

机器人辅助步态训练在烧伤康复中的研究进展

张拔渤, 赵海洋, 张万福, 韩飞, 官浩

(空军军医大学第一附属医院烧伤与皮肤外科 陕西 西安 710032)

摘要 深度烧伤后患者长期卧床, 体位固定和创面愈合后瘢痕增生挛缩, 往往会导致诸多肢体功能障碍, 尤其是下肢烧伤, 其严重后果会影响患者行走, 跳跃, 站立等功能, 极大地降低了患者的生活质量。目前运动疗法在烧伤肢体的康复治疗中发挥重要作用, 常用的方法包括关节活动度训练、牵伸训练、主动助力运动训练、抗阻训练、水中运动训练等。上述方法施于患者肢体, 对患肢进行活动锻炼, 可改善患肢的功能障碍。随着科技的不断进步, 功能训练机器人应运而生, 其出现节约了人力, 提供给患者精细、程序化、标准化、可持续化的功能锻炼治疗, 其中步态辅助训练机器人在康复治疗中得到广泛应用。本文对机器人辅助步态训练在烧伤康复治疗中的优势、应用及不足进行了综述, 为其在烧伤康复治疗中的进一步应用提供参考依据。

关键词 烧伤; 康复; 机器人辅助步态训练; 肢体功能障碍

中图分类号 R644 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2024) 06-1167-05

Research advances on robot-assisted gait training in burn rehabilitation

ZHANG Babo, ZHAO Haiyang, ZHANG Wanfu, HAN Fei, GUAN Hao

(Department of Burns and Cutaneous Surgery, the First Affiliated Hospital of Air Force Medical University, Xi'an 710032, China)

Abstract Patients frequently experience long-term bedridden, body position fixation, scar hyperplasia and contracture following deep burns, which can result in limb dysfunction, particularly in the lower extremities. These complications significantly impact patients' ability to walk, jump, stand, and perform other activities, thereby diminishing their quality of life. Exercise therapy is a crucial component of burned limb rehabilitation, commonly utilized techniques including joint range of motion training, stretching, active assistance exercise, resistance training, and water-based exercises, etc. The aforementioned techniques are utilized on the patient's extremities for physical activity training aimed at enhancing the functionality of the impaired limbs. The advancement of technology has led to the development of functional training robots, which offer a more efficient and standardized approach to functional exercise therapy, reducing the need for human intervention. Gait assistance training robots, in particular, have become prevalent in rehabilitation practices. This article offers a comprehensive overview of the benefits, applications, and limitations of robot-assisted gait training in burn rehabilitation, which may serve as a valuable reference for the further implementation of this training method in burn rehabilitation.

Key words Burn; Rehabilitation; Robot-assisted Gait Training; Limb Dysfunction

瘢痕增生和瘢痕挛缩是深度烧伤患者常见的并发症, 极易导致患肢功能障碍, 严重影响患者生活质量。关节功能障碍主要由烧伤后疼痛、卧床制动和缺乏正确及时的康复锻炼引起。尤其

下肢深度烧伤后, 下肢关节活动范围受限和肌力减退可能导致步态障碍, 其中踝关节是最常受影响的关节, 其次是髌关节和膝关节。步态障碍会引起下肢活动度降低, 包括步长、抬腿高度和

收稿日期: 2024-02-29 录用日期: 2024-04-18

Received Date: 2024-02-29 Accepted Date: 2024-04-18

基金项目: 国家自然科学基金 (82272268)

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China(82272268)

通讯作者: 官浩, Email: guanhao2020@yeah.net

Corresponding Author: GUAN Hao, Email: guanhao2020@yeah.net

引用格式: 张拔渤, 赵海洋, 张万福, 等. 机器人辅助步态训练在烧伤康复中的研究进展 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2024, 5 (6): 1167-1170, 1224.

Citation: ZHANG B B, ZHAO H Y, ZHANG W F, et al. Research advances on robot-assisted gait training in burn rehabilitation[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(6): 1167-1170, 1224.

