

呼吸肌抗阻训练联合反馈式呼吸电刺激对脑卒中患者膈肌功能及肺功能的影响

袁文蓉¹ 陈立娜¹ 刘洋洋² 王华¹ 赵小楠¹ 勾丽洁¹

¹承德医学院附属医院康复医学科,承德 067000; ²承德医学院附属医院超声科,承德 067000

通信作者:勾丽洁,Email:goulijie1974@163.com

【摘要】 目的 观察呼吸肌抗阻训练联合反馈式呼吸电刺激疗法对脑卒中偏瘫患者双侧膈肌功能及肺功能的影响。**方法** 采用随机数字表法将 60 例脑卒中偏瘫患者分为观察组及对照组,每组 30 例。2 组患者均给予常规康复干预及呼吸肌抗阻训练,观察组在此基础上辅以反馈式呼吸电刺激治疗,每日治疗 2 次,每周治疗 6 d,持续治疗 3 周。于治疗前、治疗 3 周后采用超声检测 2 组患者偏瘫侧及健侧吸气末膈肌厚度(IDT)、呼气末膈肌厚度(EDT)、平静呼吸及深呼吸时膈肌移动度,并计算膈肌增厚分数(DTF),采用便携式肺功能仪检测 2 组患者肺功能,同时分析比较治疗前、后 2 组患者偏瘫侧及健侧膈肌功能障碍发生率。**结果** 治疗后观察组患者偏瘫侧、健侧膈肌功能障碍发生率均较治疗前及同期对照组明显降低($P<0.05$)。治疗后观察组患者偏瘫侧及健侧 IDT、EDT、DTF、平静呼吸及深呼吸时膈肌移动度均较治疗前明显改善($P<0.05$),而对照组偏瘫侧及健侧上述疗效指标均较治疗前无明显改善($P>0.05$);并且治疗后观察组患者偏瘫侧及健侧 IDT、DTF、深呼吸时膈肌移动度亦显著优于对照组水平($P<0.05$)。治疗后 2 组患者各项肺功能指标均较治疗前明显改善($P<0.05$),并且观察组肺功能指标改善幅度亦显著优于对照组水平($P<0.05$)。**结论** 脑卒中偏瘫患者容易并发膈肌功能障碍,并以偏瘫侧膈肌功能受累为主;持续 3 周的呼吸肌抗阻训练联合反馈式呼吸电刺激治疗能有效增加脑卒中偏瘫患者双侧 IDT、DTF 及深呼吸时膈肌移动度,有助于提高患者膈肌收缩能力及肺功能,降低卒中患者膈肌功能障碍发生率。

【关键词】 脑卒中; 电刺激; 膈肌厚度; 膈肌移动度; 肺功能

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.02.004

Combining respiratory-muscle resistance training with feedback respiratory electrical stimulation improves the diaphragm and pulmonary function of stroke survivors

Yuan Wenrong¹, Chen Lina¹, Liu Yangyang², Wang Hua¹, Zhao Xiaonan¹, Gou Lijie¹

¹Department of Rehabilitation Medicine, ²Department of Ultrasound, Affiliated Hospital of Chengde Medical College, Chengde 067000, China

Corresponding author: Gou Lijie, Email: goulijie1974@163.com

【Abstract】 Objective To document any effect of combining respiratory-muscle resistance training with feedback respiratory electrical stimulation in rehabilitating the diaphragm function and lung function of stroke survivors. **Methods** Sixty hemiplegic stroke survivors were randomly assigned to an observation group or a control group, each of 30. Both groups were given conventional rehabilitation, including respiratory-muscle resistance training. The observation group additionally received feedback respiratory electrical stimulation twice a day, six days a week for 3 weeks. Before and after the treatment, ultrasound was used to measure the end-inspiratory and end-expiratory thickness of the diaphragm. Diaphragm movement during quiet breathing and deep breathing was also observed, and the diaphragm thickening fraction was calculated. The incidence of diaphragm dysfunction on the affected and healthy sides of the two groups before and after the treatment was also analyzed and compared. **Results** Diaphragm dysfunction on either side had decreased significantly more in the observation group than in the control group after the treatment. The observation group also showed significantly greater average improvement in the thickening functions and in diaphragm movement on both the affected and healthy sides during quiet breathing and deep breathing. All of the pulmonary function indicators improved significantly in both groups after the treatment, but those of the observation group were, on average, significantly better than the control group's averages. **Conclusions** Combining 3 weeks of respiratory muscle resistance training with electrical stimulation feedback can effectively increase the bilateral thickness of the diaphragm and diaphragm movement in deep breathing of hemiplegic stroke survivors. That reduces the incidence of diaphragm dysfunction.

