

# 重复经颅磁刺激技术在卒中后失语中的应用

刘洋<sup>1</sup>, 刘琪<sup>1</sup>, 李丽<sup>2</sup>, 李越秀<sup>2</sup>综述, 张玉梅<sup>2</sup>审校

**摘要:** 重复经颅磁刺激技术是一种新兴的非侵入性脑刺激技术,凭借其无创性、安全性和靶向性的优点在卒中后失语的康复治疗中占据了越来越重要的地位。本研究旨在根据近年来国内外的相关文献,阐明重复经颅磁刺激技术在卒中后失语中的作用、机制及靶点,为卒中后失语患者的康复治疗提供借鉴。

**关键词:** 重复经颅磁刺激; 卒中后失语; 康复

**中图分类号:** R741.05 **文献标识码:** A

**Application of repetitive transcranial magnetic stimulation in post-stroke aphasia** LIU Yang, LIU Qi, LI Li, et al.  
(Department of Neurology, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100070, China)

**Abstract:** Repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) is an emerging technique for noninvasive brain stimulation and plays an increasingly important role in the rehabilitation treatment of post-stroke aphasia due to its advantages of noninvasiveness, safety, and targeting ability. With reference to related articles in China and globally in recent years, this article elaborates on the role, mechanism, and target of rTMS in post-stroke aphasia, in order to provide a reference for the rehabilitation treatment of patients with post-stroke aphasia.

**Key words:** Repetitive transcranial magnetic stimulation; Post-stroke aphasia; Rehabilitation

卒中后失语(post-stroke aphasia, PSA)是指脑卒中导致优势侧大脑半球语言功能区受损而引起的一种获得性语言功能障碍。这种语言障碍可能会不同程度地影响到自发言语、听理解、复述、命名、阅读和书写6个方面<sup>[1]</sup>。据统计,在首次卒中后,卒中后失语的发生率可高达32%<sup>[2]</sup>。尽管PSA在急性期具有自发恢复的倾向,但多数患者仍会持续存在不同程度的语言功能问题<sup>[1]</sup>,影响患者的生活质量,给家庭和社会带来了沉重的负担。

重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)技术是一种新兴的非侵入性脑刺激(noninvasive brain stimulation, NIBS)技术,对大脑皮质既具有暂时性的兴奋或抑制作用,又具有长时程的可塑性改变作用<sup>[3-5]</sup>。重复经颅磁刺激是一种高度精确的治疗方法,可以有效控制刺激参数(频率和位置等)<sup>[6]</sup>,凭借其无创性、安全性和靶向性的优点在卒中后失语的康复治疗中占据了越来越重要的地位。

## 1 治疗作用

传统的言语-语言疗法(speech and language therapy, SLT)对于PSA患者来说,不仅训练难度较大,而且还会因为失语损害使得患者对于治疗的配合度下降,因此疗效有限<sup>[7]</sup>。《卒中后失语临床管理专家共识》(2022年版)<sup>[1]</sup>推荐SLT联合低频rTMS用于治疗亚急性期和慢性期非流行性PSA。近年来,许多关于rTMS治疗PSA的报告都提出将rTMS与SLT联合使用,rTMS与SLT相结合不仅可以对神经连接进行调节,还可以对功能再学习产生积极的协

同效应<sup>[8-10]</sup>。研究表明,在常规语言康复治疗的基础上,旋律语调疗法和rTMS联合应用更有助于改善急性期PSA患者的语言功能障碍和日常交流能力,且具有更好的远期疗效,与此同时还可发现大脑语言功能区被部分激活<sup>[11]</sup>。除此以外,Hara等<sup>[9]</sup>通过单光子发射计算机断层扫描技术测量PSA患者的局部脑血流量,发现低频rTMS联合强化语言训练可通过影响脑血流量来改善语言功能。

