

重复性经颅磁刺激治疗脊髓损伤后神经病理性疼痛的研究进展

吴静仪¹, 陈福刚², 王立童¹

【关键词】 重复性经颅磁刺激; 脊髓损伤; 神经病理性疼痛

【中图分类号】 R49; R681 【DOI】 10.3870/zgkf.2024.04.011

神经病理性疼痛(neuropathic pain, NP)是脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)常见的并发症之一,主要表现为自发性疼痛,痛觉过敏和感觉异常。据报道,约有53%的患者会在SCI后出现神经病理性疼痛^[1]。根据研究显示目前有多种方法治疗NP^[2]:仅有30%~50%的患者对药物治疗有反应,且部分患者因为药物的副作用而停止治疗;侵入性皮质刺激(epidural motor cortex stimulation, EMCS)对NP有一定的镇痛效果,但这种脑刺激有创且昂贵,还可能发生感染、颅内出血等不良反应;非侵入性脑刺激(non-invasive brain stimulation, NIBS)主要通过电场或磁场调节大脑皮层的兴奋性,具有无创、操作简便的优点,临床应用前景广阔。重复性经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)是一种非侵入性脑刺激技术,具有无创、无痛、安全性高、副作用小等优点,在临床上应用广泛^[3],治疗SCI后神经病理性疼痛的研究也逐渐增多。本文就近年来rTMS治疗SCI后神经病理性疼痛的临床研究进行综述,旨在为SCI后NP的治疗提供参考。

1 rTMS 技术简介

TMS是利用电磁原理,把由导线制成的线圈放置在头皮相应位置上,产生垂直于其平面的磁场,穿过头皮和头骨,到达大脑,磁场脉冲产生垂直于磁场的感应电流,诱发脑神经元产生动作电位,从而影响脑内新陈代谢和神经电活动^[4]。1985年, Barker等^[5]首次人体上应用TMS,发现对侧手部肌肉出现抽动,从此, TMS领域开始快速发展。常用的TMS模式主要有

三种:单脉冲TMS(single-pulse TMS, sTMS), 双脉冲TMS(paird-pulse TMS, pTMS)和重复TMS(repetitive-pulse TMS, rTMS)。sTMS常用于运动诱发电位和运动阈值的测量, pTMS常用于皮质兴奋性的检测, rTMS则多用于疾病的治疗^[6]。

2 SCI后NP的发生机制

SCI后NP的潜在机制很复杂,但中枢敏化的出现、神经可塑性的改变和神经炎症的产生可能是SCI后NP出现和发展的原因。在啮齿动物SCI模型中表明,神经元的过度兴奋包括动作电位阈值降低、外周感受野扩大、对外部刺激的反应增强、背根神经节神经元自发活动增加、兴奋性突触后电位的幅度和潜伏期增加,这些过度兴奋的感觉神经元导致SCI后疼痛通路敏化^[7],导致中枢敏化,参与了NP的形成。此外, SCI后 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA)能细胞丢失、谷氨酸脱羧酶的下调、GABA转运体的上调、谷氨酸受体的过度激活亦是SCI后NP发生的关键原因^[8]。SCI后,免疫反应引起继发性损害,产生神经炎症,且星形胶质细胞和小胶质细胞异常增殖和活化,诱导神经元过度兴奋、引发神经胶质瘢痕和囊性腔的形成,损害正常的髓鞘形成和轴突再生过程^[9],导致NP的发展和维持。

3 rTMS治疗SCI后NP的机制

3.1 降低中枢敏化 SCI后中枢下行调控系统的抑制作用减弱或消失,脊髓神经元的活性增加,导致神经元兴奋性异常增强,对外界刺激的阈值降低和对阈值以上刺激的反应增强,从而放大疼痛信号的传递,导致疼痛的发生^[10]。rTMS治疗SCI后NP的镇痛机制可能与通过提高皮质兴奋性来降低中枢敏化有关。提高皮质兴奋性,使皮质对丘脑的抑制作用加强,从而增强了疼痛中枢对疼痛的整合作用,减少了异常的神经放电,发挥镇痛作用^[10]。Cioni等^[11]的研究表明, rTMS可以通过刺激大脑感觉皮质,作用于GABA能神经元,通过皮质-丘脑投射系统,抑制脊髓丘脑束,从而缓

