

• 神经病学专题 •

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2026.01.004

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20250825.1330.004\(2025-08-25\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20250825.1330.004(2025-08-25))

重复经颅磁刺激治疗儿童抽动障碍的研究进展*

汪晨^{1,2} 李斌媛^{2,3} 周朱瑛² 蒋春明^{1,2△}

(1. 浙江中医药大学第四临床医学院, 杭州 310053; 2. 西湖大学医学院附属杭州市第一人民医院儿科, 杭州 310006; 3. 杭州市康复医院儿童康复科, 杭州 310000)

[摘要] 抽动障碍是儿童常见的神经精神疾病, 部分抽动障碍患儿在经过规范治疗后仍未缓解。重复经颅磁刺激(rTMS)作为一种安全无创的新型治疗手段, 逐渐被用于抽动障碍的临床治疗。已有研究表明, rTMS能够减轻患儿的抽动频率与严重程度, 并有助于改善其生活质量。但目前关于 rTMS 在儿童抽动障碍中的具体应用方案及疗效尚未形成系统总结。该文旨在对 rTMS 治疗儿童抽动障碍的相关临床研究进行综述, 以期临床实践提供依据。

[关键词] 重复经颅磁刺激; 抽动障碍; 儿童**[中图分类号]** R749.94 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2026)01-0018-06

Research progress on repetitive transcranial magnetic stimulation therapy for children with tic disorders*

WANG Chen^{1,2}, LI Binyuan^{2,3}, ZHOU Zhuqing², JIANG Chunming^{1,2△}

(1. Fourth Clinical Medical College, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou, Zhejiang 310053, China; 2. Department of Pediatrics, Affiliated Hangzhou Municipal First People's Hospital, School of Medicine, Westlake University, Hangzhou, Zhejiang 310006, China; 3. Department of Children's Rehabilitation, Hangzhou Municipal Rehabilitation Hospital, Hangzhou, Zhejiang 310000, China)

[Abstract] Tic disorders are the common neuropsychiatric disorders in children, and some children with TD show no improvement after standardized treatment. Repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) is gradually being used as a safe and non-invasive new type treatment means for TD in clinical practice. Some studies have found that rTMS can significantly reduce tic frequency and severity, and improve their quality of life. However, how rTMS is specifically applied to children with TD and its effectiveness have not been systematically summarized. This article reviews the clinical studies on rTMS treatment for children with TD to provide reference for its clinical application.

[Key words] repetitive transcranial magnetic stimulation; tic disorders; children

抽动障碍是常见的小儿神经系统疾病, 多与神经解剖、神经生化、遗传、神经免疫等因素有关, 确切病因不明, 表现为突发、反复快速、不自主的一个部位或多个部位的肌肉运动和/或发生抽动^[1]。该疾病发病率呈逐年上升趋势, 我国学龄期儿童患病率已高达 2.68%^[2], 其中 20% 的患儿在治疗后症状仍未缓解, 甚至迁延到成年期或终生^[1]。近年来, 重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)作为新兴的神经调控治疗手段, 在多种运动神经系统疾病治疗方面有明显疗效^[3]。rTMS 利用磁场穿透头骨和头皮, 通过电磁感应原理诱发大脑皮层附近

神经元的电流, 从而调节神经元的兴奋性, 重新平衡受刺激区域神经元的活动传递^[4]。一些研究结果表明, rTMS 在辅助治疗抽动障碍中也安全有效^[5-6]。但此类研究中 rTMS 的治疗参数仍不统一, 可能影响研究结果。因此, 本文将围绕 rTMS 治疗抽动障碍的研究进展进行综述, 以期对 rTMS 治疗抽动障碍的临床应用提供参考。

1 rTMS 治疗抽动障碍的有效性

rTMS 是一种非侵入性神经调控技术, 潜在治疗价值和安全性已经得到证实^[7]。在儿童群体中, rTMS 主要用于治疗强迫症、肌张力障碍、焦虑抑郁等,

* 基金项目: 国家卫生健康委能力建设和继续教育中心神经系统疾病与营养健康研究课题(W2024SNKT44); 浙江省杭州市科学技术局农业与社会发展领域公益性科研引导项目(20241029Y018); 浙江省杭州市重点学科建设项目(0020200448)。△ 通信作者, E-mail: cm_jiang@126.com。

