

体外膈肌起搏器联合呼吸训练对脑卒中气管切开患者肺功能的影响*

朱秀华¹ 朱永刚^{1,2} 王银龙¹ 周 婷¹ 陈志天¹

摘要

目的:探讨体外膈肌起搏器(EDP)联合呼吸训练对脑卒中后气管切开患者肺功能及拔除气管套管时间的影响。

方法:纳入76例脑卒中后气管切开患者随机分为对照组(n=38)和观察组(n=38)。对照组在常规康复训练基础上进行呼吸训练,观察组在常规康复训练基础上进行呼吸训练和EDP治疗。呼吸训练和EDP的治疗量都是30min/次,1次/天,5天/周,持续8周。在8周治疗前后分别评估两组患者的肺功能指标(FVC、FEV1)、膈肌移动度、膈肌厚度、拔管时间和拔管率。

结果:治疗8周后,与对照组相比,观察组肺功能各项指标(FVC、FEV1)改善,膈肌移动度及膈肌厚度增加,拔管时间缩短,拔管率提高,差异有显著性意义($P<0.05$)。

结论:EDP联合呼吸训练可以改善脑卒中后气管切开患者的肺功能,同时缩短拔管时间、提高拔管率。

关键词 膈肌起搏器;呼吸训练;肺功能;膈肌移动度;气管切开

中图分类号:R743,R493 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2021)-08-0973-05

脑卒中在人群中发病率、致残率及致死率都较高,严重威胁我国居民的身体健康^[1]。气管切开术常用于抢救急危重症脑卒中患者,脑水肿易造成呼吸调节中枢、吞咽反射、咳嗽反射等功能异常,常需要气管切开来保持氧气传输和引出痰液^[2]。越来越多的临床医师关注到脑卒中后的肺功能障碍,研究发现约40%的脑卒中患者出现膈肌移动度下降,同时用力肺活量(forced vital capacity, FVC)、第1秒用力呼气量(forced expiratory volume in one second, FEV1)降低到预测值的50%^[3],而气管切开引起的一系列并发症也会影响患者肺功能。对气管切开患者进行规范气道管理的同时,也要关注其肺功能的恢复,以期尽早拔除气管套管为下一阶段康复治疗奠定基础。对脑卒中患者进行呼吸训练以提高肺功能、缩短拔管时间已有部分研究^[4],而体外膈肌起搏器(external diaphragm pacemaker, EDP)应用于脑卒中气管切开患者相关报道较少。本研究旨在探讨体外膈肌起搏治疗联合呼吸训练对脑卒中后气管切开患者肺功能及拔管时间的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2018年8月—2019年12月在连云港市第一人民医院神经康复科及神经科住院治疗的76例脑卒中后气管切开

患者作为研究对象。脑卒中符合1995年全国第四届脑血管学术会议修订的脑卒中诊断标准^[5],均经头颅CT或MRI检查确诊。

纳入标准:①年龄:(18—70)岁;②发病时间:<6个月,已行气管切开术,神志清楚,生命体征平稳;③既往无中枢神经系统疾病史,无阻塞性或限制性肺疾病史,无不稳定心脑血管疾病史;④无明显认知功能障碍(MMSE≥24分)。

排除标准:①年龄>70岁;②需要机械辅助呼吸;③患者心脏、肝脏、肾脏等重要器官功能严重受损或病情危重;④存在其他影响治疗效果的神经、运动及呼吸方面的疾病,如急性加重的慢性阻塞性肺疾病、气胸或胸部手术史等;⑤精神异常;⑥体内植入金属异物状态;⑦口面肌肌力差(如严重中枢性面瘫)。

本研究通过了连云港市第一人民医院医学伦理委员会审查,符合2013年修订的《赫尔辛基宣言》要求,所有患者均签署了知情同意书。

按随机数字表法将入选的76例患者随机分为对照组(n=38)、观察组(n=38)。各组患者的性别、年龄、脑卒中部位和病程等一般资料经统计学分析,差异无显著性意义($P>0.05$),具有可比性,见表1。

