

脑卒中后运动功能障碍的早期康复治疗现状

陶毅航, 徐东宝, 赵小刚, 徐 京, 高俊丽*

汉中市中心医院康复医学科, 陕西 汉中

收稿日期: 2024年11月16日; 录用日期: 2024年12月9日; 发布日期: 2024年12月16日

摘 要

脑卒中是一种常见的脑血管疾病, 也是全球成年人的主要残疾原因之一, 常遗留有不同程度的肢体运动功能障碍, 给患者、家庭乃至社会都带来了沉重的负担。早期康复介入有助于患者改善功能障碍、提高生活质量、提升社会生产力。目前, 仍有部分脑卒中后运动障碍患者及家属未完全意识到早期康复的意义和价值, 阻碍了患者回归家庭和社会的康复进程。本文将重点从卒中后运动障碍早期康复的介入时间、病理生理机制、相关康复治疗手段等方面予以综述, 希望为脑卒中后运动功能障碍患者的治疗提供科研新资料和临床新思路。

关键词

脑卒中, 运动功能障碍, 早期康复, 康复治疗技术

Current Status of Early Rehabilitation Therapy for Motor Dysfunction after Stroke

Yihang Tao, Dongbao Xu, Xiaogang Zhao, Jing Xu, Junli Gao*

Department of Rehabilitation Medicine, Hanzhong Central Hospital, Hanzhong Shaanxi

Received: Nov. 16th, 2024; accepted: Dec. 9th, 2024; published: Dec. 16th, 2024

Abstract

Stroke is a common cerebrovascular disease and one of the main causes of disability in adults around the world. It often leaves behind different degrees of limb motor dysfunction, which brings a heavy burden to patients, families and society. Early rehabilitation intervention can help patients improve dysfunction, improve quality of life and enhance social productivity. At present, there are still some patients with post-stroke motor dysfunction and their families are not fully aware of the significance and value of early rehabilitation, which hinders the rehabilitation process of patients

*通讯作者。

文章引用: 陶毅航, 徐东宝, 赵小刚, 徐京, 高俊丽. 脑卒中后运动功能障碍的早期康复治疗现状[J]. 临床医学进展, 2024, 14(12): 458-467. DOI: 10.12677/acm.2024.14123104

returning to family and society. This article will focus on the intervention time, pathophysiological mechanism and related rehabilitation treatment methods of early rehabilitation of post-stroke motor dysfunction, hoping to provide new scientific research data and clinical new ideas for the treatment of patients with post-stroke motor dysfunction.

Keywords

Stroke, Motor Dysfunction, Early Rehabilitation, Rehabilitation Therapy Technology

Copyright © 2024 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

随着人口老龄化问题日益加重,糖尿病、高血压、高脂血症等危险因素的患病率持续上升,中国的卒中负担也在逐年攀升。脑卒中因其高发病率、高死亡率、高致残率、高复发率等特点,成为我国居民死亡和残疾的主要原因。脑卒中又称脑血管意外,是由于突发的局部脑血液循环障碍引起的神经功能障碍的疾病,根据发病部位、范围和性质的不同,可表现为运动功能障碍、感觉障碍、言语障碍、认知障碍、吞咽困难、心理障碍等,其中运动功能障碍是最常见的。因此,卒中后运动障碍患者早期开展康复治疗,不但可以改善各种功能障碍、促进疾病的康复,预防各种并发症,还可以提高患者生存质量,减轻家庭和社会的负担。

2. 流行病学

脑卒中是一个常见、严重且致残的全球性医疗保健问题,随着早期溶栓和介入治疗技术的不断改进,卒中后患者的死亡率有所改善,仍有 80% 的患者会遗留不同程度的功能障碍[1] [2]。2020 年我国大约有 1780 万成年人发生过脑卒中,大约有 350 万(12.5%)的卒中幸存者留下残疾,其中 30%~66% 的幸存者出现持久性的运动功能障碍,但仅有 20% 的患者能够基本恢复正常的手部功能[2] [3]。在美国,中风也依然是致残的最大原因,低收入、低学历、心血管风险因素等增加了中风的患病率,卒中后幸存者功能障碍的额外医疗支出也在逐年递增[4] [5]。随着越来越多的患者在不同程度的功能障碍中幸存下来,系统、全面的康复治疗方案对于恢复卒中后功能障碍就显得尤为重要,而早期康复干预是整个康复过程的关键环节之一。

3. 早期康复介入时间

越来越多的研究表明,早期康复介入可以显著改善脑卒中患者的功能障碍,提高患者的生活质量,但是对于介入的具体时间,没有统一明确的定论。2016 年国家科委指出,早期康复即从发病到发病后 4 周的康复[6]。国家“九五”攻关课题关于急性脑卒中早期康复治疗的介入时间,指出最好在发病后 14 天内开始,也有一些激进的观点认为在生命体征平稳后的 12 小时内即可开始[7]。研究表明,脑卒中后早期有一个神经可塑性增强的窗口期,在此期间,大脑对损伤的动态反应增强,此时开展早期康复治疗效果可能最好,卒中后 2 周内开始康复是有益的[4]。我国 2018 年的脑卒中诊治指南提倡,脑卒中发病后病情不再进展 48 小时内开展早期康复训练[8]。卒中 24 小时后介入早期康复如抬高床头、坐位、站立和行走的训练,每次 15~45 分钟,每天 1~3 次,被证明可以改善卒中后运动功能[9]。美国卒中协会指南建议脑

