· 临床研究 ·

吸气肌训练对亚急性脑卒中患者肺功能及膈肌运动的影响

王璐[1]　程怡慧[1]　张秀[1]　刘琳琳[2]　陆晓[1,3]

[1]南京医科大学第一附属医院康复医学科，南京　210000；[2]潍坊市中医院康复医学科，潍坊　261000；[3]江苏盛泽医院康复医学科，苏州　215000

通信作者：陆晓，Email：luxiao1972@163.com

【摘要】 **目的**　探讨吸气肌训练对亚急性脑卒中患者肺功能及膈肌运动的影响。**方法**　选取本院康复医学中心收治的亚急性脑卒中患者 30 例，按随机数字表法分为对照组和观察组。由于患者原因，有 6 例患者退出（其中对照组 3 例，观察组 3 例），最终有 24 例患者完成本研究，每组 12 例。2 组患者根据功能障碍情况均接受相应的常规康复训练，观察组在此基础上增加吸气肌训练，每日 1 次，每次 20 min，每周 5 d，共训练 4 周。分别于治疗前和治疗 4 周后（治疗后），对 2 组患者采用用力肺活量（FVC）、一秒用力呼气容积（FEV1）和呼气流量峰值（PEF）占预计值百分比评估肺通气功能，采用最大吸气压（MIP）和吸气峰流速（PIF）评估吸气肌功能，通过超声测量患者膈肌移动度以及吸气末膈肌厚度（DTei）和呼气末膈肌厚度（DTee），并计算膈肌增厚率（DTF），分析比较 2 组患者肺部感染发生率。**结果**　治疗前，2 组患者的 FVC、FEV1、PEF、MIP 和 PIF 以及深呼吸时患侧膈肌移动度和隔肌厚度组间比较，差异均无统计学意义（$P>0.05$）。治疗后，观察组患者的各观测指标［FVC（84.67±15.97）%、FEV1（79.08±11.46）%、MIP（63.77±23.50）cmH_2O、PIF（3.55±1.38）L/s、膈肌移动度（4.80±1.42）cm、DTei（0.59±0.15）cm、DTF（97.29±46.11）%］均较组内治疗前［FVC（57.42±17.84）%、FEV1（56.00±19.16）%、MIP（39.33±18.86 cmH_2O、PIF（1.87±0.85）L/s 及（3.14±1.24）cm、（0.42±0.10）cm、（54.79±31.38）%］和对照组治疗后［FVC（67.75±22.26）%、FEV1（66.08±17.95）%、MIP（41.73±20.67）cmH_2O、PIF（2.32±1.27）L/s 及（3.29±1.09）cm、（0.47±0.11）cm、（49.97±44.57）%］有显著提高（$P<0.05$）。但 2 组患者治疗后的 PEF、DTee、肺部感染发生率等组间比较，差异均无统计学意义（$P>0.05$）。**结论**　吸气肌训练能有效改善亚急性脑卒中患者的肺通气功能、吸气肌功能、膈肌移动度及收缩时膈肌厚度。

【关键词】 脑卒中；　吸气肌训练；　肺功能；　膈肌

DOI：10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.11.006

The effect of inspiratory muscle training on pulmonary function and diaphragm movement after stroke

Wang Lu[1], Cheng Yihui[1], Zhang Xiu[1], Liu Linlin[2], Lu Xiao[1,3]

[1]Department of Rehabilitation Medicine, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, China; [2]Department of Rehabilitation Medicine, Weifang Traditional Chinese Hospital, Weifang 261000, China; [3]Department of Rehabilitation Medicine, Jiangsu Shengze Hospital, Suzhou 215000, China