1.2 治疗方法

两组患者都接受基础病药物治疗、对症药物治疗、肢体

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.08.013

*基金项目:连云港市第一人民医院青年英才基金项目(QN202008)

1 连云港市第一人民医院,江苏省连云港市海州区,222000; 2 通讯作者

第一作者简介:朱秀华,女,硕士,住院医师;收稿日期:2020-03-04

表1 两组患者一般资料比较 (x±s)

	例数	年龄(岁)	性别(例)		病程(d)	病变类型(例)		病灶部位(例)	
			男	女		脑出血	脑梗死	皮质区	非皮质区
观察组	38	58.63±6.19	20	18	3.16±1.59	16	22	17	21
对照组	38	60.16±9.21	19	19	2.93±1.67	20	18	18	20
t/χ ² 值		-0.850	0.053		0.615	0.844		0.053	
P值		0.398	0.818		0.540	0.358		0.818	

功能训练、各项物理因子治疗及康复科护理常规等治疗。

对照组在常规治疗基础上额外进行呼吸训练,呼吸训练开始前,呼吸治疗师需要封堵患者的气管套管口,并检查有无漏气;训练过程中密切观察患者的呼吸频率、氧饱和度等情况,一旦患者出现憋喘、呼吸困难、剧烈咳嗽、发绀等异常情况,则立即停止治疗,去除气管套管口的塞子,确保呼吸道通畅,予吸痰、吸氧、监测氧饱和度等处理,待患者症状缓解,休息5min后再继续进行呼吸训练。呼吸训练具体方法如下:①腹式呼吸:将患者患手置于胸前,在整个呼吸过程中患手保持不动,健手置于上腹部,吸气时健手随腹部隆起而上抬,呼气时健手随腹部塌陷并向前下方施加一定压力,帮助膈肌恢复,吸:呼比为1:2,患者呼气时也可由治疗师辅助施加压力。②缩唇呼吸:指导患者腹部放松,经鼻深吸气,缩唇即将唇像吹蜡烛样慢慢呼气,吸:呼比为1:2。③深呼吸憋气训练:将患者置于放松体位,指导患者经鼻深吸气,在吸气末憋住并保持数秒,以便有足够的时间进行气体交换,同时有助于部分塌陷的肺泡重新扩张;然后经口腔将气体缓慢呼出,也可以配合缩唇呼吸技术,使气体充分排出。每项训练技术重复8—10次,为避免呼吸肌疲劳,每次训练间隔30s—1min休息,总训练时间约为30min。每天治疗1次,每周治疗5天,持续8周。

观察组在常规治疗基础上接受呼吸训练和EDP治疗,呼吸训练方法同上,EDP治疗具体操作如下:使用设备为EDP-2体外膈肌起搏器(HLO-GJ134,广州雪利昂生物科技有限公司),治疗开始前呼吸治疗师先用75%酒精棉球擦拭患者局部皮肤,尽可能地减小皮肤电阻,然后按要求将起搏电极分别置于两侧胸锁乳突肌外缘下1/3处,将辅助电极分别置于两侧锁骨中线第二肋间^[6],设定治疗参数,起搏频率为9—12次/分,脉冲频率为40Hz,根据患者耐受程度从低到高、匀速调节刺激强度。每次治疗持续30min,每天治疗1次,每周治疗5天,持续8周。

1.3 观察指标

肺功能:测试开始前嘱患者做好准备工作,测试者安装过滤嘴,如果患者能够耐受封堵气管套管口,按照正常流程佩戴鼻夹、口含过滤嘴进行肺功能检测;如果患者无法耐受封堵气管套管口,则直接将测试装置连接至气管套管口。所有评估均由同一位对患者治疗及分组不知情的研究者执行,采用的肺功能检测仪为MasterScreen呼吸功能检测仪

