recent years, rehabilitation medicine has made significant progress, but traditional rehabilitation therapy models still face numerous limitations. For instance, manual rehabilitation relies on therapists' experience and physical strength, making it difficult to achieve standardized and quantifiable training. Some patients lack motivation due to the lengthy and monotonous rehabilitation process, which affects outcomes. Additionally, grassroots medical facilities suffer from a shortage of rehabilitation resources, failing to meet the needs of the broader patient population. The emergence of rehabilitation robots presents a new opportunity to address these issues, integrating knowledge from rehabilitation medicine, biomechanics, mechanical engineering, electronics, materials science, computer science, and robotics. These robots can assist or replace human labor in tasks such as motor function restoration, daily activity support, and rehabilitation care. With continuous technological advancements and strong policy support, the rehabilitation robotics industry is rapidly expanding and has become a research hotspot in the global robotics field.

[Key words] Rehabilitation robots; Advantages; Challenges; Practical applications; development trend

随着全球人口老龄化加剧、慢性病患者数量攀升以及康复医疗需求的爆发式增长,康复机器人作为医疗科技与人工智能深度融合的产物,正逐步颠覆传统康复治疗模式。因此为了充分发挥康复机器人的价值作用,本文就康复机器人的实践应用与发展趋势进行了探讨分析。

1 康复机器人的概述

康复机器人是一种辅助人体完成肢体动作,实现康复治疗 and 康复护理功能的医疗机器人,是工业机器人和医用机器人的结合。其核心是通过机械结构、传感系统与智能控制技术的协同作用,为患者提供科学、精准、高效的康复训练与护理服务。

1.1 类别

(1) 外骨骼机器人。外骨骼机器人通过机械结构支撑和增强人体运动功能,通常穿戴在患者肢体外部,能够为患者提供行

走、站立等动作的辅助与支撑。它在脊髓损伤、脑卒中患者康复以及老年人群的行走辅助中发挥着重要作用。例如,杭州程天科技研发的悠行康复外骨骼设备,已累计进入全国超700家康复中心、残联机构及医院,覆盖全国超92%的省级行政区域,并成功出海34个国家及地区。该设备突破了仿生设计、自适应步态控制、意图识别等关键技术,能够实时监测人机交互力矩,迅速准确识别用户行走意图,并作出步态响应,帮助患者实现站立和行走。(2) 康复训练机器人。康复训练机器人专注于特定部位的功能恢复训练,如上肢康复机器人、下肢康复机器人、手部康复机器人等。这类机器人能够针对患者的具体病情,提供个性化、精准化的康复训练方案。例如,某软体机器人科技公司的SRT软甲手部康复机器人,可通过对患肢的反复运动训练,直接改善手指痉挛、无力等症状,间接训练反射脑部神经及血管,增强脑部损

伤或神经损伤后保守治疗效果和缩短手术后的康复周期。(3)辅助生活机器人。辅助生活机器人旨在帮助行动不便者完成日常活动,提高生活质量。其功能涵盖进食、排泄、起居、移动、更衣、入浴等日常生活的基本动作支援。例如,Handy1康复机器人是目前世界上最成功的一种低价的康复机器人系统,它配备了吃饭/喝水托盘、洗脸/刮脸/刷牙托盘以及化妆托盘等可更换的滑动托盘,能够根据用户的不同需求提供相应的服务,帮助严重残疾人士实现生活自理。

1.2 康复机器人的优势特征

(1)标准化与精准化。康复机器人能够提供标准化、量化的康复训练方案,确保训练强度、频率和动作的一致性。它可以精确控制运动力度、轨迹和速度,避免因人工操作的差异而导致的康复效果不稳定。例如,下肢康复机器人可以根据患者的肌力水平,精准调节步幅、助力强度,模拟正常行走步态,帮助患者纠正异常步态,提高康复效果。(2)高效性与持续性。康复机器人可以实现高强度、重复化的康复训练,大幅提升训练效率,缩短康复周期。它不会像人类治疗师那样感到疲劳,能够为患者提供持续、稳定的康复训练服务。例如,对于脑卒中后偏瘫患者,康复机器人可以每天进行数小时的康复训练,而人工康复治疗则难以达到这样的训练强度和持续性。(3)个性化与适应性。康复机器人可以根据患者的具体病情、康复进展和身体状况,实时调整训练方案,实现个性化康复治疗。它能够智能识别患者的运动意图,并作出相应的调整,更好地满足患者的康复需求。例如,当患者在训练过程中出现疲劳或不适时,机器人可以自动降低训练强度或暂停训练,确保患者的安全。(4)数据化与可追溯性。康复机器人可以实时记录患者的训练数据,包括运动时间、运动强度、康复进展等,并将这些数据存储在数据库中。治疗师可以通过分析这些数据,了解患者的康复情况,及时调整治疗方案。同时,这些数据也为康复医学的研究提供了宝贵的资料。例如,通过对大量患者的康复数据进行分析,可以总结出不同疾病、不同阶段的最佳康复方案。(5)降低人力成本。康复机器人可以替代部分人工康复治疗工作,降低治疗师的体力负荷,提高工作效率。在基层医疗单位和康复资源匮乏的地区,康复机器人可以有效弥补人力不足的问题,为更多患者提供康复服务。例如,在社区医院中,一台上肢康复机器人可以同时为多名患者提供康复训练服务,减少了治疗师的工作量。