Corresponding author: Lu Xiao, Email: luxiao1972@163.com

【**Abstract**】 **Objective**　To investigate the effect of inspiratory muscle training on the lung function and diaphragm movement of stroke survivors. **Methods**　Twenty-four stroke survivors were randomly divided into a control group and an experimental group. Both groups were given routine rehabilitation therapy, while the experimental group was additionally provided with 20 minutes of inspiratory muscle training, 5 times per week for 4 weeks. Before and after the treatment, the forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in one second (FEV1) and peak expiratory flow (PEF) expressed as percentages of the predicted values were used to assess ventilation. The maximum inspiratory pressure (MIP) and peak inspiratory flow (PIF) were used to assess inspiratory muscle function. Diaphragm mobility, as well as the diaphragm's thickness at the end of expiration (DTee) and inspiration (DTei) and the diaphragm thickening fraction (DTF) were measured using ultrasonography. Any pulmonary infection was also recorded. **Results**　There was no significant difference between the two groups in any of the measurements before treatment. After the intervention the average FVC, FEV1, MIP, PIF, diaphragm mobility, DTei and DTF of the experimental group were all significantly better than before treatment and significantly better than the control group's averages. However, no significant difference was found in the average PEF or DTee, nor in the rate of pulmonary infection between the two groups. **Conclusion**　Inspiratory muscle training can effectively improve

ventilation, inspiratory muscle function, diaphragm mobility and diaphragm thickness at the end of inspiration among stroke survivors.

【**Key words**】 Stroke; Inspiratory muscles; Breathing training; Lung function; Diaphragm

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.11.006

脑卒中是全球第二大死亡原因和首要致残原因[1],除影响肢体运动功能外,还会影响呼吸功能,导致包括膈肌在内的呼吸肌无力。卒中后呼吸肌无力导致呼吸模式异常和肺功能下降,也使运动耐力下降,影响患者的康复效果[2]。因此,脑卒中的康复方案不仅要关注肢体功能,还要关注到呼吸功能。

吸气肌训练(inspiratory muscle training)是一种通过对以膈肌为主的吸气肌施加负荷来提高肌肉力量和耐力的训练方式,在肺康复临床中已应用 30 余年[3],主要应用于慢性阻塞性肺疾病[4]、心力衰竭[5]、重症肌无力[6]等疾病的康复。近年来,越来越多的研究开始关注吸气肌训练在脑卒中功能恢复中的应用,但临床数据仍然有限,关于吸气肌训练对脑卒中患者膈肌运动幅度和厚度变化的影响亦罕见报道。为此,本研究旨在探讨吸气肌训练对亚急性脑卒中患者肺功能及膈肌运动的影响,以期为我国脑卒中患者肺康复的推广提供临床依据。

资料与方法

一、患者临床资料及分组

入选标准:①符合 1995 年全国第 4 届脑血管疾病学术会议制订的脑卒中诊断标准[?],并经 CT 或 MRI 检查证实;②年龄患者≥18 岁;③首次脑卒中发作,并伴有单侧肢体瘫痪;④生命体征稳定,病程≤2 个月(亚急性期);⑤简易精神状态检查评分≥24 分,能够理解并遵循指令;⑥患者或家属签署知情同意书。

排除标准:①CT 扫描示有颅内压增高的迹象;②血压控制不稳定,出现 3 次及以上血压高于 180/100 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa);③气管插管或气管切开患者;④近 3 个月内发生心肌梗死、心绞痛或急性心力衰竭等;⑤并发呼吸系统疾病(肺部感染、慢性阻塞性肺疾病、肺纤维化等)及其它导致呼吸肌损害的疾病(重症肌无力、格林巴利综合征等)。

选取 2018 年 3 月至 2019 年 1 月南京医科大学第一附属医院康复医学中心住院收治并符合上述标准的亚急性脑卒中患者 30 例,按随机数字表法分为对照组和观察组,每组 15 例。治疗过程中共有 6 例患者(观察组 3 例,对照组 3 例)因提前出院,不满足治疗周期退出研究,最终共有 24 例患者(观察组 12 例,对照组 12 例)完成本研究。2 组患者的性别、年龄、身高、体重、身体质量指数(body mass index, BMI)、平均病程、受累肢体、脑卒中类型、吸烟史等一般临床资料经统计学分析比较,差异均无统计学意义(P>0.05),具有可比性,详见表 1。本研究获南京南医科大学第一附属医院医学伦理委员会审核批准(批准文号 2018-SR-339)。