## 2 作用机制

Kolb等<sup>[12]</sup>的大脑可塑性概念表明,右半球可以代偿左半球主要的语言功能。一些研究认为,在左半球损伤后,右半球激活的增加对语言功能的康复至关重要,而早期右半球的补偿性激活尤其有益<sup>[13,14]</sup>,据此推测脑卒中后语言同源区可能对某些语言功能起到补充作用。另一方面,Postman-Caucheteux等<sup>[15]</sup>研究表明,左半球的损伤程度越大,右半球的参与程度越高,功能性语言的恢复程度越差。因此,右半球语言同源区的激活并不一定代表左右半球语言功能的互补,而是提示可能存在“反应性激活”或“无效激活”<sup>[8]</sup>。

rTMS对于PSA等卒中后功能障碍的恢复机制基于“双相平衡恢复模型”,即当一侧大脑半球受损

收稿日期:2024-09-30;修订日期:2025-01-10

基金项目:国家自然科学基金面上项目(82372555)

作者单位:(1.首都医科大学附属北京天坛医院神经病学中心,北京100070);(2.首都医科大学附属北京天坛医院康复医学科,北京100070)

通信作者:张玉梅,E-mail:zhangyumei95@aliyun.com

较轻、结构储备度高时,功能恢复与“半球间竞争模型”有关;而当大脑半球受损较重、结构储备度低时,功能恢复则与“健侧代偿模型”有关<sup>[16]</sup>。

**2.1 半球间竞争模型** 正常情况下,双侧大脑半球之间存在着一种经胼胝体相互抑制的平衡状态。然而,当一侧大脑半球发生卒中,患侧半球兴奋性减低进而对健侧半球的抑制减弱,健侧半球对患侧半球的抑制相对增强,这样就出现了双侧大脑半球之间的抑制失衡<sup>[17]</sup>。这种现象使得左半球周围区域和右半球镜像区域具有异常的兴奋性<sup>[18]</sup>,难以诱导损伤周围区域的可塑性改善<sup>[17]</sup>,进而影响患侧半球语言功能的恢复<sup>[19-22]</sup>。

**2.2 健侧代偿模型** 在某些情况下,“半球间竞争模型”并不能完全解释 rTMS 对 PSA 的改善机制<sup>[23]</sup>。一项对中重度恢复期卒中后运动性失语患者进行不同频率的 rTMS,并用功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)检测治疗前后脑区激活变化的研究发现,低频 rTMS 组抑制右侧 Broca 区后未出现左侧 Broca 区激活升高,高频 rTMS 组刺激右侧 Broca 区后左侧 Broca 区出现激活升高而非下降。该研究推测,语言功能的改善是基于抑制双侧大脑半球非感兴趣区(regions of interest, ROI)的激活,促进双侧大脑半球语言相关 ROI 的激活,而非完全基于“半球间竞争模型”<sup>[24]</sup>。因此,当一侧大脑半球损伤严重时,则主张用“健侧代偿模型”来解释,即受累半球以外的区域可对受累半球本身的功能起到一定的代偿作用,激活健侧大脑半球可通过这种代偿作用促进卒中后功能障碍的恢复<sup>[23]</sup>。

**2.3 长时程增强和长时程抑制** rTMS 利用电磁原理在大脑皮质间产生感应电流,作用于单个神经元及整个神经网络<sup>[5]</sup>,通过改变神经元的电活动,调节大脑皮质的兴奋性,促进受损功能网络的修复,进而改善 PSA 患者的语言功能<sup>[11,25-28]</sup>。rTMS 最广泛的作用机制是对突触功能变化的影响,主要是长时程增强(long-term potentiation, LTP)和长时程抑制(long-term depression, LTD)<sup>[29]</sup>。LTP 由高频刺激(5~20 Hz)产生,LTD 由低频刺激(1 Hz)产生。突触前和突触后机制都参与了 LTP 和 LTD 的诱导,导致神经元去极化和激活<sup>[30]</sup>。研究表明,rTMS 可通过调节局部皮质的代谢水平,增强受损脑区内的突触活性,增加脑部血管的血流量,使大脑发生可塑性改变,进而促进语言功能区神经网络的恢复或重建<sup>[11,31,32]</sup>。

### 3 作用靶点

不同的刺激频率对大脑皮质的活动有不同的影响<sup>[33,34]</sup>,通过调节刺激频率、刺激强度、脉冲数量、间隔时间、目标脑区及线圈类型,rTMS 可以实现不同的生物学效应<sup>[30]</sup>。根据 rTMS 刺激频率引起的效应,

