

经颅直流电刺激背外侧前额叶对脑卒中后失语症患者命名和音位流畅性的影响

杨玺 刘进 徐亮 陈文莉 蔡倩 孙悦 王红星

东南大学附属中大医院康复医学科, 南京 210009

通信作者: 王红星, Email: wang_hongxing@163.com

【摘要】目的 观察经颅直流电刺激(tDCS)脑卒中后失语症患者左侧背外侧前额叶(DLPFC)对其图片命名速度、图片命名正确率和音位流畅性的影响。**方法** 采用随机数字表法将脑卒中后失语症患者 24 例分为观察组和对照组, 每组患者 12 例。2 组患者均进行语言训练和图片命名训练, 观察组在图片命名训练的同时给予左侧背外侧前额叶 tDCS 治疗, 每日 1 次, 每次 20 min, 每周治疗 6 d, 连续治疗 2 周。对照组患者仅给予假 tDCS 治疗。于治疗前、治疗 2 周后分别对患者进行图片命名速度和正确率, 以及音位流畅性测试。**结果** 治疗 2 周后, 2 组患者高频词的准确数和反应时间与组内治疗前比较, 差异均有统计学意义($P<0.05$), 且观察组治疗 2 周后高频词的反应时间显著少于对照组治疗 2 周后, 差异有统计学意义($P<0.05$)。治疗 2 周后, 观察组低频词的反应时间与组内治疗前比较, 差异有统计学意义($P<0.05$)。治疗 2 周后, 观察组的音位流畅性为[7.50(4.50, 8.75)]个, 显著优于组内治疗前和对照组治疗 2 周后, 差异均有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 对脑卒中后失语症患者的左侧背外侧前额叶进行 tDCS, 可以促进其大脑网络词汇检索的处理, 加强患者的执行控制功能。

【关键词】 经颅直流电; 背外侧前额叶; 失语症; 音位流畅性

基金项目: 科技部国家重点研发计划项目(2022YFC2009700); 国家自然科学基金(82102681); 江苏省自然科学基金(BK20210228)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.11.003

Effects of transcranial direct current stimulation on the picture naming and phonemic fluency of aphasics

Yang Xi, Liu Jin, Xu Liang, Chen Wenli, Cai Qian, Sun Yue, Wang Hongxing

Department of Rehabilitation Medicine, Zhongda Hospital Affiliated to Southeast University, Nanjing 210009, China

Corresponding author: Wang Hongxing, Email: wang_hongxing@163.com

【Abstract】 Objective To observe any effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on the speed and accuracy of picture naming and on the phonological fluency of aphasic stroke survivors. **Methods** Twenty-four stroke survivors with aphasia were randomly divided into an observation group and a control group, each of 12. In addition to language training and picture naming training, the observation group received 20 minutes of tDCS over the left dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) daily, 5 days a week for 2 weeks. The control group was given sham stimulation. Before and after the 2 weeks of treatment, both groups were tested for picture naming and phonological fluency. **Results** Significant improvement in the number of accurately pronounced high-frequency words and in reaction time was observed in both groups, but the observation group's average reaction time for high-frequency words was significantly shorter than the control group's average. The observation group's average reaction time for low-frequency words had also improved significantly. After the 2 weeks of treatment, the phonological fluency of the observation group was significantly better than before the treatment and better than that of the control group. **Conclusions** tDCS applied over the left DLPFC of stroke survivors with aphasia can promote lexical retrieval and strengthen their executive and control functioning.

【Key words】 Aphasia; Transcranial electrical stimulation; Dorsolateral prefrontal cortex; Phonemic fluency

Funding: China's National Key R&D Program (2022YFC2009700); National Natural Science Foundation of China (82102681); Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK20210228)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.11.003