卒中患者在发病后 24 小时内开展康复训练,而澳大利亚、加拿大卒中基金会则指出发病后 48 小时内开展康复锻炼是安全的[9]-[11]。

早期康复干预时间还与脑卒中的发病类型、发病机制有关,因此康复的介入时间也不同。脑卒中分为缺血性和出血性脑卒中,其中缺血性脑卒中又分为脑血栓形成与脑栓塞。脑血栓形成是脑动脉形成血栓,进而导致血管狭窄或闭塞,血流中断,使供血区的脑组织缺血坏死,从而出现相应的功能缺损,一般认为在生命体征平稳后,症状不再进展就可以进行早期康复[12]。脑栓塞是外来栓子堵塞大脑动脉导致供血区血流中断,脑组织迅速出现缺血、缺氧、水肿、坏死等,功能缺损症状一般较重,并且由于栓子来源的不确定性,还可能进一步加重形成出血性脑栓塞,康复治疗可推后数日,待患者病情稳定后行早期康复[13]。脑出血患者前 2 周脑水肿严重且病变部位的血管稳定性较差,血压的控制不佳容易导致二次出血,因此早期康复介入应再推迟数日,在病情允许的情况下尽早介入[12]。大量的临床研究表明,脑卒中患者只要神经系统症状 48 小时后不再进展且生命体征平稳,即可开展每天 3 小时、每周 5 天的早期康复治疗。虽然不同研究中脑卒中早期康复介入时间不尽相同,但大多数观点认为脑缺血患者在神志清楚、生命体征平稳,病情不再进展 48 h 后即可开展,脑出血患者在病后 10~14 天介入,可以相对安全、有效地促进脑卒中患者的功能障碍恢复。

4. 早期康复治疗机制

脑卒中早期康复的理论基础可能与大脑的神经可塑性相关。目前,关于卒中后早期康复的神经可塑性机制主要有三种机制,第一种是涉及病灶对侧大脑体感系统的功能活动增加以及与受影响区域相连的遥远皮层区域募集;第二种是病灶同侧大脑皮质脊髓束的结构完整性;第三种是涉及大脑两侧半球间功能连接和感觉运动皮层网络的恢复[14]。有学者提出,反复加强的康复训练可以使脑组织损伤区域的功能被其他区域代偿,早期康复治疗可以通过视神经超敏反应、潜伏通路以及突触启用、轴突出芽等机制重组神经系统,使临近的失去神经支配的组织重新获得神经支配,获得代偿[15]。早期康复针对神经缺血的半暗带区域,可以显著增加大脑血流供应,最大程度地改善神经元的功能,减少半暗带损伤区神经元细胞的死亡[15][16]。药物和非药物干预,对神经的可塑性和功能重组均有促进作用[14]。脑卒中急性期具有炎性反应突出、远隔损害等特点,这与脑卒中的功能障碍紧密相关,早期康复的介入可能会减轻炎症反应并降低或解除这种远隔抑制,加速脑卒中患者的康复过程[17]。综上,脑卒中早期康复的作用机制主要包括神经功能重组、神经炎症及脑血流量调控、恢复脑半球间平衡三个方面,达到脑神经功能重塑的目的。

5. 运动功能评定

脑卒中后运动障碍患者的早期康复是治疗建立在神经内、外科治疗的基础上,神经发育促进技术、运动再学习技术等贯穿全程,在治疗前、中、后期分别进行康复评定有助于精确调整康复治疗方案,建立个体化康复治疗体系,最大限度的提高康复治疗效果。临床上对脑卒中后运动功能障碍的评价有两大类,其一以肌力为评价标准的徒手肌力试验,其二以运动模式变化为评价标准的体系,应用较广的有 Brunnstrom 分期量表、Fugl-Meyer 评定、上田敏评定法、MAS 评定、Lindmark 评定、改良 Ashworth 分级评定等等。徒手肌力检查(Manual Muscle Test, MMT)现在普遍应用的是美国 Lovett 教授提出的 MMT 肌力分级标准,分 6 级(0~5 级),评价方法简便易学,在临床上应用广泛,后期在此基础上有进一步的补充分级法,但结果相对较为主观。Brunnstrom 分期最早由瑞典康复治疗师提出,结合肌力、肌张力分为 6 期,Ⅰ期:无随意运动;Ⅱ期:出现联合反应、共同运动;Ⅲ期:痉挛加重,随意出现共同运动;Ⅳ期:出现分离运动,痉挛开始减轻;Ⅴ期:有分离精细运动,痉挛减轻明显;Ⅵ期:痉挛消失,接近正常。

Brunnstrom 分期是也是临床医师和康复治疗师进行评估和制定治疗方案的基础,具有精简、省时、容易掌握等特点,有研究表明其与脑卒中患者急性期的运动功能的恢复密切相关[18]。Fugl-Meyer 评定法是目前应用于临床和科研的最广泛、可量化、科研性较强的方法,涉及上肢、下肢、平衡、四肢感觉和关节活动度的测评,其中简式 Fugl-Meyer 评价法总分 100 分,结果<50 分表示患肢严重运动障碍;50~84 分表示患肢明显运动障碍;85~95 分表示患肢中度运动障碍,手功能障碍;96~99 表示患肢轻度运动障碍[19][20]。简式 Fugl-Meyer 评价法可以量化详细的评价内容,反应运动功能恢复过程中多种因素的相互作用,应用最广,可信度和敏感度较高,帮助临床医师和治疗师及时、准确的个体化调整康复治疗方案。

