

高频重复经颅磁刺激同步呼吸训练对缺血性脑卒中患者呼吸功能的影响

张丝丝¹, 周敬杰², 周婷³, 王全懂¹, 夏晓昧¹

1. 徐州医科大学附属连云港第一人民医院, 江苏 连云港 222000; 2. 徐州医科大学附属徐州康复医院, 江苏 徐州 221000;
3. 南京医科大学康达学院, 江苏 连云港 222000

【摘要】 目的 探讨高频重复经颅磁刺激(rTMS)同步呼吸训练对脑卒中患者呼吸功能的影响。方法 选取2024年1月至2025年1月50例缺血性脑卒中患者,按随机数字表法分为对照组和观察组各25例。两组均接受常规康复治疗,在此基础上,对照组进行呼吸训练,观察组进行呼吸训练的同时给予rTMS,以上治疗均1次/天,5天/周,共4周。比较两组干预前后膈肌超声指标[膈肌移动度(DE)、膈肌增厚分数(DTF)],吸气肌功能[最大吸气压(MIP)、峰值吸气流速(PIF)],肺通气功能[用力肺活量(FVC)、第一秒用力呼气容积(FEV₁)]及日常生活活动能力[改良Barthel指数(MBI)]。结果 对照组脱落1例,观察组脱落1例。干预后,两组患者DE、DTF、MIP、PIF、FVC、FEV₁及MBI评分均升高($P<0.05$),且观察组高于对照组($P<0.05$)。结论 高频rTMS同步呼吸训练可有效改善脑卒中患者膈肌运动及呼吸功能,并提高患者日常生活能力,其效果优于单纯呼吸训练。

【关键词】 重复经颅磁刺激;呼吸训练;脑卒中;呼吸功能;膈肌

【中图分类号】 R743.3

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-6170(2026)01-0110-05

The effect of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation synchronized with respiratory training on respiratory function in patients with ischemic stroke ZHANG Si-si¹, ZHOU Jing-jie², ZHOU Ting³, WANG Quan-dong¹, XIA Xiao-mei¹ 1. The Affiliated Lianyungang Hospital of Xuzhou Medical University, Lianyungang 222000, China; 2. The Affiliated Xuzhou Rehabilitation Hospital of Xuzhou Medical University, Xuzhou 221000, China; 3. Kangda College of Nanjing Medical University, Lianyungang 222000, China

【Corresponding author】 ZHOU Jing-jie

【Abstract】 **Objective** To investigate the effect of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) synchronized with respiratory training on respiratory function in stroke patients. **Methods** Fifty patients with ischemic stroke from January 2024 to January 2025 were selected. The patients were divided into a control group and an observation group according to the random number table method, 25 cases in each group. Both groups received routine rehabilitation therapy. On this basis, the control group was given respiratory training. The observation group was given rTMS synchronized with respiratory training. The above treatments were all administered once a day, 5 days a week, for a total of 4 weeks. Diaphragmatic ultrasound indicators such as diaphragmatic excursion (DE) and diaphragmatic thickening fraction (DTF), inspiratory muscle function such as maximum inspiratory pressure (MIP) and peak inspiratory flow rate (PIF), pulmonary ventilation function such as forced vital capacity (FVC) and forced expiratory volume in 1 second (FEV₁) and activities of daily living evaluated by Modified Barthel Index (MBI) were compared before and after intervention between the two groups. **Results** One case dropped out in the control group and the observation group, respectively. After interven-

【参考文献】

- [1] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政医管局. 原发性肝癌诊疗指南(2022年版)[J]. 中华肝脏病杂志, Chinese Journal of Hepatology, 2022, 30(4): 367-388.
- [2] Traub J, Reiss L, Aliwa B, et al. Malnutrition in Patients with Liver Cirrhosis[J]. Nutrients, 2021, 13(2): 540.
- [3] Rong L, Zou J, Ran W, et al. Advancements in the treatment of nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) [J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2022, 13: 1087260.
- [4] Welty FK. Omega3 fatty acids and cognitive function[J]. Curr Opin Lipidol, 2023, 34(1): 12-21.
- [5] Pradelli L, Mayer K, Klek S, et al. Omega3 fatty acids in parenteral nutrition A systematic review with network metaanalysis on clinical outcomes[J]. Clin Nutr, 2023, 42(4): 590-599.
- [6] Sui K, Yasrebi A, Malonza N, et al. Saturated Fatty Acids and O-