经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)是一种利用低强度恒定电流来改变表面神经元膜的电位去极化或超极化方向,影响自发神经活动的皮质兴奋性改变的技术。对脑卒中后失语症患者进行 tDCS 治疗的主要机制是通过未受损脑网络的适应性重组来弥补语言功能的缺失^[1]。tDCS 可以激活皮质兴奋性、产生突触重塑、增强功能连接,对失语症的图片命名、听理解、阅读及书写产生不同的影响^[2-3]。有研究认为,背外侧前额叶皮质(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)与人们的工作记忆、规划学习、计划、注意力和动机等执行控制功能相关^[4]。近年的研究发现,虽然 DLPFC 不是一个核心语言区域,但可以在言语和语言任务中被激活,它与特定语言区域的相互作用可以影响语言的处理过程^[5]。对失语症患者的研究表明,在执行控制过程中, DLPFC 可以影响词汇检索过程中的词汇-语义表征^[6]。本研究采用 tDCS 来调节左背外侧前额叶控制网络,旨在观察其对失语症患者词汇通路的影响。

资料和方法

一、研究对象及分组

纳入标准:①经汉语失语成套测验诊断为失语症患者^[7];②右利手;③初中以上文化水平;④经 CT 或 MRI 确诊为脑卒中首次发病,左半球病变伴完整 DLPFC;⑤病程>3 个月;⑥视力和听力正常或纠正到正常;⑦无颅内金属或起搏器;⑧签署知情同意书。

排除标准:①伴中重度言语失用症(不能完成双音节词复述)的完全性失语;②听理解严重障碍不能执行简单一步指令;③医院版脑卒中后失语抑郁问卷(stroke aphasic depression questionnaire hospital version, SADQ-H)≥22 分^[8]。

本研究经东南大学附属中大医院临床研究伦理委员会审查通过,批号为 2020 ZDSYLL 211-P01。选取 2020 年 2 月至 2021 年 8 月在东南大学附属中大医院康复医学科住院且符合上述标准的脑卒中失语症患者 24 例,按随机数字表法将其分为观察组和对照组,每组患者 12 例。2 组患者的例数、平均年龄、受教育年限、平均病程等一般资料组间比较,差异均无统计学意

义($P>0.05$),详见表 1。

二、治疗方法

2 组患者均进行常规的语言能力训练和图片命名训练。观察组在此基础上同时给予左侧背外侧前额叶 tDCS,对照组患者给予假刺激。

1. 语言训练方法:采用成都产汉语失语症心理语言评估与训练系统(V1.0 版)对患者进行听理解通路、复述通路和命名通路训练。语言训练每日 1 次,每次 30 min,每周训练 6 d,连续训练 2 周。

2. 图片命名训练方法:采用语义特征分析法进行图片命名训练,选取图片命名测试以外的黑白线条图,每次呈现 1 张,鼓励患者说出与目标词相关的语义信息,在说出名词后,鼓励提取与名词相关的动词。并要求患者命名后重复数次^[9]。图片命名训练每日 1 次,每次 30 min,每周训练 6 d,连续训练 2 周。

3. tDCS 方法:于患者图片命名训练时同步进行 tDCS 治疗。采用成都产 ZN 8020 型智能刺激器对患者进行 tDCS 治疗。体表定位采用 Rhoton 的方法,左侧 DLPFC 位于顶中央前 8 cm 再向左旁开 6 cm^[10]。将 5 cm×5 cm 的正方形阳极放置于左侧 DLPFC,5 cm×7 cm 的长方形阴极放置于右侧眶(电极均经盐水浸润,接触良好),电流强度为 1.4 mA,持续时间为 20 min(对照组患者刺激 30 s 后即中断电流)。tDCS 治疗每日 1 次,每周治疗 6 d,连续治疗 2 周。

三、评估方法

于治疗前、治疗 2 周后对 2 组患者分别进行图片命名测试和音位流畅性测试。

1. 图片命名测试^[11]:从国际图片命名项目(international picture naming project)的备选图片中选取 2 套黑白线条图,每套图片均为 40 张,治疗前、后分别用 1 套,2 套图片的名称一致性、图像一致性、视觉复杂性、获取年龄、词频和音节数相当。2 套图片包含高频词 20 个和低频词 20 个,且每套图片包含相同数量的生物(12 个)和非生物(28 个)。每次测验时,患者每张图片观察 15 s,要求其尽快且准确地说出图片的名称。患者的答案为上位词、近义词、迂回语或无反应(15 s 内未给出答案即记为无反应),均判为错误,只有正确命名图片才判为正确,记录患者命名的反应时间和正确个数^[9]。

