

经颅直流电刺激治疗慢性腰痛的研究进展

罗敏^{1,2*}, 肖登^{1#}

¹重庆医科大学附属大学城医院康复科, 重庆

²达州市民康医院医教科, 四川 达州

收稿日期: 2026年1月3日; 录用日期: 2026年1月28日; 发布日期: 2026年2月5日

摘要

慢性腰痛是一种普遍存在且严重影响患者生活质量的疾病。其常用的治疗方式从物理因子治疗、运动疗法、药物治疗等, 逐渐转变为脑神经刺激治疗。经颅直流电刺激(Transcranial direct current stimulation, tDCS)是一种非侵入性脑神经调节技术, 近年来被逐渐应用于临床。本文就tDCS治疗慢性腰痛的机制、临床疗效及安全性作一综述, 旨在为慢性腰痛的治疗提供参考。

关键词

经颅直流电刺激, 非侵入性脑刺激, 慢性腰痛

Research Progress of Transcranial Direct Current Stimulation in the Treatment of Chronic Low Back Pain

Min Luo^{1,2*}, Deng Xiao^{1#}

¹Department of Rehabilitation, University Town Hospital Affiliated to Chongqing Medical University, Chongqing

²Medical Education Department of Dazhou Minkang Hospital, Dazhou Sichuan

Received: January 3, 2026; accepted: January 28, 2026; published: February 5, 2026

Abstract

Chronic low back pain is a widespread disease that seriously affects the quality of life of patients. The commonly used treatment methods have gradually shifted from physical factor therapy, exercise therapy, drug therapy, etc. to brain nerve stimulation therapy. Transcranial direct current stim-

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 罗敏, 肖登. 经颅直流电刺激治疗慢性腰痛的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16 (2): 1167-1173.

DOI: 10.12677/acm.2026.162500

ulation (tDCS) is a non-invasive brain nerve regulation technique and has been gradually applied in clinical practice in recent years. This article reviews the mechanism, clinical efficacy and safety of tDCS in the treatment of chronic low back pain, aiming to provide a reference for the treatment of chronic low back pain.

Keywords

Transcranial Direct Current Stimulation, Non-Invasive Brain Stimulation, Chronic Low Back Pain

Copyright © 2026 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

慢性腰痛(Chronic Low Back Pain, CLBP)的全球患病率为 13.1%~20.3%，其发病率高、病程长、易复发，已成为全球性的公共卫生问题[1]，严重影响患者的生活质量。40~69 岁人群患病率最高，为 28%~42% [2]。60%腰痛患者合并焦虑症，50%~80%存在睡眠障碍，严重影响身心健康[3]。慢性腰痛不是单一的肌肉骨骼病变，还包括中枢神经系统，脊髓和肌肉神经可塑性的变化。如大脑皮层结构的变化(背外侧前额叶皮质(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)处灰质减少)，功能变化(在形成“疼痛基质”的区域处的功能连接的改变)和神经化学变化(大脑特定区域的神经递质缺乏或过量) [4]。有研究指出，CLBP 与大脑运动皮质(M1)的兴奋性和/或重组有关，通过控制慢性腰痛患者运动皮层的活动，改善躯干和腹肌的功能和肌肉的协调性，可能会改善患者的临床症状[5]。也有研究表明，CLBP 与脊髓的结构和功能有关。下行疼痛调节系统(descending pain modulation system, DPMS)影响疼痛感知和行为，DPMS 以中脑导水管周围灰质(periaqueductal gray, PAG)中枢，接受来自前扣带皮层(anterior cingulate cortex, ACC)、前额叶皮层和杏仁核的信号，在脊髓水平调节疼痛信号[6]。脊髓水平兴奋性神经递质的释放增加，通过脊髓丘脑通路影响疼痛感知，释放的多巴胺，可激活下行疼痛抑制并降低疼痛感知，从而改变大脑自上而下的疼痛控制。慢性腰痛，作为一种生物心理社会综合征，已被广泛认知，随着医学的发展，其治疗方法也发生了明显的改变。从以前的物理因子治疗、运动疗法、药物治疗、手术治疗等，逐渐转变为脑神经调节治疗，如经颅磁刺激，经颅直流电刺激治疗。