【Key words】 Stroke; Electrical stimulation; Diaphragm thickness; Diaphragm movement; Pulmonary function

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.02.004

相关研究表明,脑卒中患者存在不同程度的呼吸肌功能受损^[1],而膈肌作为主要的吸气肌,对机体静息肺通气量的贡献率高达 70%^[2]。卒中后患者通常伴有膈肌位置上移、移动度减小及萎缩变薄等异常,容易导致限制性肺通气功能障碍、咳嗽能力减弱,从而增加肺部感染、呼吸衰竭等疾病风险,使患者住院时间延长、病死率上升^[3],因此早期对脑卒中患者进行膈肌功能及肺功能评估,并积极介入呼吸训练至关重要。

既往研究大多关注吸气肌训练对卒中患者偏瘫侧膈肌功能的影响,而容易忽视呼气肌训练对膈肌功能的改善作用,并且神经肌肉电刺激疗法亦较少应用于脑卒中患者肺康复治疗。基于此,本研究联合采用呼吸肌抗阻训练及反馈式呼吸电刺激治疗脑卒中后偏瘫患者,并观察对患者双侧膈肌功能及肺功能的影响,发现康复疗效满意。

对象与方法

一、研究对象

本研究经承德医学院附属医院伦理委员会审批(CYFYLL2022175)。患者纳入标准包括:①均符合《中国脑出血诊治指南 2019》及《中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018》关于脑卒中的诊断标准^[4-5],并经颅脑 CT 或 MRI 检查确诊;②患者为首发脑卒中并伴有偏瘫,脑卒中病程<6 个月;③年龄≥18 岁;④患者对本研究知晓并签署知情同意书。患者排除标准包括:①经简易精神状态检查量表(mini-mental state examination,MMSE)评定,文盲患者评分<17 分,小学文化程度患者<20 分,初中及以上文化程度患者<24 分,不能理解及配合指令;②近 3 个月内发生过心肌梗死、心绞痛等;③血压未获得稳定控制,24 h 内血压曾高于 180/100 mmHg;④伴有严重面瘫或其他口咽结构异常;⑤气管切开或气管插管;⑥并发呼吸系统疾病,如慢性阻塞性肺疾病、肺部感染等;⑦正在

服用可能干扰神经肌肉控制的药物;⑧曾进行过系统呼吸功能训练等。

选取 2021 年 7 月至 2022 年 6 月期间在承德医学院附属医院康复医学科住院治疗且符合上述标准的 60 例脑卒中偏瘫患者作为研究对象,采用随机数字表法将其分为观察组及对照组,每组 30 例,由于患者转科、病情加重、出院等原因,观察组、对照组分别有 2 例、1 例患者中途退出,最终 2 组患者一般资料情况(详见表 1)经统计学比较,发现组间差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。

二、治疗方法

2 组患者均给予常规康复干预及呼吸肌(渐进式)抗阻训练,观察组患者在此基础上辅以反馈式呼吸电刺激治疗,具体治疗方法如下。

1.常规康复干预:包括关节活动度训练、体位转移训练、肌力训练、平衡功能训练、吞咽功能训练、言语训练、作业疗法、物理因子治疗等,每天 1 次,每周治疗 6 d,连续治疗 3 周。

