

# 脑卒中后手部功能障碍的临床康复治疗研究综述

何圆斌<sup>1</sup>, 何晨杰<sup>2</sup>, 郑志茹<sup>3</sup>, 黄艺宁<sup>2</sup>, 蔡颖<sup>4</sup>, 陈艳琪<sup>3</sup>, 段宁贵<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>右江民族医学院影像学院, 广西 百色

<sup>2</sup>右江民族医学院检验学院, 广西 百色

<sup>3</sup>右江民族医学院临床医学院, 广西 百色

<sup>4</sup>右江民族医学院护理学院, 广西 百色

<sup>5</sup>右江民族医学院公共卫生与管理学院, 广西 百色

收稿日期: 2023年5月22日; 录用日期: 2023年6月21日; 发布日期: 2023年6月29日

## 摘要

脑卒中患者病后常遗留手部运动功能障碍问题, 严重影响后续生活, 成为各方面关注的重点。本文综述脑卒中后手部功能障碍的常见康复疗法, 发现它们均有一定的疗效, 能够有效提高手部运动功能, 但都具有一定的局限性。未来应在临床实践工作中还需要探索更科学、高效、安全和经济的康复治疗方法。

## 关键词

脑卒中, 康复疗法, 手部功能障碍, 运动疗法

## Summary of Clinical Rehabilitation Treatment of Hand Dysfunction after Stroke

Yuanbin He<sup>1</sup>, Chenjie He<sup>2</sup>, Zhiru Zheng<sup>3</sup>, Yining Huang<sup>2</sup>, Ying Cai<sup>4</sup>, Yanqi Chen<sup>3</sup>, Ninggui Duan<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>School of Medical Imaging, Youjiang Medical College for Nationalities, Baise Guangxi

<sup>2</sup>School of Medical Laboratory Medicine, Youjiang Medical College for Nationalities, Baise Guangxi

<sup>3</sup>School of Clinical Medicine, Youjiang Medical College for Nationalities, Baise Guangxi

<sup>4</sup>School of Nursing, Youjiang Medical College for Nationalities, Baise Guangxi

<sup>5</sup>School of Public Health and Management, Youjiang Medical College for Nationalities, Baise Guangxi

Received: May 22<sup>nd</sup>, 2023; accepted: Jun. 21<sup>st</sup>, 2023; published: Jun. 29<sup>th</sup>, 2023

\*通讯作者。

文章引用: 何圆斌, 何晨杰, 郑志茹, 黄艺宁, 蔡颖, 陈艳琪, 段宁贵. 脑卒中后手部功能障碍的临床康复治疗研究综述[J]. 护理学, 2023, 12(3): 368-374. DOI: 10.12677/ns.2023.123052

## Abstract

Stroke patients often leave behind the problem of hand motor dysfunction after illness, which seriously affects their subsequent life and has become the focus of attention in all aspects. This paper summarizes the common rehabilitation therapies for hand dysfunction after stroke, and finds that they all have certain curative effects and can effectively improve hand motor function, but they all have certain limitations. In the future, more scientific, efficient, safe and economical rehabilitation methods should be explored in clinical practice.

## Keywords

Stroke, Rehabilitation Therapy, Hand Dysfunction, Motortherapy

Copyright © 2023 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. 引言

脑卒中又称为“中风”，是我国成人致死、致残的首要病因。据《中国脑卒中防治报告 2020》调查显示，截止 2019 年我国脑卒中患者人数约 1704 万，患病率达 1700/10 万，整体呈上升趋势[1]。随着我国医疗条件的改善，脑卒中患者平均寿命有所提高，但大多数患者仍有不同的肢体功能障碍[2]，包括感觉障碍、运动障碍、协调障碍与灵活度下降等[3]，约 80% 的脑卒中患者存在不同程度的上肢手部功能障碍，约 65% 的脑卒中患者在病后 6 个月仍存在一定程度上肢手部功能障碍[4]，仅约 12% 的脑卒中患者经治疗后手部功能有较好的恢复[5]。脑卒中患者的手部功能障碍主要表现为偏瘫侧肌肉无力、肌张力异常、痉挛、活动范围受限与运动控制异常等[6]，从而影响日常生活中手部的精细运动，导致生活质量下降。因此，促进脑卒中患者手部功能康复已成为康复治疗的重点。本文就脑卒中患者健康教育及目前临床常见的康复疗法进行研究总结，旨在为脑卒中患者的康复治疗提供参考。