将 $\leq 1$  Hz 的刺激频率称为低频重复经颅磁刺激, $\geq 5$  Hz 的刺激称为高频重复经颅磁刺激<sup>[35]</sup>。

**3.1 病灶对侧周围镜像区靶点** 研究表明,低频 rTMS 对于大脑皮质的兴奋性具有抑制作用<sup>[25]</sup>。低频 rTMS 刺激右半球语言镜像区可通过抑制大脑适应不良的激活和增强适应性激活<sup>[36,37]</sup>发挥对 PSA 的治疗作用。对于左半球卒中引起的非流利性失语而言,作用于非优势侧大脑半球 Broca 区即右半球额下回后部是目前最常用的低频 rTMS 方案<sup>[25,37,38]</sup>,可改善基本的语言技能和沟通能力<sup>[25,37,38]</sup>,此方案已经在亚急性期(病程 $< 3$ 个月)<sup>[37,39-41]</sup>和慢性期(病程 $> 6$ 个月)<sup>[9,42,43]</sup> PSA 患者的语言康复方面取得了积极的效果。研究表明,低频 rTMS 联合 SLT 对 PSA 患者复述和命名能力的改善效果优于单独接受 SLT 的患者,且疗效可持续到终止治疗后的 2~3 个月<sup>[1,25,37,38]</sup>。Bai 等利用 fMRI 对低频 rTMS 对于 PSA 的作用进行了研究,发现用 1 Hz 的 rTMS 刺激右侧 Broca 区,右侧额叶、颞叶及顶叶等多个区域的激活受到抑制,而左侧顶叶、角回及额叶等多个区域的激活增加。由此推测,低频 rTMS 通过抑制右侧半球的功能活动,减弱了右侧半球对左侧半球的经胼胝体抑制作用,促进了优势半球脑叶的激活,进而改善了 PSA 患者的语言功能<sup>[44]</sup>。

此外,低频 rTMS 联合常规语言康复训练可通过抑制右半球颞上回、颞中回、角回等多个脑区的激活,增强左半球颞叶与双侧额叶等不同脑区之间的功能连接,引起大脑的可塑性发生变化,从而改善卒中后非流利性失语症患者的语言表达和听理解能力<sup>[45]</sup>。Barwood 等<sup>[46]</sup>的研究显示,连续 10 d 应用 20 min 1 Hz 的抑制性方案可改善患者的听理解能力,而听理解的经典语言功能区为 Wernicke 区而非刺激靶点 Broca 区,说明 rTMS 可能通过远隔效应或其他途径影响整个大脑语言网络的重塑,而不仅仅局限于刺激部位。有研究对 54 例亚急性卒中后完全性失语患者实施了靶点为右侧额下回后部三角区和右侧颞上沟后部的 1 Hz 低频抑制性 rTMS,结果显示与假刺激组相比,作用于右侧额下回和右侧颞上沟的低频抑制性 rTMS 都可提升 PSA 患者的语言能力<sup>[37]</sup>。这表明右半球额下回后部并不是低频抑制性 rTMS 唯一适宜的刺激靶点,对右半球其他区域进行低频 rTMS 刺激也是有益的。然而,对于慢性 PSA 患者而言,对右半球镜像区进行低频抑制性 rTMS 并未取得明显的语言治疗效果<sup>[47]</sup>。

**3.2 病灶周围部位靶点** 研究表明,高频 rTMS 对于大脑皮质的兴奋性具有易化作用<sup>[25]</sup>。左侧半球病灶周围及残留区域的激活是卒中亚急性期和慢性期神经激活的主要模式<sup>[48]</sup>,高频 rTMS 刺激左半球语言功能区可通过提高病灶周围区域的皮质兴

奋性<sup>[36]</sup>,发挥对PSA的治疗作用<sup>[49]</sup>。对于左半球卒中引起的非流利性失语而言,作用于优势侧大脑半球Broca区即左半球额下回后部是目前最常用的高频rTMS方案<sup>[49]</sup>。Zhang等<sup>[50]</sup>对1例亚急性卒中患者的左侧额下回进行了高频rTMS,并用西部失语症成套测验(West Aphasia Battery, WAB)和fMRI评估治疗效果。研究发现,该患者治疗后不仅WAB得分较治疗前有所提高,从fMRI观察到的脑激活模式也有所变化。治疗前右半球活动较为强烈,但治疗后左半球受损组织附近的激活变得集中且活跃起来。然而,这种变化也可能与治疗前后的评估时间已不同有关。在PSA自发恢复的过程中,双侧大脑半球在不同的阶段以不同的程度地参与其中<sup>[23]</sup>。特别是在卒中的慢性期,左侧半球的激活程度较右侧半球明显,同时还可以观察到语言功能的提高<sup>[51]</sup>。因此,高频rTMS方案还有待进行进一步的验证,以排除PSA自发性恢复的影响。

