

功能性近红外光谱术在针刺研究中的应用进展

程晓婷¹, 蔡国锋^{2*}

¹黑龙江中医药大学研究生院, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江中医药大学附属第二医院哈南分院重症康复一科, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2025年10月11日; 录用日期: 2025年11月4日; 发布日期: 2025年11月12日

摘要

功能性近红外光谱术(fNIRS)凭借其非侵入性、高时间分辨率及运动耐受性优势,为针刺的中枢机制研究提供了重要的方法学支持。该技术通过实时监测脑血流氧合信号动态变化,能够分析不同针刺手法对脑功能网络的调控特征,追踪针刺治疗过程中运动皮层、前额叶等关键脑区的神经可塑性变化。但其应用仍面临针刺相关运动伪影干扰等挑战。未来研究需进一步优化信号处理算法,探索脑血氧响应模式与临床疗效的关联性,以推动针刺研究向客观化、定量化方向发展。

关键词

功能性近红外光谱术(fNIRS), 针刺机制, 针刺治疗, 应用进展

Progress in the Application of fNIRS in Acupuncture Research

Xiaoting Cheng¹, Guofeng Cai^{2*}

¹Graduate School of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

²Intensive Care and Rehabilitation Department I, Harbin South Branch, The Second Affiliated Hospital of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

Received: October 11, 2025; accepted: November 4, 2025; published: November 12, 2025

Abstract

Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS), with its non-invasiveness, high temporal resolution, and motion tolerance, provides critical methodological support for investigating the central mechanisms of acupuncture. By enabling real-time monitoring of dynamic changes in cerebral hemodynamic responses, this technique facilitates the analysis of how different acupuncture manipulations

*通讯作者。

文章引用: 程晓婷, 蔡国锋. 功能性近红外光谱术在针刺研究中的应用进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(11): 1037-1044. DOI: 10.12677/acm.2025.15113189

modulate brain network activity and allows for tracking of neuroplastic changes in key regions such as the motor cortex and prefrontal cortex during acupuncture therapy. However, its application still faces challenges, including motion artifacts associated with acupuncture procedures. Future research should focus on optimizing signal processing algorithms and exploring the correlation between cerebral hemodynamic response patterns and clinical outcomes to advance acupuncture research toward greater objectivity and quantification.

Keywords

Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS), Acupuncture Mechanisms, Acupuncture Therapy, Advances in Application

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

针灸作为传统医学的重要组成部分, 其神经调控机制与中枢效应通路始终是现代医学研究的焦点问题。传统神经影像技术如功能磁共振成像(Functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)受限于高磁场环境与低频时间分辨率, 难以实时捕捉针刺操作诱发的动态脑血流变化; 脑电图(Electroencephalogram, EEG)虽具备毫秒级时间分辨率, 却无法直接解析血红蛋白浓度相关的代谢信息。功能性近红外光谱术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)通过检测脑组织氧合血红蛋白(Oxygenated Hemoglobin, Oxy-Hb)与脱氧血红蛋白(Deoxygenated Hemoglobin, Deoxy-Hb)的浓度波动, 为针刺研究提供了兼具时空分辨率(0.1~10 Hz 时间精度, 2~3 cm 空间深度)与生态效度的新型监测手段, 为阐明针刺作用机制, 促进针刺操作标准化提供了客观神经影像学依据。

2. 功能性近红外光谱术原理

为确保大脑在活跃时能够有足够的能量和氧气供应, 神经活动的波动会迅速引起局部脑血流量的变化, 这是神经血管耦合机制[1]。fNIRS 基于神经血管耦合机制, 通过检测脑皮层 Oxy-Hb 与 Deoxy-Hb 的浓度变化, 间接反映神经元活动。其核心技术优势在于利用近红外光(700~900 nm)对生物组织的穿透特性, 该波段光波可穿透头皮及颅骨到达浅层脑组织(深度 2~3 cm), 并因血红蛋白分子对特定波长光吸收率的差异(如 760 nm 对 Deoxy-Hb 敏感, 850 nm 对 Oxy-Hb 敏感), 通过修正比尔-朗伯定律计算血流动力学参数。