并有研究表明其在抽动障碍中显示出了有效性^[4]。WU 等^[8]对 12 例抽动障碍患儿的辅助运动区在 2 d 内进行 8 次 θ 节律爆发刺激,结果发现患儿的抽动严重程度有所减少,但相较于安慰组无明显差异。LANDEROS-WEISENBERGER 等^[9]对 20 例抽动障碍患儿针对辅助运动区进行了 3 周的 rTMS 治疗,得出了同样的结论。但最新 meta 分析指出,rTMS 治疗抽动障碍可以明显减轻患儿的先兆冲动严重程度,但对抽动障碍严重程度的改善尚不明确^[10]。另一项涉及较大样本量的研究显示,rTMS 对改善女性患儿的抽动严重程度具有明显疗效^[11]。

2 rTMS 治疗参数对疗效的影响

rTMS 的疗效受多种因素的影响,其中治疗参数的选择尤为重要,个体化治疗方案是实现最大治疗效果的关键,需要根据患者的具体情况进行参数调整。

2.1 刺激部位

rTMS 治疗中的脑区选择对疗效至关重要。目前认为,抽动障碍可能与一些特定脑区多巴胺等神经递质过度活跃^[12]导致皮质-纹状体-丘脑-皮质(cortical striatum thalamus cortex, CSTC)环路去抑制有关^[1]。rTMS 可通过刺激特定脑区实现其治疗效果,但具体哪些脑区仍未完全揭示。辅助运动区是抽动障碍的一个重要部位,在皮质、基底神经节和丘脑区域的连接中起着重要的作用,参与运动的计划、启动和执行^[13],是 rTMS 临床治疗抽动障碍最常选择的刺激靶区。利用功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)进行研究,发现辅助运动区过度激活与抽动严重程度呈正相关^[14-16]。同时,病变所致辅助运动区功能障碍可导致手部运动抑制^[17],提示辅助运动区功能与手部等运动性抽动有关。进一步研究报告,rTMS 靶向抑制辅助运动区兴奋性,可明显减轻抽动障碍的抽动症状^[18-19]。因此,辅助运动区是 rTMS 治疗抽动障碍的一个有效靶区。

除辅助运动区外,也有研究探索其他脑区在 rTMS 治疗抽动障碍中的作用。有研究报道,顶叶皮质可以整合不同的感觉信息,并影响运动的产生,在抽动障碍患儿抽动的发生中起重要作用^[20-21]。JURGIEL 等^[22]研究表明,抽动障碍患儿在执行认知抑制任务时,额顶叶区域出现了异常的神经激活,提示顶叶皮质与抽动障碍有关。在动物实验中证实,通过高频刺激蓝斑可促使顶叶皮质去甲肾上腺素能神经元释放更多神经递质多巴胺^[23]。FU 等^[11]对 30 例抽动障碍患儿靶向顶叶皮质进行为期 10 d 的 rTMS 干预,结果显示抽动障碍患儿运动、发声抽动及先兆冲动均明显缓解,抑郁及焦虑症状改善。因此,顶叶皮质可能是抽动障碍患儿 rTMS 作用更为广泛的新靶区。但有研究使用 rTMS 刺激抽动障碍患儿前运动

区、运动皮质区或前额叶皮质区则未能改善其抽动症状^[24-26],这可能与刺激部位有关。

2.2 刺激强度

目前认为, $>130\%$ 的静息运动阈值(resting motor threshold, RMT)可能会诱发癫痫^[27],因此大多数研究选取 $80\% \sim 120\%$ RMT 中的某个值对患儿进行治疗,也有少数研究采用活动运动阈值或固定强度^[28]。刺激强度的选择方法多样,多采用最小刺激强度作为 RMT。在抽动障碍患儿中,基于该阈值于初级运动皮层 M1 施加刺激,即可在超过半数的患儿中诱发出对侧拇指短展肌的最大运动诱发电位^[28]。临床上,采用序列测试等算法或观察法来取代运动诱发电位测定,均可能会使 RMT 偏大^[29]。有学者对不同强度参数的 rTMS 进行研究,发现在 1 Hz 相同频率下,刺激强度 $>RMT$ 较 $<RMT$ 的效果更明显,延长皮质沉默期,减弱皮质兴奋性,抑制运动诱发电位振幅更持久^[30-31],提示刺激强度的提高可延长疗效。