## 2. 研究进展

### 2.1. 认知行为干预相关研究

脑卒中手部功能障碍患者的康复过程很漫长，常由于自身躯体障碍、心理方面、家庭、经济负担、社会等多方面影响出现各种不良情绪，从而抗拒康复治疗，因此在康复治疗中对患者进行认知行为干预非常重要[7] [8]。相比于其他康复疗法而言，向患者普及康复的基本知识与心理疏导，能够更好的提高患者自身的信心。康佳等[9]对患者进行康复护理，证实通过加入针对性的心理护理，及时对患者进行不良情绪疏导，患者预后结果非常好，日常活动能力有较大提升。吴际军等[10]研究表明，在康复期对脑卒中患者进行认知行为干预，通过改变心理认知来促进行为改变，能够明显提高患者的康复自我效能的水平与功能锻炼的依从性，从而促进运动功能的改善，提高康复治疗效果。石东辉[11]对脑卒中偏瘫患者进行社区赋能教育，能够提升患者的肢体功能，有助于降低卒中复发率。

### 2.2. 经颅直流电刺激(tDCS)相关研究

tDCS 作为脑卒中患者上肢手部功能康复的新型脑刺激技术，因其具有强度低、无创、安全、效率高

等优点,而被广泛应用[12]。其原理是通过电极片释放微弱的直流电作用于头颅表面,增强或抑制神经细胞兴奋性。其设备由阳极和阴极两个电极片构成,其中阳极的作用是增强神经细胞兴奋性,阴极则起抑制作用。在多数相关研究中,常将阳极放置于患侧上肢的初级运动区,阴极放置于健侧上肢的初级运动区,从而调控双侧大脑半球的神经细胞兴奋性平衡[13][14]。有研究表明,脑卒中患者在经过一段时间的tDCS治疗后,通过九孔柱与Jebsen-Taylor对手功能评分,发现患者的评分较治疗前有所改善,并且患者的书写能力有一定的提高,治疗结果显示患者明显减少患侧手指完成康复动作的时间[15]。Romero等[16]通过实验证明,脑卒中后手功能偏瘫患者在tDCS治疗一段时间之后,大脑皮质兴奋性有所提高,改善了患侧手的灵活性,患者完成手指功能性动作的时间明显缩短。无创的tDCS在治疗脑卒中患者的手部功能障碍方面显示出巨大的潜力[17]。

### 2.3. 重复经颅磁刺激(rTMS)相关研究

rTMS是经颅磁刺激(TMS)进一步研究所得的产物,其基础原理是电磁感应,通过将电磁线圈固定在患者颅脑的不同功能区,电磁线圈产生规律磁场刺激大脑运动皮层神经元兴奋性的变化,从而修复神经通路,改善患者的上肢活动能力[18][19]。而不同磁场频率的治疗效果也不同,如采用频率大于1Hz的磁场刺激则会提高大脑皮质代谢,增加脑血流量;而采用频率小于1Hz的磁场刺激则作用效果相反[20]。有研究表明,使用高、低频rTMS治疗分别两组患者后,两组患者的上肢运动功能均有一定程度的改善,但高频组的疗效明显高于低频组[21]。Askin[22]将40例慢性缺血性脑卒中后上肢偏瘫患者分为两组,第一组进行常规的理疗,另一组在进行常规理疗的同时,给予健侧初级运动区低频rTMS治疗,结果证实低频重复经颅磁刺激可有效改善患者上肢运动功能。rTMS能够调节大脑皮质的兴奋度、促进神经通路的修复、影响脑血流量,在卒中康复的应用日趋广泛[23]。