2.呼吸肌抗阻训练:选用 X1 型便携式肺功能检测仪(厦门产),训练时患者保持坐位,嘴唇紧含仪器咬嘴,当进行吸气肌训练时,第 1 周吸气阻力值设定为 30%最大吸气压,嘱患者先最大限度呼气,然后再尽可能快速用力吸气,反复训练 10 次为 1 组,每次训练 5 组,组间休息 1 min;当进行呼气肌训练时,第 1 周呼气阻力值也设为 30%最大呼气压,嘱患者先最大限度吸气,然后再尽可能快速用力呼气,反复训练 10 次为 1 组,每次训练 5 组,组间休息 1 min。每周重新评估患者呼吸肌肌力并及时调整训练阻力,每周吸气、呼气阻力值均较上周增加 5%~10%,每天训练 2 次,每周训练 6 d,连续训练 3 周^[6]。

3.反馈式呼吸电刺激:选用北京产 EDAP06 型呼吸神经肌肉刺激仪,该仪器能通过 6 对体外电极(包括 3 对刺激电极及 3 对参考电极)协同反馈式电刺激

表 1 入选时 2 组患者一般资料情况比较

组别	例数	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	平均病程 (d, $\bar{x}\pm s$)	体重指数 (kg/m ² , $\bar{x}\pm s$)	脑卒中类型(例)	
		男	女				脑梗死	脑出血
观察组	28	19	9	62.21±8.97	30.07±9.16	24.49±3.79	16	12
对照组	29	19	10	62.00±10.61	28.31±7.94	25.61±3.38	18	11

组别	例数	受累肢体(例)		脑干受累(例)		吞咽障碍(例)		吸烟(例)	
		左侧	右侧	是	否	有	无	是	否
观察组	28	13	15	6	22	8	20	13	15
对照组	29	17	12	5	24	5	24	16	13

膈肌及腹肌。治疗时患者取坐位,将膈肌刺激电极及参考电极分别置于患者颈部两侧胸锁乳突肌外缘下 1/3 处和胸大肌表面;将腹直肌刺激电极及参考电极分别置于肋骨下缘中间腹肌处和耻骨联合上缘腹肌部位;将腹外斜肌刺激电极及参考电极分别置于腹直肌两侧外缘与脐水平线交汇处和两侧腋中线与脐水平线交汇处。要求患者根据仪器语音指令调节呼吸节律,如听到“吸气”指令后开始吸气,同时仪器输出电流刺激膈神经,当听到“呼气”指令后开始呼气,同时仪器输出电流刺激腹肌;初始电刺激强度为 10~20 mA,根据患者耐受情况后续逐渐增加电刺激强度(不超过 100 mA),电刺激频率 40 Hz。在上述呼吸过程中要求患者鼻吸口呼,吸气时腹部尽量鼓起,呼气时腹部尽量放松,胸部保持不动,呼吸频率从每分钟 12 次逐渐减慢至每分钟 10 次,吸、呼时间比控制在 1:1.5~1:2,每次治疗持续 15 min,每天治疗 2 次,每周治疗 6 d,连续治疗 3 周。

三、疗效评定方法

于治疗前、治疗 3 周后由对分组不知情的超声医师、康复医师分别对 2 组患者膈肌功能、肺功能进行评定,检测设备包括日本产 APlloi800TUS-AI800 型超声诊断仪、便携式肺功能检测仪等,具体评定项目如下。

1. 膈肌厚度:患者取仰卧位,将高频线阵探头置于腋前线与 7~8 肋间或 8~9 肋间交界处,探头与肋间隙垂直或平行,此时屏幕可见两条平行的高回声线(分别是胸膜层和腹膜层),两线之间的低回声区则是膈肌。将采样线移至膈肌移动区域并切换至 M 超,将每个呼吸周期的膈肌最大厚度与最小厚度分别作为吸气末膈肌厚度(end-inspiration diaphragm thickness, IDT)和呼气末膈肌厚度(end-expiratory diaphragm thickness, EDT),分别测量左、右两侧膈肌厚度,连续测量 3 个呼吸周期取平均值^[7]。膈肌增厚分数(diaphragm thickening fraction, DTF)=(IDT-EDT)/EDT×100%,正常值大于 20%,若低于 20%则认为存在膈肌功能障碍^[8]。