2 康复机器人的实践应用

2.1 脑卒中后偏瘫康复

脑卒中是一种常见的脑血管疾病,其后遗症主要表现为肢体偏瘫、运动功能障碍等。康复机器人在脑卒中后偏瘫康复中具有显著的疗效。它可以帮助患者进行肢体运动功能训练,改善肌肉力量、关节活动度和运动协调性,提高患者的生活自理能力。例如,某县城中医院康复科的患者李某,男,56岁,因“脑出血后右侧肢体活动不利2个月”入院,诊断为脑血管病后遗症,右侧下肢肌力2级,无法独立站立及行走,步态异常。入院后,医院为其制定了下肢康复机器人辅助训练结合常规康复训练的治

疗方案。机器人根据患者肌力定制训练方案,调节步幅、助力强度,模拟正常行走步态,训练期间动态监测患者运动数据,实时矫正异常步态,同步开展平衡训练与肌力强化。经4周规范训练,患者右侧下肢肌力明显提升,可独立站立、辅助下缓慢行走,步态明显改善,生活自理能力显著提高。

2.2 脊髓损伤康复

脊髓损伤会导致患者出现不同程度的瘫痪和运动功能障碍,康复难度较大。康复机器人可以为脊髓损伤患者提供站立、行走等动作的辅助与支撑,帮助患者恢复部分运动功能,提高生活质量。

例如,瑞士NeuroRestore团队开发出植入式脊髓神经假体与康复机器人结合的系统,中国何江弘教授团队系统论证脊髓电刺激等神经调控技术与智能康复机器人的协同应用,并探索通过脑机接口实现意图识别与机器人输出反馈的闭环系统。这些技术的应用为脊髓损伤患者的康复带来了新的希望,有望帮助患者重新站立和行走。

2.3 运动损伤康复

运动损伤是运动员和运动爱好者常见的问题,如膝关节损伤、踝关节扭伤等。康复机器人可以为运动损伤患者提供精准、个性化的康复训练方案,帮助患者恢复关节活动度、肌肉力量和运动协调性,缩短康复周期,早日回归运动赛场。例如,对于膝关节术后患者,康复机器人可以进行膝关节的屈伸训练、肌力训练和平衡训练等,促进膝关节功能的恢复。通过实时监测患者的运动数据,机器人可以调整训练强度和难度,确保训练的安全性和有效性。

2.4 脑瘫患儿康复

脑瘫患儿常伴有肢体运动功能障碍、姿势异常等问题,需要长期的康复训练。康复机器人可以为脑瘫患儿提供有趣、有效的康复训练,提高患儿的参与度和康复效果。例如,一些康复机器人采用游戏化的训练方式,让患儿在玩耍中进行康复训练,增强患儿的康复积极性。同时,机器人可以根据患儿的年龄、病情和康复进展,制定个性化的训练方案,帮助患儿改善运动能力和生活自理能力。

2.5 老年康复与护理

随着人口老龄化的加剧,老年康复与护理需求日益增长。康复机器人可以为老年人提供行走辅助、日常生活活动支援等服务,帮助老年人提高生活自理能力,减少对他人依赖。例如,外骨骼机器人可以帮助行动不便的老年人实现站立和行走,提高他们的生活质量;辅助生活机器人可以帮助老年人完成进食、穿衣、洗澡等日常生活活动,减轻护理人员的负担。

3 康复机器人行业发展面临的挑战

3.1 技术挑战

尽管康复机器人技术取得了一定的进展,但仍面临一些核心技术瓶颈。例如,运动意图识别的准确性和实时性有待提高,目前的技术还难以完全实现“人机合一”的状态;机器人的智能化水平和自适应能力还不够强,难以满足复杂多变的康复需

求: 部分核心元器件依赖进口, 成本较高, 影响了产品的普及和推广。

3.2 成本挑战

康复机器人的研发、生产和维护成本较高, 导致产品价格昂贵, 限制了其在基层医疗单位和家庭中的应用。例如, 一台高端的外骨骼机器人价格可达数十万元甚至上百万元, 许多患者和医疗机构难以承受。此外, 康复机器人的售后服务和维修成本也较高, 增加了用户的负担。

3.3 人才挑战

康复机器人行业的发展需要既懂康复医学又懂机器人技术的复合型人才。目前, 这类人才短缺, 制约了行业的发展。一方面, 康复医学专业的人才对机器人技术了解较少, 难以熟练操作和应用康复机器人; 另一方面, 机器人技术专业的人才对康复医学知识缺乏深入了解, 难以研发出符合临床需求的康复机器人产品。