(德国耶格公司)。测试时患者取舒适坐位,按照美国胸科协会/欧洲协会(ATS/ERS)标准,分别测量FVC、FEV1,并计算相应的FVC%和FEV1%。

膈肌移动度及厚度:测量右侧半膈肌时,选择脾窗作为透声窗,将探头置于右侧肋缘下锁骨中线与腋前线之间,探头指向内侧、颅侧和背侧,此时超声束与右侧半膈肌后1/3处垂直;测量左侧半膈肌时,选择肝窗作为透声窗,将探头置于左侧肋缘下腋前线与腋中线之间,此处可获得左侧半膈肌的最佳成像^[7]。所有评估均由同一位对患者治疗及分组不知情的超声影像科医师执行,使用的超声仪器为GE-E9(美国通用电气有限公司)。观察膈肌结构时采用B型超声,膈肌为一层低回声的肌肉组织,被两层高回声的结缔组织(胸膜壁层和腹膜)包裹,将电子卡尺放置在高回声结缔组织层内测量膈肌厚度。观察膈肌活动时需切换至M型超声,使M线尽量与膈肌垂直,吸气时膈肌下移,呼气时膈肌上抬,膈肌移动度(diaphragmatic excursion, DE)为膈肌上下移动时最低点与最高点之间的垂直距离。嘱患者深呼吸,连续测量3个呼吸周期,每个呼吸周期间休息1min,取3次测量中的最大值作为测量结果。观察测量过程中膈肌有无反常运动。

拔除气管套管时间及拔管率:拔管指征:神志清楚,无意识障碍;气道分泌物量少,复查胸片或肺部CT无明显炎症感染表现;咳嗽反射正常,能够主动咳嗽,将痰液排出体外;吞咽功能良好,无明显误吸或呛咳;能够自主呼吸,血氧饱和度正常(≥95%),呼吸频率<30次/分;堵管耐受性良好,试堵管持续48—72h,患者无憋喘、呼吸困难、发绀等情况,体温正常,氧饱和度正常。拔管前指导或帮助患者清理口腔及气道内分泌物,拔管后用蝶形胶布贴附固定气切伤口,约2—3天后伤口愈合良好。拔管后观察期内患者无再插管指征,则提示拔管成功;反之若患者出现以下情况则提示拔管失败^[8]:①存在肺通气/换气功能障碍,氧饱和度下降,需要重新置管或呼吸机辅助呼吸;②出现喉肌痉挛、上呼吸道水肿等情况,导致缺氧窒息;③气道分泌物增多,痰液不能自行咳出,需频繁吸痰;④其他严重肺部并发症。8周治疗结束后,记录两组患者的拔除气管套管时间及拔管率。

1.4 统计学分析

采用SPSS 22.0版统计学软件包进行分析,计数资料进行χ²检验,计量资料以平均值±标准差表示,组内比较采用t检验,组间比较正态分布的数据采用方差分析,非正态分

布的数据采用 Mann-Whitney *U* 检验,数据正态性检验采用 Shapiro-Wilk 检验。 $P<0.05$ 表示差异有显著性意义。

2 结果

2.1 两组患者肺功能结果比较

治疗前两组患者 FVC%、FEV1% 组间差异均无显著性意义 ($P>0.05$)。治疗 8 周后,组内比较,两组 FVC%、FEV1% 较治疗前均有明显改善 ($P<0.05$);组间比较,观察组的 FVC%、FEV1% 显著优于对照组 ($P<0.05$)。见表 2。

2.2 两组患者膈肌移动度、膈肌厚度结果比较

治疗前两组患者膈肌移动度及厚度组间差异均无显著性意义 ($P>0.05$)。治疗 8 周后,组内比较,观察组的膈肌移动度及厚度较治疗前有明显改善 ($P<0.01$),对照组的膈肌移动度及厚度较治疗前也有所增加,但差异无显著性意义 ($P>0.05$);组间比较,观察组的膈肌移动度及厚度明显优于对照组 ($P<0.01$)。见表 3。