暂无研究比较不同强度阈上刺激及刺激强度与抽动障碍疗效相关性,无法明确阈上刺激强度的梯度提高对抽动障碍患儿是否有更好的疗效,仍需进一步研究。

2.3 刺激时间与数量

刺激时间与数量参数选择可以影响 rTMS 的效果,也影响治疗依从性。既往研究发现,200 ms 至 4 周的不同刺激时间,其中 >10 d 可明显改善抽动障碍症状;刺激数量在 200~2 400 次脉冲,其中 >900 次脉冲时可出现抽动症状的缓解,疗效维持时间更长^[11,28,32],提示刺激时间、数量与 rTMS 治疗抽动障碍效果有关。但上述研究设计存在局限性,刺激方案与协变量不统一。目前该领域高质量临床研究少,无法明确最佳的刺激时间与数量,急需进一步研究验证。近年有研究显示,间歇性 θ 节律爆发刺激对刺激区域大脑皮质具有兴奋作用,连续性 θ 节律爆发刺激对刺激区域大脑皮质具有抑制作用,相较于 rTMS 治疗持续时间明显缩短^[33-34],未来有待更多的研究阐明。

2.4 刺激频率

一般来说,高频 rTMS(≥ 5 Hz)诱导皮质兴奋性,而低频 rTMS(≤ 1 Hz)降低皮质兴奋性,可能是由于皮质电刺激后突触传递长时程变化所致^[35-37]。抽动障碍患儿存在 CSTC 环路去抑制,因此低频 rTMS 应用较多^[7]。SINGH 等^[32]对 3 例抽动障碍患儿应用 1 Hz 低频、 110% RMT 的 rTMS 进行为期 4 周的治疗,发现抽动症状有所减轻且可维持至少 3 个月。而孙家栋等^[38]应用高频 rTMS 对难治性抽动障碍患儿进行治疗,抽动障碍症状缓解较低频组更明显。因此,推测应用 rTMS 时皮质的兴奋和抑制可能

根据靶点定位不同及脑环路被激活前的状态不同而有所变化^[39-40]。

3 rTMS 治疗抽动障碍的安全性

rTMS 治疗抽动障碍的安全性得到了多项研究的验证。尽管癫痫和听力损伤等因素被认为是相对禁忌证^[27],但一项 meta 分析显示,目前有关 rTMS 治疗抽动障碍的所有研究中,尚未发现明显的不良反应,且对抽动症状的缓解最高达 6 个月^[28]。OZTURK 等^[41]指出,rTMS 应用于儿童神经和精神疾病未出现明显严重不良反应,显示了较好的耐受性。但刺激参数的选择不当可能会影响治疗效果,甚至导致不良反应的发生,因此,刺激部位和参数的准确选择对于提高治疗的安全性和疗效至关重要。

由于目前关于 rTMS 治疗抽动障碍的临床研究较少,缺乏足够的双盲随机对照试验,明确的适应证及禁忌证还有待拓展。

4 rTMS 治疗抽动障碍的可能机制

4.1 rTMS 改变抽动障碍相关脑区功能

神经解剖结构、功能及脑网络连接的异常与抽动障碍的发病机制有关。大量有关神经影像学的脑网络分析发现,抽动障碍患儿脑区的灰质体积变化、灌注不足、功能连接异常^[42]。MANTOVANI 等^[43]在 TMS-fMRI 研究中发现 1 Hz 低频 rTMS 作用于辅助运动区可缓解强迫症状,同时使得皮质-皮质下异常兴奋连接和 CSTC 回路的功能连接恢复正常,提示 rTMS 可能通过改变抽动障碍相关脑区功能抑制抽动症状产生,潜在的作用机制尚待进一步研究。

4.2 rTMS 调节神经生化通路

4.2.1 rTMS 抑制神经递质多巴胺能通路

多巴胺能系统中多巴胺的过度活跃或突触后多巴胺受体的过度敏感在抽动障碍的发病机制中起重要作用。一项对健康志愿者背外侧前额叶皮层的研究显示,rTMS 可增加同侧前扣带皮层和眶额叶皮层的多巴胺释放^[44]。还有研究显示,运动皮层和前额叶皮层的 rTMS 分别降低了同侧壳核和尾状核中多巴胺受体的敏感性^[45]。因此,rTMS 可能抑制神经递质如纹状体多巴胺释放^[46],从而抑制多巴胺能通路。