- mega3 Polyunsaturated Fatty Acids Improve Metabolic Parameters in Ovariectomized Female Mice [J]. Endocrinology, 2023, 164(6): bpad059.
- [7] 吴随一, 唐政, 史颖弘, 等. 国家卫生健康委员会《原发性肝癌诊疗规范(2019年版)》在线教育项目 [J]. 上海医学, 2020, 43(8): 513-516.
- [8] Reghupaty SC, Fisher PB, Sarkar D. Hepatocellular carcinoma (HCC): Epidemiology, etiology and molecular classification [J]. Adv Cancer Res, 2021, 149: 1-61.
- [9] 陈亚进. 肝癌肝切除质量控制体系的建立及评价 [J]. 中国实用外科杂志, 2024, 44(1): 52-54.
- [10] Xiao F, Han W, Yue Q, et al. Perioperative omega3 fatty acids for liver surgery: A metaanalysis of randomized controlled trials [J]. Medicine (Baltimore), 2021, 100(27): e25743.

(收稿日期: 2025-03-05; 修回日期: 2025-05-26)

(本文编辑: 彭羽)

tion, the DE, DTF, MIP, PIF, FVC, FEV₁ and MBI scores of the two groups were all increased ($P < 0.05$). All indexes in the observation group were higher than those in the control group ($P < 0.05$). **Conclusions** High-frequency rTMS synchronized with respiratory training can significantly improve the diaphragm movement and respiratory function of stroke patients. It also improves the ability of daily living. Its effect is better than that of respiratory training alone.

【Key words】 Repetitive transcranial magnetic stimulation; Respiratory training; Stroke; Respiratory function; Diaphragm

脑卒中后约 70%~80% 幸存者遗留不同的功能障碍,严重影响患者的日常生活^[1]。其中,呼吸功能障碍是临床常见的严重并发症,其发病机制主要与中枢神经受损导致的膈肌功能障碍有关^[2]。膈肌功能障碍不仅直接影响呼吸功能,还与肢体运动、平衡功能及日常生活活动密切相关^[3,4]。因此,改善膈肌功能对促进脑卒中患者呼吸功能恢复、提高整体康复效果具有重要意义。

目前临床实践中,脑卒中患者的呼吸康复仍以呼吸训练等外周干预手段为主。然而,这种单一治疗模式的疗效有限。研究发现中枢与外周相结合的干预方式更有利于促进脑卒中后功能恢复^[5]。重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)作为一种安全无创的新型神经调控技术,其在脑卒中后运动、语言、认知等方面的疗效已不断得到证实^[6],但对呼吸功能的影响研究较少。Maskill 等^[7]研究证实膈肌运动皮层中心位于正中旁 3 cm,耳平面前 2~3 cm,磁刺激该位点可特别激活对侧膈肌。然而,rTMS 同步呼吸训练对脑卒中患者膈肌运动及呼吸功能的影响尚未见报道。