2.3 两组患者气管套管拔管时间及拔管率结果比较

治疗 8 周后,与对照组相比,观察组拔管时间明显缩短 ($P<0.01$),且拔管率显著提高 ($P<0.05$),差异有显著性意义。见表 4。

表 2 两组患者肺功能结果比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	FVC%(%)		FEV1%(%)	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
观察组	38	63.65±16.12	79.85±16.12	62.54±12.21	76.43±16.15
对照组	38	62.71±10.21	72.17±15.17	61.32±13.18	68.92±15.23
<i>t</i> 值		0.303	-2.083	0.419	2.085
<i>P</i> 值		0.762	0.035	0.676	0.020

表 3 两组患者膈肌移动度、膈肌厚度结果比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	膈肌移动度(cm)		膈肌厚度(cm)	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
观察组	38	2.53±0.81	3.07±0.17	0.14±0.02	0.19±0.03
对照组	38	2.71±0.21	2.80±0.22	0.13±0.03	0.14±0.04
<i>t</i> 值		-1.326	5.986	1.709	6.164
<i>P</i> 值		0.188	<0.01	0.092	<0.01

表 4 气管套管拔管时间及拔管率结果比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	拔管时间(d)	拔管人数(例)	未拔管人数(例)	拔管率(%)
观察组	38	21.71±4.21	24	14	63
对照组	38	25.53±4.81	15	23	39
<i>t</i> / χ^2 值		3.683		4.266	
<i>P</i> 值		<0.01		0.039	

3 讨论

脑卒中是一种起病急、发展快的常见中枢神经系统疾病,部分重症患者伴有昏迷、舌后坠、呕吐、误吸等并发症可引起窒息,必须立即建立方便简单、效果可靠的人工气道以充分保证患者呼吸通畅,从而有效提高生存率。但进入气切

状态后,患者的呼吸道护理变得困难,呼吸功能障碍加剧,常常并发肺炎等并发症,拔管失败率可高达 40%—50%^[2]。研究显示,脑卒中后患者呼吸功能下降,呼吸肌活动减弱,呼吸肌力量约为正常健康人群的 50% 左右^[9]。患者可表现为明显的膈肌无力或疲劳,通过膈肌超声检查可发现患侧膈肌收缩活动明显减弱^[10]。脑卒中患者出现呼吸功能障碍的原因可能包括:①原发性损害,脑卒中后尤其是脑干部位受损的患者,呼吸中枢等呼吸相关神经传导通路损伤是患者出现呼吸功能障碍的重要原因之一;脑卒中后并发的中枢性声带麻痹,可引起误吸、呛咳,进而导致患者吸入性肺炎反复发作,严重时出现呼吸困难甚至呼吸衰竭(由于声带麻痹的窒息风险,在本研究中排除了此类患者)。②继发性损害,脑卒中后患者因核心肌群稳定性失衡出现躯干前倾等异常姿势,因上肢运动功能障碍出现肩胛-胸廓活动受限、呼吸辅助肌群活动减弱等情况,进而引发限制性通气功能障碍;消化道功能活动减弱、排便困难等使得腹内压增加,对抗膈肌活动,导致膈肌活动范围进一步缩小;营养不良、胸式呼吸等不良呼吸模式、循环功能下降、通气-血流比例失调等情况可加重膈肌负担,诱发膈肌疲劳。③医源性损害,呼吸机辅助呼吸等机械通气措施导致的呼吸机相关性肺炎等肺部并发症,引发肺换气功能障碍;气管切开和气管插管等人工气道容易破坏上呼吸道湿化过滤作用,留置胃管可导致上消化道返流、误吸等情况的发生,大大增加的肺部感染的几率。综上,中枢神经系统病变本身及其并发症,以及人工气道、留置胃管等造成的医源性损害,多方面因素协同作用下导致脑卒中患者容易出现呼吸功能障碍,尽早拔除气切套管、恢复自主呼吸有利于脑卒中患者改善肺功能,提高生活质量。研究显示脑卒中患者肺功能的下降与误吸发生率密切相关^[11],而误吸常常会导致拔管失败;改善肺功能,减少误吸,有利于患者尽早拔管,提高拔管成功率。目前临床上脑卒中患者的康复治疗主要还是侧重于运动功能障碍的康复,常规的脑卒中康复方案可能不能充分增强肺功能。本研究在呼吸训练的基础上加入体外膈肌起搏器治疗,8 周治疗后脑卒中后气管切开患者膈肌移动度增加,肺功能改善,同时气管切开后留置时间缩短、拔管率提高。

