

针灸协同现代康复促进中风神经重塑

柯玮豪¹, 王振宇^{2*}

¹重庆医科大学附属永川医院康复医学科, 重庆

²重庆医科大学附属康复医院, 重庆

收稿日期: 2025年3月27日; 录用日期: 2025年4月22日; 发布日期: 2025年4月29日

摘要

本文探讨了针灸与现代康复技术(如虚拟现实(VR)、机器人辅助疗法、脑机接口(BCI)等)在中风后的神经重塑中的协同作用及机制。全球范围内, 脑卒中是第二大死亡原因, 导致神经功能缺损, 给患者及社会带来巨大负担。神经可塑性, 作为功能恢复的关键机制, 涵盖了突触重塑、轴突再生和神经发生等过程。针灸通过多靶点调控神经炎症、神经营养因子以及突触可塑性等通路, 促进神经重塑, 并与现代康复技术产生显著地协同作用。现代康复技术, 如VR、机器人辅助疗法和BCI, 依靠多模态反馈、神经反馈和精准运动控制等机制, 强化大脑皮层的功能连接及神经可塑性。特别是在运动功能恢复方面, VR通过镜像神经元的激活和任务特异性学习, 增强了运动皮层的突触效能; 机器人辅助疗法则通过重复训练与运动控制, 提高了运动功能的恢复效率。BCI技术通过实时神经反馈调节运动意图和神经控制, 促进皮质脊髓束的重塑。针灸与这些现代康复技术的结合, 能够制定个性化的康复治疗方

关键词

针灸, 神经可塑性, 神经重塑, 现代康复技术, 中风康复

Acupuncture in Conjunction with Modern Rehabilitation Promotes Neuroplasticity in Stroke

Weihao Ke¹, Zhenyu Wang^{2*}

¹Department of Rehabilitation Medicine, The Affiliated Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

²The Affiliated Rehabilitation Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: Mar. 27th, 2025; accepted: Apr. 22nd, 2025; published: Apr. 29th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 柯玮豪, 王振宇. 针灸协同现代康复促进中风神经重塑[J]. 临床医学进展, 2025, 15(4): 3322-3332.

DOI: 10.12677/acm.2025.1541302

Abstract

This paper explores the synergistic effects and mechanisms of acupuncture and modern rehabilitation techniques (such as virtual reality (VR), robot-assisted therapy, and brain-computer interfaces (BCI)) in promoting neuroplasticity after stroke. Stroke is the second-leading cause of death globally and results in significant neurological deficits, imposing a substantial burden on patients and society. Neuroplasticity, a crucial mechanism for functional recovery, encompasses processes like synaptic remodeling, axonal regeneration, and neurogenesis. Acupuncture exerts its effects through multi-target regulation of neuroinflammation, neurotrophic factors, and synaptic plasticity pathways, thereby promoting neuroplasticity and achieving significant synergistic effects with modern rehabilitation techniques. Modern rehabilitation techniques, including VR, robot-assisted therapy, and BCI, rely on mechanisms such as multimodal feedback, neurofeedback, and precise movement control to enhance cortical functional connectivity and neuroplasticity. Particularly in motor function recovery, VR enhances synaptic efficacy in the motor cortex by activating mirror neurons and facilitating task-specific learning. Robot-assisted therapy improves motor function recovery efficiency through repetitive training and movement control. BCI technology promotes corticospinal tract remodeling by providing real-time neurofeedback to regulate motor intentions and neural control. The combination of acupuncture and these modern rehabilitation techniques allows for the development of personalized rehabilitation treatment plans, which can promote neurological recovery and improve cognitive and motor functions. Future research should delve into the mechanisms underlying the combined application of acupuncture and modern rehabilitation techniques to support the widespread promotion and clinical application of individualized rehabilitation plans.

Keywords

Acupuncture, Neuroplasticity, Neural Remodeling, Modern Rehabilitation Technologies, Stroke Rehabilitation

Copyright © 2025 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

在全球范围内,脑卒中乃是第二大死亡原因,它所引发的神经功能缺损给个体与社会都带来了双重负担[1][2]。作为功能恢复的关键机制,神经可塑性涵盖了多尺度的生物学过程:在微观领域,星形胶质细胞借助分泌诸如 CNTF 之类的神经营养因子,来推动少突胶质前体细胞的分化以及髓鞘的再生,从而为脑白质缺血性损伤后营造出再生微环境[3];MSCs 移植可上调 BDNF 表达以促进神经再生[4];从中观层面而言,突触界面曲率的动态改变与 GAP-43 蛋白依赖性 PSD 结构的增厚相互协同,对突触传递的效率与稳定性进行调控,进而奠定功能重塑的基础[5][6];从宏观层面来说,fMRI 证明运动网络的代偿性重组(例如健侧皮质脊髓束跨中线投射)是功能恢复的关键所在[7]。基于上述情况,现代康复医学发展出了 rTMS、VR 等神经调控技术。而针灸则通过 TLR4/NF- κ B 通路来抑制炎症反应,同时增强丘脑-皮层连接[8],这两者都呈现出独立的疗效,然而在作用维度上却存在着显著的互补性。

针灸在神经可塑性方面发挥关键作用,主要是借助对多靶点通路的调控来实现。有研究显示,针灸可对 TLR4/NF- κ B 通路产生抑制效果,让促炎因子的释放量得以减少,同时,通过提升 BDNF/TrkB 信号

轴,使 PI3K/AKT 以及 ERK/CREB 通路被激活,进而强化突触在结构与功能上的可塑性[8]-[10]。除此之外,针灸还凭借调节神经递质、抑制小胶质细胞过度活化等途径,来缓解神经炎症反应,推动神经重塑进程[11]。在调节神经网络重塑、增强突触可塑性领域,针灸呈现出显著的临床应用潜力。

像虚拟现实(VR)、机器人辅助疗法、脑机接口(BCI)等现代康复技术,已然成为助力神经重塑的关键方式。其中,VR 借助多感官整合以及镜像神经元的激活,来推动大脑皮层的功能重塑[12]。而机器人辅助疗法依靠精准的运动控制以及重复训练,激活运动皮层,从而助力患者恢复运动功能[13]。BCI 技术通过闭环反馈这一途径,强化运动意图和神经控制之间的关联,以此促进皮质脊髓束的重塑[14]。将这些现代康复技术与针灸相结合,会为临床打造出更具个性化、综合性的治疗方案,很有希望进一步提高中风患者的康复成效。