二、治疗方法

2 组患者根据功能障碍情况均接受相应的常规康复训练,观察组在此基础上增加吸气肌训练。具体训练方法如下。

1. 常规康复训练:包括关节活动度训练、肌力训练、平衡训练、步行训练、物理因子治疗、日常生活活动训练等。①关节活动度练习——在治疗师的指导下被动和主动活动关节,保持关节和组织的最大活动范围,15~20 min/次,1 次/日;②肌力训练——采用徒手或器械辅助肌力训练,提高肢体及躯干力量,30 min/次,1 次/日;③平衡功能训练——引导患者进行静态或动态平衡功能训练,10~15 min/次,1 次/日;④步行训练——采用辅助或独立步行训练,10~15 min/次,1 次/日;⑤物理因子治疗——神经肌肉电刺激治疗,20 min/次,1 次/日;⑥作业疗法——指导患者翻身、床椅转移、轮椅转移等活动,提高日常生活活动能力,20 min/次,1 次/日,上述训练每周 5 d,共训练 4 周。

2.吸气肌训练:在治疗师的指导下,采用阈值压

表 1　2 组患者的一般临床资料

组别	例数	性别(例)		平均年龄(岁,$\bar{x}\pm s$)	平均身高(cm,$\bar{x}\pm s$)	平均体重(kg,$\bar{x}\pm s$)	BMI(kg/m^2,$\bar{x}\pm s$)
		男	女				
对照组	12	9	3	64.25±14.01	167.16±8.56	63.00±9.27	22.57±2.10
观察组	12	7	5	57.83±12.62	165.00±7.07	65.83±10.33	24.10±2.76

组别	例数	平均病程(d,$\bar{x}\pm s$)	受累肢体(例)		卒中类型(例)		吸烟(例)	
			左	右	脑出血	脑梗死	是	否
对照组	12	40.08±25.98	3	9	2	10	5	7
观察组	12	48.25±15.74	8	4	7	5	7	5

力负荷训练法,受试者使用 Breathe-Link 呼吸功能评估与训练系统(PowerBreathe K5 型,英国 HaB 国际公司)进行抗阻力训练。所有患者取坐位或站立位,通过连接一个吸气滤嘴经嘴呼吸, 呼吸的过程中要求患者快速用力吸气至最大肺容量,然后拿开吹嘴缓慢吐气,每一次吐气维持在 6 s 左右,防止过度通气而出现头晕、呼吸困难等症状。开始的训练强度以 30%的最大吸气压(maximum inspiratory pressure,MIP)为阈值阻力进行,每周由治疗师重新评估 MIP 值从而相应调整阻力水平,训练强度每周逐渐增加 5%~10% MIP,最高达到60% MIP[7],每组 10 次,共 3 组,每组间休息 2 min。休息期间,指导患者进行缩唇呼吸与腹式呼吸,患者闭口经鼻吸气,吸气时使腹部膨隆,呼气时腹部收缩,口唇缩拢呈吹口哨状,缓慢将气体呼出。上述吸气肌训练每日 20 min,每周 5 d,共训练 4 周。

三、评估指标

分别于治疗前和治疗 4 周后(治疗后),对 2 组患者的肺通气功能、吸气肌功能及膈肌功能进行评估,并对 2 组患者治疗后的肺部感染例数进行统计和比较。所有超声测量均由同一位经验丰富的研究人员双盲完成,具体方法如下。

1. 肺通气功能评估:采用 Spirolab Ⅲ型肺功能测试仪(意大利 MIR SRL 公司)对患者进行评估,记录用力肺活量(forced vital capacity,FVC)、第 1 秒用力呼气量(forced expiratory volume in one second,FEV1)和呼气流量峰值(peak expiratory flow,PEF)占预计值百分比(%)。反复测量 3 次以上,取最佳值进行分析。

2. 吸气肌功能评估:使用 Breathe-Link 评估[8] MIP、吸气峰流速(peak inspiratory flow,PIF),嘱患者最大吸气 10 次,取最佳测量值。