4.2.2 rTMS 促进 γ -氨基丁酸能通路激活

抽动障碍与 γ -氨基丁酸能通路有关。抽动障碍的脑网络功能异常可能主要是由于纹状体和皮质运动区内 γ -氨基丁酸信号的操作受损,导致抽动的发生^[47-48]。脑源性神经营养因子(brain derived neurotrophic factor, BDNF)可促进神经元的生存、发育、功能维持、修复与再生,参与调节突触可塑性。王炳辉^[49]对难治性抽动障碍、非难治性抽动障碍患儿及健康对照儿童的 BDNF 水平进行测定,难治性抽动障碍患儿的 BDNF 水平明显降低,抽动障碍患儿 BDNF 水

平与健康儿童相比,有不同程度下降。meta 分析显示,rTMS 治疗后 BDNF 水平升高^[50],提示 rTMS 可促进 BDNF 释放激活 γ -氨基丁酸能通路以治疗抽动障碍,但具体机制仍需进一步阐述。

4.3 rTMS 与遗传背景

抽动障碍具有遗传易感性,目前研究发现 ASH1L 基因变异是抽动障碍的单基因致病因子,其他与抽动障碍相关的基因变异尚未被充分证实与抽动障碍的因果关系^[51]。LU 等^[52]研究发现, FN1、Jun 基因与抽动障碍的发病机制密切相关,且这些基因富集在血清素神经突触、鞘磷脂代谢等与抽动障碍致病机制密切相关的信号通路中。动物实验证实,rTMS 可调节基因表达,且多与神经保护、神经传递和神经元可塑性等关键过程相关^[51,53]。研究发现, BDNF Val66Met 基因多态性是影响 rTMS 治疗效果的重要因素, BDNF 及其受体通过增强神经元的长期增强或抑制作用,发挥治疗效果^[49],表明遗传因素可能在 rTMS 疗效的个体差异中起重要作用,深入研究抽动障碍的遗传机制具有重要的临床价值。

4.4 rTMS 与神经免疫

抽动障碍与神经免疫因素密切相关。研究发现,抽动障碍患者 IgE、IL-12 和肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)水平升高^[54],提示可能存在过敏、感染等引起细胞因子的释放,导致自身免疫损害。HSU 等^[55]研究发现,感染可能导致基底神经节纹状体中的小胶质细胞活化增加,引起 TNF- α 等促炎细胞因子的释放增加,从而形成高多巴胺能状态影响 CSTC 回路。TIAN 等^[56]研究发现,rTMS 治疗 1 周后大鼠的核因子-E2 相关因子 2(nuclear factor erythroid 2-related factor 2, Nrf2)水平升高、细胞因子水平下降,揭示 rTMS 具有抗炎作用,可通过诱导 Nrf2 调节神经免疫反应。因此,rTMS 可能通过抑制 IgE、促炎细胞因子等以减轻脑内的炎症反应,减少多巴胺的生成来改善抽动障碍患者的抽动症状。

5 总结与展望

rTMS 治疗儿童抽动障碍的潜力巨大,不同的刺激参数选择可能在调节脑区功能、调节神经网络活动、影响遗传与神经免疫方面发挥不同的作用。当前关于 rTMS 治疗抽动障碍的研究仍存在一些不足,尚缺乏大样本量、随机对照试验证实。同时,考虑儿童神经发育的特殊性,现有关于 rTMS 在儿童群体的安全性和有效性的研究较为有限。目前,关于抽动障碍的发病机制尚无共识,rTMS 治疗抽动障碍的具体治疗机制仍不明确。因此,未来可扩大样本量、增加长期随访、深入研究治疗机制以提升 rTMS 治疗儿童抽动障碍的疗效,也需要重点关注个体化治疗方案的制订,并评估其远期疗效,进一步优化治疗策略。