**3.3 病灶对侧小脑靶点** 研究发现,失语症患者存在部分脑区局部自发活动的强度变化及脑区间的连通性改变<sup>[52]</sup>。李春星等<sup>[53]</sup>也发现,病变部位在左侧半球的PSA患者右侧小脑的低频振幅信号减低,说明右侧小脑在语言形成中发挥了重要的作用。

近年来,有学者认为小脑可能通过大脑-小脑环路对语言功能起到一定的作用<sup>[54]</sup>。既往研究发现,幕上脑组织损害可引起对侧小脑代谢及血流量减低,这一现象称为“交叉性小脑失联络”<sup>[55]</sup>,进一步证实了大脑-小脑环路的存在。病变半球和幸存半球中保留的功能网络的比例是决定语言功能恢复程度的关键,保留的功能网络可能是患者参与语言能力未受到损伤的原因<sup>[25]</sup>。既往研究报道,小脑磁刺激可能是通过引发大脑皮质血流量的改变,增加脑供血供氧,进而对患者的脑部功能起到保护作用<sup>[56]</sup>。小脑可作为卒中后失语患者非侵入性刺激治疗的替代部位,通过与幕上语言区域之间的大脑-小脑环路促进卒中后失语症的恢复<sup>[57]</sup>。由此推测,小脑与大脑之间存在功能联系,通过该种联系,以病灶对侧小脑为靶点进行TMS治疗可能会在一定程度上有利于PSA患者语言功能的恢复。

#### 4 介入时机及长期疗效

早期语言功能的恢复主要依靠优势侧半球病灶周围区域的代偿性激活,而亚急性期语言功能的恢复则主要依靠健侧半球语言功能网络的激活<sup>[7]</sup>。研究显示,rTMS对于亚急性期<sup>[58]</sup>及慢性期患者<sup>[59,60]</sup>均有一定的疗效。大脑发生卒中等损伤后,神经具有一定的可塑性,且随着时间的推移而逐渐减弱<sup>[61]</sup>,这与SLT的疗效会随着发病时间的延长而减弱相一致。应用rTMS可延缓治疗效果的下降速度,故rTMS越早介入,疗效越好<sup>[7]</sup>。

研究发现,rTMS不仅能够短期内促进语言功能的恢复,还可能通过治疗作用的累积效应而产生一定的长期疗效。rTMS通过改变刺激后续效果的持续时间或生物学反应的幅度,造成皮质兴奋性的长时间改变,增强了疗效的稳定性<sup>[18,62,63]</sup>。

#### 5 讨论

目前,对于PSA尚无特异性的治疗手段<sup>[64]</sup>。rTMS作为一项新兴的神经电生理技术,以某种特定的刺激模式,在同一皮质区域以不同的刺激频率和序列间隔给予一系列连续刺激<sup>[4]</sup>,利用磁能以非侵入性的方式在底部的皮质组织中感应出平行于线圈的电流并使其在目标脑区的神经元中激发出动作电位<sup>[65,66]</sup>,改变其作用区域及功能连接区域的神经活动<sup>[67]</sup>,促进大脑语言网络的重建,从而发挥恢复神经功能的作用<sup>[8,68,69]</sup>。同时,将rTMS与其他传统的语言康复治疗相结合,可能会产生协同作用,进一步促进PSA患者语言能力的恢复<sup>[4]</sup>。