在针刺中枢机制研究中, fNIRS 展现出独特适用性。首先是高时间分辨率(0.1~10 Hz), fNIRS 可捕捉针刺操作诱发的毫秒级脑血氧波动。其次是抗运动干扰特性, fNIRS 允许受试者在自然坐姿下接受针刺干预, 克服传统影像设备对头部固定限制。最后是长时程观测兼容性, fNIRS 支持针灸治疗全程的血氧信号追踪, 包括针刺前、针刺中、针刺后, 可观察针刺效应的变化规律。

3. fNIRS 在证明针刺基础理论方面的应用

目前, 针刺被广泛应用于临床, 但其机制一直在被探索。针刺效应机制一直是针刺研究领域的热点, 其中神经生物学机制的研究一直受广大学者的关注。近年来, fNIRS 为揭示针刺中枢效应机制提供了新途径, 相关研究不断发表。

3.1. 针刺手法效应机制

目前针刺手法机制方面运用 fNIRS 的研究较少, 以基础针法研究为主。基本行针手法包括提插和捻转, 在此基础上术者施行不同的操作幅度、频率、时间、方向等, 可实现补虚泻实。曹静雅等[2]基于 fNIRS 技术研究提插补泻法的中枢应答模式, 发现不同针刺补泻手法作用的大脑皮层存在差异。

3.2. 得气效应机制

fNIRS 能通过检测脑组织 Oxy-Hb 与 Deoxy-Hb 的浓度波动以反映针刺不同穴位产生的气感时神经元活动, 阐释不同穴位得气时的中枢效应, 可作为临床评估针刺效应的影像诊疗手段。研究发现针灸在得气的条件下可以调节以双侧前额叶皮层和运动皮层为关键节点的分布式和协作性前额叶 - 运动皮层网络。研究以合谷穴为例, 证明针灸在得气的条件下, 不仅可以调节双侧前额叶皮层和运动皮层的血流动力学反应, 还可以调节前额叶 - 运动皮层网络的功能连接[3]。

3.3. 腧穴效应机制

3.3.1. 单穴

Fernandez Rojas R 等[4]通过 fNIRS 观察到针刺健康人合谷穴时, 进针与出针后大脑皮层活动增强, 得气时皮层活动减弱。这可能与合谷穴镇痛作用有关, 也不除外受试者对针刺操作的适应。目前单穴具体作用的脑区并未有确切的结论。单穴中枢效应机制受研究穴位、受试人群、针刺操作方法、操作次数等因素的影响。科学严谨的试验有利于单穴中枢效应机制研究的发展。

3.3.2. 腧穴配伍

腧穴配伍是针灸处方的基本要素, 也是针灸取得临床疗效的关键环节。傅雪峰等[5]采用 fNIRS 技术发现, 针刺通里与风池较针刺单穴, 皮层之间的皮层活化和功能连接更强, 为腧穴配伍针灸效应提供了客观影像学依据。

4. fNIRS 在阐释针刺治疗机制方面应用

4.1. 中风病

中风病, 又名卒中, 临床症状主要表现为突然昏仆、不省人事伴有口眼喎斜、半身不遂、语言蹇涩或失语、偏身麻木等症状或未见昏仆而见喎僻不遂。针灸是中风病治疗的有效手段, 而其中枢治疗机制是现代医学研究的焦点问题。

4.1.1. 卒中后失语

一项基于 fNIRS 技术的研究[6]发现, 与治疗前比较, 头针组治疗后 Oxy-Hb、总血红蛋白(Total Hemoglobin, Total-Hb)水平升高, Deoxy-Hb 水平下降。且电针组 Oxy-Hb、Total-Hb 水平高于对照组, Deoxy-Hb 水平低于对照组。证实了头针调衡电刺激能够增加脑血流量、调节脑血氧代谢水平、促进失语症患者的语言重建和恢复。Lin B 等[7]应用 fNIRS 技术发现, 头皮针灸联合言语训练可改善中风后失语患者的语言重建, 且这可能与左侧前额叶皮层和其他不对称大脑区域的皮层激活有关。

4.1.2. 卒中后认知障碍

卒中后认知障碍(Post-stroke Cognitive Impairment, PSCI)指脑卒中发生后 6 个月内出现的认知障碍。研究表明 PSCI 的发病率为 56.6%, 针刺治疗 PSCI 疗效显著[8]。Chen J 等[9]运用 fNIRS 技术发现, 与单纯药物治疗相比, 药物加头针治疗能显著改善认知功能, 这可能与患者大脑前额叶皮质和顶叶运动区 Oxy-Hb、Total-Hb 含量升高有关。