Lindmark 评定法包括运动功能、运动转换、姿势变换与行走、平衡、感觉、关节活动度与是否疼痛,测试时间较短且结果较为准确,因此也在临床和科研中应用。上田敏偏瘫功能评定分 12 级,并进行了肢体、姿势、检查种类和检查动作的标准化判定。运动功能评定量表(MAS 量化评定法)由 8 个不同的运动功能项目和一个有关全身肌肉力的项目组成。每一项评定记分为 0~6 分,检测内容有:仰卧位翻至侧卧位、侧卧位至床边坐、坐位平衡、坐位至站位、行走、上肢功能、手的运动和手的精细活动等,易于操作、针对性强,但是手部精细活动尚未细分[19]。改良 Ashworth 分级评定常用来评定肌张力,通过被动运动了解受累肌肉的张力情况。

6. 早期康复治疗手段

6.1. 运动想象疗法与脑机接口

运动想象疗法(motor imagery therapy, MIT)是利用大脑的高度可塑性,对头脑中感受到的动作和图像进行回忆和再现,强化与运动行为和特定熟练动作相关的认知过程,从而产生大脑皮层的兴奋,达到重塑大脑功能和改善运动功能的目的。脑机接口(brain computer interface, BCI)通过机器设备连接人的大脑和肢体,收集信号、分析、反馈,并控制肢体运动进而产生行为活动,提高患者生存质量,改善甚至替代肢体运动功能,非侵入式脑机接口以简单、方便、创伤小的特点受到大量研究者和受试者重视。一项涉及 66 名步态障碍患者的临床临床试验,表明脑机接口控制的功能性电刺激改善了患者的步态速度,运动范围、耐力、感觉、神经生理学标志物等均有不同程度的提高[21]。脑卒中后运动障碍患者观看带有音频的 3D 篮球投篮动画,之后再行运动想象,观察脑电图发现卒中患者的运动皮层在此期间异常活跃[22]。基于运动想象的 BCI 系统,包括功能性电刺激、机器人辅助和基于混合模拟现实的模型,在恢复上肢神经功能中都发挥了较大的潜力[21][23]。Khan [23]等人的研究纳入 55 名患者进行患肢的基于运动想象的脑-计算机接口控制的手外骨骼运动,另外 19 名对照组进行与运动想象无关的手外骨骼运动,结果表明实验组 21.8%的患者提高了运动功能评分,而对照组仅有 5.1%。对比 MIT 治疗前后的效果,发现与实际运动有关的大脑区域神经活动增加[24]。运动想象疗法不需要患者进行步行等其它实际运动,具有操作简单易行、可自行控制、安全性高等优点,更适用于脑卒中的早期康复,尤其是肌力、肌张力都较低的患者,是促进脑卒中后运动功能恢复的一种有前景的治疗手段,多与其他康复治疗手段联合使用。BCI 治疗脑卒中后运动功能障碍在临床取得了较好的疗效,BCI 联合 MIT、rTMS、tDCS 等其它康复手段或成为未来的研究趋势[25]。

6.2. 肌电触发电刺激

肌电触发电刺激(electromyography-triggered neuromuscular stimulation, EMG-stim)又称肌电诱发的神经肌肉电刺激疗法,是结合了神经肌肉电刺激与肌电生物反馈技术的一种新型治疗方法。EMG-stim 综合了普通肌电生物反馈和神经肌肉电刺激优点,还可通过意识控制中枢神经系统产生本体感觉或运动觉,电刺激促进肌群运动,最后产生协调运动。早在 1998 年就有报道指出肌电触发的神经肌肉刺激可以改善

急性脑卒中患者的上肢功能, 实验组患者的上肢 Fugl-Meyer 量表和 FIM 量表显著高于对照组[26]。神经肌肉电刺激被证实可以增强卒中后患者的肌肉力量, 改善脚踝控制不足的步态异常, 提高卒中患者的肌力和改善步态对称性[27]。脑卒中患者每天 30 分钟, 每周 5 天, 持续 4 周的 EMG-stim, 显著改善患者肌肉激活、运动恢复和灵活性等方面[28]。尽早进行 EMG-stim 治疗是改善患者上肢运动功能的有效康复方案, 但是肢体不能产生足量肌肉收缩或者主动配合差的患者, 治疗效果相对较差。