表 1 2 组患者一般资料

组别	例数	平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	平均受教育年限 (年, $\bar{x}\pm s$)	平均病程 (月, $\bar{x}\pm s$)	失语症类型(例)				
					外侧裂周 失语	分水岭区 失语	完全性 失语	命名性 失语	皮质下 失语
对照组	12	47.58±13.68	12.50±3.29	5.67±2.87	4	1	1	5	1
观察组	12	48.25±9.95	12.00±2.26	5.08±2.50	8	0	1	3	0

注:参照汉语失语症失语类型的鉴别诊断流程对患者进行失语症分类^[7]

2.音位流畅性测试:在正式进行音位流畅性测试前,患者先练习音位[d]开始的音节,如大、地、肚,待理解测试要求后,令患者在 1 min 内尽可能多地说出以音位[l]开始的音节,如拉、李、路。记录患者正确说出的音节数量^[12]。

四、统计学方法

采用 SPSS 20.0 版统计学软件对本研究所得数据进行分析。符合正态分布和方差齐性的计量资料以($\bar{x}\pm s$)表示,采用样本 *t* 检验;偏态分布的计量资料以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,采用配对符号秩和检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、2 组患者治疗前、后图片命名测试中高频词的测试结果比较

治疗前,2 组患者高频词的准确数和反应时间组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。治疗 2 周后,2 组患者高频词的准确数和反应时间与组内治疗前比较,差异均有统计学意义($P<0.05$),且观察组治疗 2 周后高频词的反应时间显著少于对照组治疗 2 周后,差异有统计学意义($P<0.05$),而观察组治疗 2 周后高频词的准确数与对照组治疗 2 周后比较,差异无统计学意义($P>0.05$),详见表 2。

二、2 组患者治疗前、后图片命名测试中低频词的测试结果比较

治疗前,2 组患者低频词的准确数和反应时间组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。治疗 2 周后,2 组患者低频词的准确数与组内治疗前比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),对照组低频词的反应时间与组内治疗前比较,差异亦无统计学意义($P>0.05$),而观察组治疗 2 周后低频词的反应时间与组内治疗前比较,差异却有统计学意义($P<0.05$),但与对照组治疗 2 周后比较,差异仍无统计学意义($P>0.05$),详见表 2。

三、2 组患者治疗前、后音位流畅性测试结果比较
治疗前,2 组患者的音位流畅性组间比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗 2 周后,观察组的音位流畅性显著优于组内治疗前和对照组治疗 2 周后比较,差异均有统计学意义($P<0.05$),而对照组的音位流畅性与组内治疗前比较,差异无统计学意义($P>0.05$),详见表 2。

讨 论

本研究结果显示,脑卒中后失语症患者的 DLPFC 区经 2 周的阳极 tDCS 刺激后,患者高频词图片命名的准确性和反应时间、低频词图片命名反应时间以及音位流畅性较组内治疗前均显著改善,且其高频词反应时间和音位流畅性显著优于对照组治疗 2 周后,差异均有统计学意义($P<0.05$)。该结果提示,左侧 DLPFC 的阳极 tDCS 可以促进脑卒中后失语症患者大脑网络词汇检索的处理,加强其执行控制功能。

图片命名的过程涉及非常复杂的心理程序,包括视觉信号的处理、提取词汇概念、词汇的选择、语音编码与加工以及发音等不同阶段,其中任何一个环节受损或者处理速度减慢都会影响到命名的反应时间^[13]。当人类说话的时候,每秒需要从 40000 个词汇中选择 2 到 3 个单词,但是每一千个单词中只会犯一个错误。在无数相关表征中选择一个最准确的表征,是语言产生和理解过程中的一个关键。语言的理解和产生需要认知控制和位于左侧 DLPFC 的工作记忆资源^[5]。研究证明,左侧 DLPFC 与许多语言过程密切相关,包括言语产生、句子处理和话语表现^[14-16]。在词汇检索中,认知控制缺陷可能导致词汇表征过度抑制、激活表征选择困难、词汇检索异常干扰、语义短时记忆缺陷,进而影响词汇-语义的获得^[11]。因此,通过非侵入性的 tDCS 调节前额叶皮质可能可以改变词汇选择的阈值^[17],改善失语症患者的词汇通路。

