

重复经颅磁刺激在脑卒中后康复中的应用

闫雯倩

延安大学附属医院康复医学科, 陕西 延安

收稿日期: 2025年5月11日; 录用日期: 2025年6月4日; 发布日期: 2025年6月12日

摘要

重复经颅磁刺激(Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, rTMS)作为一种非侵入性的神经调控技术,能够有效激活受损脑区周围的神经元,增强其连接强度,进而促进受损神经功能的重建。近年来被广泛应用于脑卒中后的康复治疗。本文详细阐述了rTMS技术在脑卒中患者的运动、语言、吞咽等方面的研究成果及其实际应用。经查阅国内外研究成果表明,rTMS不仅可以作为单一疗法使用,还可以与其他康复措施相结合,以达到更好的综合疗效。未来的研究应继续探索最佳刺激参数、个体化治疗方案以及结合其他康复训练,以推动该技术在临床实践中的广泛应用。

关键词

脑卒中, 经颅磁刺激, 功能障碍, 康复, 神经调控

The Application of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation in Post-Stroke Rehabilitation

Wenqian Yan

Department of Rehabilitation Medicine, Affiliated Hospital of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

Received: May 11th, 2025; accepted: Jun. 4th, 2025; published: Jun. 12th, 2025

Abstract

Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS), as a non-invasive neuro-modulation technique, can effectively activate neurons around the damaged brain area, enhance their connection strength, and thereby promote the reconstruction of damaged neural functions. In recent years, it has been widely applied in the rehabilitation treatment after stroke. This paper summarizes and reviews the research progress and practical application of rTMS technology in motor dysfunction,

文章引用: 闫雯倩. 重复经颅磁刺激在脑卒中后康复中的应用[J]. 临床医学进展, 2025, 15(6): 753-757.

DOI: 10.12677/acm.2025.1561785

aphasia, and dysphagia after stroke. Through reviewing domestic and foreign research results, it is indicated that rTMS can not only be used as a single therapy but also combined with other rehabilitation measures to achieve better comprehensive therapeutic effects. Future research should continue to explore the optimal stimulation parameters, individualized treatment plans, and combination with other rehabilitation training to promote the wide application of this technology in clinical practice.

Keywords

Stroke, Transcranial Magnetic Stimulation, Functional Disorders, Rehabilitation, Neuro-Modulation

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

预计到 2021 年, 我国的脑卒中患者将达到 190 万(比 1990 年多出 70%), 而且, 与之同期的还会出现 9.9 万(比 86%多)的患者, 以及 730 万(比 44%多)的患者, 使得它已然跻身世界第三大死因, 仅次于缺血性心脏病以及 COVID-19 [1]。后遗症严重影响患者日常生活、心理健康和社会参与, 如肢体运动、语言、认知及吞咽障碍, 生活质量显著下降。长期康复治疗也给家庭和社会带来沉重的经济负担。随着脑血管疾病的发展, 人类正不断探索新的治愈脑卒中的手段, 而经颅磁刺激(Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, rTMS)则成为了当前最常被采纳的非侵入性脑部治愈手段, 它可以利用高强度的磁力, 使脑部神经活动得到诱导, 从而改善脑卒中患者的症状, 从而达到改善脑部功能的目的, 这也成为了当今脑血管疾病治愈的主要途径[2]。近年来逐渐在脑卒中康复领域得到了广泛应用。本文将总结 rTMS 在脑卒中康复中的研究进展与实际应用情况, 并为后续的深入研究提供参考。