2. 膈肌移动度:患者保持仰卧位,测量左侧膈肌时将低频凸阵探头置于腋前线及腋中线肋下区域,测量右侧膈肌时将探头从患者肚脐右上角 10 点钟方向指向其右肩、背侧,当滑动推行看到膈肌后将探头立起,切换至 M 超测量膈肌移动度(即膈肌运动曲线的波峰-波谷垂直距离),重复检测 3 组数据取平均值。分别测量患者平静呼吸及深呼吸时左、右两侧膈肌移动度^[7]。

3. 肺功能测定:患者取坐位,检测并记录其用力肺活量(forced vital capacity, FVC)、第 1 秒用力呼气容积(forced expiratory volume in 1 second, FEV1)、峰值呼气流速(peak expiratory flow, PEF)及最大通气量

(maximal voluntary ventilation, MVV)等,重复检测 3 次取最大值。

四、统计学方法

本研究采用 SPSS 28.0 版统计学软件包进行数据分析,符合正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 *t* 检验,组内治疗前、后比较采用配对样本 *t* 检验,计数资料比较采用卡方检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、治疗前、后 2 组患者膈肌功能障碍发生率比较
治疗前 2 组患者偏瘫侧与健侧膈肌功能障碍发生率组间差异均无统计学意义($P > 0.05$)。治疗后观察组偏瘫侧及健侧膈肌功能障碍发生率均较治疗前明显降低($P < 0.05$),而对照组偏瘫侧及健侧膈肌功能障碍发生率均较治疗前无明显变化($P > 0.05$);并且治疗后观察组偏瘫侧及健侧膈肌功能障碍发生率均显著低于对照组水平($P < 0.05$)。具体数据见表 2。

表 2 治疗前、后 2 组患者膈肌功能障碍发生率比较[例(%)]

组别	例数	治疗前膈肌功能障碍		治疗后膈肌功能障碍	
		偏瘫侧	健侧	偏瘫侧	健侧
观察组	28	11(39.29)	6(21.43)	0(0.00) ^{ab}	0(0.00) ^{ab}
对照组	29	12(41.37)	5(17.24)	8(27.59)	5(17.24)

注:与组内治疗前比较,^a $P < 0.05$;与对照组相同时间点比较,^b $P < 0.05$

二、治疗前、后 2 组患者膈肌厚度及膈肌移动度比较

治疗前 2 组患者偏瘫侧与健侧 IDT、EDT、DTF、平静呼吸及深呼吸时膈肌移动度组间差异均无统计学意义($P > 0.05$)。治疗后观察组患者偏瘫侧与健侧上述各项膈肌指标均较治疗前明显改善($P < 0.05$),而对照组患者偏瘫侧与健侧上述各项膈肌指标均较治疗前无明显变化($P > 0.05$)。通过进一步组间比较发现,治疗后观察组偏瘫侧与健侧 IDT、DTF 及深呼吸时膈肌移动度均明显超过对照组水平($P < 0.05$)。具体数据见表 3、表 4。

三、治疗前、后 2 组患者肺功能比较

治疗前 2 组患者 FVC、FVC%、FEV1、FEV1%、MVV、MVV%、PEF 及 PEF%组间差异均无统计学意义($P > 0.05$)。治疗后 2 组患者上述肺功能指标均较治疗前明显改善($P < 0.05$),并且观察组上述指标结果亦显著优于对照组水平($P < 0.05$)。具体数据见表 5。

讨 论

本研究显示,入选脑卒中患者有 40.4% 出现偏瘫侧膈肌功能障碍,有 19.3% 出现健侧膈肌功能障碍,且

表 3 治疗前、后 2 组患者偏瘫侧膈肌厚度及膈肌移动度比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	IDT(cm)	EDT(cm)	DTF(%)	平静呼吸时膈肌移动度(cm)	深呼吸时膈肌移动度(cm)
观察组						
治疗前	28	0.31±0.08	0.24±0.07	28.87±14.46	2.00±0.73	3.91±1.34
治疗后	28	0.47±0.09 ^{ab}	0.29±0.07 ^a	63.12±18.72 ^{ab}	2.13±0.72 ^a	5.42±1.32 ^{ab}
对照组						
治疗前	29	0.34±0.09	0.27±0.07	26.71±13.18	1.98±0.75	3.91±1.25
治疗后	29	0.37±0.13	0.28±0.10	36.40±25.76	2.03±0.69	4.35±1.77