表 2 2 组患者治疗前、后的高、低频词测试和音位流畅性测试结果比较[$M(P_{25}, P_{75})$]

组别	例数	高频词		低频词		音位流畅性(个)
		准确数(个)	反应时间(s)	准确数(个)	反应时间(s)	
对照组						
治疗前	12	8.00(7.00,11.50)	7.65(4.33,8.85)	7.00(5.00,9.50)	8.70(4.98,10.00)	4.50(3.25,5.75)
治疗 2 周后	12	9.50(7.50,12.50) ^a	6.95(4.40,8.05) ^a	7.00(5.25,10.00)	7.30(4.78,9.15)	5.00(2.50,6.00)
观察组						
治疗前	12	8.00(6.00,10.75)	7.30(5.78,8.60)	6.00(5.00,9.75)	8.70(7.05,9.13)	4.50(1.50,6.00)
治疗 2 周后	12	12.50(10.25,17.50) ^a	4.15(3.23,4.88) ^{ab}	6.50(5.00,11.50)	5.00(4.23,5.20) ^a	7.50(4.50,8.75) ^{ab}

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$,与对照组治疗 2 周后比较^b $P<0.05$

本研究旨在研究将阳极 tDCS 应用于左侧 DLPFC 能否改善卒中后失语症患者的词汇通路。结果表明,观察组的高频词命名的准确性与反应时间在治疗 2 周后均显著改善,且在反应时间上优于对照组。有研究发现,高频词在语言系统中具有更高的静息激活水平和更强的表征,tDCS 诱导的皮质活动变化可以达到这些高频词的神经激活水平,对命名速度产生影响^[18]。但足以提取高频词的神经活动阈值水平,可能不足以达到产生低频词所需的激活水平,因此,本研究中,观察组虽然在治疗后其低频词的反应时间较组内治疗前有所改善,但与对照组相比,其低频词的准确数和反应时间均未显示出明显的差异。有研究报道,阳极 tDCS 可以提高训练过的(即频繁使用的)词汇的检索能力,表明只有在反复刺激和高强度命名训练的结合下,才可能将治疗效果迁移到未经训练的项目^[19-20],这也可能是本研究中观察组低频词的准确性和反应时间与对照组的差异无统计学意义的原因。

个体运用语言传递信息的流利程度叫做言语流畅性,它是言语能力的一个基本指标,包括音位流畅性和语义流畅性两种类型。音位流畅性也叫词汇流畅性,是反映个体在词汇选择时流畅程度的指标,表现为能够按照某一特定的音位(如[d]和[l])迅速产生词。音位流畅性测试是要求在限定时间内尽可能多的说出以某个声母开头的词。语义流畅性也叫归类流畅性,是反映个体在概念产生时思维流畅性的指标,表现为能够按照语义类别(如动物、工具)来搜索词。语义流畅性测试是要求在限定时间内尽可能多的说出属于某个语义类别的词。音位流畅性和语义流畅性代表了言语流畅性的不同方面,通过一些语言测试(命名、句子理解和标记测试)可以发现,语言功能改善程度最多的失语症患者和改善最少的患者之间,最显著的差异体现在音位流畅性上^[12]。有研究表明,工作记忆任务训练可以改变患者的言语流畅度^[21]。

本研究发现,对左侧 DLPFC 进行阳极 tDCS 可以提高卒中后失语症患者的音位流畅性,这可能是因为音位流畅性和语义流畅性都涉及相同的认知执行功能,如工作记忆、抑制、努力自我启动和转换能力,但又依赖于不同认知成分,音位流畅性主要依赖于调节策略性搜索过程的额叶,语义流畅性则更多地依赖调节语义知识的颞叶^[12]。相对于语义流畅性,音位流畅性更多地受注意控制资源的影响^[12],阳极 tDCS 刺激左侧 DLPFC 可以改善语言和执行控制功能之间的相互作用。除语言治疗外,加强前额叶执行控制网络连接,还可以改善失语症患者功能性交流的话语连贯性、工作记忆和韵律整合等,可能会对其日常沟通能力产生有益的影响^[21]。