步速的降低^[1]。因此,下肢烧伤后的功能康复训练对于改善患者的步态和行走独立性至关重要。Gawaziuk J P 等人^[2]建议烧伤患者在皮肤移植后损伤部位不存在并发症风险时,即可开始下床活动。传统的运动训练包括关节活动度训练、牵伸训练、主动助力运动训练、抗阻训练、水中运动训练^[3],通过以上训练可改善患肢血液循环,增强神经肌肉功能,增加关节活动度,对抗瘢痕挛缩,从而纠正功能障碍^[4]。传统的步态训练需要人工辅助,通常需要康复治疗师一对一,甚至多对一进行训练,对医疗人力需求较高,且人工辅助训练过程中,较难保证训练的精确性、持续性,功能恢复评估缺乏客观性^[5]。为了弥补这些缺陷,功能辅助训练机器人应运而生。

机器人辅助步态训练(Robot-assisted Gait Training, RAGT)旨在通过重复训练恢复步态功能,在脑瘫、卒中后、肌肉骨骼损伤等患者康复中得到了良好的疗效。近年来,RAGT在烧伤后下肢步态训练的应用研究取得一定的进展^[6-7]。

1 RAGT 的优势

RAGT旨在辅助重复运动训练促进神经康复,许多研究已经证明了其在中风和脊髓损伤患者中的有效性和可行性。最近的研究又将RAGT应用于膝关节炎等肌肉骨骼损伤患者。RAGT由计算机自动编程,可提供具有理想运动学的正常步态模式^[8]。而RAGT应用于烧伤下肢步态训练有以下优势。

1.1 个性化治疗 RAGT可以根据每位患者的具体情况进行个性化治疗。通过对患者的身体特点、康复需求和能力水平进行评估,可以调整机器人的参数和运动模式,以提供最适合患者的康复训练^[9]。

1.2 精确控制 RAGT具有高度精确的运动控制能力。它可以监测患者的姿势、步态和力量输出,并根据实时反馈调整运动轨迹和力量应用,以帮助患者恢复正常的步行模式和肌肉功能^[10]。

1.3 提供可重复性训练 RAGT可以提供可重复性的训练环境。相比传统的人工辅助训练,机器人可以按照预设的模式和参数进行连续的运动,保证了训练的一致性和可比性,有利于评估康复进展和制定治疗计划^[11]。

1.4 增加训练强度和持久性 RAGT可以提供更高强度的康复训练。它能够调整运动速度、力量输出和训练时间,使患者能够进行更长时间和更高强度的步态训练,加速康复进程^[12]。

1.5 减少治疗人力成本 RAGT可以减轻医务人员的负担。相比传统的人工辅助训练,机器人可以自动完成一部分康复训练任务,减少了人工操作的需求,节省了治疗人力成本^[13]。