利益冲突:所有作者声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 卢青,孙丹,刘智胜. 中国抽动障碍诊断和治疗专家共识解读[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2021, 36(9):647-653.
- [2] 姜妍琳,张蕾,翟睿,等. 中国儿童抽动障碍患病率及危险因素系统评价[J]. 中国儿童保健杂志, 2023,31(6):661-667.
- [3] HUANG T R, YEH T C, CHENG S Y. Repetitive transcranial magnetic stimulation, a novel therapeutic strategy for refractory paradoxical vocal fold motion disorder[J]. *Ear Nose Throat J*, 2025, 104(Suppl. 1):191-193.
- [4] 中国医师协会神经调控专业委员会电休克与神经刺激学组. 重复经颅磁刺激治疗专家共识[J]. 转化医学杂志, 2018, 7(1):4-9.
- [5] ALOUFI A K, ZAHHAR J A, BADER M W, et al. Tourette syndrome and brain stimulation therapy: a systematic review and meta-analysis of current evidence[J]. *Front Psychiatry*, 2025, 16:1478503.
- [6] KAHL C K, KIRTON A, PRINGSHEIM T, et al. Bilateral transcranial magnetic stimulation of the supplementary motor area in children with Tourette syndrome[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2021, 63(7):808-815.
- [7] YU L, LI Y, YAN J, et al. Transcranial magnetic stimulation for obsessive-compulsive disorder and tic disorder: a quick review [J]. *J Integr Neurosci*, 2022, 21(6):172.
- [8] WU S W, MALONEY T, GILBERT D L, et al. Functional MRI-navigated repetitive transcranial magnetic stimulation over supplementary motor area in chronic tic disorders [J]. *Brain Stimul*, 2014, 7(2):212-218.
- [9] LANDEROS-WEISENBERGER A, MANTOVANI A, MOTLAGH M G, et al. Randomized sham controlled double-blind trial of repetitive transcranial magnetic stimulation for adults with severe tourette syndrome [J]. *Brain Stimul*, 2015, 8(3):574-581.
- [10] STEUBER E R, MCGUIRE J F. A meta-analysis of transcranial magnetic stimulation in Tourette syndrome[J]. *J Psychiatr Res*, 2024, 173:34-40.
- [11] FU M, WEI H, MENG X, et al. Effects of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation of the bilateral parietal cortex in patients with Tourette syndrome[J]. *Front Neurol*, 2021, 12:602830.
- [12] NIKOLAUS S, MAMLINS E, ANTKE C, et al. Boosted dopamine and blunted serotonin in Tourette syndrome: evidence from in vivo imaging studies [J]. *Rev Neurosci*, 2022, 33(8):859-876.
- [13] 赵京都,张皓. 辅助运动区的神经可塑性及临床研究进展[J]. 中国康复, 2022, 37(5):305-309.
- [14] YANG Y, ZHOU J, YANG H, et al. Structural and functional alterations in the brain gray matter among Tourette syndrome patients: a multimodal meta-analysis of fMRI and VBM studies[J]. *J Neurol*, 2025, 272(2):133.
- [15] LARSH T R, HUDDLESTON D A, HORN P S, et al. From urges to tics in children with Tourette syndrome: associations with supplementary motor area GABA and right motor cortex physiology [J]. *Cereb Cortex*, 2023, 33(7):3922-3933.
- [16] WANG J, YUE J, WANG Y, et al. Function-specific localization in the supplementary motor area: a potential effective target for Tourette syndrome [J]. *CNS Neurosci Ther*, 2025, 31(2):e70280.
- [17] ZHAO S, JIN Q, YANG Q, et al. Multi-target combination treatment with rTMS and tDCS for Tourette syndrome: a case report [J]. *Front Hum Neurosci*, 2025, 18:1441019.
- [18] CONELEA C, GREENE DJ, ALEXANDER J, et al. The CBIT+TMS trial: study protocol for a two-phase randomized controlled trial testing neuromodulation to augment behavior therapy for youth with chronic tics [J]. *Trials*, 2023, 24(1):439.
- [19] DYKE K, JACKSON G, JACKSON S. Non-invasive brain stimulation as therapy: systematic review and recommendations with a focus on the treatment of Tourette syndrome [J]. *Exp Brain Res*, 2022, 240(2):341-363.
- [20] PAULUS T, WERNECKE L, LUNDIE A, et al. The role of the left inferior parietal cortex in Gilles de la Tourette syndrome: an rTMS study [J]. *Biomedicines*, 2023, 11(3):980.
- [21] KONG L, LV B, WU T, et al. Altered structur-