本研究尚有不足之处,受样本量的限制,并未将入组病例按失语症的类型进行分类比较,未明确更适用于左侧 DLPFC 阳极 tDCS 治疗的失语症类型,后续的研究中将增加样本量,对不同类型的失语症进行观察。

综上所述,对左侧 DLPFC 进行阳极 tDCS 治疗可以改善卒中后失语症患者高频词的命名能力和音位流畅性,而加强对脑卒中患者执行控制功能的干预可作为语言治疗训练的补充,指导未来失语症康复治疗的发展方向。

参 考 文 献

- [1] 朱明预,余凤琼,张骏,等.经颅直流电刺激的研究进展[J].中国神经精神疾病杂志,2017,06:382-385. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0152.2017.06.015.
- [2] 徐丹,陶陶,张继荣,等.阳极经颅直流电刺激治疗脑梗死后失语症疗效的 Meta 分析[J].中华物理医学与康复杂志,2017,39(8):625-630. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2017.08.018.
- [3] 肖露,魏凤芹,牟谷萼,等.经颅直流电刺激对脑卒中恢复期 Broca 失语患者图片命名能力的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2015,37(11):810-813. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2015.011.003.
- [4] 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. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.06.021.
- [5] Klaus J, Schutter DJLG. The role of left dorsolateral prefrontal cortex in language processing[J]. Neuroscience, 2018, 377: 197-205. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2018.03.002.
- [6] Biegler KA, Crowther JE, Martin RC. Consequences of an inhibition deficit for word production and comprehension: evidence from the semantic blocking paradigm[J]. Cogn Neuropsychol, 2008, 25(4):493-4527. DOI: 10.1080/02643290701862316.
- [7] 王荫华.汉语失语症失语类型的鉴别诊断流程(一)[J].中国康复理论与实践,1997,13(1):10-12.
- [8] Cobley CS, Thomas SA, Lincoln NB, et al. The assessment of low mood in stroke patients with aphasia: reliability and validity of the 10-item Hospital version of the Stroke Aphasic Depression Questionnaire (SADQH-10) [J]. Clin Rehabil, 2012, 26(4):372-381. DOI: 10.1177/0269215511422388.
- [9] 王蕊,乔雨晨,杨璇,等.图片命名训练对语义性痴呆患者命名能力改善效果初探.中国现代神经疾病杂志,2021,21(8):691-695. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6731.2021.08.013
- [10] Fertonani A, Rosini S, Cotelli M, Naming facilitation induced by transcranial direct current stimulation [J]. Behav Brain Res, 2010, 208(2):311-318. DOI: 10.1016/j.bbr.2009.10.030.
- [11] Pestalozzi MI, Di Pietro M, Martins GC, et al. Effects of prefrontal transcranial direct current stimulation on lexical access in chronic poststroke aphasia [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2018, 32(10):913-923. DOI: 10.1177/1545968318801551.
- [12] 陆爱桃,张积家,莫雷.注意控制和短时存储对音位流畅性和语义流畅性的影响.心理学报,2008,40(1):25-36.
- [13] 崔刚.神经语言学[M].北京:清华大学出版社,2015:166.
- [14] Chen YK, Xiao WM, Wang D, et al. Atrophy of the left dorsolateral prefrontal cortex is associated with poor performance in verbal fluency