2. 中风后的神经可塑性

神经可塑性(Neuroplasticity)属于中枢神经系统所具备的一种生物学特质,它能够凭借对结构与功能网络进行动态重组,来应对损伤或者环境的改变[15]。以往,多数人觉得成年大脑的可塑性欠佳,不过现代研究已然证明,神经可塑性伴随人的一生,其自身具备的修复能力在卒中之后的功能恢复进程中起着至关重要的作用[16]。突触可塑性理论是由 Hebb 在 1949 年提出的,此理论为神经可塑性的研究打下了基础,该理论表明,若突触前神经元反复激活突触后神经元,便能够增强突触的效能[17]。

在健康的大脑当中,神经可塑性主要依靠突触重塑与轴突再生以及神经发生这两种机制来达成。中枢神经系统(CNS)可借助现存神经元的树突分支、轴突发芽以及突触结构的重新组合,实现功能恢复,就像运动训练能够让 GAP-43、BDNF 等分子的水平上升,进而推动突触可塑性以及轴突再生[16]。除此之外,成年人体内的神经发生主要集中在侧脑室下区(SVZ)和海马齿状回(DG)。侧脑室下区(SVZ)里的神经前体细胞会迁移至嗅球,并且分化成为中间神经元,而海马齿状回(DG)中新生成的颗粒神经元则会参与到记忆整合以及抗压力调节之中[18]。

缺血性卒中所引发的神经环路重组涉及多种多模态的代偿机制。对侧半球借助跨网络功能连接(比如感觉运动皮层与远隔区域的协同运作),在一定程度上弥补功能缺损,这个过程和卒中之后全脑网络的重组相关,其中包含白质束以及神经互动的远程变化[19]。同侧运动通路的白质修复(例如皮质脊髓束完整性的恢复)能够提高信号传导的效率,DTI 研究表明,皮质脊髓束以及替代运动纤维的完整性,对于运动功能的恢复有着明显的预测价值[20]。物理干预手段(像是神经修复方案)从理论上来说,也许能够通过调节脑源性神经营养因子(BDNF)等分子机制,具备促进神经可塑性的潜力,然而在临床试验里,BDNF 水平的变化并不显著,仅平衡和功能能力的改善较为突出[21]。双侧网络平衡的重建,不仅要依靠降低半球间抑制,更需要结合结构性储备展开个体化的调整[22]。另外,非侵入性脑刺激(比如 TMS/tDCS)可以通过增强健侧的经颅直流电刺激(tDCS)代偿活动,或者调节皮层兴奋性,进一步助力语言和运动功能的恢复[23]。

3. 针灸调控机制

针灸能够借助多靶点对神经可塑性相关的分子通路实施调控。比方说,针灸能够凭借抑制 TLR4/NF- κ B 通路,来减少小胶质细胞的活化程度,降低 TNF- α 、IL-1 β 等促炎因子的释放量,与此同时,上调 BDNF/TrkB 信号,激活 PI3K/AKT 以及 ERK/CREB 通路,推动突触蛋白(SYN、PSD-95)的合成,增强突触在结构与功能方面的可塑性[9] [10] [24]-[26]。

在对神经递质进行调控时,针灸可以通过调节乙酰胆碱酯酶(AChE)的活性,来改善胆碱能系统的功能[27]。并且,针灸还能够通过调节神经细胞与胶质细胞之间的相互作用,来促进神经重塑[28]。针灸通

过抑制小胶质细胞的过度活化, 减少像 $\text{TNF-}\alpha$ 、 IL-6 这类促炎因子的释放, 从而减轻神经炎症反应; 同时, 提高 BDNF 的表达水平, 改善神经元的功能以及突触可塑性, 以此为神经保护和功能恢复提供有力支持[9] [11]。电针能够抑制小胶质细胞的过度活化(通过对 NLRP3 通路以及 Iba-1 表达进行调节), 调节由 MAPK 信号通路(例如 ERK/JNK)介导的炎症反应, 与此同时, 促进星形胶质细胞分泌像 BDNF 这样的神经营养因子[29]。

针灸能够通过动态调节默认模式网络(DMN)与感觉运动网络(SMN)的连接模式(例如在早期抑制双侧感觉运动区的过度激活, 在晚期增强对侧代偿性连接以及前扣带回与运动整合区域的协同作用), 推动脑区间依据病程阶段进行功能代偿性重组, 这一机制在贝尔氏麻痹的神经功能恢复过程中, 获得了神经影像学方面的证据支持[30] [31]。针灸还有可能通过抑制快速老化小鼠嗅球神经干细胞(NSCs)向星形胶质细胞和少突胶质细胞的分化, 促使其向神经元方向转变, 这一过程或许是由痛觉或温度觉通路的物理刺激所引发的[32]。除此之外, 针灸通过抑制皮质和海马神经细胞的凋亡(比如上调抗凋亡基因 Bcl-2 的表达), 减轻阿尔茨海默病(AD)模型大鼠的神经元丢失状况, 进而提高其学习记忆能力, 缓解与 AD 相关的认知功能减退[33]。

4. 现代康复技术的神经重塑机制

4.1. VR

在神经康复领域, VR 的应用愈发广泛。其中, 多感官整合与镜像神经元激活、半球间平衡与皮层网络重塑以及任务特异性与强化学习等机制起到了关键作用。借助视觉、听觉和触觉的同步反馈, VR 强化了运动意图与实际动作之间的联系, 使得镜像神经元系统(MNS)被激活, 像是抓握虚拟物体这类任务, 就能够对 MNS 形成刺激, 推动受损运动皮层的功能重新组合[12]。据 fMRI 研究表明, 经过 VR 干预后, 患者双侧初级运动皮层(M1)的功能连接有所增强, 并且与 Fugl-Meyer 上肢评分(FM-UE)的改善呈现出显著相关性[34]。除此之外, VR 训练还能够改善半球间抑制失衡的状况, 增强同侧和对侧皮层的功能连接。Meta 分析指出, VR 干预之后, 患者感觉运动皮层的跨半球同步性得以提高, 推动了运动控制网络的整合[34] [35]。与此同时, VR 所营造的沉浸式环境, 提供了具有高重复性、难度循序渐进的任务(比如平衡训练或者虚拟厨房操作), 通过强化学习机制提升突触可塑性。