本研究在呼吸训练的同时施加 rTMS 治疗,探讨其对呼吸功能的改善作用,旨在为优化脑卒中呼吸康复方案提供新策略。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2024 年 1 月至 2025 年 1 月连云港市第一人民医院收治的 50 例缺血性脑卒中患者,均符合《中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2023》^[8] 诊断标准,经头颅 CT 或 MRI 确诊为首次卒中。纳入标准:①年龄 18~80 岁;②病程 ≤ 3 个月;③呼吸功能障碍,FEV₁ 和(或)FVC 低于预计值的 80%^[9];④病情稳定,神志清楚,能配合各项评估与治疗。排除标准:①呼吸系统疾病或胸腹部手术史;②严重心、肝、肾等重要脏器损害;③病变位于脑干;④认知障碍、意识障碍、不能配合者;⑤癫痫病史或被诊断为癫痫者;⑥体内植入金属异物或其他电子设备。按随机数字表法分为对照组和观察组各 25 例。对照组 1 例因脑梗再发,观察组 1 例因中途出院而脱落,最终两组各 24 例完成研究。两组一般资料比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。本研究经医院医学伦理委员会批准,患者及家属知情同意。

表 1 两组患者一般资料比较

组别	性别(例)		年龄(岁)	病程(d)	病灶侧别(例)	
	男	女			左	右
对照组($n=24$)	18	6	61.38±10.05	21.67±11.46	7	17
观察组($n=24$)	16	8	59.79±9.57	23.13±15.42	10	14
统计量	$\chi^2=0.403$		$t=0.559$	$t=0.372$	$\chi^2=0.820$	
P	0.525		0.579	0.712	0.365	

1.2 方法 两组均接受常规康复治疗,包括偏瘫肢体综合训练、下肢 MOTOmed、气压、针灸、神经肌肉电刺激等。此外,对照组进行呼吸训练,具体包括①腹式结合缩唇呼吸:患者仰卧位,治疗师手掌置于患者上腹部,指导患者经鼻深吸气时腹部凸起,缩唇将气体缓慢经口呼出同时腹部凹陷,吸气 3 s,呼气 6 s;②抗阻深呼吸:治疗师手掌置于患者上腹部,鼓励用力深吸气,并于吸气时手掌向腹内加压,令其抵抗手掌隆起腹部,阻力大小视患者具体情况而定,其余操作方法同腹式结合缩唇呼吸。以上两种呼吸均 5 次为一组,各训练 6 组,组间休息约 1

min。训练约 20 min/次,1 次/天,5 天/周,持续 4 周。观察组在呼吸训练的同时施加 rTMS,具体如下:采用 YRD CCY I 型经颅磁刺激仪,使用“8”字线圈。治疗中患者仰卧,保持头部不动。线圈与头颅相切,其中心置于患侧膈肌运动皮层区域,首次治疗前先测定患者静息运动阈值(motor threshold, MT)。治疗强度设为 90%MT,频率 5 Hz,每个序列刺激 3 s,间隔 6 s,共 2010 个脉冲。rTMS 治疗开始时,治疗师辅助患者调整呼吸进行呼吸训练,呼吸训练方法同对照组,训练时令患者于仪器刺激时吸气,刺激结束即转为呼气,即吸气 3 s,呼气 6 s。两种呼吸方法均 5 次为一组,各训练 6 组,组间休息约 1 min(54 s 或 63 s),组间休息时 rTMS 治疗继续,患者平静自然呼吸。rTMS 每次 20 min,1 次/天,5 天/周,持续 4 周。

【基金项目】江苏省老年健康科研项目(编号:LD2022011);连云港市卫生健康科技项目(编号:QN202401);彭城英才—医学青年后备人才培养项目(编号:XWRCHT20220007)

【通讯作者】周敬杰

1.3 观察指标

1.3.1 膈肌功能 采用飞利浦 CX50 超声仪对患侧膈肌进行超声成像。①膈肌增厚分数^[10] (diaphragmatic thickening fraction, DTF);左右测量方法相同,高频探头置于腋前线第 7~8 或 8~9 肋间,观察到两条强回声线间的低回声部分即为膈肌组织。分别于深呼吸的吸气末和呼气末测量厚度,重复测 3 次,结果取平均值,得到吸气末膈肌厚度(endinspiratory diaphragm thickness, IDT)和呼气末膈肌厚度(endexpiratory diaphragm thickness, EDT)。DTF = [(IDT-EDT)/EDT]×100%。②膈肌移动度^[10] (diaphragm excursion, DE):测右侧时,低频探头置于右锁骨中线和腋前线间的肋缘下,测左侧时,探头置于左腋前线和腋中线间的肋缘下,M 模式下调整 M 线垂直于膈肌。深呼吸时测最高点与最低点的垂直距离即为 DE。重复测 3 次,结果取平均值。