钟立达[10]基于 fNIRS 技术发现, 头针疗法、间歇性 θ 爆发式磁刺激(intermittent theta burst stimulation, iTBS)疗法和头针联合 iTBS 疗法均可使大脑额颞叶皮层明显激活, 相比单纯头针疗法和 iTBS 疗法, 头针联合 iTBS 疗法激活通道更多。另外, 相比于 iTBS 疗法、头针疗法, 头针联合 iTBS 疗法在调节与认知相关的感兴趣区连接性方面似乎表现更突出。

4.1.3. 卒中后偏瘫

有研究应用 fNIRS 技术发现, 针刺可诱发卒中患者大脑皮层广泛激活响应, 不同严重程度的脑卒中运动功能障碍患者表现出不同的激活模式特征。运动功能重度受损患者在针刺状态下其大脑皮层激活响应更为显著, 尤其是受累侧半球。轻度功能障碍组患者, 仅在非受累侧半球运动区皮层的一个通道存在显著性激活响应。此研究为针刺干预对脑卒中不同程度运动功能障碍患者的潜在神经作用机制提供了客观神经影像学证据[11]。

郑苏等[12]运用 fNIRS 技术发现, 缺血性脑卒中患者针刺治疗中, 采取分期治疗方案可以促进患者的运动功能恢复, 改善日常生活活动能力, 降低神经功能缺损, 提高有关大脑皮层兴奋性。为针刺治疗改善缺血性脑卒中患者运动功能治疗方案优化提供了客观影像学依据, 具有一定意义。

罗敷等[13]以 fNIRS 技术观察电针曲池、合谷穴对卒中后上肢运动功能障碍患者大脑功能活动模式的改变, 发现电针通过参与大脑皮层功能连接网络的调节, 使卒中后上肢功能障碍患者脑功能连接增强。

唐强等[14]采用 fNIRS 技术研究发现, 针康法可提高受累半球运动前皮质功能激活, 初级感觉运动皮质的非对称性激活也得到改善。笔者推测脑卒中患者下肢运动功能恢复可能与运动前皮质的激活增强有关。

袁子文等[15]采用 fNIRS 评估不治疗、患侧针刺、双侧针刺 3 种状态下的脑活动, 发现双侧针刺比仅针刺患侧对同侧半球初级运动皮层的激活更强, 并且与仅在患侧针刺相比, 通过双侧针刺可能会使运动相关区域的大脑网络重塑更大。

4.1.4. 卒中后吞咽困难

有相关 fNIRS 研究发现, 通里穴与风池穴电针促进卒中后吞咽功能改善可能与增加流向大脑的局部血流量、重塑皮层间功能连接和增强对下游吞咽肌肉群的神经冲动有关[16]。一研究利用 fNIRS 发现, “透刺吞咽针法”在增强脑区间功能连接方面具有显著效果, 提示“透刺吞咽针法”可能通过优化大脑网络连接, 促进大脑皮层的重塑[17]。

4.2. 抑郁

抑郁症是以心情低落为主要症状的一种疾病, 发病率逐年上升, 西药治疗抑郁症不良反应明显。而针灸被证实可作为非药物治疗方法缓解抑郁, 与药物治疗相比, 针灸成本低、不良反应小, 且针灸联合药物治疗比单独药物治疗更有效、安全、耐受性好、起效早[18]。fNIRS 因高时间分辨率, 成本低, 不受环境影响等特点, 在针灸治疗抑郁症的中枢机制的研究中得到广泛使用[19][20]。

Zhang T 等[21]运用 fNIRS 技术研究针灸对重度抑郁症患者脑功能激活情况, 发现执行功能期间针灸激活左背外侧前额叶皮层与抑郁症状的严重程度之间存在相关性, 表明针灸诱导的大脑活动可能受重度抑郁症患者基线疾病严重程度的影响, 为针灸治疗方案的优化提供了客观依据。