基金项目:辽宁省教育厅基本科研项目(面上项目)(LJKMZ20221292), 大连市中医药科学研究计划项目(22Z12018)

收稿日期:2023-02-28

作者单位:1. 大连医科大学附属第二医院康复医学科, 辽宁 大连 116027; 2. 大连医科大学附属第二医院钻石湾院区医务部, 辽宁 大连 116027

作者简介:吴静仪(1998-),女,硕士研究生,主要从事脊髓损伤康复治疗的研究。

通讯作者:王立童, litongwanglv@163.com

解疼痛。另外, rTMS 可以调节大脑皮层中抑制性神经递质 GABA 和兴奋性神经递质谷氨酸的平衡, 从而降低中枢敏化, 达到缓解疼痛的目的^[11-12]。此外, SCI 后反应性胶质细胞的增生导致中枢敏化也可能是 NP 出现的潜在机制^[13]。高频 rTMS 可通过下调同侧背根神经节内一氧化氮合酶的过度表达, 抑制疼痛同侧脊髓背角中星形胶质细胞的活性和增殖来减少中枢敏化, 缓解疼痛^[14-15]。同时, 也发现在 SCI 大鼠模型中, 应用 25 Hz 的 rTMS 改善了大鼠的异常性冷疼痛, 且星形胶质细胞和小胶质细胞数量显著减少^[15]。反应性星形胶质细胞和小胶质细胞的减少, 减弱了神经毒性和神经损伤, 降低了中枢敏感性, 达到镇痛的效果。

3.2 分泌内源性阿片类物质 有证据表明, rTMS 的镇痛作用与它刺激皮质释放内源性阿片类物质有关^[16-17]。有研究通过比较阿片受体拮抗剂纳洛酮或安慰剂对健康志愿者背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)和初级运动皮层(primary motor cortex, M1) rTMS 诱导的镇痛作用的影响, 发现使用纳洛酮后显著降低了 rTMS 刺激 M1 区的镇痛作用, 说明内源性阿片类物质可能参与 M1 区 rTMS 的镇痛作用^[18]。SCI 后 DLPFC 区的高频 rTMS 干预可能通过激活扣带回前部和疼痛控制回路, 释放内源性阿片类物质来减轻疼痛^[18]。这说明 rTMS 可以通过释放内源性阿片类物质来发挥镇痛作用。

3.3 改变神经可塑性 神经可塑性与 SCI 后 NP 的镇痛机制密切相关。rTMS 可作用于神经元的突触, 导致细胞通透性和兴奋性发生改变, 引起大脑可塑性^[11]。有证据显示 rTMS 刺激运动皮质可以调节皮质和脊髓回路来增强 SCI 后神经的可塑性, 发挥镇痛作用^[19]。脑源性神经营养因子(brain-derived neurotrophic factor, BDNF) 也被发现与神经可塑性有关^[20]。有研究表明 10Hz 的 rTMS 刺激 M1 区可以降低 SCI 后急性 NP 的疼痛强度, 且伴随着 BDNF 的增加。rTMS 可能通过刺激皮质增加 BDNF 的释放, 引起神经可塑性的变化, 从而缓解疼痛^[21]。

3.4 调控神经炎症 虽然神经炎症在早期对神经有保护作用, 但是一旦神经炎症持续下去就会造成严重的结果。SCI 后各种炎症细胞因子的产生增加可能导致 NP 的出现。Toledo 等^[21]发现 rTMS 可以缓解 NP 模型大鼠的热痛觉过敏, 并且大鼠体内的中枢性 BDNF、白介素-10 和肿瘤坏死因子- α (TNF- α) 水平也得到了增高。另有研究表明 rTMS 可以缓解坐骨神经损伤大鼠的痛觉过敏和降低 TNF- α 、白介素-1 β 和白介素-6 的表达^[22]。TNF- α 在 rTMS 治疗过程中是增高还是降低有待进一步研究, 但总体来说, rTMS 通过