1.3.2 吸气肌功能 采用赛客 X1 肺检测仪,以最大吸气压(maximum inspiratory pressure, MIP)、峰值吸气流速(peak inspiratory flow, PIF)作为吸气肌评价指标。测试前教会患者正确使用仪器,测试时嘱患者将肺内气体尽量呼出后快速深吸气,完成后记

录 MIP、PIF。重复测 3 次,结果取最佳值。

1.3.3 肺通气功能 同样采用赛客 X1 肺检测仪,以用力肺活量(forced vital capacity, FVC)、第一秒用力通气量(forced expiratory volume in 1 second, FEV₁)作为肺通气评价指标。嘱患者吸气至肺总量后快速深呼气,完成后记录 FVC、FEV₁。重复测 3 次,结果取最佳值。

1.3.4 日常生活活动能力^[5] 采用改良 Barthel 指数(modified Barthel index, MBI)进行评估,共 11 项内容,总分 100 分,评分越高,日常生活独立性越强。

1.4 统计学方法 使用 SPSS 26.0 进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差表示,组内比较采用配对样本 *t* 检验,组间比较采用独立样本 *t* 检验;计数资料以例数表示,组间比较采用 χ^2 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组膈肌功能比较 干预前,两组 DTF、DE 比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);干预后,两组 DTF、DE 均增加($P < 0.05$),且观察组高于对照组($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 两组膈肌功能比较

组别	DTF (%)		DE (cm)	
	干预前	干预后	干预前	干预后
对照组($n=24$)	37.10±10.44	44.84±11.59*	2.93±0.62	3.59±0.88*
观察组($n=24$)	36.35±9.66	61.05±14.47*	2.86±0.57	4.47±1.16*
<i>t</i>	0.258	4.283	0.389	2.943
<i>P</i>	0.797	<0.001	0.699	0.005

*与干预前比较, $P < 0.05$

2.2 两组吸气肌功能比较 干预前,两组 MIP、PIF 均增加($P < 0.05$),且观察组高于对照组比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。干预后,两组 MIP、PIF 均增加($P < 0.05$),且观察组高于对照组($P < 0.05$)。见表 3。

表 3 两组吸气肌功能比较

组别	MIP (cmH ₂ O)		PIF (L/s)	
	干预前	干预后	干预前	干预后
对照组($n=24$)	27.13±8.81	36.38±11.50*	1.81±0.59	2.25±0.67*
观察组($n=24$)	26.46±8.35	47.54±11.68*	1.76±0.50	2.95±0.75*
<i>t</i>	0.269	3.339	0.295	3.431
<i>P</i>	0.789	0.002	0.769	0.001

*与干预前比较, $P < 0.05$

2.3 两组肺通气功能比较 干预前,两组 FVC、FEV₁ 均增加($P < 0.05$),且观察组高于对照组比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);干预后,两组 FVC、FEV₁ 均增加($P < 0.05$),且观察组高于对照组($P < 0.05$)。见表 4。

表 4 两组肺通气功能比较 (L)

组别	FVC		FEV ₁	
	干预前	干预后	干预前	干预后
对照组($n=24$)	2.04±0.51	2.43±0.56*	1.51±0.38	1.85±0.43*
观察组($n=24$)	1.95±0.44	2.88±0.67*	1.45±0.35	2.26±0.58*
<i>t</i>	0.657	2.522	0.582	2.763
<i>P</i>	0.515	0.015	0.564	0.008

*与干预前比较, $P < 0.05$

2.4 两组日常生活能力比较 干预前,两组 MBI 评分比较,差异无统计学意义($P>0.05$);干预后,

两组 MBI 评分均增加($P<0.05$),且观察组高于对照组($P<0.05$)。见表 5。

表 5 两组 MBI 评分比较 (分)