6.3. 重复经颅磁刺激

经颅磁刺激(Transcranial magnetic stimulation, TMS)是指通过磁场刺激大脑皮质诱发皮层下电流, 进而刺激临近神经组织的一种神经电生理技术。重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)则是重复一系列有规律的 TMS。欧洲专家组发布的 rTMS 的治疗指南指出, 对侧 M1 区的低频 rTMS 用于恢复卒中急性期的手部功能, 双侧 M1 区的高频 rTMS 用于促进中风急性期的运动恢复, 针对腿部采用间歇性爆发刺激[29]。Yin [30]等人对 34 名卒中后认知障碍的患者的左背侧前额叶皮层进行 20 次 rTMS, 与对照组相比显著改善了患者的认知功能和日常生活活动能力。研究发现, rTMS 降低健侧皮层的异常活动, 增强患侧大脑皮层初级运动皮质(primary motor cortex, M1)的神经活动, 45 例重度偏瘫脑卒中患者随机分配至 10 Hz 高频组、1 Hz 低频组及假手术治疗组, 每天物理治疗前对侧 M1 区进行持续两周的 rTMS, 结果发现对侧皮层的高频 rTMS 在促进运动功能恢复方面优于低频 rTMS 和假手术组[29] [31]。有学者对 57 篇文章进行系统回顾发现, 卒中后 3 个月或超过 3 个月的 rTMS 在肢体协同作用、肌肉力量、语言功能、认知功能等方面具有显著影响, 重复经颅磁刺激治疗的具体参数(如刺激频率、刺激部位、持续时间等)的设定、适应和禁忌证以及有效性和安全性仍需进一步探讨[31]。

6.4. 经颅直流电刺激

经颅直流电刺激(transcranial Direct Current Stimulation, tDCS)是一种非侵入式脑神经调控技术, 通过产生恒定、低强度的直流电来调节大脑皮层中的神经元活动, 具有无创、操作简单等优点。87 项随机对照试验, 涉及到 3750 名受试者进行 meta 分析显示, tDCS 有效改善脑卒中急性期或恢复期的运动功能和日常生活活动能力[32]。缺血性脑卒中后 72 小时的小鼠, 进行连续 3 天的双侧经颅直流电刺激, 结果显示 tDCS 增强了梗死周围运动皮层中的脑源性神经营养因子的表达, 增加运动和躯体感觉皮层之间的功能链接, 加速运动功能恢复速度[33]。双半球经颅直流电刺激可以同时调节双侧皮质脊髓兴奋性和半球之间相互作用, Ahmed 等人对 27 名脑卒中患者进行随机双盲的 tDCS 治疗, 每天半球 tDCS 两次, 为期 2 周, 发现即使皮质脊髓束完整性受损, 双 tDCS 仍可促进亚急性性卒中患者的运动恢复[34]。最近有研究显示, tDCS 联合或者不联合其他物理治疗, 对步行速度、耐力、力量等运动功能均产生了积极作用[35]。

6.5. 镜像疗法与虚拟现实

镜像疗法(mirror therapy, MT)是指通过从镜子中观察健侧肢体的运动, 促进大脑产生患侧肢体运动的错觉, 进而刺激患侧肢体运动。虚拟现实技术(virtual reality, VR)是一种基于计算机和人机交互技术, 可以模拟多场景虚拟环境, 将虚拟信息与真实世界结合, 为患者提高安全、可控、针对特定任务的定制干预措施, 有证据现实 VR 系统可以有效调节卒中患者的肢体、姿势和步态功能异常[36]。在卒中急性期轻度运动功能障碍患者, 30 分钟 tDCS 联合 VR 的康复治疗效果优于 30 分钟常规治疗组, 运动功能和感觉均有提高[37]。每周 3~7 次, 每次 15~60 分钟, 持续 2~8 周的镜像疗法在改善肢体运动功能、日常生活能力和疼痛方面是有效的[38]。一项纳入 52 例能够积极配合训练的单侧上肢运动功能障碍的脑卒中患者, 对照组仅接受基本的作业治疗, 试验组患者额外接受镜像治疗, 结果发现, 试验组的运动功能改善更加

显著[39]。在一项单盲的随机对照试验中评估了常规作业疗法、镜像疗法、基于虚拟现实的镜像疗法三组脑卒中恢复期患者的运动功能评分,结果表明基于虚拟现实的镜像疗法具有较大的潜力,表现出较好的治疗效果,具有较好的研究前景[40]。Cui [41]等人利用静息态功能磁共振成像观察探讨镜像疗法对治疗缺血性脑卒中后下肢康复,对照组和镜像治疗组均接受药物治疗和常规康复治疗,镜像治疗组增加每周5次的镜像疗法,对比治疗前后结果,两组的运动功能均有改善,镜像治疗组效果更加显著,影像学发现,镜像疗法促进了受损大脑区域的神经元活性增强,其作用机制可能与促进大脑功能重组有关。MT和VR作为新兴的治疗方法,在卒中后运动功能障碍的恢复中具有较大潜力,最佳应用方式仍需进一步探索。

