

## • 综 述 •

## 缺血性脑卒中膈肌功能障碍处置策略的研究进展\*

刘 丽<sup>1</sup>综述,舒 彬<sup>1△</sup>审校,晏 宁<sup>2</sup>

(重庆医科大学附属大学城医院:1. 康复中心;2. 神经中心,重庆 401331)

**[摘要]** 缺血性脑卒中是发病率高、致残率高的脑血管疾病。缺血性脑卒中后神经系统损伤部位不同,可出现不同程度的膈肌功能障碍,这不仅影响患者呼吸功能和躯体稳定性,也制约着患者的整体康复进程。根据缺血性脑卒中后不同阶段膈肌功能障碍的特点,选择适宜的康复治疗技术将有效改善膈肌功能,提高肺功能储备和躯体稳定性,为运动功能康复提供基础。该文根据缺血性脑卒中不同时期的临床特点,针对性地综述了膈肌康复相关处置技术的研究进展及各时期的综合应用,以期为临床治疗策略的制定提供参考。

**[关键词]** 缺血性脑卒中; 膈肌功能障碍; 躯体稳定性; 肺功能; 运动功能康复; 处置策略; 综述

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2024.11.028

中图法分类号:R743.3

文章编号:1009-5519(2024)11-1936-05

文献标识码:A

**Research progress on management strategy of diaphragmatic dysfunction after ischemic stroke\***LIU Li<sup>1</sup>, SHU Bin<sup>1△</sup>, YAN Ning<sup>2</sup>

(1. Rehabilitation Center; 2. Nerve Center, University-Town Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 401331, China)

**[Abstract]** Ischemic stroke is a cerebrovascular disease with high incidence and disability rate. After ischemic stroke, different parts of the nervous system injury may lead to different degrees of diaphragmatic dysfunction, which not only affects the respiratory function and physical stability of patients, but also restricts the overall rehabilitation process of patients. According to the characteristics of diaphragmatic dysfunction at different stages after ischemic stroke, selecting appropriate rehabilitation treatment techniques will effectively improve diaphragmatic function, enhance lung function reserve and physical stability, and provide a basis for motor function rehabilitation. According to the clinical characteristics of ischemic stroke in different periods, this paper reviewed the research progress and comprehensive application of diaphragmatic rehabilitation treatment techniques in different periods, in order to provide reference for the formulation of clinical treatment strategies.

**[Key words]** Ischemic stroke; Diaphragmatic dysfunction; Physical stability; Lung function; Motor function rehabilitation; Disposal strategy; Review

在整个呼吸过程中,膈肌功能占 70%,膈肌上下活动每增加 1 cm,增加肺通气量 250~300 mL,膈肌本身较薄,主要由抗疲劳的 I 型慢肌和 II a 型快肌纤维组成,其毛细血管密度、血流速度、线粒体密度和有氧化酶活性及最大氧消耗是一般骨骼肌的 2~6 倍,具有抗疲劳性、恢复速度快的优点,因此膈肌呼吸模式,可以有效提高呼吸效率,改善呼吸功能<sup>[1]</sup>。

缺血性脑卒中常常出现吸气肌功能下降,膈肌变薄,膈肌增厚能力降低,与之相关的临床指标如最大吸气压力(MIP)、吸气峰值流量(PIF)、肺活量(VC)

和吸气肌肉耐力(IME)显著低于健康个体,其中与膈肌相关的主要为 MIP 和 IME<sup>[2]</sup>。膈肌功能障碍的发生机制大致为:原发病引起的呼吸中枢及神经传导损害、继发的呼吸肌无力和膈肌本身的收缩机制紊乱<sup>[3]</sup>。脑卒中患者膈肌功能障碍程度,取决于其病变部位及神经损伤程度,主要表现为膈肌无力、胸廓顺应性降低、肺泡通气不足。若合并肺部疾病,将很大程度上增加患者气管插管及气管切开的概率,机械通气患者出现膈肌功能障碍涉及钙痛、蛋白酶和蛋白酶体的水解增加,以及线粒体电子传递障碍导致活性氧