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组相同时间点比较,^b $P<0.05$

表 4 治疗前、后 2 组患者健侧膈肌厚度及膈肌移动度比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	IDT(cm)	EDT(cm)	DTF(%)	平静呼吸时膈肌移动度(cm)	深呼吸时膈肌移动度(cm)
观察组						
治疗前	28	0.37±0.10	0.27±0.07	35.43±14.93	2.46±0.89	4.89±1.40
治疗后	28	0.51±0.11 ^{ab}	0.31±0.07 ^a	65.18±18.06 ^{ab}	2.59±0.89 ^a	6.20±1.37 ^{ab}
对照组						
治疗前	29	0.40±0.11	0.29±0.08	37.61±15.82	2.45±0.89	4.54±1.41
治疗后	29	0.41±0.13	0.29±0.08	41.57±30.62	2.46±0.61	4.81±1.51

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组相同时间点比较,^b $P<0.05$

表 5 治疗前、后 2 组患者肺功能比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	FVC(L)	FVC%	FEV1(L)	FEV1%	MVV(L/min)	MVV%	PEF(L/s)	PEF%
观察组									
治疗前	28	1.55±0.90	47.93±25.96	1.14±0.71	44.09±25.99	26.21±15.06	24.15±13.41	1.64±1.02	20.54±12.10
治疗后	28	2.71±0.54 ^{ab}	76.91±14.40 ^{ab}	2.12±0.43 ^{ab}	82.42±9.37 ^{ab}	47.78±14.63 ^{ab}	43.92±12.23 ^{ab}	3.88±0.90 ^{ab}	48.67±8.74 ^{ab}
对照组									
治疗前	29	1.96±0.71	59.12±17.40	1.49±0.71	55.88±20.20	30.79±18.30	27.74±14.94	2.16±1.12	26.43±11.24
治疗后	29	2.28±0.82 ^a	66.40±17.91 ^a	1.82±0.64 ^a	69.93±17.32 ^a	34.37±20.83 ^a	29.76±16.13 ^a	3.06±1.16 ^a	37.28±10.36 ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组相同时间点比较,^b $P<0.05$

深呼吸时偏瘫侧及健侧膈肌移动度均减小,并以偏瘫侧减小幅度更显著,提示脑卒中偏瘫患者容易出现膈肌功能受损,且以偏瘫侧膈肌受累为主,与既往报道结果基本一致^[9-10]。

人体膈肌运动主要受两条下行通路控制,其中皮质脊髓通路(即运动皮质到呼吸运动神经元)主要控制随意呼吸,延髓脊髓通路(即延髓到呼吸运动神经元)主要控制自主呼吸,另外运动皮质与脑桥延髓呼吸中枢间也存在神经纤维联系^[11]。人体膈肌受双侧膈神经支配(以对侧交叉支配为主),如有研究利用经颅磁刺激技术刺激单侧脑半球,发现主要引起对侧膈肌反应,而同侧膈肌也有较弱反应^[12]。单侧膈肌功能障碍通常较少引起呼吸系统症状^[13],并且脑卒中患者由于肢体功能受限,其运动量不足以引起呼吸困难,这可能也是临床容易忽视卒中患者呼吸功能障碍的重要原因。相关研究表明,膈肌是人体主要的吸气肌,对静息肺通气量的贡献率高达 70%,膈肌每移动 1 cm,肺通气量增加约 350 ml^[2];而卒中患者通常伴有膈肌位置上移、移动度减小及萎缩变薄等改变,容易导致限制性肺通气功能障碍、咳嗽排痰无力,从而增加了肺部感