人体内吸气肌包括膈肌、肋间外肌、胸锁乳突肌等,但以膈肌最为重要,其受膈神经支配,约 60%—70% 呼吸做功都由膈肌完成。研究表明肺功能与膈肌功能密切相关,膈肌肌力增强可增加胸腔内负压,进而提高肺的顺应性,降低气道阻力,肺功能测试可表现为肺的通气量提升,残气量降低,肺通气及换气效率提高^[12-13]。膈肌对控制性机械通气比其他任何骨骼肌更为敏感。研究显示机械通气患者最早在 12—24h 内就会出现膈肌萎缩,并呈进行性加重^[14]。同时,机械通气还会引起其他微结构的改变,包括膈肌纤维基因表达水平

下降,蛋白质合成下降、水解增加和线粒体功能障碍导致的氧化应激等^[15]。电刺激膈神经从而导致膈肌有节律地收缩,膈肌活动度增加,肌纤维的耐力和活力提高^[16],从而改善脑卒中患者的肺功能。Glenn等^[17]研究显示电脉冲刺激膈神经可使膈肌移动范围增加,和本研究结果类似。其相关研究还揭示EDP治疗的机理,发现经过电刺激膈肌纤维变得更大更厚,膈肌运动时间更持久^[18]。刘超等^[19]研究发现,EDP治疗及肺功能训练可以增加脑卒中患者膈肌厚度和移动范围,与本研究结果相当。Ayas等^[20]在对脊髓损伤患者进行膈肌起搏治疗时发现,膈肌起搏治疗能够延缓膈肌废用性萎缩,增加潮气量,本研究同样发现膈肌起搏治疗后脑卒中患者的肺活量提高。另有研究提出应用EDP联合呼吸功能训练可改善患者肺通气模式^[21],与本研究结果类似。Davenport等^[22]的研究发现对大鼠膈神经进行刺激时探测到对侧大脑皮质相应区域的诱发电位,提示膈神经刺激不仅对膈肌有直接的起搏作用,也对呼吸中枢产生负反馈,可以兴奋皮质呼吸调控。EDP治疗使膈肌移动度增加,在咳嗽反射增大胸腔内压力进而提高咳痰效果和气道肃清力度^[23]。王志威等^[24]发现,EDP治疗可以缓解脑卒中后气切患者呼吸困难症状,降低呼吸道感染发生率,提高拔管成功率。另外,研究显示体外膈肌起搏器治疗可以降低脑卒中患者肺部感染的发生率^[23-24]。值得注意的是,本研究在体外起搏器治疗时采取的是从低到高、匀速调节刺激强度,因为研究显示这种刺激方式更接近呼吸中枢的正常驱动模式,在一定程度上可提高膈肌耐力,降低氧自由基生成,提高抗氧化能力^[25]。综上所述,膈肌起搏器治疗能够帮助脑卒中后气管切开患者改善肺功能,加快拔管进程,这可能与膈肌起搏器治疗可以提高膈肌肌力与耐力、增加膈肌活动范围、诱发呼吸中枢反馈、降低感染发生率、提高总抗氧化能力等原因有关。