\* 基金项目:重庆市卫生健康委员会首批公共卫生重点学科(专科)项目(2020MSXM095)。

△ 通信作者, E-mail:shubin1017@163.com。

和氧化应激的增加<sup>[4-5]</sup>。膈肌分隔胸腔和腹腔,通过其收缩活动,影响人体胸膜腔内压和腹腔内压。在中枢神经系统的调控下,膈肌同时发挥维持呼吸和躯体稳定性的功能,脑卒中患者中枢神经系统受损,膈肌功能障碍改变人体腹内压,从而导致患者在动态坐姿、站立和运动时的核心稳定性方面出现障碍<sup>[3]</sup>。有研究结果表明,膈肌相关指数(膈肌厚度、膈肌增厚率、膈肌移动度)与偏瘫侧肢体功能及平衡功能之间呈正相关( $P < 0.05$ )<sup>[2,4-5]</sup>。改善脑卒中患者膈肌功能状态,不仅可增强患者的呼吸功能,而且可提高脑卒中患者的躯体稳定性。

目前,国内外对于脑卒中后膈肌功能障碍的研究集中在评估、诊断及验证康复治疗的有效性,缺乏脑卒中各阶段处置策略综合应用的指南。本文对脑卒中患者膈肌功能障碍处置策略的研究进展进行综述,以期后续指南的撰写提供基础。

## 1 缺血性脑卒中急性期膈肌功能障碍处置策略

缺血性脑卒中急性期脑细胞因缺血、缺氧、水肿引发能量及代谢紊乱,损害神经纤维下行传导通路,中断呼吸中枢间纤维联系,由于卧床、活动量减少等多种因素,出现不同程度膈肌功能障碍,可有咳嗽无力、呼吸频率和节律改变、气道廓清障碍等问题,甚至出现脑卒中相关性肺炎。其治疗的重点是快速再灌注与静脉溶栓和血管内血栓切除,挽救缺血半暗带,降低膈肌功能障碍的发生率。治疗方法如下。

**1.1 药物治疗** 目前,被证实有效的急性缺血性脑卒中早期血管再通的治疗方法主要是静脉阿替普酶(rt-PA)溶栓治疗,发病 4.5 h 内的静脉溶栓有明确获益,且溶栓治疗时间越早,获益越大。脑卒中的恢复取决于神经可塑性,涉及局部发芽、突触发生或仅是加强现有突触的传递<sup>[6]</sup>。经血管再通获益的患者数量极其有限,故探索有效治疗手段迫在眉睫。以星形胶质细胞为主所形成的胶质瘢痕作为缺血性脑卒中的重要病理变化之一,是阻碍脑卒中后期轴突再生和神经修复的主要原因。胶质瘢痕在脑卒中急性期发挥的神经保护作用不可忽视,因此如何选择合适的药物干预时机,以在保持胶质瘢痕发挥保护作用的同时促进局部微环境中的神经再生和修复是今后努力的方向<sup>[7]</sup>。一项神经干/祖细胞移植(NSPCs)治疗缺血性卒中研究证实了其可行性、安全性和有效性<sup>[8]</sup>。干细胞治疗临床前研究方向明确,目前研究表示其疗效有限,需继续优化研究设计及干扰因素<sup>[9]</sup>。脊髓损伤后膈神经保护性药物治疗(盐酸米诺环素、脑源性神经营养因子)已取得一定的临床疗效<sup>[10]</sup>,而脑卒中后此类药物是否对膈肌功能有一定的保护作用尚缺乏相应的临床研究。