2. 重复经颅磁刺激概述

重复经颅磁刺激(Transcranial Magnetic Stimulation, TMS)基于电磁感应与电磁转换原理, 用刺激线圈瞬变电流刺激神经元引发一系列生理、生化反应, 可以有效地调节大脑的血液循环, 从而促进大脑的新陈代谢, 以及调节大量的神经元的功能。这种不需要外部介质的、安全的、高效的治疗方法, 具有不需要手臂、不需要麻醉、不需要手指、不需要大量的体力劳作、不需要大量的时间等优点。通过观察 TMS 的特征, 可以把它划归到以下几种类型: sTMS、pTMS、rTMS 和 theta burst stimulation。这些 TBS 都是基于特定的脉冲刺激而产生的, 它们各自具有独特的功能。rTMS 是基于脉冲 TMS 技术的进步[3], 它能够通过重复、持久的、不断的、强烈的、短暂的、有节奏的、有效的、有规律的信号传导, 从而调节大脑皮层的电学状态, 促进神经系统的功能。这种刺激可以模拟正常情况下的神经网络活动, 促进受损神经网络的修复和重组。刺激还能够激活脑内多种神经保护机制, 减少神经元死亡, 促进神经再生。常见的 rTMS 方法包括高频和低频刺激, 不同频率的刺激参数对康复效果有着显著的影响。低频 TMS 采用 1 Hz 或更低的频率; 高频 TMS 则通常使用 10~20 Hz 的频率[4]。

3. rTMS 技术原理

目前人们认为大脑半球之间存在功能平衡, 并受到大脑半球间抑制的调节。因此“大脑半球间竞争

模型”指出,当患有脑卒中时,大脑的两个半球的活动将发生显著变化:一方面,健康的一方的活动将更加活跃,另一方面,受病变影响的一方则可以通过减少活动量来保持其活动的稳定。这些兴奋性变化可能是功能恢复受损的重要原因。因此,脑卒中康复的一种可能策略是通过 rTMS 来调节刺激部位以及跨突触远处部位的皮质兴奋性,寻求恢复正常活动模式,低频 rTMS 通常用于降低皮质兴奋性,而高频 rTMS 则用于促进皮质兴奋性。但另有研究者提出“代偿模型”,即残存未受损的脑网络代替了受损部分的功能,并且代偿是由健侧半球来完成的。而“结构储备”的概念整合了半球间抑制和代偿模型对未受损网络的影响。基于上述两种理论,进而还提出了“双相平衡恢复模型”。

4. rTMS 在脑卒中后神经功能障碍康复中的应用

根据目前研究结果表明, rTMS 治疗在脑卒中后失语症、运动功能障碍[5]、吞咽功能障碍[6]等方面都取得了一定疗效。Dionisio [7]等人总结了多项研究结果,表明 rTMS 不仅对运动功能有积极影响,还对语言、认知等功能障碍具有潜在的治疗价值。

4.1. rTMS 在脑卒中后失语症中的应用

最近的研究表明,失语症的治疗方法包括两种:一种方法是在“大脑半球间竞争模型”的指导下,对患侧的颞叶进行 rTMS 调节,以促进其语言功能的正常发挥;另一种方法则是在颞叶的“结构储备”指导下[8],采取高频 rTMS 和低频 rTMS 的技术,以调节颞叶的语言功能,从而达到缓解颞叶的语言障碍的目的。在这种情况下,我们需要对非优势半球的语言功能进行重构[9],以便使用高频 rTMS 来刺激健康的大脑皮层。这样,我们才能更有效地帮助患者康复,这就需要我们考虑到大脑的可塑性。常婧萍[10]、Haghighi M [11]等招募了卒中后失语症患者,其中低频(1 Hz, 右侧 Broca) rTMS 治疗组患者失语症状明显改善,但 Heikkinen PH 等[12]研究结论却与既往研究相反,使用低频(1 Hz, 右侧 Broca) rTMS 治疗的患者症状无明显改善,这可能与脑损伤后的结构储备有关。关于高频(5 Hz, 左侧 Broca) rTMS 治疗卒中后失语症的文献大多为个案报道或小样本研究,因为其诱发癫痫的风险较高。袁绘[13]等对卒中后非流利性失语症患者的疗效观察中得出结论,双侧 rTMS 治疗的效果并不优于单侧 rTMS 治疗。经胡雪艳等[14]人的研究发现,在治疗卒中后的非流畅语言障碍的病人方面,无论是采用 10 Hz 的右侧 Broca, 还是 1 Hz 的右侧 Broca, 均有助于缓解失语症状。特别是,采用低频 rTMS 治疗,既能迅速恢复语言表达,又有较强的持久力,比采用高频 rTMS 治疗更有效,但其治愈率仍然较低。由此看来,对于卒中后失语症患者的治疗更应根据受损大脑半球的结构储备程度,制定个体化的 rTMS 方案。而结构储备程度缺少一定的测量方式和评判标准,未来可结合影像技术来实现精准把控。