增加抗炎因子和降低促炎因子来调节神经炎症, 保护神经, 恢复神经功能, 产生镇痛效果。

3.5 改善大脑局部的血流量 有研究表明^[30], SCI 相关的 NP 患者的小脑、延髓腹内侧部和岛叶脑血流量显著降低而前额叶皮质的脑血流量增加。高频 rTMS 的刺激可以增加同侧脑血流量, 低频 rTMS 的刺激则会降低同侧脑血流量, 反而对侧的脑血流量得到了代偿性的增加^[23]。Tamura 等^[24]注射辣椒素引起受试者产生疼痛后, 对 M1 区使用低频 rTMS 刺激, 发现同侧的前额皮质血流量减少, 对侧运动前区脑血流增加, 而且受试者疼痛明显缓解。因此, 脑血流量的改善也可能是 rTMS 发挥镇痛作用的机制之一。

4 rTMS 疗效的影响因素

4.1 刺激部位 目前疼痛对侧 M1 区是 rTMS 治疗 NP 的最常见的作用靶点^[3], 而背外侧前额叶皮层是近些年出现的新的潜在治疗靶点^[25]。有小样本研究表明^[26], 作用于背外侧前额叶皮层的 rTMS 可以有效缓解 SCI 患者的神经病理性疼痛, DLPFC 区可能通过情绪和认知过程参与痛觉控制通路。Huang 等^[27]比较了 rTMS 刺激 DLPFC 区和 M1 区在 SCI 后神经病理性疼痛患者中的非劣效性, 发现作用于 DLPFC 的 rTMS 在治疗 SCI 后 NP 方面不比 M1 区差。此外, Mori 等^[28]通过回顾之前的临床试验, 发现 rTMS 对上肢神经病理性疼痛患者有止痛作用, 但对下肢或面部无明显缓解作用, rTMS 可能因为疼痛部位的不同而产生差异。M1 区和 DLPFC 区是 rTMS 有效的治疗靶点, 但也需根据疼痛部位来决定最佳的刺激部位。除了 M1 区和 DLPFC 区, 近些年也有人研究其他潜在靶点, Zang 等^[29]应用了证据图谱的方法, 研究了 rTMS 治疗非 M1 区的神经性疼痛, 发现运动前皮质(premotor cortex, PMC)、额叶皮层和次级体感皮层(secondary somatosensory cortex, S₂)似乎是 rTMS 治疗一些 NP 的有希望的新靶点。对 NP 患者来说, M1 区的刺激无疑是有效的, 对伴有情绪问题的 NP 患者, 刺激 DLPFC 区的 rTMS 的镇痛效果可能更好, 其他的作用靶点需要进一步的研究。

4.2 刺激频率 低频(≤ 1 Hz) rTMS 会抑制大脑皮层兴奋性, 从而代偿性增加对侧的兴奋性, 而高频(≥ 5 Hz) rTMS 可直接促进大脑皮层兴奋性, 缓解疼痛^[30]。Saitoh 等^[31]使用频率为 1Hz、5Hz、10Hz 的 rTMS 分别刺激脑损伤患者和非脑损伤(脊髓或周围病变)患者的中央前回, 发现频率为 5Hz 和 10Hz 的 rTMS 可显著减轻疼痛, 10Hz 的刺激频率可能比 5Hz 更有效, 而 1Hz 的刺激频率无效, 且频率为 5Hz

和10Hz的rTMS对非脑部病变患者的影响大于脑部病变患者,非脑部病变的患者可能更适合进行中央前回的高频rTMS。文献表明^[32],5~20Hz的高频rTMS与假刺激相比,可以显著缓解NP,且大多数随机对照试验都使用10Hz的频率进行研究。相比低频(1Hz)rTMS,高频(5~20Hz)rTMS有更好的临床疗效,更建议多使用高频(10~20Hz)rTMS来治疗SCI后NP。