**1.2 重复经颅磁刺激(rTMS)** 缺血性脑卒中病情

稳定后尽早使用 rTMS 可最大限度地保留神经功能。其原理是利用磁场透过颅骨作用在脑皮质表面,改变皮质神经细胞膜电位形成微弱的感应电流,刺激脑组织,促使神经网络重建、调节神经递质分泌、维持大脑平衡,以实现康复治疗目的<sup>[12]</sup>。rTMS 被证实可通过调控受影响的神经回路来改善精神疾病和神经性疼痛。然而,人们对 rTMS 促进这些功能效应的机制和特定神经回路知之甚少。有研究结果表明,10 Hz 的单个高频 rTMS 方案增加了由局部 GABA 能“去抑制”介导的膈运动神经元兴奋性。通过了解如何使用 rTMS 非侵入性地影响神经回路,可以开始利用这种神经调节策略的治疗潜力来促进脑卒中后膈肌功能的恢复<sup>[13]</sup>。近红外脑功能成像(fNIRS)可以作为经颅磁刺激治疗时的靶向导航仪精准定位,做到个体化精准康复。经颅磁刺激联合呼吸肌训练(RMT)可有效改善早期偏瘫患者的肺功能,比单纯 RMT 更有效。

**1.3 电刺激疗法** 小脑顶核电刺激(FNS)通过模拟大脑节律,抑制病理性弥散性慢波和局限性尖波、棘波等,缓解脑血管痉挛、狭窄,改善脑循环,启动脑内源性神经保护机制,保护神经肌肉轴功能<sup>[14]</sup>,可通过膈肌肌电图及膈肌运动诱发电位评价皮质脊髓束和膈肌的功能。经颅直流电刺激(tDCS)增强了梗死周围运动皮层中的脑源性神经营养因子表达和树突棘密度,以及运动和躯体感觉皮质之间的功能连接增加<sup>[15]</sup>。有研究结果表明,tDCS 增强脑卒中小鼠模型中的神经可塑性并加速运动恢复<sup>[16]</sup>,其可在一定程度促进膈肌功能的恢复。

**1.4 膨肺技术** 缺血性脑卒中重症患者不可避免使用呼吸机,机械通气后 12~24 h 内可出现膈肌萎缩,发生呼吸机相关性膈肌功能障碍,并随着时间推移而加重,从而延长机械通气时间,甚至出现撤机困难或撤机失败<sup>[4]</sup>。膨肺技术可以用简易球囊或是重新调整呼吸机参数进行。膨肺治疗的主要目的是促进气道分泌物排出,改善氧合和肺的顺应性,尽早脱机恢复呼吸肌做功。其方法通常为缓慢给予 1.5~2 倍的潮气量或使气道峰压达到 40 cm H<sub>2</sub>O(1 cm H<sub>2</sub>O = 0.098 kPa),在吸气末维持吸气暂停,然后迅速呼气。目前临床使用最多的是持续气道正压通气(CPAP),呼气末正压(PEEP)通常调至 30 cm H<sub>2</sub>O,持续 30~40 s,1 d 2~3 次<sup>[17]</sup>。在膨肺开始前,进行雾化吸入,联合震动排痰,膨肺后再进行吸痰处理,临床疗效满意。吸痰困难者可使用床旁支气管镜。此方法可促进炎症因子吸收,改善膈肌功能,提高重症脑卒中患者临床治疗效果。目前,膨肺技术只在重症患者 ICU 住院期间,由有经验的医生进行操作,没有统一的操作标准,且国内使用较少,还需要更多的临床研究来验证<sup>[18-19]</sup>。无创正压通气(NPPV)通过逆转夜间低通

气功能以改善膈肌功能。通气方面的改善与在通气期间减少呼吸肌做功和使膈肌休息有关。NPPV 通过长期降低髓质中的二氧化碳水平和“重置”化学感受器,使动脉血气正常化,提高膈肌增厚分数,改善呼吸驱动和躯干稳定性<sup>[20]</sup>。