4.2. rTMS 在脑卒中后运动功能障碍中的应用

“半球间竞争模型”是 rTMS 在脑卒中后康复领域的重要研究成果,早期的研究重点关注于运动功能的恢复,黄凯琪[15]和王珍玉[16]等人指出, rTMS 可以显著提高患者的运动能力。目前, rTMS 在治疗脑卒中后运动功能障碍方面的理论依据已经得到了证实。根据这个模型,神经功能障碍很可能是由于大脑损伤导致的两侧皮层兴奋性失衡造成的。黄婷婷[17]等采用了高频 rTMS (5 Hz)和低频 rTMS (1 Hz)分别刺激患者患侧和健侧大脑皮层。结果显示,高频 rTMS 能够有效促进患侧运动皮层的兴奋性,改善上肢运动功能。与传统的高压电子显微镜技术不同,低压电子显微镜通常被设计来抑制健康人体内的神经元,以降低它们在治疗疾病时的反应,并有助于改善病人的行走能力。研究表明,高频和低频 rTMS 结合使用可以达到更好的康复效果,尤其是对于那些运动功能严重受损的患者。韩茜茜[18]等探讨了 rTMS 联合常规康复训练的效果。发现联合治疗组的患者在 Fugl-Meyer 评估量表上的得分明显高于对照组,表明 rTMS 与康复训练的协同作用有助于加速神经可塑性的恢复,进而提高整体康复效果。近年来 rTMS 联合

常规康复训练的研究日益增多,都得出了类似的结论。rTMS 技术与其他康复训练方法的结合可以显著改善脑卒中患者的运动功能障碍,但是,要深入了解这种方法的机制、治疗频率、强度和治疗区域,还需要进行大规模、多中心的临床和基础实验[19],以便更好地探索其有效性。

4.3. rTMS 在脑卒中后吞咽功能障碍中的应用

TMS 技术可以用来缓解咽部功能紊乱,它的方法类似“半球间竞争模型”,通过限制咽部活跃度的反射,从而降低活跃度较高的一侧的咽部活力[20],从而缓解 TMS 的症状;

Verin 等人[21]设计 1 Hz rTMS 干预健侧大脑半球,证明使用 LF-rTMS 在 PSD 健侧大脑治疗 PSD 是有效的。通过对患侧咽部运动皮质施加兴奋性刺激,Khedr 等人[22]发现,当 3 Hz rTMS 作用于患侧大脑半球的 M1 区时,可以明显提高吞咽困难和运动障碍的程度,但由于研究样本量有限,因此,他们认为 rTMS 仅仅是一种治疗 PSD 患者吞咽困难的辅助措施。rTMS 和“结构储备”的联合应用可以显著提升脑卒中患者的吞咽功能[23][24]。根据“结构储备”的测试结果,当“结构储备”较低时,采取重复的经颅磁刺激可以获得较好的治疗效果;而“结构储备”较高时,则应采取更加精准的治疗方法[25]。因小脑与大脑密切相关,近年来以小脑为靶点的重复经颅磁刺激在脑卒中后吞咽障碍的康复治疗中也引起广泛关注。多项研究均证实,以小脑为靶点的重复经颅磁刺激可改善脑卒中后吞咽障碍患者的吞咽功能[26][27]。

龚成[28]通过刺激患者的一侧大脑半球或小脑半球的舌骨上肌群“热点”区域,在 FOIS 评分和 CDS 评分上,小脑 rTMS 组对 PSD 患者的治疗效果要优于大脑 rTMS 组。而在 WST, PAS 和 MBI 评分方面,小脑 rTMS 组的疗效与大脑 rTMS 组相近。