### 2.4. 运动想象疗法(MIT)相关研究

MIT在脑卒中康复治疗中的应用一直备受关注,并在近年来得到了广泛的研究和应用。MIT可以通过想象和视觉化的方式,激活患者的神经系统,帮助恢复他们的运动能力。部分研究表明,与其他康复疗法相比,运动想象疗法具有不需要特殊设备、场地、入选标准低等优点,不依赖于患者肢体残存的运动能力,又与患者的主动性相关,在有效性、无创性及经济适用性方面存在明显的优势[24]。有学者研究表明,脑卒中后肢体偏瘫患者通过采用MIT进行康复治疗能够有效改善肢体的运动功能与平衡能力[25]。孙莉敏等[26]利用fMRI研究了MIT对恢复期脑卒中上肢康复存在的脑重塑机制,结果表明MIT对脑卒中上肢功能的恢复存在募集激活和集中激活两种不同的脑重塑模式,两种模式从量变和质变提高了对侧感觉运动区向脊髓运动神经元输出信号的效率,从而提高恢复期脑卒中患者的上肢功能。此外,运动想象疗法还可以减轻脑卒中患者的焦虑和抑郁症状,改善他们的心理健康状况[27]。虽然运动想象疗法在脑卒中康复治疗中取得了显著的成效,但仍存在一些不确定性和挑战[28]。而随着相关研究的不断深入和发展,相信运动想象疗法或将成为脑卒中康复治疗中一个重要的治疗手段。

### 2.5. 强制运动疗法相关研究

强制运动疗法是美国学者经过多年研究提出的一种康复训练方法,是脑卒中偏瘫患者肢体功能康复的一种重要治疗手段[29]。研究表明,强制运动疗法可以提高患者的运动能力、运动速度、平衡能力和日常生活能力[30]。特别是在训练大肌肉群的情况下,强制运动疗法能够通过强制性、重复性和高强度的训练,改善患者的运动功能[31]。强制运动疗法在康复的早期阶段就应用于脑卒中偏瘫患者的肢体功能康复中,可促进偏瘫肢体的运动恢复。有研究表明,改良强制性运动疗法联合低频重复经颅磁刺激可协同提

高脑卒中患者患侧大脑皮质兴奋性,促进半球间平衡重建,有助于患侧皮质脊髓束功能修复,进而改善偏瘫上肢运动功能[32]。在文献报道中,改良强制运动疗法可以通过训练促进肢体的运动和功能恢复,对患者上肢运动功能、生活质量改善有积极意义[33]。虽然强制运动疗法在脑卒中偏瘫患者肢体功能康复中应用广泛,但它也面临着一些实践问题。例如,强制性运动疗法若过度使用对患者健肢会产生孤立作用,若不进行协调配合,即使是能提高患者的患肢功能,也无法将这种功能良好的运动到日常生活与工作中去[34]。总之,强制运动疗法是一种有效的脑卒中康复治疗手段,但需要全面考虑患者的病情和治疗需要,才能帮助更多的脑卒中患者恢复。

## 2.6. 康复机器人相关研究

何谓康复机器人,即指能自动执行指令任务的人造机器装置,用来代替或协助人体的某些功能恢复,从而在康复医疗领域中发挥重要的作用[35]。在临床上,传统的康复治疗依赖于人工,治疗效果取决于康复医师的治疗水平和医疗经验,对人工依赖性较大,而康复机器人应运而生,康复治疗医师们则在对患者的康复治疗过程中利用康复机器人进行个人精准化的辅助治疗,并且康复机器人还具备重复性好,治疗强度可控等特点。通过上述的辅助治疗之后可以达到减少康复所需时间,促进病患在特定部位功能的恢复并减轻在治疗患者时医疗卫生服务人员所面临的压力,从而获得更高医疗效益的目的。随着近几年的科技创新潮康复机器人的种类也在不断地衍生,目前在我国使用较广泛的主要有针对上肢、手指和下肢的康复机器人[36],而其在脑卒中偏瘫康复中主要应用在身体特定肢体部位的功能康复等方面。据证实有研究人员通过康复机器人辅助治疗使得慢性脑卒中患者在肢体肌力及功能等方面均有改善,因此 Chiavenna A、Caimmi M 和 Scano A 的研究就表明康复机器人的治疗可以有效地使得脑卒中患者在一定程度上的功能康复[37]。近年来的临床研究表明,康复机器人技术对脑卒中康复非常有益,可显著改善脑卒中患者的康复效果和生活质量。这是由于机器人能够提供个性化的一对一训练,在训练过程中精确记录患者的康复进展,帮助制定更适合患者的康复方案。在康复机器人辅助手臂训练方面,机器人能帮助患者恢复手臂的肌肉力量和手指抓握力捏力,提高手臂的动作协调性和精细动作能力。在下肢功能训练方面,机器人康复技术可以提高患者的下肢肌肉力量和平衡能力,改善其日常生活能力。随着科技发展,机器人康复技术也将不断更新和完善,为患者提供更为精确和先进的康复治疗方案[38]。