在未来对于rTMS的研究中,应从以下几个方面进行深化:(1)对于rTMS治疗PSA的语言功能恢复机制,应协同语言行为学进行深入研究,进一步从大脑半球语言网络的重组机制以及不同时期的脑网络可塑性机制来加以阐释<sup>[70]</sup>;(2)结合神经影像学,特别是神经功能影像来评估脑活动,在语言功能网络的层面阐明rTMS对PSA的作用机制;(3)目前仍缺少将临床效果与激活模式相匹配的随机、假对照、原理验证性研究<sup>[58]</sup>,故应在临床中开展更多多中心、大样本的研究,进一步确定最优的刺激靶点及刺激强度、脉冲数、串间隔等刺激参数,以期获得最佳的治疗方案;(4)rTMS的适用对象主要为亚急性期和慢性期的非流利性PSA患者,目前尚缺乏关于rTMS治疗急性期PSA患者的研究<sup>[1,4]</sup>,且既往研究鲜有涉及对不同病程阶段的PSA患者rTMS治疗效果的比较,故应纳入急性期PSA患者以探讨rTMS对于语言改善的效果,并在病程的不同阶段介入rTMS以观察并对比疗效<sup>[7,8,37,71,72]</sup>。

**利益冲突声明:**所有作者均声明不存在利益冲突。

**作者贡献声明:**刘洋负责设计论文框架、起草并修改论文;刘琪、李丽、李越秀负责支持性贡献;张玉梅负责指导论文撰写、审阅论文并最后定稿。

#### [参考文献]

- [1] 中华医学会神经病学分会神经康复学组,中国康复医学会脑血管病专业委员会,中国康复研究中心.卒中后失语临床管理专家共识[J].中国康复理论与实践,2022,28(1):15-23.
- [2] Wortman-Jutt S, Edwards D. Poststroke aphasia rehabilitation: why all talk and No action?[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2019, 33(4): 235-244.
- [3] López Romero LA, Riaño Carreño DM, Pachón Poveda MY, et al. Eficacia y seguridad de la estimulación magnética transcranial en pacientes con afasia no fluente, posterior a ictus isquémico. Ensayo