**1.5 膈肌营养支持治疗** 缺血性脑卒中膈肌失去神经支配,缺乏神经营养因子滋养,可出现失用性肌力减退,进一步发展将出现膈肌萎缩,因此在原发病治疗同时,营养支持在全程治疗中显得尤其重要。间接测热法(IC)通过预测静息能量消耗(监测淋巴细胞、清蛋白、营养达标率、营养达标时间、膈肌厚度、膈肌运动幅度、前臂围、小腿围等)来指导营养支持治疗,延缓患者膈肌萎缩<sup>[21]</sup>。这类患者建议早期使用足量肠内营养<sup>[22]</sup>,而肠内营养联合补充性肠外营养比单纯肠内营养能更有效地改善膈肌厚度,提高撤机成功率<sup>[23]</sup>。

## 2 缺血性脑卒中恢复期膈肌功能障碍处置策略

脑卒中后恢复期常遗留躯体功能障碍,核心稳定性差,膈肌为人体主要的呼吸肌,受到激活时可提高姿势运动的控制能力,改善步态异常<sup>[3]</sup>。改善患者的膈肌功能,提高肺功能储备,可提高其躯体稳定性,进而维持人体静态与动态平衡,为后期步态控制提供良好的基础。具体方法如下。

**2.1 呼吸肌训练** 呼吸肌训练分肌力和耐力的训练,旨在提高吸气肌或呼气肌收缩力、耐力和速度。目前没有指导具体训练处方的证据,且呼吸训练方式有多种(缩唇呼吸、间歇呼吸、腹式呼吸等),可单独或联合使用,亦可使用阈值负荷训练装置或呼吸肌反馈电刺激进行个体化呼吸训练。膈式呼吸是通过增加膈肌活动范围以提高肺的伸缩性来增加通气量的通气模式。可促进脑卒中患者肺功能及最大呼吸压提高,从而提高肺功能储备,促进其运动功能恢复<sup>[24]</sup>。动态核心姿势链稳定的膈式呼吸训练可帮助恢复期患者改善膈肌功能。操作方法为:患者取仰卧位,调整其胸骨、胸腔和胸腰椎对齐,让其正常自然地呼吸,在自动或潜意识下进行膈式呼吸,保持胸部和脊柱的对齐,要求胸腔第 10~12 肋骨从锁骨中线前向外侧扩张,膈肌下降运动和肋间隙的扩张可激活深部肌肉<sup>[25]</sup>。在训练过程中使用膈肌超声评估,通过测量跨膈压力、膈肌厚度或横膈膜穹顶偏移程度来反映膈肌功能状态<sup>[26]</sup>。

**2.2 气道廓清技术(ACT)** 脑卒中患者咳嗽无力,阻塞性及坠积性肺炎的发生率高。ACT 是应用重力、振动、胸廓挤压等方法改变肺容量、肺部压力和肺气流速,增加气体与痰液间相互作用和纤毛摆动频率,以清除痰液<sup>[2]</sup>。常用的 ACT 包括:主动循环呼吸技术、手动技术、机械装置辅助排痰等。主动循环呼

吸技术:患者肩和上胸部放松,以自己的节律深度放松地呼吸,强调吸气后保持 3~5 s,再安静、放松地呼吸,然后哈气或咳嗽将痰液排出。手动技术:体位引流、肢体结合深呼吸的主动运动、拍背、叩击和振动等。机械方法:高频胸壁压迫、肺内叩击通气、呼气正压和机械吸气-呼气交替。ACT 可单独使用也可联合使用<sup>[2]</sup>,及时清除痰液有助于减少呼吸道并发症,促进膈肌功能恢复。