4.3 刺激强度 刺激强度一般都是根据静息运动阈值(resting motor threshold,RMT)来确定的,不同的文献选择的rTMS刺激强度不同,但一般都采用80%~120%的RMT^[33],这可能是因为40%的运动阈值(motor threshold,MT)的rTMS刺激可以显著降低皮质兴奋性,80%MT强度对兴奋性有着不明显的抑制,而100%MT强度刺激可以增加皮质兴奋性^[34]。rTMS刺激强度过高(100%~110% RMT),可能是诱发受试者癫痫的技术性因素之一^[35],因此目前大多数研究都使用亚阈值强度(即80%或90%RMT),只有少数人使用等于或高于阈值的强度。Sato等^[36]使用了110%RMT强度的rTMS治疗一名SCI患者,并报告了这种高刺激强度的rTMS方案的安全性和可行性。更强烈的刺激将产生更多的脊髓纵向神经元,刺激更广泛的皮质区域,产生更大益处^[37],但超过阈值的刺激强度仍需要进一步的研究。Wincek等^[38]开发了一种算法用来根据SCI患者对TMS的个人反应来确定最佳刺激强度,设计个性化刺激参数,这可能是未来的一种趋势。目前还是更建议使用80%或90%RMT的刺激强度进行治疗。

4.4 脉冲次数 脉冲次数也是影响临床疗效的一个重要因素,大多数研究都是采用500~2000的脉冲次数^[39]。与采用10~20Hz和2000-3000脉冲次数的rTMS相比,5Hz和500脉冲次数的rTMS镇痛效果不佳^[40]。另外,Mori等^[41]也做了一项试验,用不同频率和脉冲次数的rTMS和假刺激来治疗NP患者,发现5或10Hz,500脉冲的rTMS与假刺激的镇痛效果相差不大,但使用10Hz和2000次脉冲的rTMS镇痛效果明显好于假刺激,这表明高剂量(2000脉冲,10Hz)rTMS刺激比低剂量刺激可以更有效的治疗NP。因此,可以使用高剂量脉冲次数来提高治疗SCI后NP的临床疗效。

4.5 刺激器形状 线圈的类型会影响大脑受刺激的区域,因此刺激器的形状对rTMS的临床疗效也起着至关重要的作用。近些年,8字形线圈是最常用的rTMS线圈,双锥线圈和H形线圈则是新型的rTMS线圈。双锥线圈比8字形线圈提供了更深、更强、更宽的

电场,可以刺激更广泛的皮质区域,但不如它聚焦^[42]。一项研究表明^[43],对下肢神经痛的患者,在M1区的下肢区使用H线圈的深层rTMS可以提供显著的短期疼痛缓解且镇痛效果好于8字形线圈。可能是因为8字形线圈只允许刺激大脑的浅层皮质,而H形线圈的rTMS可以有效地刺激大脑深层区域,且H形线圈比8字形线圈有更深的穿透和更慢的电场衰减^[44],仅是磁场的聚焦效果不如8字形线圈。目前最常用的线圈是8字形线圈,但是双锥线圈和H形线圈也有其优势,刺激不同的部位需要选择不同的线圈,如何根据不同的患者选择最佳的刺激器形状仍需要进一步的研究。

5 rTMS的安全性

rTMS的安全性一直人们关注的重点。在目前的大量研究中,rTMS的安全性较高,耐受性较好,仅有少数人会出现轻度的头痛和面部肌肉抽搐,且会很快缓解,只有极少数的人在高频rTMS刺激后诱发了癫痫^[42]。虽然rTMS出现不良反应的情况较少,但临床使用时仍需注意以下几个方面:①癫痫是rTMS最严重的不良反应,过高的频率、过高的强度和过短的间隔时间的rTMS更易诱发癫痫,因此使用时要注意rTMS的参数设置,且有癫痫病史及有癫痫家族史的患者禁用rTMS^[44];②多数研究均显示TMS治疗未对听力产生严重影响,但建议患者使用听力保护装置(耳塞或耳罩)^[44];③rTMS可以加热和移动线圈周围的金属物体^[44],因此头部有金属植入物时禁用或头部带有金属物时(如助听器、金属眼镜等),应将其移除。