## 2.7. 镜像疗法相关研究

镜像疗法最早由 Ramachandran 等研究者在二十世纪末期提出,最早是用作于治疗患者截肢后的幻肢痛,后有研究者逐渐证明其对脑卒中患者的上肢功能障碍康复效果显著[39]。其原理为平面镜成像,即将一面镜子垂直放置于患者的两侧上肢之间,镜面朝向健侧上肢,背面朝向患侧上肢,指导患者运用健侧上肢规范完成各项康复动作,同时观察镜中的成像,将注意力转移到患侧上肢,使大脑产生一种患肢活动正常的错觉,促使患侧上肢尽可能模仿并完成康复动作,如果患侧上肢自身完成动作较为困难,则可以由医师协助完成[40] [41]。研究表明,脑卒中患者与健康人在特定脑区的激活模式存在差异。然而,研究人员 Wang 等发现[42],经过镜像错觉的训练后,观察手对侧脑区的激活同样能得到激活。此外,研究者丁力等通过对成像设备的改良,利用多模态的镜像疗法和数据化管理技术,对模拟的手部康复视频进行训练,在视觉反馈系统输入刺激信息,并将合成的虚拟影像反馈到患部,促进大脑的视错觉形成,从而更有效地恢复患者上肢运动感觉功能[43]。这些研究表明,镜像疗法通过输入刺激信息,引发大脑特定区域的神经元动作电位,从而促进大脑运动区发生功能重组,更有效地恢复上肢功能。在未来,镜像疗法有望作为康复治疗的有效手段,利用先进的技术让大脑形成视觉错觉,以更好地恢复患者的运动功能。



## 2.8. 脑机接口技术(BCI)相关研究

BCI 通过采集大脑皮层神经元活动的脑电信号, 经过算法处理后, 转化为可被计算机识别与处理的信号, 并输出为康复训练器的具体指令, 控制并引导手部进行主动或被动的康复运动, 促进大脑皮层形成新的神经纤维传导, 使患者的偏瘫肢体提高一定运动能力[44]。BCI 康复训练具有无创性、有效性、安全性[45], 能对上肢康复形成常规治疗手段无法产生的效果, 单独治疗和联合其他疗法治疗均有成效, 有良好前景。采用 BCI 可增强脑卒中后偏瘫患者的运动认知程度, 有效提高上肢运动能力[46]。刘小燮[4]通过研究证实, 对脑卒中患者采用 BCI-FES 进行治疗可促进中枢神经通路的重塑。有研究表明, 脑机结合康复系统可促进脑卒中患者对应的脑区激活[47] [48], 促进患侧手部功能的康复, 提高神经功能的可塑性, 能够有效缓解患侧手部的手指和腕关节的肌肉痉挛程度, 并显著增强患者上肢的肌肉力量, 提高灵活性与协调性, 对上肢手部功能的康复有一定的疗效[49] [50]。BCI 是实现人机交互式康复训练的一个重大研究突破, 但在信号采集过程中也具有易被外界干扰的问题, 对手的控制能力也是一个重大挑战[51]。

## 2.9. 虚拟现实技术(VR)相关研究

VR 是二十世纪的信息技术, 以计算机为基础, 模拟视觉、触觉、听觉等感知觉为一体的虚拟环境, 能令使用者有身临其境的真实体验感。近年来, VR 在康复治疗领域被认为是最具潜力的新兴技术之一[52] [53]。脑卒中患者由于运动神经受损无法支配上肢肌肉关节活动。但患者的视觉、听觉和思维是仍旧是正常的, 当患者进入在虚拟现实世界中, 大脑将产生肢体运动的错觉, 从而刺激运动神经的恢复[54]。有研究者将 VR 运用于脑卒中后上肢功能障碍的康复治疗中取得了不错的疗效, 在脑卒中上肢功能障碍方面具有临床应用的可行性[55]。区瑞庆等[56]采用 VR 技术结合任务导向性训练对脑卒中后偏瘫患者进行治疗, 其结论证明该治疗模式能够有效缓解患侧肢体的肌肉痉挛, 改善肢体运动功能、提高协调性。赵一瑾等[57]运用 VR 对卒中后上肢功能障碍患者进行分组对照实验的康复治疗, 疗程结束后实验组患者上肢运动功能的 FTHUE-HK 分级、BI 评分、FMA-UE 评分相较于观察组均有明显改善。有关 VR 如何高效、安全的应用于临床康复治疗需要一个长期的研究, 才能够得到相关结论。