- al cerebral cortex in children with Tourette syndrome[J]. *Eur J Radiol*, 2020, 129:109119.
- [22] JURGIEL J, MIYAKOSHI M, DILLON A, et al. Inhibitory control in children with tic disorder: aberrant fronto-parietal network activity and connectivity[J]. *Brain Commun*, 2021, 3(2):fcab067.
- [23] SAGHEDDU C, DEVOTO P, ARONI S, et al. Combined $\alpha 2$ - and D2-receptor blockade activates noradrenergic and dopaminergic neurons, but extracellular dopamine in the prefrontal cortex is determined by uptake and release from noradrenergic terminals[J]. *Front Pharmacol*, 2023, 14:1238115.
- [24] QUOILIN C, CHAISE F, DUQUE J, et al. Relationship between transcranial magnetic stimulation markers of motor control and clinical recovery in obsessive compulsive disorder/Gilles de la Tourette syndrome: a proof of concept case study[J]. *Front Psychiatry*, 2024, 15:1307344.
- [25] BRUCE A B, YUAN W, GILBERT D L, et al. Altered frontal-mediated inhibition and white matter connectivity in pediatric chronic tic disorders[J]. *Exp Brain Res*, 2021, 239(3):955-965.
- [26] HOLLUNDER B, OSTREM J L, SAHIN I A, et al. Mapping dysfunctional circuits in the frontal cortex using deep brain stimulation[J]. *Nat Neurosci*, 2024, 27(3):573-586.
- [27] STULTZ D J, OSBURN S, BURNS T, et al. Transcranial magnetic stimulation (TMS) safety with respect to seizures: a literature review[J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2020, 16:2989-3000.
- [28] TURI Z, LENZ M, PAULUS W, et al. Selecting stimulation intensity in repetitive transcranial magnetic stimulation studies: a systematic review between 1991 and 2020[J]. *Eur J Neurosci*, 2021, 53(10):3404-3415.
- [29] 周天鹏, 张广浩, 吴昌哲, 等. 经颅磁刺激定位方法的研究进展[J]. *中国生物医学工程学报*, 2017, 36(6):741-748.
- [30] BRIHMAT N, ALLEXANDRE D, BAYRAM M B, et al. Safety and effects of a therapeutic 15 Hz rTMS protocol administered at different suprathreshold intensities in able-bodied individuals[J]. *J Neurophysiol*, 2023, 129(1):56-65.
- [31] 上海市医学会脑电图与临床神经生理专科分会. 重复经颅磁刺激的临床应用与操作规范上海专家共识[J]. *上海医学*, 2022, 45(2):65-70.
- [32] SINGH S, KUMAR S, KUMAR N, et al. Low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation for treatment of Tourette syndrome: a naturalistic study with 3 months of follow-up[J]. *Indian J Psychol Med*, 2018, 40(5):482-486.
- [33] HÄGE A, KRÄMER R, DUNLAP M, et al. Emerging therapeutic approaches for Tourette syndrome and other tic disorders: a systematic review of current clinical trials[J]. *Eur Child Adolesc Psychiatry*, 2025, 34(6):1719-1729.
- [34] BLANK E, GILBERT D L, WU S W, et al. Accelerated theta burst transcranial magnetic stimulation for refractory depression in autism spectrum disorder[J]. *J Autism Dev Disord*, 2025, 55(3):940-954.
- [35] 李子春, 张帅, 赵清扬, 等. 经颅磁声电刺激对皮层锥体神经元的突触传递特性影响的仿真分析[J]. *生命科学仪器*, 2023, 21(3):73-79.
- [36] 徐兴俊, 沈滢, 伍琦, 等. 高频 rTMS 对健康大鼠认知功能与运动皮质 LTP 变化的相关性研究[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2022, 42(5):632-637.
- [37] 赵清扬, 张帅, 杜文静, 等. 经颅磁声电刺激下皮层钙信号及突触传递特性的仿真与实验分析[J]. *河北大学学报(自然科学版)*, 2023, 43(3):310-319.
- [38] 孙家栋, 李雪梅, 刘君玲. 不同频率 rTMS 联合生物反馈对难治性抽动障碍患儿血清 BDNF 和 S-100 β 水平的影响[J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2024, 27(7):853-857.
- [39] LEFAUCHEUR J P. Transcranial magnetic stimulation[J]. *Handb Clin Neurol*, 2019, 160:559-580.
- [40] 王珏. 经颅磁刺激对运动功能的调控[D]. 上海: 上海体育学院, 2020.
- [41] OZTURK H, VENUGOPAL S. Transcranial magnetic stimulation as a therapeutic option for neurological diseases and psychiatric disorders: a systematic review[J]. *Cureus*, 2022, 14(8):e28259.
- [42] 孙丹, 辛莹莹, 钱乔乔. 儿童抽动障碍病因与发病机制研究进展[J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2024, 39(4):262-265.
- [43] MANTOVANI A, NERI F, D'URSO G, et al.