组别	干预前	干预后	<i>t</i>	<i>P</i>
对照组(<i>n</i> =24)	37.50±9.40	46.63±11.69	9.925	<0.001
观察组(<i>n</i> =24)	37.04±10.51	57.96±11.15	21.190	<0.001
<i>t</i>	0.159	3.437		
<i>P</i>	0.874	0.001		

3 讨论

脑卒中患者可因原发病灶累及呼吸中枢、破坏神经下行传导通路或中断呼吸细胞群间联系等原因导致中枢性呼吸障碍^[11]。其中,原发性中枢受损引起的膈肌功能障碍是呼吸功能减退的重要原因,在缺血性脑卒中患者中的发生率高达 51.7%^[2]。研究表明,脑卒中患者膈肌厚度显著变薄,尤其见于患侧,同时伴随 MIP 的显著降低^[10]。另有研究发现,脑卒中患者膈肌,特别是患侧膈肌的移动度及增厚分数均明显减低,且这些指标与呼吸功能呈较强相关性^[12]。因此,针对膈肌功能进行训练对于改善脑卒中患者呼吸功能至关重要。

常规呼吸训练是一种外周干预手段,主要通过以对膈肌为主的呼吸肌进行训练,增强呼吸肌群的肌力和耐力,从而改善呼吸功能^[13],已广泛用于脑卒中患者的呼吸康复。本研究中对照组经过 4 周的呼吸训练,其膈肌功能、肺通气及吸气肌功能均较治疗前有所改善,该结果与宋佳莹等^[14]的研究一致。

在呼吸运动中,人体总通气量的 60%~80% 由膈肌舒缩完成^[15]。大脑皮质中分布着许多与呼吸运动相关的细胞群,参与调控膈肌运动^[10]。研究表明,脑卒中患者病损侧半球皮质膈肌运动诱发电位消失或延迟、兴奋性阈值增加,皮质膈肌通路受损,引起脑损伤对侧膈肌功能障碍^[16]。有文献指出,脑卒中患者呼吸肌力量可降至健康同龄人的一半,这种无力主要源于中枢驱动受损所致的皮质运动输出减少,而非肌肉内在病变^[17]。rTMS 是一种无创神经调节技术,通过特定频率和强度的重复脉冲作用于目标脑区,调节皮质兴奋性并诱导神经可塑性^[18]。低频(≤ 1 Hz)抑制皮质兴奋性,而高频(≥ 5 Hz)促进皮质活动^[19]。既往研究表明,高频 rTMS 可易化呼吸相关皮质,增强呼吸皮质脊髓通路兴奋性,从而改变呼吸兴奋性^[20]。磁刺激位于正中中线旁 3 cm,耳平面前 2~3 cm 处的吸气肌皮层代表区中心,可诱发脑对侧膈肌为主的收缩反应^[7]。因此,

本研究于病损侧吸气肌皮层代表区施加高频 rTMS,以期改善膈肌运动。

呼吸中枢驱动受损主要影响吸气肌^[10],其中膈肌作为核心吸气肌,是本研究的干预与监测重点。超声成像是临床评估膈肌结构与功能的可靠手段,可通过测量膈肌厚度、DTF 及 DE 定量反映膈肌功能^[15]。DE 指吸气时膈肌下移的垂直距离,间接反映单次吸气通气量;DTF 反映膈肌收缩能力,是较膈肌厚度更敏感的指标^[21]。研究表明,脑卒中患者患侧膈肌超声指标与肺功能参数(FEV_1 、FVC)显著相关,证实其监测呼吸功能的有效性^[22]。MIP 是评估吸气肌力量最重要的指标,而 PIF 反映吸气肌快速收缩的能力^[23]。因此,本研究特采用超声检查,以 DTF 和 DE 为检测指标客量化膈肌功能,并联合 MIP、PIF、 FEV_1 、FVC 等有效反映吸气肌功能和肺通气功能的参数,以全面评估呼吸功能。