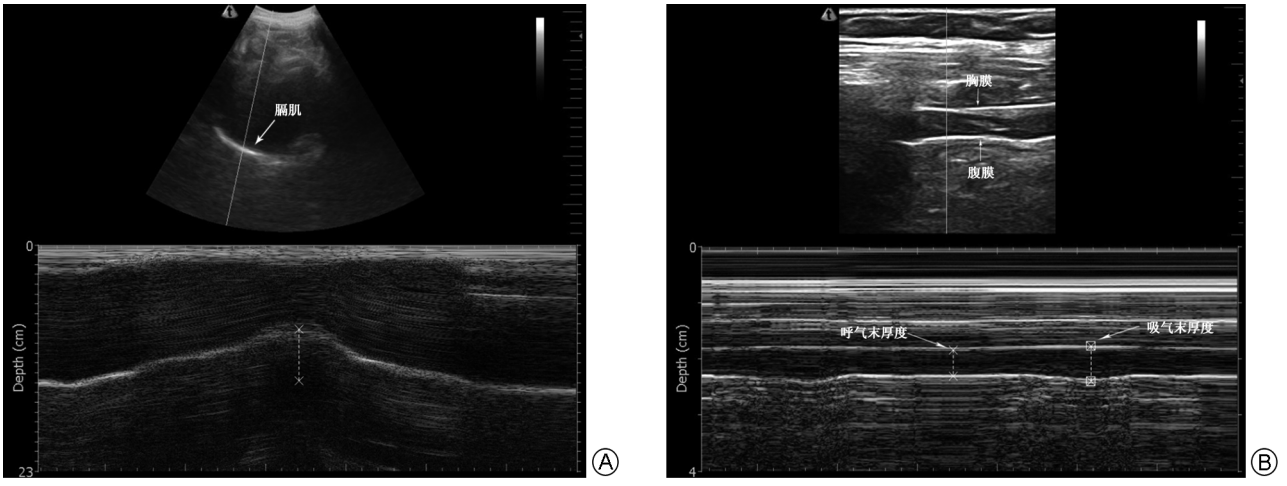
3. 膈肌功能评估:采用 USmart3200T 便携式彩色超声系统(Teratech 公司,美国)完成超声测量。①膈肌移动度——受试者呈仰卧位,将低频超声探头置于受累侧锁骨中线的前肋下区域,调整探头方向,在 2D 模式下使曲样线垂直于膈肌项弧,并切换至 M 型超声模式探测膈肌运动幅度,取同一次呼吸周期内膈肌运动最大和最小处之间的距离计为膈肌移动度[9],反复测量 3 次,取其平均值(见图 1A);②膈肌厚度——受试者呈仰卧位,将高频超声探头置于腋窝中线与 8~9 肋间或 9~10 肋间交界处,旋转探头使其与肋间隙平行,直至出现两条平行的高回声线,分别为壁层胸膜和腹膜,两线之间的低回声部分即为膈肌,转换为 M 型超声,使采样线位于膈肌移动范围内,嘱患者深呼吸,待图像稳定清晰后将其冻结,取每个呼吸周期的最大值和最小值,分别作为吸气末膈肌厚度(diaphragm thickness at end-inspiration,DTei)和呼气末膈肌厚度(diaphragm thickness at end-expiration,DTee),记录连续 3 个呼吸周期的数值,取其均值(见图 1B),并计算膈肌增厚率(diaphragm thickening fraction,DTF),其公式为 DTF=(DTei−DTee)/DTee×100%[10]。

四、统计学方法

使用 SPSS 22.0 版统计软件对所得数据进行统计学分析处理,对于符合正态分布的计量资料采用($\bar{x}\pm s$)表示,治疗前后的组内均数比较使用配对样本 t 检验,组间均数比较使用独立样本 t 检验;而计数资料采用 Fisher 确切概率法,统计分析采用双侧检验,$P<0.05$认为差异有统计学意义。