本研究结果显示,经过呼吸训练及EDP治疗后,脑卒中气管切开患者的肺功能提高,同时其拔管时间及拔管率均得到改善。气管切开套管留置时间延长,会严重影响患者的康复进程。对于脑卒中后气管切开患者,具有良好的气道清洁能力、咳嗽排痰能力是其早日拔除气管套管的基础。脑卒中后患者咳嗽反射下降,咳嗽能力受损可能会使呼吸道黏膜纤毛清洁能力下降,大大增加呼吸道感染的发生率^[26]。提高吸气肌肌力和耐力,延缓膈肌疲劳,提高咳嗽能力是脑卒中后呼吸康复的主要目的之一^[27]。本研究显示,呼吸训练可以改善患者的FVC、FEV1,即增强患者肺通气功能,提高咳嗽机制运行效率。相关研究也证实腹式呼吸能使腹肌和膈肌得到锻炼,呼吸耐力提高,同时使胸腔容积增大,提高了肺通气能力^[28-29]。研究显示脑卒中后吸气肌训练可以增加吸气肌肌力和耐力,加快拔管进程,缩短拔管时间^[30]。周洁等^[31]研究显示,EDP治疗60天后,脑卒中气管切开患者平均拔管时间

较对照组缩短且拔管成功率明显提高,与本研究结果类似。呼吸训练及EDP治疗均有利于改善脑卒中后气管切开患者的肺通气换气功能,降低肺并发症的发生,帮助患者缩短气管切开套管留置时间,提高拔管率。在研究过程中我们也注意到,治疗过后有些患者肺功能提高了但是仍然难以达到试拔管标准或拔管失败,究其原因大致有如下几种情况:拔管评估不准确、拔管时机选择不当、气道狭窄、气管壁塌陷、睡眠呼吸暂停低通气综合征、夜间阵发性呼吸困难、吞咽功能障碍、肺部多耐药菌严重感染等。针对这些情况我们会制定相应的治疗措施,必要时请多学科会诊协助诊治。对于肺部严重多耐药感染患者,请呼吸科专科医师协助制定抗感染治疗方案。针对吞咽功能障碍,在膈肌起搏器和呼吸训练的基础上加以针对性的吞咽功能训练。对于气管插管造成的良性气管狭窄,可根据病情实施纤维支气管镜下肉芽组织切除、球囊扩张、支架植入、冷冻治疗等^[32]。

体外膈肌起搏治疗直接作用于膈肌,改善膈肌的结构与功能,具有无创伤、操作简便、并发症少等优点。呼吸训练和体外膈肌起搏器二者结合可以发挥协同作用,更有效地改善脑卒中气管切开患者的肺功能,缩短拔管时间,增加拔管成功率,有助于加快脑卒中患者的康复进程,值得在临床实践中推广。本研究也存在不足之处,脑卒中后气管切开患者由于并发吞咽功能障碍,需要鼻饲饮食、留置胃管,导致鼻孔漏气,以及部分患者咬合功能障碍,上述因素混杂在一起会影响肺功能测试结果的准确性。本研究中操作人员主观上在对超声探头的把控取值存在一定误差,且研究样本数较少,今后如有条件可进一步开展大样本、多中心临床试验来证实其治疗的安全性、有效性,进一步研究其病理、生理机制,制定科学、个体化的康复治疗方案。

参考文献

- [1] 中国脑梗死急性期康复专家共识组. 中国脑梗死急性期康复专家共识[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2016,38(1):39.
- [2] Lioutas V-A, Hanafy KA, Kumar S. Predictors of extubation success in acute ischemic stroke patients[J]. J Neurol Sci, 2016,368:191—194.
- [3] Khedr EM, El Shinawy O, Khedr T, et al. Assessment of corticodiaphragmatic pathway and pulmonary function in acute ischemic stroke patients[J]. Eur J Neurol, 2000,7(5):509—516.
- [4] 邹盛国, 吴建贤. 脑卒中患者呼吸肌训练的临床研究进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019,41(9):708—711.
- [5] 中华神经医学学会. 各类脑血管疾病诊断要点[J]. 中华神经科杂志, 1996:60—61.
- [6] Hamada T, Usami A, Kishi A, et al. Anatomical study of phrenic nerve course in relation to neck dissection[J]. Surgi-