6 小结与展望

rTMS作为一项神经调控技术,已被证明可以缓解慢性神经病理性疼痛,提高患者的康复效果和改善患者的生活质量,为SCI后NP的患者带来了极大的治疗希望。但仍存在许多不足,rTMS治疗SCI后神经病理性疼痛的研究较少,需要更多大样本的临床随机试验;rTMS缓解SCI后神经病理性疼痛的最佳刺激部位、刺激参数和线圈选择仍未明确;目前rTMS可以有效缓解短期疼痛,但是否能长期缓解SCI后NP尚无定论;其具体的治疗机制仍有待进一步的探索和研究。

【参考文献】

- [1] Burke D, Fullen B M, Stokes D, et al. Neuropathic pain prevalence following spinal cord injury: A systematic review and meta-analysis[J]. Eur J Pain, 2017, 21(1): 29-44.

- [2] Li LL, Huang HL, Yu Y, et al. Non-invasive Brain Stimulation for Neuropathic Pain After Spinal Cord Injury: A Systematic Review and Network Meta-Analysis[J]. *Front Neurosci*, 2022, 15: 800560.
- [3] Lefaucheur JP, Aleman A, Baeken C, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014-2018)[J]. *Clin Neurophysiol*, 2020, 131(2): 474-528.
- [4] Burke Matthew J, Fried Peter J, Pascual-Leone Alvaro. Transcranial magnetic stimulation: Neurophysiological and clinical applications[J]. *Handb Clin Neurol*, 2019, 163(3): 73-92.
- [5] Barker AT, Jalinous R, Freeston IL. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex[J]. *Lancet*, 1985, 1(8437): 1106-1107.
- [6] 付晓明, 杨任民, 汪世靖, 等. TMS在神经系统变性疾病中的应用研究进展[J]. *中国医学创新*, 2022, 19(08): 177-183.
- [7] Kang J, Cho SS, Kim HY, et al. Regional Hyperexcitability and Chronic Neuropathic Pain Following Spinal Cord Injury[J]. *Cell Mol Neurobiol*, 2020, 40(6): 861-878.
- [8] Bhagwani A, Chopra M, Kumar H. Spinal Cord Injury Provoked Neuropathic Pain and Spasticity, and Their GABAergic Connection[J]. *Neurospine*, 2022, 19(3): 646-668.
- [9] Brown EV, Fahn A, Heinsinger N, et al. Cervical spinal cord injury-induced neuropathic pain in male mice is associated with a persistent pro-inflammatory macrophage/microglial response in the superficial dorsal horn[J]. *Exp Neurol*, 2021, 343: 113757.
- [10] 刘俊, 高峰, 李迪, 等. SCI后神经病理性疼痛机制的研究进展[J]. *中国康复*, 2020, 35(9): 488-491.
- [11] Cioni B, Meglio M. Motor cortex stimulation for chronic non-malignant pain: current state and future prospects[J]. *Acta Neurochir Suppl*, 2007, 97(2): 45-49.
- [12] Ghosh A, Haiss F, Sydekum E, et al. Rewiring of hindlimb corticospinal neurons after spinal cord injury[J]. *Nat Neurosci*, 2010, 13(1): 97-104.
- [13] Fakhri S, Abbaszadeh F, Jorjani M. On the therapeutic targets and pharmacological treatments for pain relief following spinal cord injury: A mechanistic review[J]. *Biomed Pharmacother*, 2021, 139: 111563.
- [14] Yang L, Wang SH, Hu Y, et al. Effects of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Astrocytes Proliferation and nNOS Expression in Neuropathic Pain Rats[J]. *Curr Med Sci*, 2018, 38(3): 482-490.
- [15] Kim JY, Choi GS, Cho YW, et al. Attenuation of spinal cord injury-induced astroglial and microglial activation by repetitive transcranial magnetic stimulation in rats[J]. *J Korean Med Sci*, 2013, 28(2): 295-299.
- [16] Moisset X, de Andrade DC, Bouhassira D. From pulses to pain relief: an update on the mechanisms of rTMS-induced analgesic effects[J]. *Eur J Pain*, 2016, 20(5): 689-700.
- [17] Lubejko ST, Graham RD, Livrizzi G, et al. The role of endogenous opioid neuropeptides in neurostimulation-driven analgesia[J]. *Front Syst Neurosci*, 2022, 16: 1044686.