结　　果

一、肺通气功能及吸气肌功能的比较



注:图 A 为测量膈肌移动度;图 B 为测量膈肌厚度

图 1　膈肌测量的 M 型超声图

治疗前,2 组患者各项肺通气功能及吸气肌功能指标组间比较,差异均无统计学意义(P>0.05)。观察组患者治疗后的 FVC、FEV1、PEF、MIP 和 PIF 均较组内治疗前明显提高(P<0.05),而对照组患者上述指标均无明显改善(P>0.05)。治疗后组间比较,观察组患者的 FVC、FEV1、MIP 和 PIF 较对照组亦有明显提高(P<0.05),而 2 组患者治疗后的 PEF 组间差异无统计学意义(P>0.05),详见表 2。

二、膈肌移动度及膈肌厚度的比较

治疗前,2 组患者深呼吸时患侧膈肌移动度和厚度组间比较,差异均无统计学意义(P>0.05)。观察组治疗后的膈肌移动度、DTei 和 DTF 均较组内治疗前明显提高(P<0.05),而对照组仅 DTei 较组内治疗前明显提高(P<0.05)。治疗后,观察组患者的膈肌移动度、DTei 和 DTF 均高于对照组(P<0.05),详见表 3。

三、肺部感染率的比较

对照组患者训练 4 周后,有 3 例(3/12)患者发生肺部感染,观察组未发生肺部感染,但 2 组肺部感染率组间差异并无统计学意义(P>0.05)。

讨　论

呼吸肌力量下降与活动受限、呼吸系统并发症等有关,对脑卒中患者进行呼吸训练提高肺功能是合理且必要的。吸气肌训练是呼吸训练的一种,主要锻炼以膈肌为主的具有吸气功能的肌肉,患者被要求针对外部负荷进行重复的吸气练习,以增强其肌力和耐力[11]。本研究结果显示,观察组患者经吸气肌训练后,其 FVC 和 FEV1 均较治疗前显著改善,且明显优于对照组,提示 4 周的吸气肌训练可明显改善肺通气功能,与以往研究结果基本一致[12-13]。PEF 可反应呼气肌快速收缩、克服阻力的能力;本研究中,观察组治疗后的 PEF 亦较治疗前明显改善,而对照组的 PEF 改善不明显,说明吸气肌训练可在一定程度上改善亚急性脑卒中患者呼气肌功能;2 组患者治疗后的 PEF 差异不明显(P>0.05),其原因可能是样本量小,不足以引起统计学差异,对此需要后续进一步的大样本观察。

MIP 代表吸气肌的最大强度,是评价吸气肌力量最重要的指标;PIF 反应吸气肌快速收缩、克服阻力的能力,以及呼吸系统的弹性[14]。本研究结果显示,观察组患者治疗后的 MIP 和 PIF 均较组内治疗前及对照组明显提高,说明吸气肌训练可有效提高亚急性脑卒中患者的吸气肌力量。吸气肌的肌力训练与其它部位肌力训练一样,均需最适合的阻力负荷才能达最佳的训练效果[15]。Breathe-Link 训练系统可根据呼吸肌强度变化调节吸气阻力大小,使吸气过程中吸气肌一直维持在最佳阻力训练状态,因而能更好地提高吸气肌力量。

膈肌是人体最主要的吸气肌,主导人体 60%~75%的通气需要,膈肌每升高 1 cm 可增加 250~300 ml 的肺通气量[16],故提高膈肌功能对改善脑卒中患者肺功能意义重大。目前评价膈肌功能的方法主要有超声、经颅磁刺激、CT 和膈肌力学等[17],其中床旁超声可无创、实时、准确地提供膈肌图像来评价膈肌功能,故本研究通过床旁超声测量膈肌运动幅度及厚度来评估吸气肌训练对亚急性脑卒中患者膈肌功能的影响。研究显示,观察组患者深呼吸时患侧膈肌移动度为