临床研究显示, 动态平衡以及上肢功能的改善程度, 与任务导向训练的强度呈正相关[36] [37]。VR 通过游戏化设计, 比如设置得分奖励或者虚拟故事等形式, 提高了患者的参与积极性, 降低了治疗过程中的倦怠感, 同时还能缓解抑郁和焦虑情绪, 间接地为神经可塑性优化了所需的心理环境[37] [38]。

4.2. 机器人辅助技术

机器人辅助康复技术, 凭借高重复性与精准运动控制、自适应辅助与神经代偿以及量化评估与神经反馈等机制, 为神经康复给予了有力支撑。诸如 Amadeo 手部康复机器人这样的机器人设备, 能够提供可调节的力学反馈, 助力患者完成像捏取或抓握这类精细动作。这种重复性训练能够增强运动皮层的突触效能, 促使皮质脊髓束实现再髓鞘化[13] [39]。与此同时, 机器人辅助技术的“按需辅助”(assist-as-needed)算法会依据患者的能力, 动态地对支持力度做出调整, 从而减少异常代偿模式, 例如外骨骼机器人会通过实时调整关节力矩, 推动主动运动而非被动代偿, 以此强化运动皮层的功能性重组[13]。另外, 机器人系统能够实时记录像速度、轨迹误差这类运动参数, 为患者以及治疗师提供客观的反馈信息, 提升运动学习过程中的自我监控能力[39]。

在神经康复这一领域, 机器人辅助技术有着广泛的应用, 其中就包含了上肢、下肢以及手部康复机器人。借助精准的运动控制与重复性训练, 这些技术能对神经可塑性起到有效的促进作用。上肢康复机

机器人可模拟真实的运动环境,助力患者开展重复性训练,进而激活大脑神经可塑性机制,推动上肢功能的恢复。比如,杨兰等(2024)[40]经研究发现,等速肌力训练和上肢康复机器人相结合,能显著提升脑卒中恢复期偏瘫患者的上肢功能、生活质量以及神经可塑性。下肢康复机器人依靠外骨骼结构,为行走训练提供支撑,不仅能够改善下肢运动功能与步行能力,还能推动大脑神经网络的重组。李希等(2023)[41]的研究显示,下肢外骨骼机器人康复训练可以切实有效地改善脑卒中偏瘫患者的下肢运动功能、步行功能以及步行周期,其治疗效果与常规步行训练相近,而且有助于神经可塑性的增强。手部康复机器人着重于手功能的精细训练,通过多自由度运动反馈和神经解码的形式,辅助患者恢复手部运动的灵活性与协调性,与此同时激活大脑的神经可塑性机制。程绮颖等(2021)[42]对融合手功能康复机器人的神经反馈训练系统进行了深入的调研,揭示出它在促进神经可塑性方面具备的潜力。上述这些技术为脑卒中患者的康复治疗开拓了全新的途径。

4.3. BCI

BCI 这一技术,近年来在卒中后运动康复领域彰显出重要潜力[14]。它能够解码大脑活动信号(像脑电图,即 EEG),并把这些信号转化为外部设备的控制指令。基于闭环神经反馈的 BCI 系统,能够借助实时反馈,强化患者运动意图和感觉输入之间的联系,进而推动神经可塑性和功能重组[43]。有研究显示,BCI 可以通过调节感觉运动节律(SMR)或者运动相关皮层电位(MRCP),提高运动皮层的兴奋性,同时改善受损脑区和远端网络的连接[44][45]。

基于 EEG 的 BCI 属于最为常见的非侵入式技术,它借助头皮电极记录大脑电活动,再运用机器学习算法对运动意图进行解码[46]。按照反馈模式来划分,BCI 可分为两类:其一为机器人辅助反馈,它会把运动意图转变为外骨骼或者机器人手的运动(例如结合功能性电刺激,也就是 FES),通过视觉和体感反馈来强化运动-感觉闭环[47];其二是神经反馈训练,通过视觉或者听觉信号实时反馈大脑活动情况(比如感觉运动节律(SMR)的振幅变化),协助患者自主调节特定脑区的激活[44]。

BCI 的作用机制与赫布可塑性(Hebbian plasticity)关联紧密,也就是所谓的“同时激活的神经元会增强连接”。通过反复训练,BCI 能够诱导运动皮层与脊髓运动通路的突触重塑,还能增强皮质-皮质下网络的功能连接[43][45]。举例来说,EEG 联合经颅磁刺激(TMS)的研究发现,BCI 训练能够增加患侧半球运动诱发电位(MEP)的振幅,这意味着皮质脊髓束完整性得到了改善[46]。而结合主动运动尝试(并非运动想象)的 BCI 范式,能够更为有效地激活运动网络[48]。

4.4. 脑刺激

非侵入性脑刺激凭借对皮层兴奋性的调控、突触可塑性的诱导以及神经网络的重塑,已然成为推动中风后神经功能恢复的关键技术。TMS 和 tDCS 作为主要的干预方式,它们的作用机制从分子调控一直延伸到网络重组的多个层面[49]。

TMS 依靠电磁感应产生的电流来对神经元活动加以调节,进而诱导出长时程增强(LTP)或者抑制(LTD)的效果。当高频 TMS (≥ 5 Hz)作用于患侧运动皮层(M1)时,能够提升局部的兴奋性,并且促进患侧与辅助运动区(SMA)之间的功能连接,最终达成改善运动网络重组的目的[50];而低频 TMS (≤ 1 Hz)则可以抑制健侧半球的过度活跃状态,让半球间恢复平衡[51]。打个比方,6000 脉冲的 20 Hz 重复经颅磁刺激(rTMS)能够显著延长皮层静默期(CSP),通过增强 γ -氨基丁酸(GABA)能抑制通路的活性来缓解痉挛症状[52]。除此之外,Theta 节律爆发刺激(TBS)存在两种模式,间歇性 TBS(iTBS)能够增强皮层兴奋性,连续性 TBS(cTBS)则抑制兴奋性,当其作用于小脑时,可以通过对顶叶-前额叶连接的调节来改善运动学习能力[53]。临床研究表明,针对慢性中风患者采用高频 rTMS (10 Hz),不但能够提高患侧 M1 的局部血流量,还能通过降低外周血中白细胞介素-1 β (IL-1 β)的水平来减轻神经炎症,以此改善认知功能[54]。