6.6. 康复机器人

随着康复智能化的陆续展开,康复机器人越来越多的在临床中应用,主要分为治疗设备(训练卒中后功能障碍)和辅助设备(补偿卒中后失去的技能) [42]。机器人系统可以通过提高刺激大脑可塑性和运动恢复所需的关键要素来促进神经康复。机器人训练还可以提供客观、准确的治疗和评估参数,具有较强的可操作性和可重复性,克服了传统康复训练枯燥乏味、过多依赖治疗师工作经验和技术水平的问题,又减轻了治疗师工作量,近年来就机器人辅助治疗运动障碍开展的研究越来越多[43]。Zhang [44]等人对卒中后运动障碍患者进行为期3周的踝关节康复机器人训练,结果证实高频高强度的机器人训练可以有效地改善踝关节功能障碍。一项针对卒中后运动障碍患者的机器人辅助训练,对比上肢和下肢治疗的疗效得出,两组均改善肢体偏瘫,下肢恢复的效果更好[45]。在脑卒中急性期开展上肢机器人辅助治疗,对比干预前、干预后和卒中6个月后患者的上肢运动功能、移动轨迹,发现卒中早期康复阶段机器人辅助治疗更有效地提高肢体灵活性、功能性任务能力[46]。机器人辅助康复是一种高强度治疗,对亚急性期的脑卒中患者进行治疗前后运动障碍量表、功能独立性测量评估发现,与运动改善有关,受损较严重的患者获益更大[47]。近期,有研究对比了盆腔关闭模式、盆腔控制模式、约束诱导运动疗法模式和常规物理治疗不同训练模式下肢康复机器人对卒中患者的影响,其中盆腔关闭组在10米步行测试、Berg平衡量表、下肢运动指数显著改善,对比发现盆腔关闭组改善步态,盆腔控制组和约束诱导运动疗法组更有助于改善平衡和行走能力及下肢力量[48]。

6.7. 其他治疗

已知干细胞有潜力分化成多种成熟和未成熟细胞类型,通过向梗死同侧的壳核进行立体定向注射神经干细胞,卒中患者的上肢运动得到改善,未来或可成为一种安全、有效的治疗新方法[49]。对比分析双侧手臂训练和常规治疗改善卒中后运动功能的效果,发现双侧运动训练可以改善卒中后上肢运动功能,是一种有价值的改善运动障碍的方式[50]。针刺联合运动想象疗法、rTMS、上肢机器人等丰富了康复治疗的手段,也取得了不错的临床疗效,但具体机制仍需进一步研究[51][52]。高压氧治疗主要用于改善认知,最近联合头针显著改善了脑卒中后偏瘫患者的运动功能和携氧能力,具有协同正性作用,有待进一步研究[53]。中药熏洗、推拿、刺络拔罐、艾灸等疗法在卒中后运动障碍中均有应用,但一般多种中医疗法联合使用。

中风后基于运动想象的BCI对肢体康复的短期和长期疗效进行系统综述和荟萃分析,纳入18项单组研究和15项对照研究,研究表明BCI对卒中后运动功能的改善有显著作用,单一使用tDCS未能达到促进恢复的效果,二者联用比其他类型的神经反馈效果更好[54]。通过对1083名受试者的随机对照试验荟萃分析,发现针刺联合rTMS可显著改善脑卒中患者的上肢运动功能和日常生活能力[55]。最近有研究发现,在纳入的74项随机对照试验,涉及9种康复技术和5128名患者中进行网状meta分析,结果提示

虚拟现实是改善下肢的最佳干预措施, 针灸疗法改善肢体平衡功能[56]。总结比较 VR、机器人辅助治疗等新技术进行分析, 与常规治疗相比都有效, 机器人辅助治疗在亚急性期对重度至中度损伤患者影响最大, 虚拟现实和机器人辅助治疗在改善亚急性期卒中均有较好疗效, 但有效性无显著差异[57]。

早期康复是脑卒中后运动障碍恢复的重中之重, 应在患者病情和生命体征平稳、神经功能缺损不再进展情况下尽早开展, 目前认为与神经功能重组、神经炎症及脑血流量调控、恢复脑半球间平衡等机制有关。早期康复治疗须以康复评估为前提, 制定更加精确的治疗方案, 帮助患者回归家庭、融入社会。综上所述, 卒中后运动障碍的康复手段多样, 以往单独使用疗效不一, 未来探索联合多种康复治疗手段、开发更有效的康复技术成为重要的研究方向。而新兴技术脑机接口、虚拟现实、机器人等兼具智能化、安全性、趣味性等优点, 已经逐步应用于临床, 未来具有广阔研究前景。