1.6 提供心理支持 RAGT可以提供积极的心理支持。通过提供可视化反馈、声音提示和鼓励性信息,增加患者的参与感和积极性,提高康复积极性和自信心^[14]。

2 RAGT 在烧伤康复中的应用

2.1 卧床期膝关节被动伸屈训练 长期卧床往往会降低膝关节的活动度。正常关节固定4周即可导致关节挛缩,而受伤的关节固定2周即可发生关节挛缩,因此康复的介入越早越好,术后1个月内介入最佳^[15]。烧伤患者植皮术后在解除敷料时即可进行床上的膝关节被动康复训练。路琳等人^[16]在烧伤患者敷料拆除当天,予以Speetra膝关节CPM机训练,膝关节活动幅度在被动伸屈活动度(Range of Motion, ROM)的基础上加5~10°,每天2次,30~60分钟/次。治疗3个月后,对比常规康复训练,包括主动训练和家属辅助被动训练等,CPM机辅助被动训练对改善膝关节伸屈主被动ROM、预防及治疗深度烧伤后膝关节僵硬和腘窝挛缩畸形效果更显著,缩短了行走能力恢复的时间,同时有助于预防长期卧床导致的下肢静脉血栓形成。然而,在中后期烧伤后关节活动度训练中,单纯CPM机训练作用几乎不大。在烧伤康复过程中,患者关节周围的肌肉和组织往往并发严重的损伤和纤维化,导致关节活动受限。CPM机主要通过被动的拉伸关节,从而达到增加关节活动度的目的。此时,单纯的CPM机训练难以触及问题的根本,疗效不理想。若联合运动疗法、医疗体操等方法,在帮助患者主动增强肌肉力量同时,改善关节稳定性,从而提高关节活动度,缓解关节僵硬。此外,运动疗法和医疗体操还能够改善患者的心肺功能、提高身体协调能力,有助于患者全面康复^[17]。

2.2 RAGT 辅助行走训练 So Y J 等人^[18]使用携带踏板的可穿戴机器人 SUBARVR 对Ⅱ、Ⅲ度烧伤植皮患者进行康复训练,训练前测量患者的大腿和小腿长度,根据患者的体型进行参数调整,由治疗师协助患者穿上可穿戴机器人装备,调整至可适应且舒适的步行速度及幅度,速度以 0.8~2.4 km/h 为准,模拟步态过程中下肢的周期性运动。机器人辅助训练改善了下肢烧伤患者股四头肌的神经肌肉功能,使膝关节能够完全伸展,并且不会增加术后膝关节的疼痛程度^[19]。重度烧伤患者形成的增生性瘢痕在后期往往有瘢痕迟滞的问题,导致瘢痕进一步紧缩和变硬,RAGT 能明显减少增生性烧伤瘢痕的滞后现象,降低重复性皮肤扩张和放松过程中能量的耗散,使皮肤疲劳效应得到改善;同时不会导致皮肤扩张性明显下降。此外,RAGT 辅助训练过程中没有发现烧伤瘢痕周围的皮肤并发症^[20],表明 RAGT 可作为烧伤患者早期下床康复训练的合适选择,有助于促进患者行走能力的恢复,并减缓瘢痕形成的滞后现象,具有一定的临床应用价值。脑卒中后足下垂的患者在 RAGT 治疗后,踝部肌张力和行走能力得到明显改善^[21-22]。同时,足下垂作为脚踝烧伤患者常见的并发症,进一步探索 RAGT 对改善烧伤后因瘢痕挛缩导致的足下垂具有临床实践意义。

2.3 联合虚拟现实技术 在烧伤患者康复过程中,活动牵拉导致残余创面疼痛较为显著,尽管常规的加压包扎和止痛药物在缓解疼痛方面取得了一定效果,但仍不理想。患者可能因此对治疗产生抵触情绪,或对运动康复产生恐惧心理,从而影响康复治疗的顺利进行。Lee S Y 等人^[23]在烧伤患者进行 RAGT 过程中联合虚拟现实技术(Virtual Reality, VR),可以显著降低训练过程的疼痛评分并提高前额皮质脑血流量,表明 VR 可能是烧伤患者物理治疗过程中一种强大的非药物止痛技术。这种非侵入式的干预措施有趣味性强、内容丰富等优点,在改善运动、认知功能方面具有很大的实用价值及发展前景;在提高患者训练适应度、训练完整性以及节约康复治疗师人力资源方面有独特的优势。另外,VR 可引入沉浸式画面,患者在虚拟环境中训练表现出更好的参与感、享受感,相

对于传统康复治疗而言,其治疗积极性较高。VR 除了康复本身外,对心理的影响也是有益的。诸多研究报道,患者在训练过程中感觉更热情、放松、精力充沛,而负面的情绪如担忧、恐惧、压力和焦虑明显减轻^[24]。