**2.3 膈肌起搏技术** 缺血性脑卒中膈肌功能障碍是呼吸困难、咳嗽无力和运动耐量下降的主要因素。膈肌失用性萎缩的速度是其他骨骼肌的 8 倍。膈肌起搏是使用低频脉冲电刺激膈神经,使膈肌规律地收缩和舒张,膈肌移动度增加,进而增加通气量,逐步恢复膈肌功能。膈肌起搏包括植入式膈肌起搏(IDP)和体外膈肌起搏(EDP)。脑卒中后脱机困难和气切后拔管困难的,可选择 IDP 提供长期的呼吸支持。目前植入式技术在国外发达国家比较成熟,国内未见使用,国内应用的主要为 EDP。双侧膈神经刺激可通过颈部重复磁刺激实现。新型经皮膈神经电刺激(PEPNS)系统,使用超声导航在颈部膈神经附近经皮插入导联,其可行性和有效性在一项人类、多中心、非随机研究中得到证实<sup>[27]</sup>。EDP 操作方法:刺激电极位于胸锁乳突肌外缘下 1/3 处,参考电极位于锁骨中线与第二肋相交处。于患者吸气相开始刺激,脉冲频率 40 Hz,起搏次数 9 次/分,逐渐增加刺激强度,并根据患者耐受程度进行调整,每天 20 min,每周 6 d,共 2 周<sup>[28]</sup>。NAIR 等<sup>[29]</sup>对小鼠膈神经进行刺激时探测到对侧脑回皮层相应区域的诱发电位,提示膈神经刺激直接起搏膈肌,同时对呼吸中枢产生负反馈、兴奋皮层的呼吸调控。膈肌起搏技术在缺血性脑卒中患者急性期使用,可预防膈肌萎缩,保留部分呼吸功能,对于使用呼吸机患者可提高脱机率和拔管率。恢复期的膈肌起搏可促进患者呼吸功能及躯体稳定性的恢复。

## 3 缺血性脑卒中后遗症期膈肌功能障碍处置策略

缺血性脑卒中后遗症期多指在发病后 1 年以上,患者大多遗留运动、感觉、言语、吞咽、认知等功能障碍。膈肌功能状态影响患者呼吸及运动功能,而脑梗死部位和程度不同,膈肌功能障碍个体差异明显,通过膈肌超声和膈肌肌电图评估后以个体化治疗方案为主。目前,临床上一般采用中西医结合、针灸及康复训练等综合治疗来提高患者的整体康复效果。

中药方剂通过辨证用药,针对不同体质调节身体机能,常用的益气活血化瘀方可改善神经功能,针灸、八段锦等传统功法治疗可改善肢体功能的神经传导,提高协调及运动能力<sup>[30]</sup>。有研究发现,熟地黄-山茱萸在缺血性脑卒中后遗症期起到促神经干细胞增殖、

调节炎症因子等作用<sup>[31]</sup>。神经调控技术利用磁、电、超声等物理因子调节中枢神经及外周神经的兴奋性,促进功能障碍的恢复。电针联合膈肌起搏技术可提高缺血性脑卒中膈肌功能障碍患者的肺功能,改善其日常生活能力<sup>[32]</sup>,其后遗症期治疗主要方式为个体化康复治疗技术的综合应用(包括原发灶区域的神经调控、膈肌起搏技术、呼吸肌训练、针灸、中药方剂等)。

#### 4 小结与展望

缺血性脑卒中急性期尽早血管再通,挽救缺血半暗带可减轻神经损伤,针对脑卒中早期的神经保护性药物的临床研究是否有效,目前尚缺乏文献报道。待病情稳定后及早使用经颅磁或电刺激疗法可改善脑循环,最大限度地保留神经-肌肉轴完整性,恢复膈肌功能。膈肌是躯干肌之一,吸气肌训练可增加其肌肉耐力和力量,经颅磁刺激联合呼吸肌训练可提高早期缺血性脑卒中患者的肺功能,而恢复期脑卒中患者的膈肌强化训练可提高其运动能力。膈肌强化训练的方式包括呼吸肌训练、膈肌起搏技术、气道廓清技术中的主动呼吸循环技术、膈式呼吸技术、膨肺技术等。其中被动训练技术中膨肺技术要求医生经验丰富,能够根据突发的病情变化及时作出正确的反应,同时要求调节呼吸机参数时患者有一定的配合度,部分认知功能受损患者不能使用该技术。膈肌起搏技术适用于膈肌功能障碍较严重的患者,对于需要提高膈肌功能和躯体稳定性的患者亦适用,该技术不受其认知功能限制,对于脱机困难和拔管困难患者尤其适合。主动训练技术中的呼吸肌训练、膈式呼吸技术、主动呼吸循环技术在缺血性脑卒中患者康复训练全程均可受益,可根据患者情况单独使用或联合使用。后遗症期治疗主要为原发灶区域的神经调控、膈肌起搏技术、呼吸肌训练、针灸、中药方剂等综合应用。缺血性脑卒中膈肌康复治疗全程进行营养支持尤其重要,早期建议使用足量肠内营养,而肠内营养联合补充性肠外营养比单纯肠内营养能更有效地改善膈肌厚度。