- [18] de Andrade DC, Mhalla A, Adam F, et al. Neuropharmacological basis of rTMS-induced analgesia: the role of endogenous opioids[J]. *Pain*, 2011, 152(2): 320-326.
- [19] Choi Hana, Seo Kyung Cheon, Kim Tae Uk, et al. Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Enhances Recovery in Central Cord Syndrome Patients[J]. *Ann Rehabil Med*, 2019, 43(1): 62-73.
- [20] Garcia-Larrea L, Peyron R. Motor cortex stimulation for neuropathic pain: From phenomenology to mechanisms[J]. *Neuroimage*, 2007, 37(S1): S71-S79.
- [21] Toledo RS, Stein DJ, Sanches PRS, et al. rTMS induces analgesia and modulates neuroinflammation and neuroplasticity in neuropathic pain model rats[J]. *Brain Res*, 2021, 1762: 147427.
- [22] Zhao CG, Sun W, Ju F, et al. Analgesic Effects of Directed Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation in Acute Neuropathic Pain After Spinal Cord Injury[J]. *Pain Med*, 2020, 21(6): 1216-1223.
- [23] Hellenbrand DJ, Quinn CM, Piper ZJ, et al. Inflammation after spinal cord injury: a review of the critical timeline of signaling cues and cellular infiltration[J]. *J Neuroinflammation*, 2021, 18(1): 284.
- [24] Tamura Y, Okabe S, Ohnishi T, et al. Effects of 1-Hz repetitive transcranial magnetic stimulation on acute pain induced by capsaicin[J]. *Pain*, 2004, 107(1-2): 107-115.
- [25] Freigang S, Lehner C, Fresnoza SM, et al. Comparing the Impact of Multi-Session Left Dorsolateral Prefrontal and Primary Motor Cortex Neuronavigated Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (nrTMS) on Chronic Pain Patients[J]. *Brain Sci*, 2021, 11(8): 961.
- [26] Che X, Cash RFH, Luo X, et al. High-frequency rTMS over the dorsolateral prefrontal cortex on chronic and provoked pain: A systematic review and meta-analysis[J]. *Brain Stimul*, 2021, 14(5): 1135-1146.
- [27] Huang M, Luo X, Zhang C, et al. Effects of repeated transcranial magnetic stimulation in the dorsolateral prefrontal cortex versus motor cortex in patients with neuropathic pain after spinal cord injury: a study protocol[J]. *BMJ open*, 2022, 12(3): 1-7.
- [28] Mori N, Hosomi K, Nishi A, et al. Difference in Analgesic Effects of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation According to the Site of Pain[J]. *Front Hum Neurosci*, 2021, 15: 786225.
- [29] Zang Y, Zhang Y, Lai X, et al. Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Neuropathic Pain on the Non-Motor Cortex: An Evidence Mapping of Systematic Reviews[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2021, 2021: 3671800.
- [30] Pommier B, Quesada C, Fauchon C, et al. Added value of multiple versus single sessions of repetitive transcranial magnetic stimulation in predicting motor cortex stimulation efficacy for refractory neuropathic pain[J]. *J Neurosurg*, 2018, 1(1): 1-12.
- [31] Saitoh Y, Hirayama A, Kishima H, et al. Reduction of intractable deafferentation pain due to spinal cord or peripheral lesion by high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation of the primary motor cortex[J]. *J Neurosurg*, 2007, 107(3): 555-559.
- [32] Gatzinsky K, Bergh C, Liljegen A, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation of the primary motor cortex in management