2. 慢性腰痛的治疗现状

物理因子治疗是治疗慢性腰痛常用的有效方式，近年来冲击波作为 CLBP 的单独治疗或辅助治疗时，在第 4 周和第 12 周显著降低了患者的 VAS [7]。但物理因子治疗均难以达到长期的镇痛效果。运动疗法通过徒手或器械进行运动干预与训练，以恢复正常的肌肉紧张度、长度、韧度，改善关节活动度，实现疼痛的控制，但运动疗法作为一种自我锻炼疗法，存在姿势不规范、坚持性差等缺点[7]。

非甾体类抗炎药、弱阿片类药物、肌松剂、镇痛镇静等药物，均可不同程度缓解腰痛[8] [9]。但常常有恶心、便秘、疲劳等副作用，不推荐长期使用[10]。针灸、推拿、牵引等，也可不同程度缓解疼痛。但也很难达到长期镇痛效果。保守治疗疼痛缓解不理想者，可手术治疗[2]，但患者术后恢复时间长，感染风险高。

3. 经颅直流电刺激治疗

尽管目前治疗慢性腰痛的方法较多，但仍有部分患者不能充分缓解疼痛。既往对 CLBP 患者神经网

络的研究发现, CLBP 患者存在丘脑、背外侧前额叶皮层、颞叶、脑岛和初级体感皮层灰质等区域的结构变化。依据这些发现, 研究人员开始探索能够用于治疗 CLBP 的非侵入性脑神经调节技术。它通过刺激大脑, 调节受刺激区域的神经活动, 改变大脑皮层网络的兴奋性, 从而改善疼痛症状[10]。目前被广泛应用于慢性疼痛治疗的两种非侵入性脑神经调节技术是重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation rTMS)和经颅直流电刺激(Transcranial direct current stimulation, tDCS)。本综述重点阐述经颅直流电刺激(tDCS)在慢性腰痛中的应用。

经颅直流电刺激治疗操作简单、方便、价格便宜、患者耐受性较好, 并广泛应用在情感功能障碍、认知障碍和阿尔茨海默病。大量的临床试验, 已证实经颅直流电刺激治疗在改善脑功能方面有确切作用, 而慢性腰痛, 也被证实与大脑运动皮质(M1)的兴奋性和/或重组有关, 通过控制其运动皮层的活动, 可改善患者的疼痛症状[5]。因此, 经颅直流电刺激治疗在慢性腰痛中的应用, 也受到越来越多的关注。

4. 经颅直流电刺激在慢性腰痛中的应用

4.1. 经颅直流电刺激治疗慢性疼痛的机制

疼痛的持续存在, 与皮质对疼痛的适应性有关。慢性疼痛往往与“神经基质”区域的激活减少有关, 其中就包含了运动皮层和前额叶皮层[11]。背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)在慢性疼痛患者应对慢性疼痛时的内部连接中起关键作用。其中, CLBP 与运动皮质兴奋性改变密切相关[12]-[14]。研究表明短间隔的皮质内抑制和皮质内促进均可导致慢性疼痛的持续存在[15][16]。经颅直流电刺激(tDCS)具有电极依赖性, 阳极 tDCS 导致神经元膜去极化, 增加皮质兴奋性; 阴极刺激诱导神经元膜超极化, 降低皮质兴奋性[17]。大脑皮质兴奋时, tDCS 作用于谷氨酸能突触, 通过 n-甲基-d-天冬氨酸受体增强钙离子内流, 钙离子内流是神经可塑性所必需的, 此外, 伽马氨基丁酸可抑制神经元产生动作电位, 通过应用 a-tDCS (阳极 tDCS), 谷氨酸能突触将被激活, 导致伽马氨基丁酸活性降低, 从而增加皮质兴奋性, 故在 M1 区应用 a-tDCS 对皮质兴奋性和疼痛有良好的效果[18]。李欣[19]等人首次通过检测脑连接和躯干肌肉的协同作用, 来探讨 CLBP 的病理机制, 并通过比较 M1-tDCS 和 DLPFC-tDCS 的治疗效果, 指出经颅直流电刺激(tDCS) CLBP 患者的 DLPFC 可以增强 M1 和 DLPFC 的活性和功能连接, 从而改善异常的躯干肌肉协同作用。