有相关 fNIRS 技术研究发现, 与单独使用抗抑郁药相比, 针灸联合抗抑郁药在治疗 3 周后抑郁症状减轻更明显, 背外侧前额叶皮层静息态功能连接明显增强。笔者认为该研究可能至少部分解释了一些潜在的机制, 针灸与抗抑郁药联合治疗重度抑郁症的神经调控作用值得进一步研究[22]。石伟静等[23]基于 fNIRS 技术观察通督安神针刺法治疗中度抑郁障碍的脑机制, 得出针药结合较单纯药物治疗更能改善抑

郁症患者的抑郁症状的结论, 其机制可能与激活双侧额极、左侧背外侧前额叶、右腹外侧前额叶有关。

4.3. 意识障碍

一项 fNIRS 研究发现, 针灸对长期意识障碍患者背外侧前额叶皮层、初级运动皮层和初级体感皮层的血流动力学激活和皮层间静息态功能连接具有调节作用[24]。一项 fNIRS 研究发现, 针灸可以增加前额叶皮层中含氧血红蛋白的浓度, 加强左大脑皮层的连接强度。但皮质血流动力学反应与意识障碍的严重程度之间未存在显著相关性[25]。

4.4. 阿尔兹海默病

Zhang RZ [26]等人基于 fNIRS 检测发现阿尔茨海默病大鼠血氧代谢的主要差异通道在前额叶和顶叶, 针刺后 Oxy-Hb、Total-Hb 水平升高, Deoxy-Hb 水平下降。结果表明, “益智调参”穴方针灸可改善阿尔茨海默病大鼠的学习和记忆功能, 其机制可能与改善前额叶和顶叶区血氧代谢和保护神经元功能有关。

4.5. 失眠

近年来, 神经影像技术被广泛应用于失眠的研究, 其中 fNIRS 这一新型无创脑功能检测技术被越来越多使用[27]-[29]。一研究[30]证实针刺百会、内关、神门和太冲对治疗失眠有显著效果。Yujuan YE [31]等人进一步运用 fNIRS 技术发现针刺百会、内关、神门和太冲通过改善失眠患者的前额叶和枕叶神经元功能来改善失眠症状和情绪认知功能, 为针灸治疗失眠的脑功能的机制提供客观依据。代轶楠等[32]使用 fNIRS 技术观察“补肾安神”针刺法治疗围绝经期失眠的脑功能机制, 发现其可能通过提高围绝经期失眠患者左背外侧前额叶皮质兴奋性以减少觉醒系统的过度激活, 从而改善失眠症状。

4.6. 镇痛

针灸在治疗疼痛类疾病方面有显著的临床疗效, 但其疗效缺乏客观量化标准, 治疗的中枢机制目前也未明确。

基于腕踝针灸的经皮神经电刺激已被证明可以缓解肌筋膜疼痛综合征患者的疼痛程度。然而, 其疗效是高度主观的。Du J 等[33]针对这一问题, 利用 fNIRS 技术从大脑皮层血流动力学的角度评价其治疗肌筋膜疼痛综合征患者疗效, 发现大脑皮层不同区域对疼痛和镇痛调节的反应不同, 其中额极区和背外侧前额叶皮层最为明显, 并且高度参与疼痛调节过程, 但是量化脑血流动力学和脑激活方面的镇痛效果还需要进一步研究。

4.7. 耳鸣

针灸是中医中独特的治疗方法, 在治疗耳鸣方面具有很大的优势。然而, 耳鸣是患者的主观症状, 目前没有客观的检测方法来反映针灸对耳鸣的改善效果。Yu X 等[34]运用 fNIRS 技术监测血流动力学反应, 发现针灸可以增加耳鸣患者颞叶含氧血红蛋白的浓度, 激活听觉皮层, 这可能与针灸治疗耳鸣的神经机制有关。另外, 此研究为针灸治疗耳鸣提供了客观影像学依据, 有助于为针灸治疗耳鸣的疗效提供客观的量化方法。

5. fNIRS 技术在针刺研究中面临的挑战

随着 fNIRS 技术在针刺研究中的广泛应用, 其信号质量问题日益凸显。在脑功能活动检测中, 所采集的诱发信号普遍混杂多种噪声。因此, 在进行科学分析前, 如何有效去除干扰、提取高质量低噪声信号, 已成为 fNIRS 数据处理的关键环节。由于实际脑信号中噪声成分复杂, 系统辨识噪声来源并采用适