染、呼吸衰竭等疾病风险^[3],因此对脑卒中患者进行膈肌功能评估,并积极介入呼吸训练对改善患者呼吸功能具有重要意义。

本研究观察组治疗后其偏瘫侧、健侧膈肌功能障碍发生率均较治疗前及同期对照组明显下降($P<0.05$),IDT、EDT、DTF、平静呼吸及深呼吸时膈肌移动度均较治疗前明显改善($P<0.05$),除 EDT 及平静呼吸时膈肌移动度外,观察组其余各项膈肌指标亦显著优于对照组水平($P<0.05$),表明持续 3 周的呼吸抗阻训练联合反馈式呼吸电刺激可显著提高脑卒中偏瘫患者双侧膈肌收缩功能,降低膈肌功能障碍发生率,与王璐等^[14]报道结果基本一致。目前评定膈肌功能的方法主要有测量跨膈压、超声、经颅磁、CT 等,其中超声因具有非侵入性、可重复性好、安全、便捷等优点,已成为评估膈肌功能的常规手段。通过超声测量膈肌厚度可了解膈肌变薄、萎缩程度,而膈肌增厚分数则反映一个呼吸周期内膈肌厚度变化情况,因此更能体现膈肌收缩能力^[15],另外膈肌移动度也与膈肌收缩功能密切相关^[16]。腹肌是主要的呼气肌,在用力呼气及咳嗽过程中具有重要作用。腹肌收缩时引起腹内压增高,膈肌

向上移动,使胸腔压力增大、肺体积减少,因此对脑卒中患者进行呼吸肌训练能提高其腹肌收缩能力,改善膈肌移动度、肺通气功能及咳嗽能力。本研究联合采用呼吸肌抗阻训练及反馈式呼吸电刺激疗法治疗脑卒中患者,通过呼吸肌抗阻训练能促进胸廓扩张及呼吸肌力量增强,从而增加肺泡通气量,加速静脉回流,使气体获得充分交换;反馈式呼吸电刺激治疗则通过在吸气相输出电流刺激膈神经,能增强膈肌收缩力及耐力,缓解膈肌疲劳,促使膈肌有规律收缩,增加胸廓容积及肺容积,有助于改善肺通气功能;在呼气相输出电流刺激腹肌收缩,能增加腹内压,促使膈肌上移,从而改善患者呼气及咳嗽、排痰能力;另外在反馈式电刺激膈神经及腹肌过程中,通过语音提示能促使患者主动调整呼吸节律并与电刺激保持同步,能诱导患者深慢呼吸及缓解胸腹不协调运动。本研究结果显示,治疗后 2 组患者各项肺功能指标均较治疗前明显改善($P < 0.05$),并且观察组各项肺功能指标亦显著优于对照组水平($P < 0.05$),表明持续 3 周的呼吸肌抗阻训练联合反馈式呼吸电刺激治疗较单纯呼吸肌抗阻训练更能有效改善卒中患者肺功能^[17]。此外本研究观察组患者治疗后其 EDT 及平静呼吸时膈肌移动度均较对照组无进一步改善,考虑可能与患者呼吸训练时间较短有关。

综上所述,脑卒中患者发病后容易出现膈肌功能障碍,且以偏瘫侧膈肌受累为主;在常规干预基础上辅以呼吸肌抗阻训练及反馈式呼吸电刺激能有效增加脑卒中偏瘫患者双侧吸气末膈肌厚度、膈肌增厚分数及深呼吸时膈肌移动度,从而改善患者膈肌收缩能力及肺功能,降低膈肌功能障碍发生率,该联合疗法值得临床推广、应用。需要指出的是,本研究还存在诸多局限,包括:①超声检查有时较难获得清晰的左侧膈肌图像,同时检查结果还容易受胃肠内气体回声影响,致使结果不准确;②评估肺功能时,可能会因口腔封闭不全而影响评估准确性,且肺功能及深呼吸时膈肌移动度也受患者主观因素影响,可能会降低评估结果客观性;③本研究患者数量偏少,呼吸训练时间较短,且未对患者进行长期随访等,后续研究将针对上述不足进一步完善。