基金项目

陕西省卫生健康科研基金项目资助(编号: 2021B002)。

参考文献

- [1] Tsao, C.W., Aday, A.W., Almarzooq, Z.I., Anderson, C.A.M., Arora, P., Avery, C.L., Baker-Smith, C.M., Beaton, A.Z., Boehme, A.K., Buxton, A.E., Commodore-Mensah, Y., Elkind, M.S.V., Evenson, K.R., Eze-Nliam, C., Fugar, S., Generoso, G., Heard, D.G., Hiremath, S., Ho, J.E., Kalani, R., Kazi, D.S., Ko, D., Levine, D.A., Liu, J., Ma, J., Magnani, J.W., Michos, E.D., Mussolino, M.E., Navaneethan, S.D., Parikh, N.I., Poudel, R., Rezk-Hanna, M., Roth, G.A., Shah, N.S., St-Onge, M.P., Thacker, E.L., Virani, S.S., Voeks, J.H., Wang, N.Y., Wong, N.D., Wong, S.S., Yaffe, K., Martin, S.S. and American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee (2023) Heart Disease and Stroke Statistics-2023 Update: A Report from the American Heart Association. *Circulation*, **147**, e93-e621. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001123>
- [2] Tu, W., Wang, L., Yan, F., Peng, B., Hua, Y., Liu, M., et al. (2023) China Stroke Surveillance Report 2021. *Military Medical Research*, **10**, Article No. 33. <https://doi.org/10.1186/s40779-023-00463-x>
- [3] Nogueira, N.G.D.H.M., Parma, J.O., Leão, S.E.S.D.A., Sales, I.D.S., Macedo, L.C., Galvão, A.C.D.R., et al. (2021) Mirror Therapy in Upper Limb Motor Recovery and Activities of Daily Living, and Its Neural Correlates in Stroke Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Brain Research Bulletin*, **177**, 217-238. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2021.10.003>
- [4] Coleman, E.R., Moudgal, R., Lang, K., Hyacinth, H.I., Awosika, O.O., Kissela, B.M., et al. (2017) Early Rehabilitation after Stroke: A Narrative Review. *Current Atherosclerosis Reports*, **19**, Article No. 59. <https://doi.org/10.1007/s11883-017-0686-6>
- [5] Ramamoorthy, V., Chan, K., Roy, M., Saxena, A., Ahmed, M.A., Zhang, Z., et al. (2023) Healthcare Expenditure Trends among Adult Stroke Patients in the United States, 2011-2020. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, **32**, Article 107333. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2023.107333>
- [6] 袁文超, 张颖, 杨坚, 等. 区域三级康复网络服务体系对脑卒中患者生活自理能力及生存质量的影响[J]. 中国康复, 2016, 31(4): 290-291.
- [7] 王福东. 急性脑卒中早期康复治疗与运动功能预后评估相关性研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 中国医科大学, 2019.
- [8] 钟迪, 张舒婷, 吴波. 《中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018》解读[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2019, 19(11): 897-901.
- [9] Mariana de Aquino Miranda, J., Mendes Borges, V., Bazan, R., José Luvizutto, G. and Sabryna Morais Shinosaki, J. (2021) Early Mobilization in Acute Stroke Phase: A Systematic Review. *Topics in Stroke Rehabilitation*, **30**, 157-168. <https://doi.org/10.1080/10749357.2021.2008595>
- [10] Feigin, V.L., Stark, B.A., Johnson, C.O., Roth, G.A., Bisignano, C., Abady, G.G., et al. (2021) Global, Regional, and National Burden of Stroke and Its Risk Factors, 1990-2019: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Neurology*, **20**, 795-820. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(21\)00252-0](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(21)00252-0)
- [11] Short, H.B. (2019) Royal College of Physicians of London: A 1793 Entrant, Fabled Fellow or Member Malcontent. *Internal Medicine Journal*, **49**, 265-268. <https://doi.org/10.1111/imj.14206>
- [12] 孙留峰. 住院脑卒中患者早期康复治疗依从性的现状调查及影响因素分析[D]: [硕士学位论文]. 洛阳: 河南科技