2.4 联合神经肌肉电刺激技术 烧伤患者由于创面疼痛、长期卧床等因素缺乏肢体功能性锻炼,导致失用性肌萎缩。功能训练机器人通过连续被动运动的方式,帮助患者进行有针对性的康复训练^[25]。肌肉收缩是康复训练的关键环节,只有肌肉收缩才能使患者的肢体运动恢复到正常状态。然而,机器人无法替代患者自身的肌肉收缩锻炼,只有在患者主动收缩肌肉、积极进行锻炼的基础上,结合机器人的连续被动辅助,才能达到最佳的康复效果^[4]。Bae Y H 等人^[26]通过将功能性电刺激应用于患肢踝关节背屈肌的治疗,发现相较于仅使用辅助训练机器人进行治疗,结合功能性电刺激的治疗方法能更为显著地改善慢性卒中患者的步态相关功能。如果联合神经肌肉电刺激技术,可以实现辅助被动运动的同时进行肌肉收缩锻炼,促进肌肉力量恢复,进一步改善烧伤患者的步态功能,在临床应用中值得研究探索。

3 RAGT 在烧伤康复中的不足与挑战

RAGT 作为一种新颖的下肢烧伤康复疗法,具备可重复性和高效性,对于促进步态康复具有较大的临床应用潜力。然而,在实际临床应用过程中,仍需关注以下几个方面的挑战。

3.1 安全问题 RAGT 通常依赖于预先设定的运动模式和参数。然而,烧伤患者的步态异常可能存在较大的差异性,瘢痕的形成更进一步加剧了关节活动度的差异。因此,在充分评估患者步态功能和瘢痕延展性的基础上,有必要对机器人参数进行适当调整。为确保烧伤患者在使用 RAGT 中的安全和效果,我们需要充分考虑其特殊情况。首先,在训练开始前,应对患者的步态功能进行全面的评估,了解他们的步态异常特征以及瘢痕的延展性。这有助于为患者量身定制合适的训练方案。其次,机器人参数的设置应灵活调整,以适应患者的个体差异。这包括调整机器人的运动模式、力量输出

以及与烧伤部位的接触方式等。此外,我们还应密切关注患者在训练过程中的反应,及时调整机器人参数以优化训练效果。最后,对于烧伤患者,术后创面护理至关重要。在下肢康复训练机器人临床应用治疗过程中,文献报道最常见的不良反应是保护带引起的各类皮肤问题,如皮肤泛红、损伤、出现淤血、擦伤、水疱形成以及因保护装置引发的不适感。除此之外,还有报道显示患者可能出现直立性低血压、疲劳现象(例如上肢疲乏)、多种疼痛问题(包括腰背部、关节和肌肉疼痛)、跌倒事故。此外,还有一些其他不良反应被记录,包括恐慌感、头晕目眩、泌尿道感染、距骨断裂、跟骨破裂以及严重的膝关节过度伸展等情况^[27-28]。在训练过程中,应采取必要的措施防止机器人对烧伤部位产生不必要的压力或机械摩擦,以降低感染和创面恶化的风险。同时,定期对患者的创面进行检查和护理,确保其处于良好的状态。

3.2 成本与可及性 RAGT设备在当前医疗领域中的应用受到了一定的限制。其主要原因在于,这类设备的价格相当昂贵,且机器的维修费用高,对于许多医疗机构来说是一笔不小的开支。此外,为了充分发挥这类设备的性能,医护人员需要接受专门的技术支持和培训。这在一定程度上增加了使用这类设备的难度,尤其是在一些经济条件相对薄弱的地区,难以承担额外的培训费用。另外,RAGT训练只能在医院进行,长期训练难以实现,且费用高昂,无法大规模推广普及。

3.3 长期效果证据 尽管RAGT被认为有助于改善步态和功能恢复,但在烧伤患者中的长期效果尚未得到充分证实。目前还缺乏大规模的长期随访研究以评估RAGT对于烧伤患者康复的持久影响。在应用于烧伤步态功能恢复中,髋关节及踝关节等运动功能康复效果仍有待研究。尽管存在这些不足之处,RAGT仍然具有潜力,在烧伤患者的康复中发挥积极作用。进一步的研究和技术改进有助于解决这些问题,并提高RAGT在烧伤患者应用中的效果和可行性。