Functional connectivity changes and symptoms improvement after personalized, double-daily dosing, repetitive transcranial magnetic stimulation in obsessive-compulsive disorder: a pilot study[J]. *J Psychiatr Res*, 2021, 136: 560-570.

[44] WANG Y, TAN B, SHI S, et al. Dopamine D2 receptor antagonist modulates rTMS-induced pain experiences and corticospinal excitability dependent on stimulation targets[J]. *Int J Clin Health Psychol*, 2024, 24(1): 100413.

[45] KINNEY K R, HANLON C A. Changing cerebral blood flow, glucose metabolism, and dopamine binding through transcranial magnetic stimulation: a systematic review of transcranial magnetic stimulation-positron emission tomography literature[J]. *Pharmacol Rev*, 2022, 74(4): 918-932.

[46] MORETTI J, POH E Z, RODGER J. rTMS-induced changes in glutamatergic and dopaminergic systems: relevance to cocaine and methamphetamine use disorders[J]. *Front Neurosci*, 2020, 14: 137.

[47] XU Y, LI L N, HE X J, et al. Exogenous GABA alleviates tourette syndrome-like behavior in sprague-dawley rats by altering gut microbiota and striatum metabolism[J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2025, 4(21): 711-727.

[48] HE J L, MIKKELSEN M, HUDDLESTON D A, et al. Frequency and intensity of premonitory urges-to-tic in tourette syndrome is associated with supplementary motor area GABA⁺ levels[J]. *Mov Disord*, 2022, 37(3): 563-573.

[49] 王炳辉. Tourette 综合征与 BDNF 基因突变研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2024.

[50] JIANG Y, LI Y, CHEN X, et al. Biomarkers and Tourette syndrome: a systematic review and meta-analysis[J]. *Front Neurol*, 2024, 15: 1262057.

[51] ZHANG C, XU L, ZHENG X, et al. Role of ASH1L in Tourette syndrome and other neurodevelopmental disorders[J]. *Dev Neurobiol*, 2021, 81(2): 79-91.

[52] LU Q, ZHOU Y, QIAN Q, et al. Whole-exome sequencing identifies high-confidence genes for tic disorders in a Chinese Han population[J]. *Clin Chim Acta*, 2024, 561: 119759.

[53] LEÓN R M, RODRÍGUEZ M L, SANJUÁN R L, et al. Current evidence on transcranial magnetic stimulation and its potential usefulness in post-stroke neurorehabilitation: opening new doors to the treatment of cerebrovascular disease[J]. *Neurologia*, 2018, 33(7): 459-472.

[54] LI Y, WANG X, YANG H, et al. Profiles of proinflammatory cytokines and t cells in patients with Tourette syndrome: a meta-analysis[J]. *Front Immunol*, 2022, 13: 843247.

[55] HSU C J, WONG L C, LEE W T. Immunological dysfunction in Tourette syndrome and related disorders[J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(2): 853.

[56] TIAN L, SUN S S, CUI L B, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation elicits antidepressant-and anxiolytic-like effect via nuclear factor-E2-related factor 2-mediated anti-inflammation mechanism in rats[J]. *Neuroscience*, 2020, 429: 119-133.

(收稿日期: 2025-01-22 修回日期: 2025-07-12)

(编辑: 袁皓伟)

(上接第 17 页)

[20] MEFFORD H C. Antiepileptic drugs as teratogens: the mechanism remains a mystery[J]. *Epilepsy Curr*, 2020, 20(6): 365-366.

[21] LI H, YANG Y, HU M, et al. The correlation of temporal changes of neutrophil-lymphocyte ratio with seizure severity and the following seizure tendency in patients with epilepsy[J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 964923.

[22] CIVAN A B, EKICI A, HAVALI C, et al. Evaluation of the risk factors for recurrence and the development of epilepsy in patients with febrile

seizure[J]. *Arq Neuropsiquiatr*, 2022, 80(8): 779-785.

[23] SUN X, ZHAO J, GUO C, et al. Early prediction of epilepsy after encephalitis in childhood based on EEG and clinical features[J]. *Emerg Med Int*, 2023, 2023: 8862598.

[24] TATUM W O. EEG essentials[J]. *Continuum (Minneapolis)*, 2022, 28(2): 261-305.

(收稿日期: 2025-06-28 修回日期: 2025-09-28)

(编辑: 唐 璞)