3.4 临床验证与监管体系挑战

康复机器人作为一种医疗设备, 需要经过严格的临床验证和监管才能上市。目前, 我国康复机器人的临床验证体系还不够完善, 缺乏统一的评价标准和规范; 监管政策也有待进一步加强, 以确保产品的安全性和有效性。此外, 部分康复机器人产品在临床应用中还存在问题, 如与患者的适配性不佳、训练效果不明显等, 需要进一步改进和优化。

4 康复机器人的发展趋势

4.1 智能化与自适应化

未来, 康复机器人将朝着更加智能化和自适应化的方向发展。通过引入人工智能、机器学习、深度学习等技术, 机器人将能够更准确地识别患者的运动意图, 实时调整训练方案, 实现个性化、精准化的康复治疗。例如, 机器人可以根据患者的表情、语音和生理信号, 判断患者的情绪和身体状况, 及时调整训练强度和方式, 提高患者的康复体验。

4.2 轻量化与便携化

为了满足家庭康复和移动康复的需求, 康复机器人将逐渐向轻量化和便携化方向发展。采用新型材料和设计理念, 减轻机器人的重量, 缩小体积, 使患者可以在家中或外出时方便地使用康复机器人进行训练。例如, 北京航空航天大学研发的无源仿生等速膝关节康复机器人, 摒弃了传统电机驱动与外部供电模块, 采用人体-机械闭环能量流动的仿生设计理念, 实现了设备的极致轻量化与高集成度, 适合居家康复场景。

4.3 远程康复与居家康复

随着5G、物联网、大数据等技术的发展, 远程康复和居家康复将成为康复机器人的重要应用场景。患者可以在家中通过康复机器人进行训练, 治疗师可以通过远程监控系统实时了解患

者的康复情况, 并给予指导和调整训练方案。这不仅可以提高康复的便利性和可及性, 还可以降低医疗成本。例如, 基于家庭-社区-医院联动的三级康复网络建设, 通过远程康复指导系统与智能监测设备, 实现老年慢性病患者居家康复的全程管理。

4.4 产业化与规模化

随着技术的成熟和市场需求的增长, 康复机器人行业将逐渐实现产业化和规模化发展。企业将加大研发投入, 提高生产效率, 降低产品成本, 推动康复机器人的普及和应用。同时, 行业标准和规范将不断完善, 促进市场的健康发展。例如, 程天科技通过自主研发核心算法与核心元器件, 实现了外骨骼机器人的量产, 并成功出海多个国家和地区, 展现了康复机器人产业化发展的潜力。

5 结语

综上所述, 康复机器人作为新兴的医疗设备, 其为康复医学的发展带来了革命性的变化。相关实践表明, 康复机器人具有标准化、精准化、高效性、个性化等诸多优势, 在脑卒中后偏瘫康复、脊髓损伤康复、运动损伤康复、脑瘫患儿康复以及老年康复与护理等多个领域展现出了良好的应用前景。尽管目前行业发展面临着核心技术瓶颈、成本控制难题、专业人才短缺等挑战, 但随着技术的不断进步和社会认知度的提高, 康复机器人将朝着智能化、轻量化、多模态融合、远程康复与居家康复以及产业化与规模化的方向发展。未来, 康复机器人有望成为康复医疗领域的重要力量, 从而帮助更多患者重新回归健康、回归家庭、回归社会。

[参考文献]

- [1] 黄瑞文, 应其兴. 上肢康复机器人辅助治疗小儿脑瘫痉挛型偏瘫的效果[J]. 华夏医学, 2020, 33(04): 9-12.
- [2] 刘玉凤, 林琰, 陈小霞, 等. 上肢康复机器人联合针刺治疗对中风上肢运动功能及日常生活能力的影响[J]. 中国中医药现代远程教育, 2021, 19(6): 113-115.
- [3] 马小雪, 陈玉霞. A型肉毒毒素联合常规康复训练治疗小儿脑瘫致痉挛型偏瘫的效果及对平衡能力与日常生活能力的影响[J]. 临床合理用药, 2024, 17(26): 122-125.
- [4] 李景兰. 作业疗法联合上肢康复机器人辅助治疗在小儿脑瘫痉挛型偏瘫中的应用价值[J]. 黔南民族医学学报, 2023, 36(01): 19-21.
- [5] 钟耿, 张锡林, 罗慕荣. 上肢康复机器人联合针灸在脑卒中后上肢功能障碍患者中的运用研究[J]. 深圳中西医结合杂志, 2024, 34(23): 9-12.
- [6] 倪广宝, 徐远红, 李明辉, 等. 针刺同步双侧联动机器人训练在脑卒中后上肢痉挛患者中的应用[J]. 中国医学创新, 2025, 22(33): 156-160.