4 总结

辅助步态训练机器人广泛应用于烧伤康复领域,因其为烧伤康复患者提供精确的运动训

练,全程低能耗、无疲劳重复执行,可协助烧伤患者在卧床及行走实现早期康复训练,减少关节挛缩、下肢静脉血栓的形成,对因烧伤造成的肢体肌肉萎缩、关节僵硬挛缩、运动功能障碍、增生性瘢痕迟滞也有良好的康复治疗效果。随着科学技术的发展,辅助步态训练结合VR技术及神经肌肉电刺激,提高了患者训练的积极性和舒适度。但目前的技术仍需进一步发展,也需要大量的随机对照研究和长期高质量的随访来证实RAGT在临床应用中的优势。

利益冲突声明: 本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明: 所有作者对题目和文章结构构思做出了贡献。张拔渤、赵海洋进行了文献调研和论文起草;张万福、韩飞对文章进行了重要修订;官浩对文章进行了最终修订;所有作者共同确定了最终文稿。

参考文献

- [1] Bohannon, R.W, Crouch R. Minimal clinically important difference for change in 6-min walk test distance of adults with pathology: a systematic review[J]. J Eval Clin Pract, 2017, 23(2): 377-381.
- [2] Gawaziuk J P, Peters B, Logsetty S. Early ambulation after-grafting of lower extremity burns[J]. Burns, 2018, 44(1): 183-187.
- [3] 中国老年医学学会烧伤分会. 烧伤后关节功能障碍的预防与康复治疗专家共识(2021版)[J]. 中华损伤与修复杂志(电子版), 2021, 16(4): 277-282.
- [4] Price K, Moiemien N, Nice L, et al. Patient experience of scar assessment and the use of scar assessment tools during burns rehabilitation: a qualitative study[J]. Burns Trauma, 2021. DOI: 10.1093/burnst/tkab005.
- [5] Yoshioka T, Kubota S, Sugaya H, et al. Robotic device-assisted knee extension training during the early postoperative period after opening wedge high tibial osteotomy: a case report[J]. J Med Case Rep, 2017, 11(1): 213.
- [6] Kang M G, Yun S J, Shin H I, et al. Effects of robot-assisted gait training in patients with Parkinson's disease: study protocol for a randomized controlled trial[J]. Trials, 2019, 20(1): 15.
- [7] Lefmann S, Russo R, Hillier S. The effectiveness of robotic-assisted gait training for paediatric gait disorders: systematic review[J]. J Neuroeng Rehabil, 2017, 14(1): 1.
- [8] Joo S Y, Lee S Y, Cho Y S, et al. Effectiveness of robot-assisted gait training on patients with burns: a preliminary study[J]. Comput Methods Biomech Biomed Engin, 2020, 23(12): 888-893.
- [9] Morone G, Paolucci S, Cherubini A, et al. Robot-assisted gait training for stroke patients: current state of the art and perspectives of robotics[J]. Neuropsychiatr Dis Treat, 2017. DOI: 10.2147/NDT.S114102.
- [10] Calabrò R S, Cacciola A, Bertè F, et al. Robotic gait rehabilitation and substitution devices in neurological disorders: where are we now?[J]. Neuropsychiatric Disease and Treatment, 2016, 37(4): 503-514.
- [11] Schwartz I, Sajin A, Fisher I, et al. The effectiveness of locomotor therapy using robotic-assisted gait training in subacute stroke patients: a randomized controlled trial[J]. PM&R, 2009, 1(6): 516-523.
- [12] Hidler J, Nichols D, Pelliccio M, et al. Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke[J]. Neurorehabilitation and Neural Repair, 2009, 23(1): 5-13.

(下转 1224 页)