利用微弱直流电(1~2 mA)的 tDCS, 可对神经元的静息膜电位进行调节: 对患侧 M1 实施阳极刺激, 会使皮层兴奋性增强, 要是健侧 M1 采用阴极刺激, 则能够降低半球间抑制[55]。其作用机理涵盖了推动 BDNF 的释放, 以及对氧化应激标志物(例如活性氧簇 ROS)和炎症因子(如 IL-6、TNF- α)的抑制[49]。在联合治疗期间, 阳极 tDCS 与低频 rTMS 协同发力, 能明显提升亚急性期患者的下肢运动功能, 还会加大患侧运动诱发电位(MEP)的振幅[56]。不过, tDCS 在急性期的治疗效果较为有限, 这或许和刺激参数(像是电流强度、持续时长)没有标准化存在关联, 而在慢性期作为辅助治疗手段, 能显著改善语言及运动功能[57]。

TMS 与 tDCS 都借助调节血管生成相关因子来推动神经重塑。举例来说, theta 节律 rTMS 可以上调血管内皮生长因子(VEGF)和血小板衍生生长因子受体 β (PDGFR β), 增强血脑屏障的完整性并促使新生血管生成。除此之外, 高频 rTMS 通过激活 HIF-1 α 信号通路, 诱导血管周围星形胶质细胞朝着 A2 表型极化, 进一步为血管修复提供支持[58]。

4.5. 细胞疗法

脑组织的自我修复能力有限, 促使细胞疗法成为促进卒中后神经可塑性恢复的重要策略。间充质干细胞(Mesenchymal Stem Cells, MSCs)因其多向分化潜能、低免疫原性及旁分泌效应, 成为当前研究的核心焦点[59]。其作用机制涵盖分子调控至神经网络重塑多个层面[60]。

MSCs 的神经修复作用主要依托其旁分泌机制实现, 具体表现为: 1) 分泌神经营养因子(如 BDNF、VEGF)协同抑制促炎因子表达(如 IL-6、TNF- α), 双重作用减轻神经炎症并促进神经再生[60]; 2) 释放含有 microRNA、蛋白质等活性成分的外泌体, 通过跨细胞信号传递增强神经保护效应[60]; 3) 移植后通过上调紧密连接蛋白 ZO-1 等分子增强血脑屏障完整性, 同时分泌血管生成相关因子促进新生血管形成[59][61]; 4) 调控 miR-145/ABCA1/IGFR1 信号通路, 在糖尿病合并中风模型中显著改善血管新生与神经修复[62]。值得注意的是, 虽然 MSCs 具有多向分化潜能, 但其核心治疗机制在于通过旁分泌途径重塑神经微环境, 特别是通过释放神经营养因子激活内源性神经细胞功能, 从而促进神经功能恢复[63]。

在探索干细胞疗法用于中风康复方面, 不少临床试验都展开了研究探索。其中, Levy 等人[64]于 2019 年进行的一项 I/II 期研究表明, 对慢性中风患者来说, 静脉注射同种异体间充质干细胞不仅具备安全性, 还呈现出行为改善的趋势, 只是这个结论还需在随机且设有安慰剂对照的研究中进一步加以验证。2019 年 Satani 等人[59]开展的一项系统回顾及荟萃分析指出, 在缺血性中风模型中运用骨髓来源的间充质基质细胞, 对复合功能、运动以及感觉运动的结果产生了显著的正向作用。Savitz 等人[65]在 2019 年的 RECOVER-Stroke 试验中发现, 对于近期病情稳定的缺血性中风患者, 经颈内动脉输注自体骨髓来源的 ALD-401 细胞后, 治疗组和安慰剂组在主要疗效终点上并未出现明显差异。而 Muir 等人[66]2020 年的 PISCES-2 研究显示, 在中风的亚急性与慢性恢复期, 通过颅内植入人类神经干细胞, 仅在那些基线上仍留存部分运动功能的患者身上, 才观察到上肢功能有所提高。总的来说, 人们在探寻一种稳定、安全且高效的中风康复细胞疗法, 特别是使用间充质干细胞的疗法时, 取得了一定成果。然而, 要想确定其重大临床效果, 还需要开展更多研究工作。

5. 针灸与现代康复协同机制及临床应用

5.1. 协同作用机制

针灸可通过抑制 TLR4/NF- κ B 信号通路(例如电针预处理能下调 NLRP3 炎症小体活性), 来改善神经炎症微环境。如此一来, 能够减少小胶质细胞的活化以及促炎因子(像 TNF- α 、IL-1 β 、IL-6 这类)的释放, 同时, 上调抗炎因子(比如 IL-10)的表达[9][26][29]。在现代康复技术范畴内, MSCs 移植凭借旁分泌作

用,能够抑制外周血中 IL-6、TNF- α 的水平[60];非侵入性脑刺激(例如 rTMS 和 tDCS)则通过调控 IL-1 β 等炎症相关信号通路,从而降低神经炎症反应[49][54]。这两种方式都可通过抑制神经炎症,为神经再生创造有利条件。

针灸能够上调 BDNF/TrkB 信号轴,进而激活 PI3K/AKT 以及 ERK/CREB 通路,促进突触蛋白(如 SYN、PSD-95)的合成,增强突触在结构与功能上的可塑性[10][24]。在现代康复手段当中,MSCs 会分泌 BDNF、VEGF 等神经营养因子,这些因子能够激活内源性神经干细胞分化[60],而 tDCS 则依靠增强 BDNF 表达,提高神经元的存活率[55],这两种方式均借助神经营养因子的多靶点调控来实现神经保护的目的。