- 大学, 2015.
- [13] 程桂玲, 迟兆富. 出血性脑梗死的病因、发病机制及临床分析[J]. 脑与神经疾病杂志, 2001(2): 100-101.
 - [14] Marín-Medina, D.S., Arenas-Vargas, P.A., Arias-Botero, J.C., Gómez-Vásquez, M., Jaramillo-López, M.F. and Gaspar-Toro, J.M. (2023) New Approaches to Recovery after Stroke. *Neurological Sciences*, **45**, 55-63. <https://doi.org/10.1007/s10072-023-07012-3>
 - [15] 缪鸿石. 中枢神经系统(CNS)损伤后功能恢复的理论(一) [J]. 中国康复理论与实践, 1995(1): 1-4.
 - [16] 李飞, 邓时慧, 谷德祥, 等. 早期康复治疗对脑梗塞患者脑血流量等的影响[J]. 中国康复理论与实践, 1996(4): 151-153.
 - [17] 甘照儒, 石丽华, 蔡超群, 等. 早期康复介入对急性脑梗死炎症反应的影响[J]. 中国康复理论与实践, 2010, 16(9): 807-808.
 - [18] 丁新华, 尤春景. 脑卒中患者 Brunnstrom 分期及其运动功能恢复[J]. 中国康复, 1996(3): 110-111.
 - [19] 黄佳, 陈洪沛, 郭敏, 等. 脑卒中患者运动功能评定的方法及其研究进展与问题[J]. 中国临床康复, 2006(28): 120-122.
 - [20] 张宇. 运动障碍患者康复评定指标与步态病症诊断方法的研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 清华大学, 2007.
 - [21] Biswas, P., Dodakian, L., Wang, P.T., Johnson, C.A., See, J., Chan, V., *et al.* (2024) A Single-Center, Assessor-Blinded, Randomized Controlled Clinical Trial to Test the Safety and Efficacy of a Novel Brain-Computer Interface Controlled Functional Electrical Stimulation (BCI-FES) Intervention for Gait Rehabilitation in the Chronic Stroke Population. *BMC Neurology*, **24**, Article No. 200. <https://doi.org/10.1186/s12883-024-03710-3>
 - [22] Choy, C.S., Fang, Q., Neville, K., Ding, B., Kumar, A., Mahmoud, S.S., *et al.* (2023) Virtual Reality and Motor Imagery for Early Post-Stroke Rehabilitation. *Bio Medical Engineering Online*, **22**, Article No. 66. <https://doi.org/10.1186/s12938-023-01124-9>
 - [23] Khan, M.A., Das, R., Iversen, H.K. and Puthusserypady, S. (2020) Review on Motor Imagery Based BCI Systems for Upper Limb Post-Stroke Neurorehabilitation: From Designing to Application. *Computers in Biology and Medicine*, **123**, Article 103843. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2020.103843>
 - [24] 冉茂胜, 叶建军, 马东兵, 等. 运动想象疗法对急性脑梗死患者上肢瘫痪的效果及脑功能 MRI 的改变[J]. 临床神经病学杂志, 2013, 26(2): 102-104.
 - [25] 王春雨, 张蓉. 脑机接口在脑卒中运动功能障碍的应用[J]. 临床医学进展, 2022, 12(6): 5108-5113.
 - [26] Francisco, G., Chae, J., Chawla, H., Kirshblum, S., Zorowitz, R., Lewis, G., *et al.* (1998) Electromyogram-Triggered Neuromuscular Stimulation for Improving the Arm Function of Acute Stroke Survivors: A Randomized Pilot Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **79**, 570-575. [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(98\)90074-0](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(98)90074-0)
 - [27] Yang, Y., Mi, P., Huang, S., Chiu, S., Liu, Y. and Wang, R. (2018) Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation on Gait Performance in Chronic Stroke with Inadequate Ankle Control—A Randomized Controlled Trial. *PLOS ONE*, **13**, e0208609. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208609>
 - [28] Kim, S., Park, J., Jung, M. and Yoo, E. (2016) Effects of Task-Oriented Training as an Added Treatment to Electromyogram-Triggered Neuromuscular Stimulation on Upper Extremity Function in Chronic Stroke Patients. *Occupational Therapy International*, **23**, 165-174. <https://doi.org/10.1002/oti.1421>
 - [29] Wang, Q., Zhang, D., Zhao, Y., Hai, H. and Ma, Y. (2020) Effects of High-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation over the Contralesional Motor Cortex on Motor Recovery in Severe Hemiplegic Stroke: A Randomized Clinical Trial. *Brain Stimulation*, **13**, 979-986. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2020.03.020>
 - [30] Yin, M., Liu, Y., Zhang, L., Zheng, H., Peng, L., Ai, Y., *et al.* (2020) Effects of rTMS Treatment on Cognitive Impairment and Resting-State Brain Activity in Stroke Patients: A Randomized Clinical Trial. *Frontiers in Neural Circuits*, **14**, Article 563777. <https://doi.org/10.3389/fncir.2020.563777>
 - [31] Hofmeijer, J., Ham, F. and Kwakkel, G. (2023) Evidence of rTMS for Motor or Cognitive Stroke Recovery: Hype or Hope? *Stroke*, **54**, 2500-2511. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.123.043159>
 - [32] Ahmed, I., Mustafaoglu, R., Rossi, S., Cavdar, F.A., Agyenkwa, S.K., Pang, M.Y.C., *et al.* (2023) Non-Invasive Brain Stimulation Techniques for the Improvement of Upper Limb Motor Function and Performance in Activities of Daily Living after Stroke: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **104**, 1683-1697. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2023.04.027>
 - [33] Longo, V., Barbati, S.A., Re, A., Paciello, F., Bolla, M., Rinaudo, M., *et al.* (2022) Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Neuroplasticity and Accelerates Motor Recovery in a Stroke Mouse Model. *Stroke*, **53**, 1746-1758. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.121.034200>
 - [34] Hsu, S., Lu, C., Lin, B., Tang, C., Kuo, I., Tsai, Y., *et al.* (2023) Effects of Bihemispheric Transcranial Direct Current