表 2　2 组患者治疗前后肺通气功能及吸气肌功能比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	肺通气功能			吸气肌功能	
		FVC(%预计值)	FEV1(%预计值)	PEF(%预计值)	MIP(cmH_2O)	PIF(L/s)
对照组						
治疗前	12	61.58±29.51	58.69±26.50	44.75±31.86	36.11±23.34	1.95±1.42
治疗后	12	67.75±22.26	66.08±17.95	48.00±21.25	41.73±20.67	2.32±1.27
观察组						
治疗前	12	57.42±17.84	56.00±19.16	36.25±15.81	39.33±18.86	1.87±0.85
治疗后	12	84.67±15.97[ab]	79.08±11.46[ab]	54.42±16.03[a]	63.77±23.50[ab]	3.55±1.38[ab]

注:与组内治疗前比较,[a]P<0.05;与对照组治疗后比较,[b]P<0.05;表中 1 cmH_2O=0.098 kPa

表 3　2 组患者治疗前后深呼吸时患侧膈肌移动度及厚度的比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	膈肌移动度(cm)	DTei(cm)	DTee(cm)	DTF(%)
对照组					
治疗前	12	2.67±1.17	0.41±0.08	0.29±0.02	40.59±23.23
治疗后	12	3.29±1.09	0.47±0.11[a]	0.32±0.07	49.97±44.57
观察组					
治疗前	12	3.14±1.24	0.42±0.10	0.28±0.08	54.79±31.38
治疗后	12	4.80±1.42[ab]	0.59±0.15[ab]	0.30±0.05	97.29±46.11[ab]

注:与组内治疗前比较,[a]P<0.05;与对照组治疗后比较,[b]P<0.05

(4.80±1.42)cm,明显优于治疗前($P<0.05$),且治疗后两组间比较差异有统计学意义($P<0.05$),膈肌移动度可反应膈肌收缩功能,说明 4 周的吸气肌训练可明显提高亚急性脑卒中患者深呼吸时患侧膈肌收缩功能。

膈肌厚度及增厚率的测量可反映患者真实的膈肌力量,其原理与心脏的"射血分数"类似[18]。本研究结果显示,吸气肌训练可明显改善吸气时膈肌厚度和膈肌增厚率,而对呼气舒张时的膈肌厚度无显著改善。这与 Cho 等[19]的结果一致,在他们的研究中,对 30 例脑卒中患者进行了吸气肌训练,发现训练组与对照组相比显著提高了患侧的 DTei,而 DTee 没有显著性差异。呼吸肌同其它骨骼肌一样,当负荷过重时,肌纤维结构会发生适应性变化[20]。吸气肌训练时吸气肌肌力增加,即吸气肌收缩时力量增大,本质上可能是由于收缩时膈肌厚度增加导致。

综上所述,吸气肌训练能够有效地改善亚急性脑卒中患者肺通气功能、吸气肌功能、膈肌移动度及收缩时厚度,且此方法简单易行,效果显著,患者接受程度高,具有重要的临床意义。但本研究也存在一定的局限性:首先,呼吸训练的时间一般为 6~12 周,而本研究所用时间为 4 周,尚未进行长期随访,一定程度上影响了结果的有效性和准确性;其次,本研究发现观察组脑卒中患者的肺部感染发生率低于对照组,但 2 组间差异并无统计学意义,其原因可能与样本量偏小有关,故本课题组将在后续研究中扩大样本量,完善实验设计,从而获取更准确的结果。

参 考 文 献

[1] Mozaffarian D, Benjamin EJ, Go AS, et al. Heart disease and stroke statistics-2015 update: a report from the American Heart Association [J]. Circulation, 2015, 131 (4): e29-322. DOI: 10. 1161/CIR. 0000000000000152.

[2] Teixeira-Salmela LF, Parreira VF, Britto RR, et al. Respiratory pressures and thoracoabdominal motion in community-dwelling chronic stroke survivors[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2005, 86 (10): 1974-1978. DOI: 10.1016/j.apmr.2005.03.035.

[3] 郭佳宝,朱毅.吸气肌训练的临床研究进展[J].中国康复医学杂志,2014,29(9):888-892. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2014.09.023.

[4] Reid WD, Samrai B. Respiratory muscle training for patients with chronic obstructive pulmonary disease[J]. Phys Ther, 1995, 75(11): 996-1005. DOI: 10.1093/ptj/75.11.996.