## 3. 小结

脑卒中患者病后手部功能障碍的康复是一个长期动态变化的过程, 应尽早评估手部功能的受损程度并进行康复治疗, 针对不同个体的病情进行针对性治疗, 最大程度改善患侧手部运动功能, 提高生活活动能力。本文总结了目前临床脑卒中后手部功能障碍的几种常用疗法, 均取得了一定的疗效, 能够有效提高手部运动功能, 但都具有一定的局限性。现在如何标准化康复流程与多种疗法的联合治疗, 提高治疗效果逐渐成为研究热点, 应在临床实践工作中探索科学、高效、安全和经济的康复治疗方法。

## 基金项目

国家级大学生创新创业训练计划项目《手康器——CVA 手部功能康复训练器》(编号: 202210599018)。

## 参考文献

- [1] 王陇德, 彭斌, 张鸿祺, 等. 《中国脑卒中防治报告 2020》概要[J]. 中国脑血管病杂志, 2022, 19(2): 136-144.
- [2] 包红静, 朱美红. 脑卒中后上肢功能障碍康复的研究进展[J]. 中国乡村医药, 2022, 29(11): 77-80.
- [3] 黄斯霖, 古剑雄. 脑卒中后手功能康复治疗的研究[J]. 医学信息, 2020, 33(24): 40-44.
- [4] 姜荣荣, 陈艳, 潘翠环. 脑卒中后上肢和手运动功能康复评定的研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2015, 21(10): 1173-1177.
- [5] 梁天佳. 脑卒中偏瘫上肢功能障碍康复治疗研究进展[J]. 广西医科大学学报, 2018, 35(7): 1026-1028.