本研究结果显示,观察组患者治疗后的 DE、DTF、MIP、PIF、 FEV_1 及 FVC 均较治疗前显著提升,表明膈肌运动、吸气肌力量及肺通气功能均得到改善。进一步比较发现,治疗后观察组各指标显著优于对照组,该结果说明高频 rTMS 与呼吸训练同步干预更有利于改善患者呼吸功能,效果优于单纯呼吸训练。推测原因可能为 rTMS 作用于膈肌运动皮层,有效增加了受刺激区及邻近皮层的兴奋性,诱导呼吸神经可塑性及呼吸网络功能重组,激活并强化膈肌皮质脊髓通路,从而增强中枢驱动输出,促进膈肌功能恢复^[13, 24, 25]。此外,在同步进行的呼吸训练过程中,受 rTMS 激活的膈肌收缩增强,其运动感觉输入增加,反馈至中枢后进一步增强了脑功能可塑性^[26]。这种中枢调控与外周效应的协同作用,共同驱动了中枢重塑与外周运动控制,进而促进膈肌与呼吸功能恢复。

脑卒中患者的吸气肌力受损与其平衡能力下降和日常生活活动受限显著相关,其日常生活能力在 MIP 正常和非正常患者之间存在统计学差异,康复计划应考虑纳入改善膈肌功能的策略,以

提升整体康复疗效^[4]。既往研究表明,针对脑卒中患者实施的吸气肌训练,在有效提升吸气肌功能的同时,亦有助于改善其日常生活能力^[27]。本研究结果显示,治疗后两组患者的 MBI 评分显著提升,且观察组提升幅度显著高于对照组,说明相较于单纯的呼吸训练,rTMS 同步呼吸训练在改善脑卒中患者日常生活能力方面具有更优越的效果。

综上,rTMS 同步呼吸训练可有效改善脑卒中患者膈肌运动,增强吸气肌肌力,提升呼吸功能,并有助于改善日常生活能力,其效果优于单纯呼吸训练,在临床实践中具有潜在应用价值。