参 考 文 献

- [1] Messaggi SM, Guillen SA, Depolo M, et al. Inspiratory and expiratory muscle training in subacute stroke: a randomized clinical trial [J]. *Neurology*, 2015, 85 (7): 564-572. DOI: 10.1212/WNL.0000000000001827.
- [2] Faysoil A, Behin A, Ogna A, et al. Diaphragm: pathophysiology and ultrasound imaging in neuromuscular disorders [J]. *Neuromuscul Dis*, 2018, 5(1): 1-10. DOI: 10.3233/JND-170276.
- [3] Hannawi Y, Hannawi B, Rao CP, et al. Stroke-associated pneumonia: major advances and obstacles [J]. *Cerebrovasc Dis*, 2013, 35(5): 430-443. DOI: 10.1159/000350199.
- [4] 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. 中国脑出血诊治指南 2019 [J]. *中华神经科杂志*, 2019, 52(12): 994-1005. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2019.12.003.
- [5] 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. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018 [J]. *中华神经科杂志*, 2018, 51(9): 666-682. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2018.09.004.
- [6] Guillen SA, Messaggi SM, Bofill SN, et al. Respiratory muscle strength training and neuromuscular electrical stimulation in subacute dysphagic stroke patients: a randomized controlled trial [J]. *Clin Rehabil*, 2017, 31(6): 761-771. DOI: 10.1177/0269215516652446.
- [7] Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values [J]. *Chest*, 2009, 135(2): 391-400. DOI: 10.1378/chest.08-1541.
- [8] Catalá-Ripoll JV, Monsalve-Naharro JA, Cuesta MP, et al. Diaphragmatic dysfunction in patients with acute ischemic stroke and mechanical ventilation [J]. *Crit Care*, 2020, 24(1): 127. DOI: 10.1186/s13054-020-02843-4.
- [9] Catalá-Ripoll JV, Monsalve-Naharro JA, Hernandez FF. Incidence and predictive factors of diaphragmatic dysfunction in acute stroke [J]. *BMC Neurol*, 2020, 20(1): 79. DOI: 10.1186/s12883-020-01664-w.
- [10] Houston JG, Morris AD, Grosset DG, et al. Ultrasonic evaluation of movement of the diaphragm after acute cerebral infarction [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1995, 58(6): 738-741. DOI: 10.1136/jnnp.58.6.738.
- [11] Cohen E, Mier A, Heywood P, et al. Diaphragmatic movement in hemiplegic patients measured by ultrasonography [J]. *Thorax*, 1994, 49(9): 890-895. DOI: 10.1136/thx.49.9.890.
- [12] Maskill D, Murphy K, Mier A, et al. Motor cortical representation of the diaphragm in man [J]. *J Physiol*, 1991, 443(1): 105-121. DOI: 10.1113/jphysiol.1991.sp018825.
- [13] Bonnevie T, Gravier FE, Ducrocq A, et al. Exercise testing in patients with diaphragm paresis [J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2018, 248: 31-35. DOI: 10.1016/j.resp.2017.11.006.
- [14] 王璐, 程怡慧, 张秀, 等. 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 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2020, 42(11): 987-991. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.11.006.
- [15] Goligher EC, Fan E, Herridge MS, et al. Evolution of diaphragm thickness during mechanical ventilation. Impact of inspiratory effort [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2015, 192(9): 1080-1088. DOI: 10.1164/ajrccm.201503-0620OC.
- [16] Boussuges A, Rives S, Finance J, et al. Ultrasound assessment of diaphragm thickness and thickening: reference values and limits of normality when in a seated position [J]. *Front Med*, 2021, 8(1): 742703. DOI: 10.3389/fmed.2021.742703.
- [17] 章志超, 刘金明, 李祖虹, 等. 膈神经电刺激联合呼吸训练对脑卒中患者肺功能、躯干稳定性及平衡功能的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2018, 40(7): 486-490. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.07.002.

(修回日期: 2022-10-12)

(本文编辑: 易 浩)