针灸通过调节突触界面曲率的动态变化(比如 PSD 结构变厚)以及 GAP-43 蛋白依赖的突触重建,来提高突触传递效率[5][6]。在现代康复领域里,VR 重复训练依靠激活镜像神经元系统(MNS)诱导出 LTP 效应,以此增强运动皮层的突触效能[12];BCI 技术依据赫布可塑性原理,通过闭环反馈强化运动意图和感觉输入之间的联系,推动皮质脊髓束的突触重塑[43][45]。这两者都通过重构突触的结构与功能,为神经功能的恢复奠定基础。

在现代康复的推进过程中,VR 干预可以加强双侧 M1 区的功能连接,rTMS 则借助调节半球间抑制平衡(比如采用低频刺激抑制健侧的过度活跃情形),来使得运动网络恢复同步性[12][51]。针灸能够通过默认模式网络(DMN)和感觉运动网络(SMN)连接模式的调节(举例来讲,针刺足窍阴穴会让海马旁回与前额叶的功能连接强度有所降低),促进脑区间的代偿性重组[30][31]。根据 fMRI 的研究表明,这两种方式都能够促使运动网络发生代偿性重组[7][67]。

针灸可以经由上调诸如 VEGF 等血管生成因子的表达[68][69],进一步激活 PI3K/Akt、MAPK 等信号通路,从而推动缺血区的血管新生。新生血管的形成不但能通过改善局部血液灌注、修复内皮屏障功能[69],而且还能协同调节自噬-凋亡平衡[70],最终加强血脑屏障的完整性。在现代康复手段当中,MSCs 能够通过分泌 VEGF,为血管修复提供支持[60];与此同时,theta 节律重复经颅磁刺激(rTMS)借助激活低氧诱导因子-1 α (HIF-1 α)信号通路,诱导血管相关的星形胶质细胞向 A2 表型极化,并且显著上调血小板衍生生长因子受体 β (PDGFR β)的表达,以此来促进血管再生[58]。这两者都依靠改善脑血流灌注,为神经重塑给予代谢方面的支撑。

5.2. 临床应用启示

临床实践能够从针灸与现代康复技术所产生的协同效果中,在以下多个方面获得益处:

定制个性化治疗方案:咱们都知道,中风患者的病程、损伤类型等各有不同,这就意味着康复方案绝不能一概而论。把针灸和像 VR 训练、机器人辅助康复这类现代康复技术整合起来,就可以为患者制定专属的个性化治疗方案,借此更有效地促进神经可塑性发展以及功能的恢复。

推广多模态协同治疗:此外,通常来讲,单一的治疗方式很难全方位满足患者的需求。不过呢,要是把针灸和现代康复技术结合起来,就能从各个不同的层面一起发力。比如,针灸可调节神经炎症,VR 和机器人辅助疗法能够激活大脑皮层网络,通过这种多模态协同治疗方式,不但可以推动神经可塑性,还能改善患者的运动与认知功能,最终提高患者的生活质量。

监测与评估神经生物标志物:不仅如此,在实际的治疗过程中,我们通过监测像 BDNF、NGF 这些神经生物标志物,就可以对治疗效果进行定量评估,这样一来,就能进一步优化治疗方案啦。运用诸如 fMRI 这类影像学工具来评估大脑功能网络的重塑情况,能够为治疗效果提供客观的数据支撑。

重塑神经功能网络及恢复认知:据研究表明,要是把针灸和现代康复技术联合起来用,能显著增强大脑不同功能网络之间的连接,尤其是执行控制网络(ECN)跟默认模式网络(DMN)之间的相互作用。在临床中利用影像学技术对网络重塑进行评估,能够为认知功能恢复提供更为精准的评估依据。

临床验证综合疗效: 虽说已经有研究指出, 针灸和现代康复技术联合应用对中风患者有着明显的康复效果, 可还是得有更多的随机对照试验(RCTs)来进一步验证它的疗效才行。未来的临床研究应聚焦于不同治疗方案的可靠性和通用性, 从而为该方法的广泛应用提供更多支持。

6. 结论

在本文里, 对针灸以及现代康复技术于中风后神经重塑当中的协同机制展开了深度探究。研究察觉到, 针灸和现代康复技术在诸如抗炎、神经营养、突触可塑性以及大脑网络重塑等诸多层面展现出互补特性。针灸借助对神经炎症反应的调节、对神经营养因子表达与神经重塑的推动, 能够有力地支持神经功能的恢复。像 VR、机器人辅助疗法、BCI 这类现代康复技术, 凭借激活大脑皮层的功能连接以及强化神经反馈, 给神经可塑性带来了全新的干预方式。二者的协同效应, 不但推动了功能的恢复, 还为患者打造了更为周全的康复方案。往后的研究应当进一步探寻针灸和现代康复技术联合运用的机制, 从而为个体化康复方案在临床上的推广给予支撑。