目前,缺血性脑卒中不同时间段膈肌功能障碍的评估、诊断及康复治疗还缺乏统一标准,如何规范化处理缺血性脑卒中后膈肌功能障碍是未来研究的重点。

#### 参考文献

- [1] 黄伟,张永利. 机械通气患者膈肌功能的评价与应用[J]. 中国急救医学, 2018, 38(12): 1113-1117.
- [2] KIM M, LEE K, CHO J, et al. Diaphragm thickness and inspiratory muscle functions in chronic stroke patients[J]. Med Sci Monit, 2017, 23: 1247-1253.
- [3] 王璐,陆晓. 脑卒中患者肺功能障碍康复研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33(6): 730-734.
- [4] 王晓蕾,苏剑清,汪伍,等. 呼吸肌训练改善脑卒中病人躯干稳定性的应用进展[J]. 实用老年医学, 2023, 37(7): 728-731.
- [5] LEE K, PARK D, LEE G C. Progressive respiratory muscle training for improving trunk stability in chronic stroke survivors: A pilot randomized controlled trial[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2019, 28(5): 1200-1211.
- [6] FESKE S K. Ischemic stroke[J]. Am J Med, 2021, 134(12): 1457-1464.
- [7] 杨婷,丁智斌,江楠,等. 星形胶质细胞调节缺血性脑卒中的胶质瘢痕形成[J]. 中国组织工程研究, 2024, 28(1): 131-138.
- [8] HUANG HL, QIAN K, HAN X H, et al. Intraparenchymal neural stem/progenitor cell transplantation for ischemic stroke animals: A meta-analysis and systematic review[J]. Stem Cells Int, 2018, 2018: 4826407.
- [9] ZHANG M. Preclinical studies on neural stem/progenitor cell therapy for ischemic stroke: A systematic review[J]. Curr Stem Cell Res Ther, 2023, 18(3): 380-390.
- [10] GHOSH B, NONG J, WANG Z C, et al. A hydrogel engineered to deliver minocycline locally to the injured cervical spinal cord protects respiratory neural circuitry and preserves diaphragm function[J]. Neurobiol Dis, 2019, 127: 591-604.
- [11] CHARASAR B A, BRINTON M A, LOCKE K, et al. AAV2-BDNF promotes respiratory axon plasticity and recovery of diaphragm function following spinal cord injury [J]. FASEB J, 2019, 33(12): 13775-13793.
- [12] BAI Z F, ZHANG J Q, FONG K N K. Effects of transcranial magnetic stimulation in modulating cortical excitability in patients with stroke: A systematic review and meta-analysis [J]. J Neuroeng Rehabil, 2022, 19(1): 24.
- [13] WELCH J F, ARGENTO P J, MITCHELL G S, et al. Reliability of diaphragmatic motor-evoked potentials induced by transcranial magnetic stimulation[J]. J Appl Physiol, 2020, 129(6): 1393-1404.
- [14] 刘婧,刘子渤,李红玲. 小脑顶核电刺激技术在