宜的降噪方法, 对分离出真实神经活动信号具有至关重要的意义。

5.1. 实验误差

在 fNIRS 实验中, 被试的动作可能引发头部运动, 导致光学探头与头皮之间发生相对位移。尽管发射器与探测器间距固定, 但探头移位会改变光子传播路径, 影响其对目标脑区的探测范围。此外, 头部运动还会降低探头-头皮界面的耦合效率, 形成物理间隙。这既会造成出射光子信号的衰减, 也可能导致环境背景光(如自然光、人工照明及电子屏幕光)侵入探测端, 最终对信号质量造成显著干扰[14]。运动伪迹的校正主要采用手动干预与算法处理相结合的策略。手动校正策略依据信号干扰程度实施分级控制: (1) 对于局部性伪迹, 直接剔除受污染的试次或数据块; (2) 当单个通道的伪迹污染比例超过 10% 时, 将该通道数据予以剔除; (3) 若出现全局性伪迹污染, 则舍弃整组实验数据, 并需追溯污染源进行系统性分析。算法校正方法根据信号特征可分为两类: 时域校正及空域校正, 时域校正包括小波变换、样条插值法和自适应滤波, 空域校正涵盖主成分分析、维纳滤波、卡尔曼滤波及独立成分分析。

5.2. 生理伪影

生理伪影来源于表皮的生理信号干扰及背景脑活动噪声。目前常用的解决方法为自适应滤波法[14][35]。

6. 讨论

fNIRS 技术可实时监测脑部血氧饱和度及血红蛋白浓度, 且具有较高的空间分辨率和时间分辨率及简单易用、费用较低、非侵入性的优点, 在针灸治疗疾病的作用机制研究方面得到了越来越多的应用。但基于 fNIRS 技术的针刺研究尚处于初期阶段, 在研究与实际操作中还存在问题: ① 缺少针刺基础理论方面研究, 如针刺手法、腧穴效应研究。② 样本量小, 研究范式不够科学严谨, 缺乏高质量论文。③ fNIRS 信号易受眨眼、运动、情绪变化及针刺的手法、操作时间及频率等因素的干扰。④ 运动伪影干扰问题的处理。以上问题需要我们在临床研究实践中不断探索, 推动 fNIRS 在针灸领域的应用更加规范, 更加科学。

交叉电项针被证实能改善重症脑病患者咳嗽吞咽功能, 在临床观察中效果令人满意, 借助 fNIRS 技术可以进一步探讨其作用机制。

参考文献

- [1] Zhang, D., Ruan, J., Peng, S., Li, J., Hu, X., Zhang, Y., et al. (2024) Synaptic-Like Transmission between Neural Axons and Arteriolar Smooth Muscle Cells Drives Cerebral Neurovascular Coupling. *Nature Neuroscience*, 27, 232-248. <https://doi.org/10.1038/s41593-023-01515-0>
- [2] 曹静雅, 瞿玉竹, 陈丽, 等. 基于 fNIRS 技术的不同针刺补泻手法中枢响应特征研究[J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(5): 2417-2422.
- [3] Si, X., Xiang, S., Zhang, L., Li, S., Zhang, K. and Ming, D. (2021) Acupuncture with Deqi Modulates the Hemodynamic Response and Functional Connectivity of the Prefrontal-Motor Cortical Network. *Frontiers in Neuroscience*, 15, Article 693623. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.693623>
- [4] Fernandez Rojas, R., Liao, M., Romero, J., Huang, X. and Ou, K. (2019) Cortical Network Response to Acupuncture and the Effect of the Hegu Point: An fNIRS Study. *Sensors*, 19, Article 394. <https://doi.org/10.3390/s19020394>
- [5] Fu, X., Li, H., Yang, W., Li, X., Lu, L., Guo, H., et al. (2023) Electroacupuncture at HT5 + GB20 Produces Stronger Activation Effect on Swallowing Cortex and Muscle than Single Points. *Heliyon*, 9, e21922. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21922>
- [6] Lou, X.Q., Liu, X., Liu, C.H., et al. (2021) Therapeutic Effect of Electric-Balance Stimulation with Scalp Acupuncture for Motor Aphasia after Cerebral Infarction. *Chinese Acupuncture & Moxibustion*, 41, 1211.