- clínico controlado, aleatorizado y doble ciego [J]. *Rev Neurol*, 2019, 68(6): 241.
- [4] Fasicaro F, Lanza G, Grasso AA, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation in stroke rehabilitation: review of the current evidence and pitfalls [J]. *Ther Adv Neurol Disord*, 2019, 12: 1756286419878317.
- [5] Lefaucheur JP, André-Obadia N, Antal A, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS)[J]. *Clin Neurophysiol*, 2014, 125(11): 2150-2206.
- [6] Duan X, Yao G, Liu Z, et al. Mechanisms of transcranial magnetic stimulation treating on post-stroke depression[J]. *Front Hum Neurosci*, 2018, 12: 215.
- [7] 朱慧敏, 程欣欣, 刘 莉, 等. 抑制性重复经颅磁刺激对脑卒中后非流畅性失语的临床疗效观察[J]. *浙江医学*, 2023, 45(11): 1140-1145, 1151.
- [8] Hara T, Abo M. New treatment strategy using repetitive transcranial magnetic stimulation for post-stroke aphasia [J]. *Diagnostics*, 2021, 11(10): 1853.
- [9] Hara T, Abo M, Kobayashi K, et al. Effects of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation combined with intensive speech therapy on cerebral blood flow in post-stroke aphasia [J]. *Transl Stroke Res*, 2015, 6(5): 365-374.
- [10] Hara T, Shanmugalingam A, McIntyre A, et al. The effect of non-invasive brain stimulation (NIBS) on attention and memory function in stroke rehabilitation patients: a systematic review and meta-analysis[J]. *Diagnostics*, 2021, 11(2): 227.
- [11] 吕志剑, 李敬亮. 旋律语调疗法结合重复经颅磁刺激对急性脑梗死后失语症的效果探讨[J]. *中国疗养医学*, 2023, 32(5): 500-504.
- [12] Kolb B, Teskey GC, Gibb R. Factors influencing cerebral plasticity in the normal and injured brain [J]. *Front Hum Neurosci*, 2010, 4: 204.
- [13] Gainotti G. Contrasting opinions on the role of the right hemisphere in the recovery of language. A critical survey[J]. *Aphasiology*, 2015, 29(9): 1020-1037.
- [14] Turkeltaub PE. Brain stimulation and the role of the right hemisphere in aphasia recovery [J]. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 2015, 15(11): 72.
- [15] Postman-Caucheteux WA, Birn RM, Pursley RH, et al. Single-trial fMRI shows contralesional activity linked to overt Naming errors in chronic aphasic patients[J]. *J Cogn Neurosci*, 2010, 22(6): 1299-1318.
- [16] Sankarasubramanian V, Machado AG, Conforto AB, et al. Inhibition versus facilitation of contralesional motor cortices in stroke: Deriving a model to tailor brain stimulation [J]. *Clin Neurophysiol*, 2017, 128(6): 892-902.
- [17] Kakuda W, Abo M, Kobayashi K, et al. Low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation and intensive occupational therapy for poststroke patients with upper limb hemiparesis: preliminary study of a 15-day protocol [J]. *Int J Rehabil Res*, 2010, 33(4): 339-345.
- [18] 胡雪艳, 江晓峰, 山 磊, 等. 低频和高频重复经颅磁刺激对脑卒中后非流畅性失语的影响[J]. *中国康复理论与实践*, 2023, 29(3): 249-255.
- [19] 胡雪艳, 江晓峰, 张 通. 重复经颅磁刺激治疗在脑卒中后失语症中的应用进展[J]. *中国康复理论与实践*, 2015, 21(2): 138-141.
- [20] Page SJ, Cunningham DA, Plow E, et al. It takes two: noninvasive brain stimulation combined with neurorehabilitation [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2015, 96(4 Suppl): S89-S93.
- [21] Kesikburun S. Non-invasive brain stimulation in rehabilitation [J]. *Turk J Phys Med Rehabil*, 2022, 68(1): 1-8.
- [22] Hartwigsen G, Saur D. Neuroimaging of stroke recovery from aphasia-Insights into plasticity of the human language network [J]. *NeuroImage*, 2019, 190: 14-31.
- [23] 程斯曼, 辛 榕, 赵 燕, 等. 重复经颅磁刺激改善脑卒中功能障碍的功能磁共振成像研究: Scoping 综述 [J]. *中国康复理论与实践*, 2023, 29(2): 193-204.
- [24] 梁井凤, 陈兆聪, 李 娜, 等. 不同频率 rTMS 对脑卒中后中-重度运动性失语患者语言功能恢复的影响及机制 [J]. *新医学*, 2021, 52(3): 175-181.
- [25] 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.
- [26] Wang Q, Zhang D, Zhao YY, et al. Effects of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation over the contralesional motor cortex on motor recovery in severe hemiplegic stroke: a randomized clinical trial [J]. *Brain Stimul*, 2020, 13(4): 979-986.
- [27] Murdoch BE, Barwood CHS. Non-invasive brain stimulation: a new frontier in the treatment of neurogenic speech-language disorders [J]. *Int J Speech Lang Pathol*, 2013, 15(3): 234-244.
- [28] Goldsworthy MR, Hordacre B, Rothwell JC, et al. Effects of rTMS on the brain: is there value in variability? [J]. *Cortex*, 2021, 139: 43-59.
- [29] Yamashita A, Murakami T, Hattori N, et al. Intensity dependency of peripheral nerve stimulation in spinal LTP induced by paired associative corticospinal-motoneuronal stimulation (PCMS) [J]. *PLoS One*, 2021, 16(11): e0259931.
- [30] Starosta M, Cichoń N, Saluk-Bijak J, et al. Benefits from repetitive transcranial magnetic stimulation in post-stroke rehabilitation [J]. *J Clin Med*, 2022, 11(8): 2149.
- [31] Pytel V, Cabrera-martin MN, Delgado-Alvarez A, et al. Personalized repetitive transcranial magnetic stimulation for primary progressive aphasia [J]. *Alzheimers Dis*, 2021, 84(1): 151-167.
- [32] Hu XY, Zhang T, Rajah GB, et al. Effects of different frequencies of repetitive transcranial magnetic stimulation in stroke patients with non-fluent aphasia: a randomized, sham-controlled study [J]. *Neurol Res*, 2018, 40(6): 459-465.
- [33] Liew SL, Santarnecchi E, Buch ER, et al. Non-invasive brain stimulation in neurorehabilitation: local and distant effects for motor recovery [J]. *Front Hum Neurosci*, 2014, 8: 378.
- [34] Begemann MJ, Brand BA, Ćurčić-Blake B, et al. Efficacy of non-invasive brain stimulation on cognitive functioning in brain disorders: a meta-analysis [J]. *Psychol Med*, 2020, 50(15): 2465-2486.
- [35] Armstrong EJ, Bricker R. Commentary: hypotension after internal carotid artery stenting: is it predictable? [J]. *J Endovasc Ther*, 2019, 26(6): 768-770.
- [36] 高汉雄, 陈 艳, 潘翠环, 等. 重复经颅磁刺激治疗在脑卒中后失语症康复中的应用进展 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2018, 40(6): 477-480.
- [37] Ren C, Zhang G, Xu X, et al. The effect of rTMS over the different targets on language recovery in stroke patients with global aphasia: a randomized sham-controlled study [J]. *Biomed Res Int*, 2019, 2019: 4589056.
- [38] Yao L, Zhao H, Shen C, et al. Low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation in patients with poststroke aphasia: sys-