5. 小结

脑卒中后神经功能障碍是导致患者残疾和生活质量下降的主要原因, rTMS 作为一种非侵入性神经调控技术,为脑卒中康复提供了新的治疗思路。它可以显著改善脑卒中患者的运动、言语、认知、吞咽功能等多种神经系统功能障碍[29]。然而,目前 rTMS 的临床应用仍存在问题,例如最佳刺激参数、个体化治疗方案等。我们应当先进行康复评定,从而制定精准、高效的治疗方案,并且应当继续探索 TMS 联合其他功能训练,将神经调控与功能训练有机结合,提高功能康复。该综述总结了 rTMS 在脑卒中康复中的最新研究进展,有助于指导临床实践,并为未来的研究方向提供参考。

参考文献

- [1] Valery, L., *et al.* (2024) Global, Regional and National Burden of Stroke and Its Risk Factors, 1990-2021: A Systematic Analysis from the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Neurology*, **23**, 973-1003.
- [2] Siebner, H.R., Funke, K., Aberra, A.S., Antal, A., Bestmann, S., Chen, R., *et al.* (2022) Transcranial Magnetic Stimulation of the Brain: What Is Stimulated?—A Consensus and Critical Position Paper. *Clinical Neurophysiology*, **140**, 59-97. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2022.04.022>
- [3] Hoogendam, J.M., Ramakers, G.M.J. and Di Lazzaro, V. (2010) Physiology of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation of the Human Brain. *Brain Stimulation*, **3**, 95-118. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2009.10.005>
- [4] Luo, J., Zheng, H., Zhang, L., Zhang, Q., Li, L., Pei, Z., *et al.* (2017) High-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) Improves Functional Recovery by Enhancing Neurogenesis and Activating BDNF/TrkB Signaling in Ischemic Rats. *International Journal of Molecular Sciences*, **18**, Article 455. <https://doi.org/10.3390/ijms18020455>
- [5] Lefaucheur, J., Aleman, A., Baeken, C., Benninger, D.H., Brunelin, J., Di Lazzaro, V., *et al.* (2020) Corrigendum to “Evidence-Based Guidelines on the Therapeutic Use of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS): An Update (2014-2018)” [Clin. Neurophysiol. 131 (2020) 474-528]. *Clinical Neurophysiology*, **131**, 1168-1169. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.02.003>
- [6] Kim, W.-J. *et al.* (2020) Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for the Treatment of Post-Stroke Injury: An Overview of a Systematic Review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, **52**, 1-10.
- [7] Dionísio, A., Duarte, I.C., Patrício, M. and Castelo-Branco, M. (2018) The Use of Repetitive Transcranial Magnetic