- [6] 周月. 基于具身认知理论的改良镜像疗法对脑梗死患者上肢运动功能障碍的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都中医药大学, 2020.
- [7] 温丹果, 田维毅, 石国凤. 脑卒中肢体功能障碍患者居家康复研究进展[J]. 贵州中医药大学学报, 2022, 44(6): 52-56.
- [8] 赵青, 谢蕴慧, 龚英, 等. 脑卒中病人出院后对延续性护理意愿和需求的质性研究[J]. 全科护理, 2020, 18(2): 192-196.
- [9] 康佳, 高东敏, 赵雅慧. 脑卒中恢复期偏瘫患者中心理护理结合康复锻炼的应用分析[J]. 中西医结合心血管病电子杂志, 2020, 8(18): 148.
- [10] 吴际军, 张先庚, 梁小利, 等. 认知行为干预对脑卒中康复期患者康复自我效能和居家功能锻炼依从性的影响[J]. 实用医学杂志, 2018, 34(4): 660-664.
- [11] 石东辉. 社区护士对脑卒中偏瘫病人实施赋能教育的效果观察[J]. 护理研究, 2019, 33(19): 3395-3398.
- [12] 中国经颅直流电刺激脑卒中康复临床应用专家共识组. 经颅直流电刺激技术应用于脑卒中患者康复治疗的专家共识[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2021, 43(4): 289-294.
- [13] 柯嘉洽, 邹晓佩, 王春燕, 等. 经颅直流电刺激和经颅磁刺激在脑卒中上肢运动功能恢复的应用进展[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2021, 47(1): 50-55.
- [14] 庞争争, 吕亚希, 高春华, 等. 经颅直流电刺激对脑卒中患者上肢运动功能的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2023, 29(3): 275-279.
- [15] 姜妍. 经颅直流电刺激治疗脑卒中后手功能障碍的疗效观察[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古医科大学, 2020.
- [16] Romero, L.J., Rosanova, M., Mattavelli, G., et al. (2014) tDCS Increases Cortical Excitability: Direct Evidence from TMSEEG. *Cortex*, **58**, 99-111. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.05.003>
- [17] 唐朝正, 陈创, 丁政, 等. 经颅直流电刺激应用于脑卒中上肢和手功能康复的研究进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2017, 39(5): 391-396.
- [18] 吴小芳, 雷娟娟, 吴群强, 等. 重复经颅磁刺激在脑卒中后上肢运动功能障碍康复中的应用进展[J]. 中国医药导报, 2022, 19(24): 36-39+43.
- [19] Chiu, D., Mccane, C.D., Lee, J., et al. (2020) Multifocal Transcranial Stimulation in Chronic Ischemic Stroke: A Phase 1/2a Randomized Trial. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, **29**, Article ID: 104816. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.104816>
- [20] 董心, 郑洁皎, 朱婷, 等. 重复经颅磁刺激治疗脑卒中患者上肢运动功能障碍的研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2020, 26(9): 1024-1027.
- [21] 董心. 高频重复经颅磁刺激对脑卒中慢性期患者上肢功能的效果分析[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海体育学院, 2020.
- [22] Askin, A., Tosun, A. and Demirdal, U.S. (2017) Effects of Low-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Upper Extremity Motor Recovery and Functional Outcomes in Chronic Stroke Patients: A Randomized Controlled trial. *Somatosensory & Motor Research*, **34**, 102-107. <https://doi.org/10.1080/08990220.2017.1316254>
- [23] 罗建琪, 姚黎清, 李秋怡. 重复经颅磁刺激对卒中后肢体运动功能康复的应用及机制研究进展[J]. 中国老年保健医学, 2023, 21(1): 90-94.
- [24] 谢立娟, 王建华, 田素斋, 等. 基于运动想象的康复指导在脑卒中偏瘫患者中的应用[J]. 中华现代护理杂志, 2016, 26(22): 3766-3768.
- [25] 谢琼娜, 刘琪, 俞晶芳. 运动想象疗法结合音乐对卒中后偏瘫患者步行功能, 生活质量的影响[J]. 现代实用医学, 2020, 32(4): 513-514.
- [26] 孙莉敏, 吴毅, 尹大志, 等. 运动想象训练促进脑卒中患者上肢运动功能恢复的功能磁共振研究[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(12): 1217-1222.
- [27] 汤惠芳. 运动想象联合系统化康复训练对脑卒中患者运动功能及心理状态的影响[J]. 贵州医药, 2019, 43(11): 1748-1750.
- [28] 夏小迪, 王鹤玮, 王传凯, 等. 运动想象疗法在脑卒中全周期上肢功能康复中的应用进展[J/OL]. 上海预防医学: 1-7. <https://kns-cnki-net.vpn.ymun.edu.cn/kcms/detail/31.1635.R.20230112.1717.002.html>, 2023-05-20.
- [29] 李启金, 林洁玲, 罗超敏. 强制性运动疗法结合神经肌肉电刺激在脑卒中偏瘫患者上肢功能康复中的临床疗效[J]. 中国医学创新, 2017, 14(16): 38-41.