- tematic review and meta-analysis of its effect upon communication [J]. *J Speech Lang Hear Res*, 2020, 63(11): 3801-3815.
- [39] Rubi-Fessen I, Hartmann A, Huber W, et al. Add-on effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on subacute aphasia therapy: enhanced improvement of functional communication and basic linguistic skills. A randomized controlled study [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2015, 96(11): 1935-1944. e2.
- [40] Yoon TH, Han SJ, Yoon TS, et al. Therapeutic effect of repetitive magnetic stimulation combined with speech and language therapy in post-stroke non-fluent aphasia [J]. *NeuroRehabilitation*, 2015, 36(1): 107-114.
- [41] Haghighi M, Mazdeh M, Ranjbar N, et al. 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 [J]. *Neuropsychobiology*, 2017, 75(4): 185-192.
- [42] Harvey DY, Podell J, Turkeltaub PE, et al. Functional reorganization of right prefrontal cortex underlies sustained Naming improvements in chronic aphasia via repetitive transcranial magnetic stimulation [J]. *Cogn Behav Neurol*, 2017, 30(4): 133-144.
- [43] Rossetti A, Malfitano C, Malloggi C, et al. Phonemic fluency improved after inhibitory transcranial magnetic stimulation in a case of chronic aphasia [J]. *Int J Rehabil Res*, 2019, 42(1): 92-95.
- [44] Bai G, Jiang L, Huan S, et al. Study on low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation improves speech function and mechanism in patients with non-fluent aphasia after stroke [J]. *Front Aging Neurosci*, 2022, 14: 883542.
- [45] 柏广涛, 姜亮, 孙丹乔, 等. 基于局部一致性方法探讨低频重复经颅磁刺激改善脑卒中后非流利性失语症患者听理解功能及机制 [J]. *中国康复医学杂志*, 2023, 38(5): 606-612.
- [46] Barwood CHS, Murdoch BE. rTMS as a treatment for neurogenic communication and swallowing disorders [J]. *Acta Neurol Scand*, 2013, 127(2): 77-91.
- [47] Heikkinen PH, Pulvermüller F, Mäkelä JP, et al. Combining rTMS with intensive language-action therapy in chronic aphasia: a randomized controlled trial [J]. *Front Neurosci*, 2018, 12: 1036.
- [48] Griffis JC, Nenert R, Allendorfer JB, et al. Interhemispheric plasticity following intermittent *Theta* burst stimulation in chronic post-stroke aphasia [J]. *Neural Plast*, 2016, 2016: 4796906.
- [49] 蒋孝翠, 刘臻, 苏清伦, 等. 间歇性Theta节律经颅磁刺激对脑卒中后非流利性失语的影响 [J]. *中国康复理论与实践*, 2023, 29(7): 839-843.
- [50] Zhang H, Chen Y, Hu R, et al. rTMS treatments combined with speech training for a conduction aphasia patient: a case report with MRI study [J]. *Medicine*, 2017, 96(32): e7399.
- [51] Saur D, Lange R, Baumgaertner A, et al. Dynamics of language reorganization after stroke [J]. *Brain*, 2006, 129(Pt 6): 1371-1384.
- [52] 姚婧璠, 徐成, 陈红燕, 等. 卒中后失语语言和非语言认知功能相关的静息态功能磁共振成像研究 [J]. *中国卒中杂志*, 2021, 16(3): 251-258.
- [53] 李春星, 李华, 周仪, 等. 静息态功能磁共振成像技术对右侧小脑参与语言功能的应用研究 [J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2014(4): 211-215.
