智能康复辅具适配下脊髓损伤患者日常生活活动能力提升研究

王兴金　任建达　陈志维　申瀚曾　石锦钰

牡丹江医科大学 黑龙江 牡丹江 157011

【摘　要】：脊髓损伤（spinal cord injury，SCI）破坏运动、感觉以及自主神经功能，患者进食、穿衣、洗漱、体位转移、行走等日常活动能力随之下降，大多需要他人长期照料，自身自尊与生活质量受到明显打击，也给家庭和社会带来沉重照护负担。近些年智能康复辅具逐步投入临床使用，为改善脊髓损伤患者日常活动能力提供了新的解决思路，但辅具实际干预效果，很大程度取决于适配工作是否落实到位。本文梳理国内外相关研究文献，围绕智能康复辅具的类别、技术发展现状，分析这类辅具对脊髓损伤患者日常生活活动能力的实际改善作用，总结当前辅具适配领域的研究进展，梳理现存现实问题，同时提出可行改进思路，为临床开展辅具适配工作以及后续相关研究提供参考。

【关键词】：脊髓损伤；智能康复辅具；日常生活活动能力；辅具适配；康复

DOI:10.12417/2811-051X.26.13.060

1 引言

脊髓损伤多由外伤或各类疾病引发，会造成脊髓组织结构破坏、机体功能受损，损伤平面以下运动、感觉、自主神经功能可出现不同程度丧失，是一类致残风险极高的中枢神经系统损伤。很多脊髓损伤患者会遗留肢体瘫痪问题，日常独立生活能力大打折扣，部分患者长期卧床或是依靠轮椅生活，不仅个人生活质量下降，也加重家庭护理压力，消耗大量医疗资源[4-5]。

伴随康复医学不断发展，生物医学工程、人工智能等多学科相互交融，各类智能康复辅具逐步应用于临床康复工作，为脊髓损伤患者康复训练提供更多工具。现有临床研究证实，智能辅具能够帮助患者恢复部分运动功能，改善日常活动水平，但想要发挥出设备的实际价值，关键要看辅具是否适配患者个体情况。适配工作做得不好，不仅达不到康复预期，还可能造成患者二次伤害。本文整理国内外相关文献，就智能康复辅具在脊髓损伤患者日常能力恢复中的应用、适配现状展开综述，并针对现存问题展开探讨。

2 智能康复辅具的类型与技术进展

2.1 上肢智能康复辅具

上肢康复机器人主要分为末端执行器型和外骨骼型两种。末端执行器型依靠机械臂带动患者上肢完成屈伸、旋转等动作，训练强度、运动轨迹都可以做到量化调控。现有临床研究证实，该设备对亚急性期脊髓损伤患者上肢功能恢复有积极作用，C4- C6节段损伤、上肢肌力偏弱的患者获益更为突出，关节活动范围、肌肉控制能力均可得到提升[1]。

上肢外骨骼设备更看重患者主动参与康复过程，设备依靠传感器捕捉肌电信号，识别患者运动意图，辅助完成进食、穿衣、洗漱等动作，以此提升患者自主完成生活动作的能力。

2.2 下肢外骨骼辅具

下肢外骨骼是脊髓损伤步态康复当中应用较为普遍的设备，国外已经诞生多款商业化产品，包括以色列ReWalk、美国Ekso Bionics、荷兰Indego等。这类设备依靠电机驱动，搭配传感器反馈与控制算法，辅助患者完成站立、行走动作。

临床实践发现，长期开展外骨骼步态训练，患者行走独立性、身体平衡能力、步幅等指标能够得到改善，下肢血液循环得到改善，压疮、肌肉萎缩等并发症发病风险有所降低；也有研究表明，该类训练可帮助膀胱功能恢复，减少尿失禁发生概率[2-3]。不过现有产品仍存在短板：多数患者借助设备依旧很难达到普通人行走速度；设备自重偏大，穿戴流程繁琐，长时间使用会加重躯干负荷，直接影响患者使用意愿。