大脑和脊髓的各个区域对 CLBP 的神经可塑性均有贡献, 但目前国内外关于 tDCS 治疗慢性疼痛的研究, 仍主要集中在对运动皮层的刺激上。

4.2. 经颅直流电刺激治疗慢性疼痛的临床疗效

DCS 治疗慢性疼痛的效果并不一致。tDCS 治疗慢性疼痛的临床试验中, 涉及了纤维肌痛、偏头痛、腰痛和脊髓损伤疼痛, 且大多数都有积极的结果。Hazime 等人[20]的研究曾报道, 在结合外周电刺激时, 运动皮层上的重复经颅直流电刺激可诱导 CLBP 的短期和长期镇痛作用。但 Schabrun 等[21]人在一项研究中得出了相反的结论。Luedtke 等人[22]在相关研究中也报道了运动皮质的重复经颅直流电刺激对 CLBP 没有治疗作用。一项关于 tDCS 在 CLBP 中的应用的系统综述也指出, tDCS 对控制疼痛无效[23]。现有的临床研究, 对 tDCS 在慢性腰痛中的治疗效果结论不一致, 可能与研究样本量小有一定的相关性, 未来应进一步扩大临床研究的样本量, 减少系统误差, 提高研究结论的准确性, 指导临床治疗。

4.3. 影响经颅直流电刺激治疗慢性疼痛临床疗效的关键变量

4.3.1. 电流强度

在低至 0.28 A/m^2 的电流下, tDCS 即可改变大脑的兴奋性。目前, 大多数 tDCS 方案电流设置在 1 到

2 mA。有研究指出, 增加 tDCS 刺激强度和电流密度, 可提高 tDCS 的治疗效果。理论上这会导致更深的电场范围, 从而调节不同的神经元群活动[24]。Chhatbar 等人[25]探讨了 tDCS 剂量递增(1~4 mA)的影响, 结果表明, 单次 tDCS 高达 4 mA, 持续 30 分钟是安全的, 并且具有足够的耐受性, 但在更大的强度下, tDCS 会引起电极区域的不适和疼痛, 也不一定会导致临床效果的增加[24]。Esmailpour 等人[26]从不同的角度评估了 tDCS 剂量反应, 结果表明, tDCS 的治疗效果与 tDCS 强度的增加并不是严格的线性关系(即使在 1~2 mA 的有限范围内)。目前 tDCS 最佳刺激剂量是 2 mA。

4.3.2. 刺激持续时间

另一种增加 tDCS 治疗效果的方法是增加 tDCS 治疗持续时间。越来越多的随机对照试验研究了短时间(几分钟)和长时间使用阳极和/或阴极 tDCS 的影响。tDCS 持续时间短(5 分钟), 仅在应用期间导致脑兴奋性调节, 且 tDCS 后效应持续时间也较短(最多 5 分钟)。另一方面, 较长时间(>9 到 13 分钟)可导致大脑兴奋性的后效应延长。但在目前的临床研究中, 只有少数研究设置 tDCS 的治疗时间超过了通常的 20 分钟, 且没有积极意义。目前 tDCS 治疗慢性疼痛的常用方案刺激时间均为 20 分钟。