- [54] Mariën P, Borgatti R. Language and the cerebellum [J]. *Handb Clin Neurol*, 2018, 154: 181-202.
- [55] 刘洋, 陈鹏, 张林, 等. 交叉性小脑神经机能联系不能1例报道并文献复习 [J]. *中国卒中杂志*, 2024, 19(7): 833-839.
- [56] Casula EP, Pellicciari MC, Ponzo V, et al. Cerebellar theta burst stimulation modulates the neural activity of interconnected parietal and motor areas [J]. *Sci Rep*, 2016, 6: 36191.
- [57] Turkeltaub PE, Swears MK, D'Mello AM, et al. Cerebellar tDCS as a novel treatment for aphasia? Evidence from behavioral and resting-state functional connectivity data in healthy adults [J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2016, 34(4): 491-505.
- [58] Thiel A, Hartmann A, Rubi-Fessen I, et al. Effects of noninvasive brain stimulation on language networks and recovery in early poststroke aphasia [J]. *Stroke*, 2013, 44(8): 2240-2246.
- [59] Munro P, Siyambalapatiya S. Improved word comprehension in Global aphasia using a modified semantic feature analysis treatment [J]. *Clin Linguist Phon*, 2017, 31(2): 119-136.
- [60] Szaflarski JP, Griffis J, Vannest J, et al. A feasibility study of combined intermittent theta burst stimulation and modified constraint-induced aphasia therapy in chronic post-stroke aphasia [J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2018, 36(4): 503-518.
- [61] 郑怡, 顾莹, 员玲玲, 等. 注意训练联合重复经颅磁刺激治疗卒中后非流畅性失语症的疗效 [J]. *听力学及言语疾病杂志*, 2022, 8(3): 304-307.
- [62] Barwood CH, Murdoch BE, Riek S, et al. Long term language recovery subsequent to low frequency rTMS in chronic non-fluent aphasia [J]. *NeuroRehabilitation*, 2013, 32(4): 915-928.
- [63] Zhang J, Zhong D, Xiao X, et al. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) on aphasia in stroke patients: a systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Rehabil*, 2021, 35(8): 1103-1116.
- [64] 张晓玲, 何伟亮, 赵雪平, 等. 重复经颅磁刺激治疗脑梗死患者失语的疗效研究 [J]. *脑与神经疾病杂志*, 2020, 28(6): 331-333.
- [65] Burke MJ, Fried PJ, Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation: Neurophysiological and clinical applications [J]. *Handb Clin Neurol*, 2019, 163: 73-92.
- [66] Thiel A, Zumbansen A. The pathophysiology of post-stroke aphasia: a network approach [J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2016, 34(4): 507-518.
- [67] 周海燕, 袁磊, 闻瑛, 等. 低频重复经颅磁刺激联合言语训练对脑卒中失语的康复效果 [J]. *神经损伤与功能重建*, 2021, 16(10): 614-616.
- [68] 乔玉. 电针结合右侧Broca区低频重复经颅磁刺激治疗中风后运动性失语的疗效观察 [D]. 南京: 南京中医药大学, 2019.
- [69] 樊影娜, 赵佳. 低频rTMS对急性脑梗死后运动性失语的疗效观察 [J]. *中国康复*, 2016, 31(1): 28-30.
- [70] 李国华, 陆艺, 王胜秋. 不同频率重复经颅磁刺激治疗脑梗死后失语症的疗效 [J]. *山东大学学报(医学版)*, 2023, 61(7): 83-89.
- [71] Fahmy EM, Elshebawy HM. Effect of high frequency transcranial magnetic stimulation on recovery of chronic post-stroke aphasia [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2021, 30(8): 105855.
- [72] 郑怡, 刘晶, 王洋洋, 等. 低频重复经颅磁刺激治疗卒中后非流畅性失语的系统评价 [J]. *中国康复*, 2021, 36(6): 365-371.

引证本文: 刘洋, 刘琪, 李丽, 等. 重复经颅磁刺激技术在卒中后失语中的应用 [J]. *中馈与神经疾病杂志*, 2025, 42(4): 375-379.