- in elderly poststroke women[J]. *Neural Regen Res*, 2013, 8(4): 346-356. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5374.2013.04.007.
- [15] Hussey EK, Ward N, Christianson K, et al. Language and memory improvements following tDCS of left lateral prefrontal cortex [J]. *PLoS One*, 2015, 10(11): e0141417. DOI: 10.1371/journal.pone.0141417.
- [16] Nozari N, Arnold JE, Thompson-Schill SL. The effects of anodal stimulation of the left prefrontal cortex on sentence production [J]. *Brain Stimul*, 2014, 7(6): 784-792. DOI: 10.1016/j.brs.2014.07.035.
- [17] Tatiana T. Word selection deficits and multiword speech [J]. *Cogn Neuropsychol*, 2017, 34(1-2): 21-25. DOI: 10.1080/02643294.2017.1313215.
- [18] Hoffman P, Rogers TT, Ralph MAL. Semantic diversity accounts for the "missing" word frequency effect in stroke aphasia: insights using a novel method to quantify contextual variability in meaning [J]. *J Cogn Neurosci*, 2011, 23(9): 2432-2446. DOI: 10.1162/jocn.2011.21614.
- [19] Spielmann K, van de Sandt-Koenderman WM, Heijnenbrok-Kal MH, et al. Comparison of two configurations of transcranial direct current stimulation for aphasia treatment [J]. *J Rehabil Med*, 2018, 50(6): 527-533. DOI: 10.2340/16501977-2338.
- [20] Meinzer M, Darkow R, Lindenberg R, et al. Electrical stimulation of the motor cortex enhances treatment outcome in post-stroke aphasia [J]. *Brain*, 2016, 139(4): 1152-1163. DOI: 10.1093/brain/aww002.
- [21] 孙伟铭, 董香丽. 工作记忆刷新训练对运动性失语症患者言语流畅性的影响 [J]. *中国康复理论与实践*, 2019, 25(02): 135-139. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2019.02.002.
- [22] Fridriksson J, Nettles C, Davis M, et al. Functional communication and executive function in aphasia [J]. *Clin Linguist Phon*, 2006, 20(6): 401-410. DOI: 10.1080/02699200500075781.

(修回日期: 2022-10-20)

(本文编辑: 阮仕衡)

· 外刊撷英 ·

High-frequency rTMS improves cognitive function by regulating synaptic plasticity in cerebral ischemic rats

【Hong J, Chen J, Li C, et al. *Neurochem Res*, 2021, 46(2): 276-286.】

Objective The present study aimed to investigate the effects of rTMS on astrocytic polarization during cerebral ischemic/reperfusion injury.

Methods Three rTMS protocols were applied to primary astrocytes under normal and oxygen-glucose deprivation/reoxygenation (OGD/R) conditions. Cell survival, proliferation, and phenotypic changes were assessed after 2-day treatment. Astrocytes culture medium (ACM) from control, OGD/R, and OGD/R + rTMS groups were mixed with neuronal medium to culture neurons for 48 h and 7 days, in order to explore the influence on neuronal survival and synaptic plasticity. In vivo, rats were subjected to middle cerebral artery occlusion (MCAO), and received posterior orbital intravenous injection of ACM collected from different groups at reperfusion, and at 3 days post reperfusion. The apoptosis in the ischemic penumbra, infarct volumes, and the modified Neurological Severity Score (mNSS) were evaluated at 1 week after reperfusion, and cognitive functions were evaluated using the Morris Water Maze (MWM) tests. Finally, the 10 Hz rTMS was directly applied to MCAO rats to verify the rTMS effects on astrocytic polarization

Results Among these three frequencies, the 10 Hz protocol exerted the greatest potential to modulate astrocytic polarization after OGD/R injury. Classically activated and A1 markers were significantly inhibited by rTMS treatment. In OGD/R model, the concentration of pro-inflammatory mediator TNF- α decreased from 57.7 to 23.0 pg/mL, while anti-inflammatory mediator IL-10 increased from 99.0 to 555.1 pg/mL in the ACM after rTMS treatment. The ACM collected from rTMS-treated astrocytes significantly alleviated neuronal apoptosis induced by OGD/R injury, and promoted neuronal plasticity. In MCAO rat model, the ACM collected from rTMS treatment decreased neuronal apoptosis and infarct volumes, and improved cognitive functions. The neurotoxic astrocytes were simultaneously inhibited after rTMS treatment.

Conclusions Inhibition of neurotoxic astrocytic polarization is a potential mechanism for the effectiveness of high-frequency rTMS in cerebral ischemic stroke.