【参考文献】

- [1] 白安娜,蔡缘部,杨文,等. 重复经颅磁刺激通过外泌体促进卒中后运动功能恢复的研究进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2023, 45(4): 363-365.
- [2] Catalá Ripoll JV, Monsalve NJ, Hernández FF. Incidence and predictive factors of diaphragmatic dysfunction in acute stroke[J]. BMC Neurol, 2020, 20(1): 79.
- [3] Liu X, Qu Q, Deng P, et al. Assessment of diaphragm in hemiplegic patients after stroke with ultrasound and its correlation of extremity motor and balance function[J]. Brain Sci, 2022, 12(7): 882.
- [4] Li M, Huang Y, Chen H, et al. Relationship between motor dysfunction, the respiratory muscles and pulmonary function in stroke patients with hemiplegia: a retrospective study[J]. BMC Geriatrics, 2024, 24(1): 59.
- [5] 孙凤宝,曾雅琴,欧阳瑶,等. 低频重复经颅磁刺激联合双侧对称运动训练对脑卒中患者上肢运动功能的效果[J]. 中国康复理论与实践 2023, 29(3): 256-261.
- [6] Cai M, Zhang JL, Wang XJ, et al. Clinical application of repetitive transcranial magnetic stimulation in improving functional impairments poststroke: review of the current evidence and potential challenges [J]. Neurol Sci, 2024, 45(4): 1419-1428.
- [7] Maskill D, Murphy K, Mier A, et al. Motor cortical representation of the diaphragm in man[J]. J Physiol, 1991, 443: 105-121.
- [8] 中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性卒中诊治指南 2023[J]. 中华神经科杂志, 2024, 57(6): 523-559.
- [9] 朱蕾,陈荣昌. 成人肺功能诊断规范中国专家共识[J]. 临床肺科杂志, 2022, 27(7): 973-981.
- [10] 尹爱梅,陆晓. 脑卒中患者膈肌功能及肺功能变化的临床研究[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(10): 1366-1371.
- [11] 朱晓冬,马辉,程焱. 脑梗死患者呼吸中枢驱动和呼吸功能的变化[J]. 中华神经科杂志, 2008, 41(11): 738-741.
- [12] Chen Y, Zhou S, Liao L, et al. Diaphragmatic ultrasound can help evaluate pulmonary dysfunction in patients with stroke[J]. Front Neurol, 2023, 14: 1061003.
- [13] Yoo SD, Park EJ. Assessing the effect of transcranial magnetic stimulation on peak cough flow in patients with supratentorial cerebral infarction: A retrospective cohort study[J]. Medicine, 2023, 102(17): e33689.
- [14] 宋佳莹,苏强,徐磊,等. 渐进抗阻吸气肌训练对脑卒中患者肺功能与膈肌功能影响的临床研究[J]. 中国康复, 2024, 39(8): 465-469.
- [15] Liu X, Yang Y, Jia J. Respiratory muscle ultrasonography evaluation and its clinical application in stroke patients: a review[J]. Frontiers in Neuroscience, 2023, 17: 1132335.
- [16] Khedr EM, El Shinawy O, Khedr T, et al. Assessment of cortico-diaphragmatic pathway and pulmonary function in acute ischemic stroke patients[J]. Eur J Neurol, 2000, 7(5): 509-516.
- [17] Pollock RD, Rafferty GF, Moxham J, et al. Respiratory muscle strength and training in stroke and neurology: a systematic review[J]. Int J Stroke, 2013, 8(2): 124-130.
- [18] Lanza G, Fiscaro F, Cantone M, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation in primary sleep disorders[J]. Sleep Medicine Reviews, 2023, 67: 101-735.
- [19] 徐硕,贾杰. 基于生物学标志物的经颅磁刺激治疗脑卒中作用机制的研究进展[J]. 复旦学报(医学版), 2022, 49(1): 123-129.
- [20] Laviolette L, Niérat MC, Hudson AL, et al. The supplementary motor area exerts a tonic excitatory influence on corticospinal projections to phrenic motoneurons in awake humans[J]. PLoS One, 2013, 8(4): e62258.
- [21] 唐智生. 膈肌功能障碍的超声检测进展[J]. 中国实用医药, 2023, 18(10): 177-180.
- [22] Kilicoglu MS, Yurdakul OV, Celik Y, et al. Investigating the correlation between pulmonary function tests and ultrasonographic diaphragm measurements and the effects of respiratory exercises on these parameters in hemiplegic patients[J]. Top Stroke Rehabil, 2022, 29(3): 218-229.
- [23] 王璐怡,吕雪莹,张玉婷,等. 压力生物反馈核心稳定训练联合吸气肌训练对脑卒中偏瘫患者肺功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2024, 39(4): 577-580.
- [24] Raux M, Xie H, Similowski T, et al. Facilitatory conditioning of the supplementary motor area in humans enhances the corticophrenic responsiveness to transcranial magnetic stimulation[J]. Journal of Applied Physiology, 2010, 108(1): 39-46.
- [25] Niérat MC, Hudson AL, Chaskalovic J, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation over the supplementary motor area modifies breathing pattern in response to inspiratory loading in normal humans[J]. Front Physiol, 2015, 6: 273.
- [26] 林夏妃,吴海霞,史静琴,等. 呼吸肌训练经皮质膈肌通路对缺血性脑卒中患者的作用机制分析[J]. 卒中与神经疾病, 2022, 29(5): 442-447.
- [27] 张玮淞,邢艳丽. 吸气肌力量训练对脑卒中患者吸气肌功能及运动耐力的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(9): 1123-1127.

(收稿日期:2025-09-12;修回日期:2025-10-20)

(本文编辑:侯晓林)