4.3.3. 刺激次数及刺激频率

刺激次数和刺激频率也可改变后效应的持续时间, 目前大多数临床研究测试了连续 5 天或更长时间的 tDCS (每天一次)治疗效应[27]-[29], 并没有得出绝对的结论。慢性腰痛缓解所需的最佳次数, 以及诱导临床显著效果所需的最小次数仍需进一步研究。

4.3.4. 电极放置位置

tDCS 不仅可调节电极下方的大脑区域的活动, 还能影响与刺激区域相关的大脑网络的功能, 调节神经的可塑性[30]。电极的放置位置, 会使 tDCS 治疗效果产生差异。如电极放置初级运动区[M1]或背外侧前额叶皮层和刺激极性(阳极或阴极), 这些都可导致 tDCS 试验之间的显著异质性。大多数研究中, 阳极放置在疼痛部位对侧半球的初级运动皮层(M1 区), 阴极放置在对侧眶上区域[24]。神经影像学研究表明, 直接和间接运动通路都参与姿势控制。M1 是直接运动通路的一部分, 前额叶皮层是间接运动通路的组成部分。阳极 M1-tDCS 可显著降低前额叶皮层的活动, CLBP 患者参与运动通路的大脑区域的激活减少, 说明 tDCS 可能有助于 CLBP 患者的神经功能正常化, 使 M1 皮质功能正常化。另外, M1-tDCS 通过增强躯干和下肢肌肉的力量, 改善 CLBP 的姿势稳定性, 从而缓解疼痛症状[30]。

4.4. 经颅直流电刺激的优势与安全性

tDCS 治疗慢性疼痛具有明显的优势。一方面, tDCS 治疗仪尺寸小, 轻便, 便于携带, 治疗成本低, 减轻患者治疗费用负担。另一方面, tDCS 治疗风险低, 在使用常规 tDCS 治疗方案时, 没有报道过严重的不良反应[31]。在慢性疼痛方面, Castillo-Saavedra 等人[27]用 30 个连续疗程测试了最长的治疗方案, 并没有显示中度或严重副作用的证据。受试者所经历的不良反应是轻微的, 并在 tDCS 结束后慢慢消失。最常见的不良反应是轻度刺痛、烧灼感、瘙痒、短暂性头痛和皮肤发红[32]。目前没有证据表明 tDCS 会引发适应性不良的可塑性或对认知功能产生负面影响[31] [33]-[35]。可见 tDCS 具有足够的耐受性和可接受性。

5. 展望

尽管有研究显示 tDCS 对慢性疼痛有积极的效果, 但迄今为止, 临床指南仅推荐用于两种疼痛: 纤维肌痛症和脊髓损伤所致下肢疼痛[28]。未来还需更多的临床试验, 来评估 tDCS 对慢性腰痛的影响, 进一步明确 tDCS 治疗慢性腰痛的作用机制和主要参数的设置标准。除此之外, 目前大多数 tDCS 治疗慢性腰

痛的临床试验都是 II 期研究, 通常样本量小, 对疼痛水平的影响小到中等, 未来需要在更大的样本量中去评估 tDCS 效果的 III 期临床试验。目前的研究显示 tDCS 通过刺激大脑皮质来缓解患者疼痛疗效不一致, 未来的研究重点和方向可以转向研究刺激其他与疼痛处理有关的神经区域。

6. 小结

慢性腰痛发病率高, 社会及家庭经济负担重, 但目前慢性腰痛的发病机制尚无确切的结论。目前的物理因子治疗难以达到长期的镇痛效果, 运动疗法规范性差、坚持性差, 药物治疗往往只有短期的获益, 且常有副作用, 手术治疗虽可以通过部分解剖结构的改变来缓解疼痛, 但恢复时间长, 感染风险高。经颅直流电刺激(tDCS), 作为一种非创伤性的脑刺激技术, 有望从大脑神经解剖结构和功能上改变疼痛的预后, 开启慢性腰痛治疗的新模式, 但现有的研究对经颅直流电刺激(tDCS)治疗慢性腰痛的作用机制并不确切, 且用于慢性腰痛的疗效的有效性结论不一致。未来应更进一步探索及明确慢性腰痛的发病机制, 以机制指导治疗方案的选择。