参考文献

- [1] Hinman, J.D. (2014) The Back and Forth of Axonal Injury and Repair after Stroke. *Current Opinion in Neurology*, **27**, 615-623. <https://doi.org/10.1097/wco.0000000000000149>
- [2] 王艺霏, 何佳佳, 田浩. 非侵入性脑刺激在脑卒中康复中的研究进展[J]. 中国康复, 2021, 36(11): 684-689.
- [3] 徐亚萍, 谢敏杰. 星形胶质细胞在脑白质缺血性损伤后髓鞘再生的研究进展[J]. 神经损伤与功能重建, 2021, 16(3): 154-156+179.
- [4] 杨冉, 申艳佳, 陈渺, 等. 间充质干细胞促进脑缺血后神经修复[J]. 中国新药杂志, 2020, 29(22): 2576-2579.
- [5] Pei, W., Meng, F., Deng, Q., Zhang, B., Gu, Y., Jiao, B., *et al.* (2021) Electroacupuncture Promotes the Survival and Synaptic Plasticity of Hippocampal Neurons and Improvement of Sleep Deprivation-induced Spatial Memory Impairment. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, **27**, 1472-1482. <https://doi.org/10.1111/cns.13722>
- [6] 许能贵, 汪帼斌, 易玮, 等. 电针对不同时间段局灶性脑缺血大鼠缺血区皮层突触素 P38 和 GAP-43 表达的影响[J]. 中国针灸, 2004, 20(2): 85-89.
- [7] 李代顺, 余茜. 功能磁共振研究卒中后肢体运动功能重塑机制[J]. 实用医院临床杂志, 2015(1): 173-176.
- [8] 朱博超, 李彦杰, 秦合伟, 等. 针刺通过 TLR4/NF-KB 信号通路调控炎症反应治疗中枢神经系统疾病的作用机制研究进展[J]. 中医药导报, 2023, 29(2): 160-165.
- [9] Huang, J., Qin, X., Cai, X. and Huang, Y. (2020) Effectiveness of Acupuncture in the Treatment of Parkinson's Disease: An Overview of Systematic Reviews. *Frontiers in Neurology*, **11**, Article 917. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00917>
- [10] Wu, J.Y., Qiu, P.H. and Xu, D. (2022) Advances in the Mechanism of Action of Acupuncture in Regulating Synaptic Plasticity. *Academic Journal of Medicine & Health Sciences*, **3**, 7-12.
- [11] 邓楚玉, 唐纯志. 针刺治疗孤独症谱系障碍的作用机制[J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(3): 1394-1397.
- [12] Mekbib, D.B., Zhao, Z., Wang, J., Xu, B., Zhang, L., Cheng, R., *et al.* (2020) Proactive Motor Functional Recovery Following Immersive Virtual Reality-Based Limb Mirroring Therapy in Patients with Subacute Stroke. *Neurotherapeutics*, **17**, 1919-1930. <https://doi.org/10.1007/s13311-020-00882-x>
- [13] Huang, X., Naghdy, F., Naghdy, G. and Du, H. (2017) Clinical Effectiveness of Combined Virtual Reality and Robot Assisted Fine Hand Motion Rehabilitation in Subacute Stroke Patients. 2017 *International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, London, 17-20 July 2017, 511-515. <https://doi.org/10.1109/icorr.2017.8009299>
- [14] Cervera, M.A., Soekadar, S.R., Ushiba, J., Millán, J.D.R., Liu, M., Birbaumer, N., *et al.* (2018) Brain-Computer Interfaces for Post-Stroke Motor Rehabilitation: A Meta-Analysis. *Annals of Clinical and Translational Neurology*, **5**, 651-663. <https://doi.org/10.1002/acn3.544>
- [15] Dąbrowski, J., Czajka, A., Zielińska-Turek, J., Jaroszyński, J., Furtak-Niczyporuk, M., Mela, A., *et al.* (2019) Brain Functional Reserve in the Context of Neuroplasticity after Stroke. *Neural Plasticity*, **2019**, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2019/9708905>
- [16] Xing, Y. and Bai, Y. (2020) A Review of Exercise-Induced Neuroplasticity in Ischemic Stroke: Pathology and Mechanisms. *Molecular Neurobiology*, **57**, 4218-4231. <https://doi.org/10.1007/s12035-020-02021-1>

- [17] Brown, R.E. (2020) Donald O. Hebb and the Organization of Behavior: 17 Years in the Writing. *Molecular Brain*, **13**, Article No. 55. <https://doi.org/10.1186/s13041-020-00567-8>
- [18] Kumar, A., Pareek, V., Faiq, M.A., *et al.* (2019) Adult Neurogenesis in Humans: A Review of Basic Concepts, History, Current Research, and Clinical Implications. *Innovations in Clinical Neuroscience*, **16**, 30-37.
- [19] Guggisberg, A.G., Koch, P.J., Hummel, F.C. and Buetefisch, C.M. (2019) Brain Networks and Their Relevance for Stroke Rehabilitation. *Clinical Neurophysiology*, **130**, 1098-1124. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.04.004>
- [20] Lindenberg, R., Renga, V., Zhu, L.L., Betzler, F., Alsop, D. and Schlaug, G. (2010) Structural Integrity of Corticospinal Motor Fibers Predicts Motor Impairment in Chronic Stroke. *Neurology*, **74**, 280-287. <https://doi.org/10.1212/wnl.0b013e3181ccc6d9>
- [21] Rahayu, U.B., Wibowo, S., Setyopranoto, I. and Hibatullah Romli, M. (2020) Effectiveness of Physiotherapy Interventions in Brain Plasticity, Balance and Functional Ability in Stroke Survivors: A Randomized Controlled Trial. *Neuro Rehabilitation*, **47**, 463-470. <https://doi.org/10.3233/nre-203210>
- [22] Di Pino, G., Pellegrino, G., Assenza, G., Capone, F., Ferreri, F., Formica, D., *et al.* (2014) Modulation of Brain Plasticity in Stroke: A Novel Model for Neurorehabilitation. *Nature Reviews Neurology*, **10**, 597-608. <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2014.162>
- [23] Cichon, N., Wlodarczyk, L., Saluk-Bijak, J., Bijak, M., Redlicka, J., Gorniak, L., *et al.* (2021) Novel Advances to Post-Stroke Aphasia Pharmacology and Rehabilitation. *Journal of Clinical Medicine*, **10**, Article 3778. <https://doi.org/10.3390/jcm10173778>
- [24] Wu, L., Dong, Y., Zhu, C. and Chen, Y. (2023) Effect and Mechanism of Acupuncture on Alzheimer's Disease: A Review. *Frontiers in Aging Neuroscience*, **15**, Article 1035376. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1035376>
- [25] Wu, Z., Huang, Y., Wang, T., Deng, C., Xu, Z. and Tang, C. (2023) Effect of Acupuncture on Neuroinflammation in Animal Models of Alzheimer's Disease: A Preclinical Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Aging Neuroscience*, **15**, Article 1110087. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1110087>
- [26] 兰永利, 周知然, 韦芳, 等. 针灸预处理调控 TLR4/MyD88/NF- κ B 信号通路抗大鼠胃黏膜损伤机制研究[J]. 陕西中医, 2023, 44(10): 1349-1353+1359.
- [27] 徐子绚, 宋杰, 王平, 等. 针刺调节胆碱能神经递质对血管性痴呆大鼠神经保护作用的机制[J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(11): 5833-5838.
- [28] Nam, M., Ahn, K. and Choi, S. (2015) Acupuncture: A Potent Therapeutic Tool for Inducing Adult Neurogenesis. *Neural Regeneration Research*, **10**, 33-35. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.150643>
- [29] Li, P., Zhao, J., Wei, X., Luo, L., Chu, Y., Zhang, T., *et al.* (2024) Acupuncture May Play a Key Role in Anti-Depression through Various Mechanisms in Depression. *Chinese Medicine*, **19**, Article No. 135. <https://doi.org/10.1186/s13020-024-00990-2>
- [30] Mohamed, A.Z., Eun, S., Lee, J., Wu, Y., Yang, J., Zhu, Y., *et al.* (2015) Short-Term Effect of Acupuncture on Functional Brain Connectivity of Bell's Palsy. *Integrative Medicine Research*, **4**, 87. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2015.04.135>
- [31] Wu, H., Kan, H., Li, C., Park, K., Zhu, Y., Mohamed, A.Z., *et al.* (2015) Effect of Acupuncture on Functional Connectivity of Anterior Cingulate Cortex for Bell's Palsy Patients with Different Clinical Duration. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, **2015**, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2015/646872>
- [32] 尹海燕, 乔秀兰, 卢圣锋, 等. 针灸对 SAMP8 小鼠嗅球神经干细胞向胶质细胞分化的影响[J]. 成都医学院学报, 2009, 4(3): 173-176.
- [33] 姜桂美, 贾超, 赖新生. 针刺对阿尔茨海默病模型大鼠神经细胞凋亡的影响[J]. 上海针灸杂志, 2006, 25(12): 33-36.
- [34] Hao, J., Xie, H., Harp, K., *et al.* (2021) Effects of Virtual Reality Intervention on Neural Plasticity in Stroke Rehabilitation: A Systematic Review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **2021**, 1-19.
- [35] Li, Z., Han, X., Sheng, J. and Ma, S. (2015) Virtual Reality for Improving Balance in Patients after Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clinical Rehabilitation*, **30**, 432-440. <https://doi.org/10.1177/0269215515593611>
- [36] Aramaki, A.L., Sampaio, R.F., Reis, A.C.S., Cavalcanti, A. and Dutra, F.C.M.S.E. (2019) Virtual Reality in the Rehabilitation of Patients with Stroke: An Integrative Review. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, **77**, 268-278. <https://doi.org/10.1590/0004-282x20190025>
- [37] Zhang, Q., Fu, Y., Lu, Y., Zhang, Y., Huang, Q., Yang, Y., *et al.* (2021) Impact of Virtual Reality-Based Therapies on Cognition and Mental Health of Stroke Patients: Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Medical Internet Research*, **23**, e31007. <https://doi.org/10.2196/31007>
- [38] Szczepańska-Gieracha, J., Cieslik, B., Rutkowski, S., *et al.* (2020) What Can Virtual Reality Offer to Stroke Patients? A Narrative Review of the Literature. *Neurologia i Neurochirurgia Polska*, **54**, 326-333.