- [7] Lin, B., Ni, J., Xiong, X., Zhang, L., Song, J., Wang, M., *et al.* (2025) Language Function Improvement and Cortical Activity Alteration Using Scalp Acupuncture Coupled with Speech-Language Training in Post-Stroke Aphasia: A Randomised Controlled Study. *Complementary Therapies in Medicine*, **89**, Article ID: 103137. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2025.103137>
- [8] 李玲, 马婕, 宋思敏, 等. 功能性近红外光谱技术在针刺研究中的应用[J]. 世界中医药, 2023, 18(19): 2846-2850.
- [9] Chen, J., Li, H., Zeng, C., Li, J. and Zhao, B. (2020) Evaluation of the Recovery Outcome of Poststroke Cognitive Impairment after Cluster Needling of Scalp Acupuncture Therapy Based on Functional Near-Infrared Spectroscopy. *Brain and Behavior*, **10**, e01731. <https://doi.org/10.1002/brb3.1731>
- [10] 钟立达. 基于 fNIRS 技术下头针联合 iTBS 对脑卒中后认知功能影响的研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 广州中医药大学, 2023.
- [11] 张嗣敏, 霍聪聪, 邵广健, 等. 基于 fNIRS 探究针刺治疗对脑卒中偏瘫患者脑皮层激活的影响[J]. 上海中医药大学学报, 2024, 38(4): 17-24, 47.
- [12] 郑苏, 穆敬平, 代铁楠, 等. 基于 fNIRS 探讨分期针刺治疗缺血性脑卒中后偏瘫的疗效及机制研究[J]. 针灸临床杂志, 2024, 40(10): 11-16.
- [13] 罗敷, 宁雅丹, 贾飞阳, 等. 基于功能性近红外技术观察电针“曲池”“合谷”穴对脑卒中后上肢运动功能障碍患者功能连接网络影响[C]//中国康复医学会. 2023 中国康复医学会综合学术年会暨国际康复医疗产业博览会论文汇编. 2023: 564-572.
- [14] 唐强, 王雪, 穆姿辰, 等. 针康法促进脑卒中后下肢运动功能重建的功能性近红外光谱研究[J]. 中国康复理论与实践, 2022, 28(1): 32-37.
- [15] Yuan, Z., Mao, F., Liu, Z., Xing, S., Yang, L., Wu, W., *et al.* (2025) Characteristic of Motor-Related Cortical Network during Stimulating at the Affected or Bilateral Limbs of Stroke Patients by Acupuncture. *Brain Research Bulletin*, **227**, Article ID: 111393. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2025.111393>
- [16] Fu, X., Li, H., Yang, W., Li, X., Lu, L., Guo, H., *et al.* (2023) Electroacupuncture at HT5 + GB20 Promotes Brain Remodeling and Significantly Improves Swallowing Function in Patients with Stroke. *Frontiers in Neuroscience*, **17**, Article 1274419. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1274419>
- [17] 姜静怡. 基于 fNIRS 探讨“透刺吞咽针法”对 PSD 患者脑功能影响的临床研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 黑龙江中医药大学, 2024.
- [18] Zhang, Z., Cai, X., Liang, Y., Zhang, R., Liu, X., Lu, L., *et al.* (2023) Electroacupuncture as a Rapid-Onset and Safer Complementary Therapy for Depression: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Psychiatry*, **13**, Article 1012606. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.1012606>
- [19] Yang, B., Miao, R., Wang, T., Zhu, F., Li, W., Liu, Y., *et al.* (2024) The Impact of Acupuncture on the Brain Function of Patients with Mild to Moderate Major Depressive Disorder: A Randomized Controlled Trial Protocol. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, **24**, Article No. 388. <https://doi.org/10.1186/s12906-024-04690-0>
- [20] Xiong, S., Tu, M., Wu, X., Qu, S., Chen, N., Jin, J., *et al.* (2023) Real-Time Hemodynamic Changes in the Prefrontal and Bilateral Temporal Cortices during Intradermal Acupuncture for Major Depressive Disorder: A Prospective, Single-Center, Controlled Trial Protocol. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, **19**, 2627-2638. <https://doi.org/10.2147/ndt.s435617>
- [21] Zhang, T., Zhang, J., Huang, J., Zheng, Z. and Wang, P. (2021) Neural Activation via Acupuncture in Patients with Major Depressive Disorder: A Functional Near-Infrared Spectroscopy Study. *Frontiers in Psychiatry*, **12**, Article 669533. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.669533>
- [22] Wong, Y.K., Wu, J.M., Zhou, G., Zhu, F., Zhang, Q., Yang, X.J., *et al.* (2021) Antidepressant Monotherapy and Combination Therapy with Acupuncture in Depressed Patients: A Resting-State Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) Study. *Neurotherapeutics*, **18**, 2651-2663. <https://doi.org/10.1007/s13311-021-01098-3>
- [23] 石伟静, 穆敬平, 廖恒, 等. 基于 fNIRS 技术的通督安神针刺法治疗中度抑郁障碍的脑机制研究[J]. 精神医学杂志, 2023, 36(6): 573-577.
- [24] Liu, Y., Sun, N., Xiong, J., Zhou, Y., Ye, X., Jiang, H., *et al.* (2022) Modulation of Cerebral Cortex Activity by Acupuncture in Patients with Prolonged Disorder of Consciousness: An fNIRS Study. *Frontiers in Neuroscience*, **16**, Article 1043133. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.1043133>
- [25] Wen, X., Liu, Z., Shao, Y., Peng, Y., Liu, H., Wang, M., *et al.* (2022) Effects of Acupuncture on Cortical Activation in Patients with Disorders of Consciousness: A Functional Near-Infrared Spectroscopy Study. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, **2022**, Article ID: 5711961. <https://doi.org/10.1155/2022/5711961>
- [26] Zhang, R., Zhang, X., Zhu, T., Ye, Y., Su, M., Wei, Y., *et al.* (2024) Study on the Effects of Acupuncture with the “Yizhi Tiaoshen” Acupoint Formula on Blood Oxygen Metabolism and Neural Function in Key Brain Regions of AD Rats.