基金项目

本文作者感谢国家级继续医学教育项目基金(2024-16-01-325 (国))对研究的支持。

参考文献

- [1] Katz, J.N. (2006) Lumbar Disc Disorders and Low-Back Pain: Socioeconomic Factors and Consequences. *Journal of Bone and Joint Surgery*, **88**, 21-24. <https://doi.org/10.2106/jbjs.e.01273>
- [2] Knezevic, N.N., Candido, K.D., Vlaeyen, J.W.S., Van Zundert, J. and Cohen, S.P. (2021) Low Back Pain. *The Lancet*, **398**, 78-92. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(21\)00733-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(21)00733-9)
- [3] Olechowski, C., Gener, M., Aiyer, R. and Mischel, N. (2023) Transcranial Magnetic Stimulation for the Treatment of Chronic Low Back Pain: A Narrative Review. *Frontiers in Pain Research*, **4**, Article ID: 1092158. <https://doi.org/10.3389/fpain.2023.1092158>
- [4] Medrano-Escalada, Y., Plaza-Manzano, G., Fernández-de-las-Peñas, C. and Valera-Calero, J.A. (2022) Structural, Functional and Neurochemical Cortical Brain Changes Associated with Chronic Low Back Pain. *Tomography*, **8**, 2153-2163. <https://doi.org/10.3390/tomography8050180>
- [5] Shafiee, S., Kiabi, F.H., Shafizad, M. and Zeydi, A.E. (2016) Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation: A Potential Therapeutic Modality for Chronic Low Back Pain. *The Korean Journal of Pain*, **30**, 71-72. <https://doi.org/10.3344/kjp.2017.30.1.71>
- [6] Li, T., Wu, Y., Li, Y., Hodges, S.A., Reddy, S., Chen, L., et al. (2025) Transcutaneous Auricular Nerve Stimulation Modulates the Functional Connectivity of the Descending Pain Modulation System and Reward Network in Patients with Chronic Low Back Pain. *Neurotherapeutics*, **22**, e00611. <https://doi.org/10.1016/j.neurot.2025.e00611>
- [7] Liu, K., Zhang, Q., Chen, L., Zhang, H., Xu, X., Yuan, Z., et al. (2023) Efficacy and Safety of Extracorporeal Shockwave Therapy in Chronic Low Back Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis of 632 Patients. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **18**, Article No. 455. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-03943-x>
- [8] Chou, R., Deyo, R., Friedly, J., Skelly, A., Weimer, M., Fu, R., et al. (2017) Systemic Pharmacologic Therapies for Low Back Pain: A Systematic Review for an American College of Physicians Clinical Practice Guideline. *Annals of Internal Medicine*, **166**, 480-492. <https://doi.org/10.7326/m16-2458>
- [9] Chou, R., Deyo, R., Friedly, J., Skelly, A., Hashimoto, R., Weimer, M., et al. (2017) Nonpharmacologic Therapies for Low Back Pain: A Systematic Review for an American College of Physicians Clinical Practice Guideline. *Annals of Internal Medicine*, **166**, 493-505. <https://doi.org/10.7326/m16-2459>
- [10] Migliorini, F., Maffulli, N., Eschweiler, J., Betsch, M., Catalano, G., Driessen, A., et al. (2020) The Pharmacological Management of Chronic Lower Back Pain. *Expert Opinion on Pharmacotherapy*, **22**, 109-119. <https://doi.org/10.1080/14656566.2020.1817384>
- [11] Konno, S. and Sekiguchi, M. (2018) Association between Brain and Low Back Pain. *Journal of Orthopaedic Science*, **23**, 3-7. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2017.11.007>
- [12] Chiang, M., Hsueh, H., Yeh, T., Cheng, Y., Kao, Y., Chang, K., et al. (2022) Maladaptive Motor Cortical Excitability and Connectivity in Polyneuropathy with Neuropathic Pain. *European Journal of Neurology*, **29**, 1465-1476.