- 神经系统疾病中的临床应用进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2022, 44(11): 1048-1051.
- [15] GOH H T, CHAN H Y, ABDUL-LATIF L. Aftereffects of 2 noninvasive brain stimulation techniques on corticospinal excitability in persons with chronic stroke: A pilot study[J]. J Neurol Phys Ther, 2015, 39(1): 15-22.
- [16] LONGO V, BARBATI S A, RE A, et al. Transcranial direct current stimulation enhances neuroplasticity and accelerates motor recovery in a stroke mouse model[J]. Stroke, 2022, 53(5): 1746-1758.
- [17] 刘大为. 实用重症医学[M]. 2 版. 北京: 人民卫生出版社, 2017: 182.
- [18] MARTINEZ B P, LOBO L L, DE QUEIROZ R S, et al. Effects of ventilator hyperinflation on pulmonary function and secretion clearance in adults receiving mechanical ventilation: A systematic review with meta-analysis[J]. Heart Lung, 2022, 56: 8-23.
- [19] 崔少帅, 王靓, 陈云霞, 等. 胸部电阻抗成像评估呼吸机肺膨与复苏球囊膨肺肺泡复张效果的差异[J]. 中国呼吸与危重监护杂志, 2021, 20(2): 132-135.
- [20] MCCOOL F D, MANZOOR K, MINAMI T. Disorders of the diaphragm [J]. Clin Chest Med, 2018, 39(2): 345-360.
- [21] 恽文恺, 林兆奋. 间接测热法的临床应用进展[J]. 中国急救医学, 2019, 39(2): 188-191.
- [22] 张华东, 蔡佳吟, 陈卫挺, 等. 肠内营养量对慢性阻塞性肺疾病急性加重机械通气患者膈肌厚度及预后的影响[J]. 中国中西医结合急救杂志, 2019, 26(1): 83-87.
- [23] 杨奎, 韦正祥, 李明新, 等. 不同营养支持方式对神经重症疾病患者膈肌厚度及预后的影响[J/CD]. 中华危重症医学杂志(电子版), 2022, 15(3): 215-219.
- [24] SHETTY N, SAMUEL S R, ALAPARTHI G K, et al. Comparison of diaphragmatic breathing exercises, volume, and flow-oriented incentive spirometry on respiratory function in stroke subjects: A non-randomized study[J]. Ann Neurosci, 2020, 27(3/4): 232-241.
- [25] YOON H S, CHA Y J, YOU J S H. Effects of dynamic core-postural chain stabilization on diaphragm movement, abdominal muscle thickness, and postural control in patients with subacute stroke: A randomized control trial[J]. Neuro Rehabilitation, 2020, 46(3): 381-389.
- [26] VETRUGNO L, GUADAGNIN G M, BARBARIOL F, et al. Ultrasound imaging for diaphragm dysfunction: A narrative literature review[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2019, 33(9): 2525-2536.
- [27] SOTÁK M, ROUBÍK K, HENLÍN T, et al. Phrenic nerve stimulation prevents diaphragm atrophy in patients with respiratory failure on mechanical ventilation [J]. BMC Pulm Med, 2021, 21(1): 314.
- [28] 乔魏, 刘苏, 王莹, 等. 体外膈肌起搏治疗联合腹肌电刺激对脑卒中患者呼吸功能的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2023, 29(1): 104-109.
- [29] NAIR J, STREETER K A, TURNER S M F, et al. Anatomy and physiology of phrenic afferent neurons [J]. J Neurophysiol, 2017, 118(6): 2975-2990.
- [30] 中医康复临床实践指南·缺血性脑卒中。(脑梗死)制定工作组, 章薇, 娄必丹, 等. 中医康复临床实践指南·缺血性脑卒中(脑梗死)[J]. 康复学报, 2021, 31(6): 437-447.
- [31] 王瀚泽, 高歌, 杨芊芊, 等. 基于网络药理学技术探讨熟地黄-山茱萸药对在缺血性脑卒中后遗症期的治疗机制研究[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(24): 6020-6027.
- [32] 陈秋菊, 刘悦, 田玉晴, 等. 电针联合膈肌起搏器对中风后呼吸功能障碍患者肺功能、膈肌功能和日常生活能力的影响[J/OL]. 中华中医药学刊, 1-12[2024-05-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1546.r.20230915.1509.042.html>.

(收稿日期: 2023-08-22 修回日期: 2024-03-29)