2.3 脑机接口与神经调控融合技术

单一类型辅具很难覆盖患者全部康复需求，国外研究开始偏向多技术联合应用，将功能性电刺激、脊髓电刺激、脑机接口技术同智能辅具相互结合。瑞士洛桑联邦理工研发的植入式闭环神经假体具有代表性，设备植入电极对损伤部位神经进行精准刺激，搭配康复机器人共同干预，促进神经发生可塑性改变。多名慢性脊髓损伤患者借助这套系统，实现脱离机器人辅助独立行走，对于重度脊髓损伤患者意义重大。

斯坦福研究团队将功能性电刺激和下肢外骨骼结合，依靠电刺激激活下肢肌肉，配合外骨骼协同工作，改善步态协调性，提升行走效率，同时缓解肌肉萎缩，促进肌力恢复。国内同样在开展相关探索：上海中医药大学研发脑控康复轮椅，依托稳态视觉诱发电位技术，患者注视屏幕对应目标，就可以操控轮椅前进、后退、转向；训练过程依靠脑电反馈刺激运动皮层重

基金来源：牡丹江医科大学第十六届大学生科研项目，一般项目，项目编号：2026092。

塑，形成“控制- 反馈- 康复”的闭环模式。西安国际医学中心将经皮脊髓电刺激和下肢康复机器人联用，采集肌电信号判断肌肉活动状态，动态调整刺激参数与辅助力度，验证了肌肉神经和机器协同工作的可行性。

3 智能康复辅具对 SCI 患者 ADL 提升的临床应用

3.1 上肢外骨骼与上肢相关日常生活活动

国内对照研究对比上肢外骨骼干预和传统康复训练的临床效果，结果显示使用上肢外骨骼的患者，进食、穿衣、洗漱等日常生活活动评分更高，康复训练配合度也更好，说明该设备能够切实改善上肢相关生活能力，颈段、胸上段损伤患者受益尤为明显[1]。

3.2 下肢外骨骼与移动能力

多项临床观察发现，坚持开展下肢外骨骼步态训练的患者，行走、平衡能力提升更加明显，对轮椅的依赖程度下降，生活质量随之改善。这类设备更适合胸下段、腰段损伤患者，主要改善行走、上下楼梯、体位转移这类依靠下肢完成的日常活动[2-3]。下肢外骨骼既可以用于康复训练，也能够作为日常移动辅助工具，帮助患者更多参与社会生活。

3.3 组合适配与多学科协同干预

不同辅具改善的生活能力侧重点各有不同，单独使用某一种，往往只能解决部分功能障碍。组合适配思路就是搭配多种辅具，针对患者功能薄弱点开展干预。颈段不完全损伤患者，可同时使用上、下肢外骨骼，同步开展上下肢功能训练，逐步向生活自理过渡；高位颈段完全损伤患者，可搭配脑控轮椅与上肢辅助辅具，解决移动和简单操作问题，减少对外界照护的依赖。除去辅具设备本身，多学科团队的参与同样十分关键。康复医师、治疗师、生物医学工程师、心理治疗师、营养师分工协作，把辅具适配和康复训练、心理疏导、营养调理统筹开展，患者训练依从性以及最终康复效果往往会更好。

4 智能康复辅具适配研究现状

4.1 适配评估指标

国外开展辅具适配评估时间较早，已经搭建起一套以患者损伤特征为核心的评估指标，涵盖损伤节段、损伤严重程度、肌力、身体形态、运动功能，同时兼顾患者主观诉求，以此确定适配方案。例如颈段损伤患者优先选择上肢辅具、脑控类辅具，腰段损伤患者重点配置下肢辅具。

国内在借鉴国外经验基础上，提出“生理- 功能- 主观”多维度评估框架，将患者主观诉求、使用体验、心理状态纳入评估范围。适配并不是一次性完成，还需要跟随康复进程动态调整：急性期重点做好保护、被动康复；亚急性期侧重辅助训练，调动患者主动运动；慢性期则以独立使用辅具、维持现有功能为目标。但国内外都还没有形成统一、成熟的个性化适配标准，多数方案偏向通用化，很难充分兼顾每个患者个体差异。