- [39] Veerbeek, J.M., Langbroek-Amersfoort, A.C., van Wegen, E.E.H., Meskers, C.G.M. and Kwakkel, G. (2016) Effects of Robot-Assisted Therapy for the Upper Limb after Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, **31**, 107-121. <https://doi.org/10.1177/1545968316666957>
- [40] 杨兰, 周小云, 许坚, 等. 等速肌力训练结合上肢康复机器人对脑卒中恢复期偏瘫患者上肢功能恢复、生活质量及神经可塑性的影响下肢外骨骼机器人康复训练对脑卒中偏瘫患者下肢运动的影响机器人辅助手部运动神经康复系统的进展与趋势研究[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2024, 5(6): 1111-1115.
- [41] 李希, 王秉翔, 李娜, 等. 下肢外骨骼机器人康复训练对脑卒中偏瘫患者下肢运动的影响机器人辅助手部运动神经康复系统的进展与趋势研究[J]. 山东大学学报(医学版), 2023, 61(3): 121-126.
- [42] 程绮颖, 王友好, 杜强, 等. 机器人辅助手部运动神经康复系统的进展与趋势研究[J]. 中国体视学与图像分析, 2021, 26(1): 24-38.
- [43] Remsik, A., Young, B., Vermilyea, R., Kiekhoefer, L., Abrams, J., Evander Elmore, S., *et al.* (2016) A Review of the Progression and Future Implications of Brain-Computer Interface Therapies for Restoration of Distal Upper Extremity Motor Function after Stroke. *Expert Review of Medical Devices*, **13**, 445-454. <https://doi.org/10.1080/17434440.2016.1174572>
- [44] Jeunet, C., Glize, B., Mcgonigal, A., *et al.* (2018) Using EEG-Based Brain Computer Interface and Neurofeedback Targeting Sensorimotor Rhythms to Improve Motor Skills: Theoretical Background, Applications and Prospects. *Neurophysiologie Clinique*, **48**, 329-338.
- [45] Ushiba, J. and Soekadar, S.R. (2016) Brain-Machine Interfaces for Rehabilitation of Poststroke Hemiplegia. In: *Progress in Brain Research*, Elsevier, 163-183. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2016.04.020>
- [46] Cantillo-Negrete, J., Carino-Escobar, R.I., Carrillo-Mora, P., Rodriguez-Barragan, M.A., Hernandez-Arenas, C., Quinzanones-Fresnedo, J., *et al.* (2021) Brain-Computer Interface Coupled to a Robotic Hand Orthosis for Stroke Patients' Neurorehabilitation: A Crossover Feasibility Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, **15**, Article 656975. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.656975>
- [47] Liu, M. and Ushiba, J. (2022) Brain-Machine Interface (BMI)-Based Neurorehabilitation for Post-Stroke Upper Limb Paralysis. *The Keio Journal of Medicine*, **71**, 82-92. <https://doi.org/10.2302/kjm.2022-0002-0a>
- [48] Behboodi, A., Lee, W.A., Hinchberger, V.S. and Damiano, D.L. (2022) Determining Optimal Mobile Neurofeedback Methods for Motor Neurorehabilitation in Children and Adults with Non-Progressive Neurological Disorders: A Scoping Review. *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*, **19**, Article No. 104. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01081-9>
- [49] Badoiu, A., Mitran, S.I., Catalin, B., Balseanu, T.A., Popa-Wagner, A., Gherghina, F.L., *et al.* (2023) From Molecule to Patient Rehabilitation: The Impact of Transcranial Direct Current Stimulation and Magnetic Stimulation on Stroke—A Narrative Review. *Neural Plasticity*, **2023**, 1-23. <https://doi.org/10.1155/2023/5044065>
- [50] Guo, Z., Jin, Y., Bai, X., Jiang, B., He, L., McClure, M.A., *et al.* (2021) Distinction of High and Low-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on the Functional Reorganization of the Motor Network in Stroke Patients. *Neural Plasticity*, **2021**, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2021/8873221>
- [51] Sebastianelli, L., Versace, V., Martignago, S., Brigo, F., Trinka, E., Saltuari, L., *et al.* (2017) Low-Frequency rTMS of the Unaffected Hemisphere in Stroke Patients: A Systematic Review. *Acta Neurologica Scandinavica*, **136**, 585-605. <https://doi.org/10.1111/ane.12773>
- [52] de Jesus, D.R., Favalli, G.P.D.S., Hoppenbrouwers, S.S., Barr, M.S., Chen, R., Fitzgerald, P.B., *et al.* (2014) Determining Optimal rTMS Parameters through Changes in Cortical Inhibition. *Clinical Neurophysiology*, **125**, 755-762. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.09.011>
- [53] Koch, G., Esposito, R., Motta, C., Casula, E.P., Di Lorenzo, F., Bonni, S., *et al.* (2020) Improving Visuo-Motor Learning with Cerebellar Theta Burst Stimulation: Behavioral and Neurophysiological Evidence. *NeuroImage*, **208**, Article 116424. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116424>
- [54] Cha, B., Kim, J., Kim, J.M., Choi, J., Choi, J., Kim, K., *et al.* (2022) Therapeutic Effect of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Post-Stroke Vascular Cognitive Impairment: A Prospective Pilot Study. *Frontiers in Neurology*, **13**, Article 813597. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.813597>
- [55] Jackson, M.P., Rahman, A., Lafon, B., Kronberg, G., Ling, D., Parra, L.C., *et al.* (2016) Animal Models of Transcranial Direct Current Stimulation: Methods and Mechanisms. *Clinical Neurophysiology*, **127**, 3425-3454. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2016.08.016>
- [56] Gong, Y., Long, X.M., Xu, Y., *et al.* (2020) Effects of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Combined with Transcranial Direct Current Stimulation on Motor Function and Cortex Excitability in Subacute Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, **34**, 1095-1105.
- [57] Elsner, B., Kugler, J., Pohl, M. and Mehrholz, J. (2019) Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) for Improving