- <https://doi.org/10.1111/ene.15247>
- [13] Moseley, G.L. and Flor, H. (2012) Targeting Cortical Representations in the Treatment of Chronic Pain: A Review. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, **26**, 646-652. <https://doi.org/10.1177/1545968311433209>
- [14] Parker, R.S., Lewis, G.N., Rice, D.A. and McNair, P.J. (2016) Is Motor Cortical Excitability Altered in People with Chronic Pain? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Brain Stimulation*, **9**, 488-500. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.03.020>
- [15] O'Connell, N.E., Marston, L., Spencer, S., DeSouza, L.H. and Wand, B.M. (2018) Non-Invasive Brain Stimulation Techniques for Chronic Pain. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2018**, CD008208. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd008208.pub5>
- [16] Luedtke, K., Rushton, A., Wright, C., Geiss, B., Juergens, T.P. and May, A. (2012) Transcranial Direct Current Stimulation for the Reduction of Clinical and Experimentally Induced Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Clinical Journal of Pain*, **28**, 452-461. <https://doi.org/10.1097/ajp.0b013e31823853e3>
- [17] David, M.C.M.M., Moraes, A.A.d., Costa, M.L.d. and Franco, C.I.F. (2018) Transcranial Direct Current Stimulation in the Modulation of Neuropathic Pain: A Systematic Review. *Neurological Research*, **40**, 557-565. <https://doi.org/10.1080/01616412.2018.1453190>
- [18] Wattananon, P., Thu, K.W., Maharjan, S., Sornkaew, K. and Wang, H. (2023) Cortical Excitability and Multifidus Activation Responses to Transcranial Direct Current Stimulation in Patients with Chronic Low Back Pain during Remission. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 16242. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43597-7>
- [19] Li, X., Liang, W., Li, Z., Li, S., Zu, Y., Ge, L., et al. (2025) Neuromuscular Characteristics of Transcranial Direct Current Stimulation over Dorsolateral Prefrontal Cortex in Patients with Chronic Low Back Pain: A Randomized, Double-Blind, Controlled Trial Protocol. *Frontiers in Human Neuroscience*, **19**, Article ID: 1586257. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1586257>
- [20] Hazime, F.A., Baptista, A.F., de Freitas, D.G., Monteiro, R.L., Maretto, R.L., Hasue, R.H., et al. (2017) Treating Low Back Pain with Combined Cerebral and Peripheral Electrical Stimulation: A Randomized, Double-Blind, Factorial Clinical Trial. *European Journal of Pain*, **21**, 1132-1143. <https://doi.org/10.1002/ejp.1037>
- [21] Schabrun, S.M., Burns, E., Thapa, T. and Hodges, P. (2017) The Response of the Primary Motor Cortex to Neuromodulation Is Altered in Chronic Low Back Pain: A Preliminary Study. *Pain Medicine*, **19**, 1227-1236. <https://doi.org/10.1093/pm/pnx168>
- [22] Luedtke, K., Rushton, A., Wright, C., Jurgens, T., Polzer, A., Mueller, G., et al. (2015) Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation Preceding Cognitive Behavioural Management for Chronic Low Back Pain: Sham Controlled Double Blinded Randomised Controlled Trial. *BMJ*, **350**, h1640. <https://doi.org/10.1136/bmj.h1640>
- [23] Baptista, A.F., Fernandes, A.M.B.L., Sá, K.N., Okano, A.H., Brunoni, A.R., Lara-Solares, A., et al. (2019) Latin American and Caribbean Consensus on Noninvasive Central Nervous System Neuromodulation for Chronic Pain Management (lac2-nin-cp). *PAIN Reports*, **4**, e692. <https://doi.org/10.1097/pr9.0000000000000692>