[5] DallAgo P, Chiappa GR, Guths H, et al. Inspiratory muscle training in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness: a randomized trial[J]. J Am Coll Cardiol, 2006, 47(4): 757-763. DOI: 10. 1016/j.jacc.2005.09.052.

[?] 中华神经科学会,中华神经外科学会.各类脑血管疾病诊断要点[J].中华神经科杂志,1996,29(6):379-380.

[6] Fregonezi GA, Resqueti VR, Guell R, et al. Effects of 8-week, interval-based inspiratory muscle training and breathing retraining in patients with generalized myasthenia gravis[J]. Chest, 2005, 128(3): 1524-1530. DOI: 10.1378/chest.128.3.1524.

[7] Gomes-Neto M, Saquetto MB, Silva CM, et al. Effects of respiratory muscle training on respiratory function, respiratory muscle strength, and exercise tolerance in patients poststroke: a systematic review with meta-analysis[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2016, 97 (11): 1994-2001. DOI: 10.1016/j.apmr.2016.04.018.

[8] 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. DOI: 10.12659/MSM.900529.

[9] Jung KJ, Park JY, Hwang DW, et al. Ultrasonographic diaphragmatic motion analysis and its correlation with pulmonary function in hemiplegic stroke patients[J]. Ann Rehabil Med, 2014, 38(1): 29-37. DOI: 10.5535/arm.2014.38.1.29.

[10] 刘敏,王兆,笪苗,等.AECOPD 机械通气患者膈肌超声监测下吸气肌锻炼研究[J].护理学杂志,2018,33(19):18-21. DOI:10. 3870/j.issn.1001-4152.2018.19.018.

[11] Elkins M, Dentice R. Inspiratory muscle training facilitates weaning from mechanical ventilation among patients in the intensive care unit: a systematic review[J]. J Physiother, 2015, 61(3): 125-134. DOI: 10.1016/j.jphys.2015.05.016.

[12] Sutbeyaz ST, Koseoglu F, Inan L, et al. Respiratory muscle training improves cardiopulmonary function and exercise tolerance in subjects with subacute stroke: a randomized controlled trial[J]. Clin Rehabil, 2010, 24(3): 240-250. DOI: 10.1177/0269215509358932.

[13] 王小云,马艳,周芳,等.针刺联合呼吸训练对脑卒中患者肺功能的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2015,37(10):754-756. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2015.010.009.

[14] 郝世杰,李琳琳,毕鸿雁,等.六字诀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,2018,33(2):107-110. DOI: 10.3870/zgkf.2018.02.005.

[15] Sapienza C, Troche M, Pitts T, et al. Respiratory strength training: concept and intervention outcomes[J]. Semin Speech Lang, 2011, 32 (1): 21-30. DOI: 10.1055/s-0031-1271972.

[16] 宋清华.呼吸体操锻炼对提高老年人群肺功能的疗效观察[J].中华物理医学与康复杂志,2009,31(5):347-348. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2009.05.022.

[17] Vivier E, Dessap AM, Dimassi S, et al. Diaphragm ultrasonography to estimate the work of breathing during non-invasive ventilation[J]. Intensive Care Med, 2012, 38(5): 796-803. DOI: 10.1007/s00134-012-2547-7.

[18] Dinino E, Gartman EJ, Sethi JM, et al. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation[J]. Thorax, 2014, 69(5): 423-427. DOI: 10.1136/ thoraxjnl-2013-204111.

[19] Cho JE, Lee HJ, Kim MK, et al. The improvement in respiratory function by inspiratory muscle training is due to structural muscle changes in patients with stroke: a randomized controlled pilot trial [J]. Top Stroke Rehabil, 2018, 25 (1): 37-43. DOI: 10. 1080/10749357.2017.1383681.

[20] Illi SK, Held U, Frank I, et al. Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis[J]. Sports Med, 2012; 42(8): 707-724. DOI: 10. 2165/11631670-000000000-00000.

(修回日期:2020-10-15)
(本文编辑:汪　玲)