- Aphasia in Adults with Aphasia after Stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2019**, CD009760. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd009760.pub4>
- [58] Zong, X., Li, Y., Liu, C., Qi, W., Han, D., Tucker, L., *et al.* (2020) Theta-Burst Transcranial Magnetic Stimulation Promotes Stroke Recovery by Vascular Protection and Neovascularization. *Theranostics*, **10**, 12090-12110. <https://doi.org/10.7150/thno.51573>
- [59] Satani, N., Cai, C., Giridhar, K., McGhiey, D., George, S., Parsha, K., *et al.* (2019) World-Wide Efficacy of Bone Marrow Derived Mesenchymal Stromal Cells in Preclinical Ischemic Stroke Models: Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Neurology*, **10**, Article 405. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00405>
- [60] Li, W., Shi, L., Hu, B., Hong, Y., Zhang, H., Li, X., *et al.* (2021) Mesenchymal Stem Cell-Based Therapy for Stroke: Current Understanding and Challenges. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, **15**, Article 628940. <https://doi.org/10.3389/fncel.2021.628940>
- [61] Venkat, P., Chopp, M. and Zhang, Z.G. (2020) Exosomes Derived from Bone Marrow Mesenchymal Stem Cells Improve Blood-Brain Barrier Integrity and Promote Neural Repair in Type 2 Diabetic Rats with Stroke. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, **14**, Article 123.
- [62] Cui, C., Ye, X., Chopp, M., Venkat, P., Zacharek, A., Yan, T., *et al.* (2016) miR-145 Regulates Diabetes-Bone Marrow Stromal Cell-Induced Neurorestorative Effects in Diabetes Stroke Rats. *Stem Cells Translational Medicine*, **5**, 1656-1667. <https://doi.org/10.5966/sctm.2015-0349>
- [63] Maltman, D.J., Hardy, S.A. and Przyborski, S.A. (2011) Role of Mesenchymal Stem Cells in Neurogenesis and Nervous System Repair. *Neurochemistry International*, **2011**, Article 351560. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2011.06.008>
- [64] Levy, M.L., Crawford, J.R., Dib, N., *et al.* (2019) Phase I/II Study of Safety and Preliminary Efficacy of Intravenous Allogeneic Mesenchymal Stem Cells in Chronic Stroke. *Stem Cells Translational Medicine*, **8**, 999-1007.
- [65] Savitz, S.I., Yavagal, D., Rappard, G., Likosky, W., Rutledge, N., Graffagnino, C., *et al.* (2019) A Phase 2 Randomized, Sham-Controlled Trial of Internal Carotid Artery Infusion of Autologous Bone Marrow-Derived ALD-401 Cells in Patients with Recent Stable Ischemic Stroke (Recover-Stroke). *Circulation*, **139**, 192-205. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.117.030659>
- [66] 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>
- [67] Chen, Q., Shen, W., Sun, H., Zhang, H., Liu, C., Chen, Z., *et al.* (2022) The Effect of Coupled Inhibitory-Facilitatory Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Shaping Early Reorganization of the Motor Network after Stroke. *Brain Research*, **1790**, Article 147959. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2022.147959>
- [68] 杜静, 胡汉通, 赵晓峰. VEGF 信号通道在针刺治疗缺血性脑卒中的相关研究[J]. 中国针灸, 2016(5): 358-382.
- [69] 马菡, 杨海霞, 郭秀琴, 等. 针灸调控血管内皮生长因子防治疾病研究进展[J]. 中国中医药图书情报杂志, 2023, 47(5): 228-232.
- [70] Zhang, Z., Lu, T., Li, S., Zhao, R., Li, H., Zhang, X., *et al.* (2024) Acupuncture Extended the Thrombolysis Window by Suppressing Blood-Brain Barrier Disruption and Regulating Autophagy-Apoptosis Balance after Ischemic Stroke. *Brain Sciences*, **14**, Article 399. <https://doi.org/10.3390/brainsci14040399>