- Degenerative Neurological and Neuromuscular Disease*, **14**, 103-114. <https://doi.org/10.2147/dnnd.s468770>
- [27] 叶钰娟. “疏肝调神”针法干预失眠大鼠的 fNIRS 脑功能机制研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 甘肃中医药大学, 2022.
 - [28] 周颖靓. 基于 fNIRS 研究印堂穴骨膜针法对慢性失眠症患者脑功能的影响[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 陕西中医药大学, 2024.
 - [29] 徐一可, 王子敬, 陈顶立, 等. 针刺干预原发性失眠患者脑血氧饱和度即刻效应对照观察[J]. 辽宁中医药大学学报, 2022, 24(12): 82-87.
 - [30] 赵正卿, 李雁鹏, 向小霞, 等. 慢性失眠的发病机制与认知行为治疗[J]. 中国临床药理学与治疗学, 2021, 26(5): 482-486.
 - [31] Ye, Y.J., Wei, Y.T., Jia, J. and yan, X.K. (2023) Efficacy of Needling Baihui (GV20), Neiguan (PC6), Shenmen (HT7) and Taichong (LR3) on Cerebral Cortical Blood Oxygen Level in Rats with Insomnia. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, **43**, 523-532.
 - [32] 代铁楠, 穆敬平, 郑苏, 等. “补肾安神”针刺法治疗围绝经期失眠 fNIRS 初步研究[J]. 辽宁中医药大学学报, 2024, 26(9): 91-95.
 - [33] Du, J., Shi, P., Liu, J., Yu, H. and Fang, F. (2022) Analgesic Electrical Stimulation Combined with Wrist-Ankle Acupuncture Reduces the Cortical Response to Pain in Patients with Myofasciitis: A Randomized Clinical Trial. *Pain Medicine*, **24**, 351-361. <https://doi.org/10.1093/pm/pnac141>
 - [34] Yu, X., Gong, B., Yang, H., Wang, Z., Qi, G., Sun, J., et al. (2023) Effect of Acupuncture Treatment on Cortical Activation in Patients with Tinnitus: A Functional Near-Infrared Spectroscopy Study. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, **31**, 729-737. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2022.3231899>
 - [35] 张阳阳, 李征. 功能性近红外光谱脑成像噪声源及去噪方法综述[J]. 红外, 2019, 40(7): 35-46.