- [30] 张现云, 秦芳. 改良强制性运动疗法联合个体化作业疗法对脑卒中偏瘫患者日常生活能力的影响[J]. 临床医学, 2022, 42(7): 70-71.
- [31] 上官士娜. 改良强制性运动疗法对脑卒中偏瘫患者上肢功能及日常生活能力的影响[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2015, 13(15): 1796-1797.
- [32] 陶峰, 朱洁, 王传杰, 等. 改良强制性运动疗法联合低频重复经颅磁刺激对脑卒中患者偏瘫上肢运动功能的影响[J]. 中国临床医学, 2021, 28(4): 556-561.
- [33] 袁鲁进. 改良强制性运动疗法对脑卒中患者上肢运动功能的影响分析[J]. 世界最新医学信息文摘, 2017, 17(67): 50-51.
- [34] 王丽菊, 欧艺. 强制性运动疗法结合肌电生物反馈治疗偏瘫患者上肢功能的疗效观察[J]. 中国康复, 2013, 28(5): 342-344.
- [35] 庞晨晨, 李瑞玲, 冯英璞. 康复机器人在脑卒中偏瘫康复中的应用研究进展[J]. 护理研究, 2019, 33(21): 3715-3719.
- [36] 邓娟, 谢红珍. 移动互联网与机器人技术在脑卒中患者管理中的应用现状[J]. 护理学报, 2018, 25(14): 29-32.
- [37] Caimmi, M., Chiavenna, A., Scano, A., et al. (2017) Using Robot Fully Assisted Functional Movements in Upper-Limb Rehabilitation of Chronic Stroke Patients: Preliminary Results. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, **53**, 390-399. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.16.04407-5>
- [38] 周媛, 王宁华. 康复机器人概述[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(4): 400-403.
- [39] 何思锦, 周剑英, 陈小霞, 等. 镜像疗法在脑卒中后康复治疗中的研究进展[J]. 华西医学, 2020, 35(6): 729-733.
- [40] 王兴蕾, 颜辉, 谢琪, 等. 镜像治疗在脑卒中偏瘫患者肢体运动功能康复中的应用进展[J]. 兰州大学学报(医学版), 2021, 47(4): 104-109.
- [41] Bai, Z., Fong, K.N.K., Zhang, J.Q., et al. (2020) Cortical Mapping of Mirror Visual Feedback Training for Unilateral Upper Extremity: A Functional Near-Infrared Spectroscopy Study. *Brain and Behavior*, **10**, e01489. <https://doi.org/10.1002/brb3.1489>
- [42] Wang, J., Fritzsche, C., et al. (2013) Cerebral Activation Evoked by the Mirror Illusion of the Hand in Stroke Patients Compared to Normal Subjects. *Neuro Rehabilitation*, **33**, 593-603. <https://doi.org/10.3233/NRE-130999>
- [43] 丁力, 贾杰. “镜像疗法”作为一种康复治疗技术的新进展[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(5): 509-512.
- [44] 罗维. 基于运动想象脑机接口的上肢外骨骼康复系统研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京协和医学院, 2022.
- [45] 李翔, 陈健尔, 张辉煌, 等. 脑机接口康复训练机器人在脑卒中患者上肢功能康复中的研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(2): 263-268.
- [46] 吕威, 虞容豪, 谢秋幼. 脑机接口在意识障碍中应用的研究进展[J]. 医学研究杂志, 2020, 49(3): 12-15.
- [47] 刘小燮. 脑机交互结合功能性电刺激康复训练新技术对慢性期脑卒中大脑可塑性的影响[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国人民解放军医学院, 2014.
- [48] 陈树耿, 束小康, 贾杰. 基于闭环脑机接口的脑卒中患者的手功能康复研究[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(11): 1189-1194.
- [49] 梁思捷, 朱玉连, 王卫宁, 等. 脑机接口技术在脑卒中患者上肢功能障碍康复中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(2): 185-188.
- [50] 汪丽丽. 脑机接口康复技术治疗缺血性脑卒中上肢功能障碍的临床研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津体育学院, 2022.
- [51] 梁文栋, 郭晓辉, 程波, 等. 脑机接口在康复医学中的应用进展[J]. 医疗装备, 2022, 35(21): 193-196.
- [52] 王海峪. 虚拟现实技术及其应用探究[J]. 信息与电脑(理论版), 2020, 32(16): 23-25.
- [53] 陈雪婷, 姚黎清, 李旺祥, 李政超, 毛锐涛. 虚拟现实在脑卒中康复中的应用及展望[J]. 中国医药导报, 2022, 19(16): 46-49+57.
- [54] 孙亚南. 下肢外骨骼康复机器人主动康复虚拟现实系统研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 河北工业大学, 2014.
- [55] Laver, K.E., Lange, B., George, S., et al. (2017) Virtual Reality for Stroke Rehabilitation. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, **11**, D8349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
- [56] 区瑞庆, 杨媛乐, 陈丽秋. 虚拟现实技术结合任务导向性训练对脑卒中偏瘫患者上肢功能的影响[J]. 中国医药科学, 2020, 10(10): 180-183.
- [57] 赵一瑾, 余彬, 何龙龙, 路鹏程, 廖政文, 刘锐芬, 黄国志. 虚拟现实技术结合作业治疗训练对脑卒中偏瘫患者上肢功能影响的临床研究[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(6): 661-666.