- Stimulation for Stroke Rehabilitation: A Systematic Review. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, **27**, 1-31. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.09.008>
- [8] 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>
- [9] Kapoor, A. (2017) Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Therapy for Post-Stroke Non-Fluent Aphasia: A Critical Review. *Topics in Stroke Rehabilitation*, **24**, 547-553. <https://doi.org/10.1080/10749357.2017.1331417>
- [10] 常婧萍, 李树强, 陈文灿, 等. 低频重复性经颅磁刺激治疗卒中后失语的临床观察[J]. 神经损伤与功能重建, 2024, 19(1): 59-62.
- [11] Haghighi, M., Mazdeh, M., Ranjbar, N. and Seifrabie, M.A. (2018) Further Evidence of the Positive Influence of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Speech and Language in Patients with Aphasia after Stroke: Results from a Double-Blind Intervention with Sham Condition. *Neuropsychobiology*, **75**, 185-192. <https://doi.org/10.1159/000486144>
- [12] Heikkinen, P.H., Pulvermüller, F., Mäkelä, J.P., Ilmoniemi, R.J., Lioumis, P., Kujala, T., *et al.* (2019) Combining rTMS with Intensive Language-Action Therapy in Chronic Aphasia: A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Neuroscience*, **12**, Article 1036. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.01036>
- [13] 袁绘, 罗淑丹, 彭瑾, 等. 不同形式重复经颅磁刺激治疗卒中后非流利性失语症的疗效观察[J]. 海军军医大学学报, 2024, 45(1): 16-20.
- [14] Hu, X., Zhang, T., Rajah, G.B., Stone, C., Liu, L., He, J., *et al.* (2018) Effects of Different Frequencies of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation in Stroke Patients with Non-Fluent Aphasia: A Randomized, Sham-Controlled Study. *Neurological Research*, **40**, 459-465. <https://doi.org/10.1080/01616412.2018.1453980>
- [15] 黄凯琪, 辛榕, 凌耿强, 等. 重复经颅磁刺激治疗脑卒中后下肢运动功能障碍的 Scoping 综述[J]. 中国康复理论与实践, 2023, 29(3): 286-293.
- [16] 王珍玉, 夏渊, 卢悦, 等. 高频重复经颅磁刺激对脑卒中患者上肢运动功能及日常活动能力的影响: 网状 Meta 分析[J]. 中国康复, 2022, 37(9): 549-557.
- [17] 黄婷婷, 吴海科, 练梦结, 等. 不同频率重复经颅磁刺激联合补阳还五汤对气虚血瘀型卒中患者运动功能的疗效观察[J]. 实用医学杂志, 2023, 39(4): 499-504.
- [18] 韩茜茜. 重复经颅磁刺激联合强制性运动疗法治疗脑卒中上肢运动功能障碍的研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东中医药大学, 2021.
- [19] 戴旻珺, 卞荣, 曹丽华, 等. 经颅磁刺激联合康复训练对脑卒中患者运动功能影响研究进展[J]. 社区医学杂志, 2021, 19(13): 835-838.
- [20] Lim, K., Lee, H., Yoo, J. and Kwon, Y. (2014) Effect of Low-Frequency rTMS and NMES on Subacute Unilateral Hemispheric Stroke with Dysphagia. *Annals of Rehabilitation Medicine*, **38**, 592-602. <https://doi.org/10.5535/arm.2014.38.5.592>
- [21] Verin, E. and Leroi, A.M. (2009) Poststroke Dysphagia Rehabilitation by Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation: A Noncontrolled Pilot Study. *Dysphagia*, **24**, 204-210. <https://doi.org/10.1007/s00455-008-9195-7>
- [22] Khedr, E.M., Abo-Elfetoh, N. and Rothwell, J.C. (2009) Treatment of Post-Stroke Dysphagia with Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation. *Acta Neurologica Scandinavica*, **119**, 155-161. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2008.01093.x>
- [23] Khedr, E.M. and Abo-Elfetoh, N. (2009) Therapeutic Role of rTMS on Recovery of Dysphagia in Patients with Lateral Medullary Syndrome and Brainstem Infarction. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, **81**, 495-499. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2009.188482>
- [24] Park, E., Kim, M.S., Chang, W.H., Oh, S.M., Kim, Y.K., Lee, A., *et al.* (2017) Effects of Bilateral Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Post-Stroke Dysphagia. *Brain Stimulation*, **10**, 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.08.005>
- [25] 王珊珊, 刘敏, 贾杰. 重复经颅磁刺激技术在脑卒中后吞咽障碍患者中的应用探索[J]. 中国医刊, 2024, 59(11): 1163-1165.
- [26] Sasegbon, A., Watanabe, M., Simons, A., Michou, E., Vasant, D.H., Magara, J., *et al.* (2019) Cerebellar Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Restores Pharyngeal Brain Activity and Swallowing Behaviour after Disruption by a Cortical Virtual Lesion. *The Journal of Physiology*, **597**, 2533-2546. <https://doi.org/10.1113/jp277545>
- [27] Vasant, D.H., Sasegbon, A., Michou, E., Smith, C. and Hamdy, S. (2019) Rapid Improvement in Brain and Swallowing Behavior Induced by Cerebellar Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation in Poststroke Dysphagia: A Single Patient Case-controlled Study. *Neurogastroenterology & Motility*, **31**, e13609. <https://doi.org/10.1111/nmo.13609>
- [28] 龚成. 小脑与大脑重复经颅磁刺激在脑卒中后吞咽障碍治疗中的疗效研究[D]: [硕士学位论文]. 赣州: 赣南医科大学, 2024.
- [29] 吴毅. 经颅磁刺激技术在脑卒中康复中的应用[J]. 康复学报, 2020, 30(6): 414-420.