4.2 适配流程与本土化实践

适配流程层面，国外多依靠多学科协作小组，结合个体情况制定专属适配方案。国内更多依托技术手段实现适配优化：借助人体工学建模、自适应模糊控制算法，辅具可以结合患者身形、运动状态自动调整角度、力度、位置；人工智能算法进一步优化适配参数，减少人工反复调试工作量。

国内部分大型康复机构已经组建多学科康复团队，将辅具适配和物理治疗、作业治疗、心理干预、营养支持相互结合；相关政策也持续推动辅具向社区、居家场景落地。但国内适配体系依旧存在短板，组合适配、分阶段适配缺少系统研究；临床应用大多集中在三甲医院、专业康复机构，面向社区、家庭场景的相关研究较为匮乏[8]。

5 存在问题与展望

综合现有研究来看，目前主要存在几方面现实问题。第一，缺少成熟的个性化适配标准，不同损伤程度、不同康复阶段的患者，经常采用相近的适配方案，适配不合理不仅降低康复效果，还存在二次损伤风险；第二，智能辅具购置成本较高，普通家庭经济压力大，难以大范围普及；第三，人机交互体验有待优化，设备操作繁琐、穿戴耗时长，直接降低患者使用意愿；第四，缺少长期随访资料，辅具能够给患者日常生活能力带来多大改善、效果可以维持多久，仍缺少系统临床证据；第五，国内部分核心零部件、关键技术仍依赖进口，康复治疗师也普遍缺少系统的辅具适配专项培训[6-7]。

后续可以从以下方向开展改进：搭建适配我国实际情况的个性化适配理论与评估体系，推进多技术融合、多辅具组合适配，推动辅具走进社区与家庭，积累长期随访临床数据。辅具适配不能独立开展，需要和康复训练、居家环境改造（加装扶手、改造门槛、拓宽室内通道等）相互配合，构建“适配- 训练- 环境改造”完整干预模式，才能真正实现患者日常生活能力的切实提升。

6 结语

现有临床证据已经证实智能康复辅具能够改善脊髓损伤患者的日常生活活动能力，而辅具能否发挥实际作用，核心在于适配是否精准到位。后续应当加强多学科协作，推进本土化研究，逐步建立“评估- 适配- 训练- 优化”完整工作流程，同时做好康复治疗师规范化培训，规范适配操作流程，推动国内康复辅具产业自主研发创新。只有这样，智能康复辅具才能在脊髓损伤康复领域规范落地，让更多患者从中获益。

参考文献：

[1] Ye X,Liu Y,Liu R.Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on motor ability,neurophysiological changes,mental health,and activities of daily living in spinal cord injury:a systematic review and meta-analysis[J].European Spine Journal,2026,(prepublish):1-15.

[2] Zhang J,Wang B,He J,et al.Effects of physical therapy on motor ability in patients with spinal muscular atrophy III:a study protocol for a randomised controlled trial.[J].BMJ open,2025,15(12):e104675.

[3] 张东,王海,汪玲,等.基于运动想象疗法的标准化转移训练对轮椅依赖型脊髓损伤患者转移质量和日常生活能力的影响[J].现代医药卫生,2024,40(17):2920-2923.

[4] 孙茁,刘凯,马舒婷,等.关键肌运动点针刺对脊髓损伤患者神经电生理指标、下肢运动功能及日常生活能力的影响[J].现代生物医学进展,2024,24(14):2776-2779+2761.

[5] [19]汤惠珠,欧阳隽超.一体化急救联合综合康复干预对脊柱骨折合并脊髓损伤患者术后生活能力的影响研究[J].中华灾害救援医学,2024,11(07):809-812..

[6] 韩洪莉,张莎莎.运动想象疗法联合重复经颅磁刺激对脊髓损伤患者躯干控制能力及肢体运动功能恢复的影响[J].中华养生保健,2024,42(16):65-68.