- [24] Pinto, C.B., Teixeira Costa, B., Duarte, D. and Fregni, F. (2018) Transcranial Direct Current Stimulation as a Therapeutic Tool for Chronic Pain. *The Journal of ECT*, **34**, e36-e50. <https://doi.org/10.1097/yct.0000000000000518>
- [25] Chhatbar, P.Y., Chen, R., Deardorff, R., Dellenbach, B., Kautz, S.A., George, M.S., et al. (2017) Safety and Tolerability of Transcranial Direct Current Stimulation to Stroke Patients—A Phase I Current Escalation Study. *Brain Stimulation*, **10**, 553-559. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2017.02.007>
- [26] Esmaeilpour, Z., Marangolo, P., Hampstead, B.M., Bestmann, S., Galletta, E., Knotkova, H., et al. (2018) Incomplete Evidence That Increasing Current Intensity of Tdcs Boosts Outcomes. *Brain Stimulation*, **11**, 310-321. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2017.12.002>
- [27] Castillo-Saavedra, L., Gebodh, N., Bikson, M., Diaz-Cruz, C., Brandao, R., Coutinho, L., et al. (2016) Clinically Effective Treatment of Fibromyalgia Pain with High-Definition Transcranial Direct Current Stimulation: Phase II Open-Label Dose Optimization. *The Journal of Pain*, **17**, 14-26. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2015.09.009>
- [28] Lefaucheur, J., Antal, A., Ayache, S.S., Benninger, D.H., Brunelin, J., Cogiamanian, F., et al. (2017) Evidence-Based Guidelines on the Therapeutic Use of Transcranial Direct Current Stimulation (tdcs). *Clinical Neurophysiology*, **128**, 56-92. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2016.10.087>
- [29] Lefaucheur, J. (2016) Cortical Neurostimulation for Neuropathic Pain: State of the Art and Perspectives. *Pain*, **157**, S81-S89. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000401>
- [30] Li, Y., Xie, H., Peng, J., Xu, Z., Fu, R., Cheng, X., et al. (2026) The Immediate Effect of Anodal Tdcs over the Motor Cortex on Postural Control and Cortical Activation in Patients with Chronic Low Back Pain: A Preliminary Study. *Behavioural Brain Research*, **496**, Article ID: 115827. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2025.115827>
- [31] Bikson, M., Grossman, P., Thomas, C., Zannou, A.L., Jiang, J., Adnan, T., et al. (2016) Safety of Transcranial Direct Current Stimulation: Evidence Based Update 2016. *Brain Stimulation*, **9**, 641-661.

-
- <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.06.004>
- [32] Nikolín, S., Huggins, C., Martin, D., Alonzo, A. and Loo, C.K. (2018) Safety of Repeated Sessions of Transcranial Direct Current Stimulation: A Systematic Review. *Brain Stimulation*, **11**, 278-288. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2017.10.020>
- [33] Matsumoto, H. and Ugawa, Y. (2017) Adverse Events of tDCS and tACS: A Review. *Clinical Neurophysiology Practice*, **2**, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2016.12.003>
- [34] Aparício, L.V.M., Guarienti, F., Razza, L.B., Carvalho, A.F., Fregni, F. and Brunoni, A.R. (2016) A Systematic Review on the Acceptability and Tolerability of Transcranial Direct Current Stimulation Treatment in Neuropsychiatry Trials. *Brain Stimulation*, **9**, 671-681. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.05.004>
- [35] Paneri, B., Adair, D., Thomas, C., Khadka, N., Patel, V., Tyler, W.J., *et al.* (2016) Tolerability of Repeated Application of Transcranial Electrical Stimulation with Limited Outputs to Healthy Subjects. *Brain Stimulation*, **9**, 740-754. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.05.008>