- Stimulation on Motor Recovery in Subacute Stroke Patients: A Double-Blind, Randomized Sham-Controlled Trial. *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*, **20**, Article No. 27. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01153-4>
- [35] Chamorro-Hinojosa, J.A., Molina-Rueda, F. and Carratalá-Tejada, M. (2023) Transcranial Direct Current Stimulation in the Treatment of Gait Disturbance in Post-Stroke Patients: An Overview of Systematic Reviews. *Sensors*, **23**, Article 9301. <https://doi.org/10.3390/s23239301>
- [36] Darekar, A. (2023) Virtual Reality for Motor and Cognitive Rehabilitation. In: *Current Topics in Behavioral Neurosciences*, Springer, 337-369. https://doi.org/10.1007/7854_2023_418
- [37] Llorens, R., Fuentes, M.A., Borrego, A., Latorre, J., Alcañiz, M., Colomer, C., et al. (2021) Effectiveness of a Combined Transcranial Direct Current Stimulation and Virtual Reality-Based Intervention on Upper Limb Function in Chronic Individuals Post-Stroke with Persistent Severe Hemiparesis: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*, **18**, Article No. 108. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00896-2>
- [38] Thieme, H., Morkisch, N., Mehrholz, J., Pohl, M., Behrens, J., Borgetto, B., et al. (2018) Mirror Therapy for Improving Motor Function after Stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2018**, CD008449. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd008449.pub3>
- [39] Wen, X., Li, L., Li, X., Zha, H., Liu, Z., Peng, Y., et al. (2022) Therapeutic Role of Additional Mirror Therapy on the Recovery of Upper Extremity Motor Function after Stroke: A Single-Blind, Randomized Controlled Trial. *Neural Plasticity*, **2022**, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2022/8966920>
- [40] Hsu, H., Kuo, L., Lin, Y., Su, F., Yang, T. and Lin, C. (2022) Effects of a Virtual Reality-Based Mirror Therapy Program on Improving Sensorimotor Function of Hands in Chronic Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, **36**, 335-345. <https://doi.org/10.1177/15459683221081430>
- [41] Cui, W., Huang, L., Tian, Y., Luo, H., Chen, S., Yang, Y., et al. (2022) Effect and Mechanism of Mirror Therapy on Lower Limb Rehabilitation after Ischemic Stroke: A fMRI Study. *Neuro Rehabilitation*, **51**, 65-77. <https://doi.org/10.3233/nre-210307>
- [42] Klamroth-Marganska, V. (2018) Stroke Rehabilitation: Therapy Robots and Assistive Devices. In: *Advances in Experimental Medicine and Biology*, Springer, 579-587. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77932-4_35
- [43] Grosmaire, A., Pila, O., Breuckmann, P. and Duret, C. (2022) Robot-Assisted Therapy for Upper Limb Paresis after Stroke: Use of Robotic Algorithms in Advanced Practice. *Neuro Rehabilitation*, **51**, 577-593. <https://doi.org/10.3233/nre-220025>
- [44] Zhang, Q., Wang, Y., Zhou, M., Li, D., Yan, J., Liu, Q., et al. (2023) Ankle Rehabilitation Robot Training for Stroke Patients with Foot Drop: Optimizing Intensity and Frequency. *Neuro Rehabilitation*, **53**, 567-576. <https://doi.org/10.3233/nre-230173>
- [45] Lin, Y., Li, Q., Qu, Q., Ding, L., Chen, Z., Huang, F., et al. (2022) Comparative Effectiveness of Robot-Assisted Training versus Enhanced Upper Extremity Therapy on Upper and Lower Extremity for Stroke Survivors: A Multi-Centre Randomized Controlled Trial. *Journal of Rehabilitation Medicine*, **54**, jrm00314. <https://doi.org/10.2340/jrm.v54.882>
- [46] Dehem, S., Gilliaux, M., Stoquart, G., Detrembleur, C., Jacquemin, G., Palumbo, S., et al. (2019) Effectiveness of Upper-Limb Robotic-Assisted Therapy in the Early Rehabilitation Phase after Stroke: A Single-Blind, Randomized, Controlled Trial. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, **62**, 313-320. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2019.04.002>
- [47] Duret, C., Hutin, E., Lehenaff, L. and Gracies, J. (2015) Do All Sub Acute Stroke Patients Benefit from Robot-Assisted Therapy? A Retrospective Study. *Restorative Neurology and Neuroscience*, **33**, 57-65. <https://doi.org/10.3233/rmn-140418>
- [48] Lee, J., Chun, M.H., Seo, Y.J., Lee, A., Choi, J. and Son, C. (2022) Effects of a Lower Limb Rehabilitation Robot with Various Training Modes in Patients with Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Medicine*, **101**, e31590. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000031590>
- [49] Muir, K.W., Bulters, D., Willmot, M., Sprigg, N., Dixit, A., Ward, N., et al. (2020) Intracerebral Implantation of Human Neural Stem Cells and Motor Recovery after Stroke: Multicentre Prospective Single-Arm Study (Pisces-2). *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, **91**, 396-401. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2019-322515>
- [50] Chen, S., Qiu, Y., Bassile, C.C., Lee, A., Chen, R. and Xu, D. (2022) Effectiveness and Success Factors of Bilateral Arm Training after Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Aging Neuroscience*, **14**, Article 875794. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2022.875794>
- [51] 段毅芳, 景蓉, 董雪. 针刺联合康复治疗对脑卒中后上肢运动功能障碍的研究进展[J]. 临床医学进展, 2022, 12(10): 9111-9116. <https://doi.org/10.12677/acm.2022.12101317>
- [52] Tao, Y.X., Wu, Y.H., Zhu, G.Q. and Wang, M. (2023) Efficacy of Acupuncture in the Treatment of Limb Dyskinesia after Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, **27**, 10985-10993.
- [53] 袁慧萍, 冯小军, 蒋东生, 等. 高压氧联合互动式头针对脑卒中后偏瘫患者运动功能的效果[J]. 中国康复理论与

- 实践, 2023, 29(10): 1208-1213.
- [54] Bai, Z., Fong, K.N.K., Zhang, J.J., Chan, J. and Ting, K.H. (2020) Immediate and Long-Term Effects of BCI-Based Rehabilitation of the Upper Extremity after Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*, **17**, Article No. 57. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00686-2>
- [55] Xie, Y., Pan, J., Chen, J., Zhang, D. and Jin, S. (2023) Acupuncture Combined with Repeated Transcranial Magnetic Stimulation for Upper Limb Motor Function after Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Neuro Rehabilitation*, **53**, 423-438. <https://doi.org/10.3233/nre-230144>
- [56] Li, R.Y., Chen, K., Wang, X., Yu, Q. and Xu, L. (2022) Comparison of Different Rehabilitation Techniques of Traditional Chinese and Western Medicine in the Treatment of Motor Dysfunction after Stroke Based on Frequency Method: A Network Meta-Analysis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, **102**, 504-512. <https://doi.org/10.1097/phm.0000000000002130>
- [57] Everard, G., Declerck, L., Detrembleur, C., Leonard, S., Bower, G., Dehem, S., *et al.* (2022) New Technologies Promoting Active Upper Limb Rehabilitation after Stroke: An Overview and Network Meta-Analysis. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, **58**, 530-548. <https://doi.org/10.23736/s1973-9087.22.07404-4>