- of chronic neuropathic pain: a systematic review[J]. *Scand J Pain*, 2020, 21(1): 8-21.
- [33] Hussein AE, Esfahani DR, Moissak GI, et al. Motor Cortex Stimulation for Deafferentation Pain[J]. *Curr Pain Headache Rep*, 2018, 22(6): 45.
- [34] OConnell NE, Marston L, Spencer S, et al. Non-invasive brain stimulation techniques for chronic pain[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2018, 4(4): CD008208.
- [35] Berger U, Korngreen A, Bar-Gad I, et al. Magnetic stimulation intensity modulates motor inhibition[J]. *Neurosci Lett*, 2011, 504(2): 93-97.
- [36] Sato S, Kakuda W, Sano M, et al. Therapeutic Application of Transcranial Magnetic Stimulation Combined with Rehabilitative Training for Incomplete Spinal Cord Injury: A Case Report[J]. *Prog Rehabil Med*, 2018, 3: 20180014.
- [37] Brihmat N, Allexandre D, Saleh S, et al. Stimulation Parameters Used During Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Motor Recovery and Corticospinal Excitability Modulation in SCI: A Scoping Review[J]. *Front Hum Neurosci*, 2022, 16: 800349.
- [38] Wincek A, Huber J, Leszczyńska K, et al. The Long-Term Effect of Treatment Using the Transcranial Magnetic Stimulation rTMS in Patients after Incomplete Cervical or Thoracic Spinal Cord Injury[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(13): 2975.
- [39] Attia M, McCarthy D, Abdelghani M. Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Treating Chronic Neuropathic Pain: a Systematic Review[J]. *Curr Pain Headache Rep*, 2021, 25(7): 48.
- [40] Hosomi K, Sugiyama K, Nakamura Y, et al. A randomized controlled trial of 5 daily sessions and continuous trial of 4 weekly sessions of repetitive transcranial magnetic stimulation for neuropathic pain[J]. *Pain*, 2020, 161(2): 351-360.
- [41] Mori N, Hosomi K, Nishi A, et al. Analgesic Effects of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation at Different Stimulus Parameters for Neuropathic Pain: A Randomized Study[J]. *Neuro-modulation*, 2021, 25(4): 520-527.
- [42] Lefaucheur JP. Transcranial magnetic stimulation[J]. *Handb Clin Neurol*, 2019, 160(3): 559-580.
- [43] Shimizu T, Hosomi K, Maruo T, et al. Efficacy of deep rTMS for neuropathic pain in the lower limb: a randomized, double-blind crossover trial of an H-coil and figure-8 coil[J]. *J Neurosurg*, 2017, 127(5): 1172-1180.
- [44] Moisset X, Lefaucheur JP. Non pharmacological treatment for neuropathic pain: Invasive and non-invasive cortical stimulation [J]. *Rev Neurol (Paris)*, 2019, 175(1-2): 51-58.

• 外刊拾粹 •

血流限制训练对肩袖肌腱病的疗效

血流限制训练(BFRE)是一种以较小的关节扭矩增强肌肉力量的方法。本研究旨在评估 BFRE 对肩袖肌腱病患者的疗效。受试者为 28 例肩袖肌腱病变患者,他们被随机分配到一个为期八周的康复计划中,其中包括血流限制训练或非血流限制训练。主要结果指标包括肩袖力量、三角肌肩胛回缩、二头肌厚度以及肩部内旋和外旋力量。与非 BFR 组相比,BFRE 组的二头肌厚度和 60° 时肩内旋力量增加幅度更大。在其他测量指标上,组间没有差异。两组的冈上肌、冈下肌、肩胛牵开肌厚度以及肩关节外旋和内旋力量均有明显改善。肩痛和肩功能在两组中都得到了改善,但它们之间没有显著差异。结论:这项针对肩袖肌腱病变患者的研究发现,与非血流限制训练相比,低负荷血流限制训练可使肱二头肌的厚度增加更多,内旋力量更大。(杨朋坤 译,吴毅、陆蓉蓉审)

Dilara K, et al. Blood Flow Restriction Training in Patients with Rotator Cuff Tendinopathy: A Randomized, Assessor Blinded, Controlled Trial. *Clin J Sport Med*. 2023 Sep 14. doi: 10.1097/JSM.0000000000001191.

中文翻译 复旦大学附属华山医院
本期由复旦大学华山医院 吴毅教授主译编