- cal & Radiologic Anatomy, 2015,44(3):e223—e223.
- [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.
 - [8] Wan YF, Zheng YL, Du YP, et al. Utility of uric acid as a risk marker of extubation success in chronic obstructive pulmonary disease[J]. Clinical Laboratory, 2015, 61(3—4): 337—344.
 - [9] 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.
 - [10] Jung KJ, Park JY, Hwang DW, et al. Ultrasonographic diaphragmatic motion analysis and its correlation with pulmonary function in hemiplegic stroke patients[J]. Annals of Rehabilitation Medicine, 2014,38(1):29—37.
 - [11] Lima INDF, Fregonezi GAF, Melo R, et al. Acute effects of volume-oriented incentive spirometry on chest wall volumes in patients after a stroke[J]. Respir Care, 2014,59(7):1101—1107.
 - [12] Wellington Pereira DSY, Elaine P, Simone S, et al. Air trapping: The major factor limiting diaphragm mobility in chronic obstructive pulmonary disease patients[J]. Respiriology, 2010,13(1):138—144.
 - [13] Hyun Wook K, Tae Ok K, Ram LB, et al. Influence of diaphragmatic mobility on hypercapnia in patients with chronic obstructive pulmonary disease[J]. Journal of Korean Medical Science, 2011,26(9):1209—1213.
 - [14] Levine S, Nguyen T, Taylor N, et al. Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans [J]. N Engl J Med, 2008,358(13):1327—1335.
 - [15] Berger D, Bloechlinger S, von Haehling S, et al. Dysfunction of respiratory muscles in critically ill patients on the intensive care unit[J]. J Cachexia Sarcopenia, 2016,7(4): 403—412.
 - [16] 李冰, 张红璇. 膈肌起搏的临床应用及研究进展[J]. 中国呼吸与危重监护杂志, 2013,12(4):423—426.
 - [17] Glenn WW, Holcomb WG, Hogan J, et al. Diaphragm pacing by radiofrequency transmission in the treatment of chronic ventilatory insufficiency. Present status[J]. Journal of Thoracic & Cardiovascular Surgery, 1973, 66(4): 505—520.
 - [18] Glenn WW, Hogan JF, Loke JS, et al. Ventilatory support by pacing of the conditioned diaphragm in quadriplegia [J]. N Engl J Med, 1984,310(18):1150—1155.
 - [19] 刘超, 万明珠, 段榴斯, 等. 呼吸神经生理促进疗法结合功能性电刺激对脑卒中后呼吸功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019,41(5):321—324.
 - [20] Ayas N, McCoool F, Gore R, SI, et al. Prevention of human diaphragm atrophy with short periods of electrical stimulation[J]. Am J Respir Crit Care Med, 1999, 159(6): 2018—2020.
 - [21] 鄢茵, 邵秀芹, 冯珍, 等. 体外膈肌起搏器联合呼吸训练对颈段脊髓损伤患者肺功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2018,33(9):1094—1096.
 - [22] Davenport PW, Reep RL, Thompson FJ. Phrenic nerve afferent activation of neurons in the cat si cerebral cortex[J]. Journal of Physiology, 2010,588(5):873—886.
 - [23] 古菁, 黄怀, 沈彤彤, 等. 体外膈肌起搏器对脑卒中机械通气患者的疗效观察[J]. 中华神经医学杂志, 2018,17(12): 1245—1249.
 - [24] 王志威, 黄怀. 体外膈肌起搏器联合呼吸反馈用于脑卒中后气管切开患者肺康复的疗效观察[J]. 中华生物医学工程杂志, 2016,22(6):511—514.
 - [25] 向毅, 陈钢, 王胜军, 等. 不同幅度脉冲膈肌起搏对兔膈肌 sod、mda、总抗氧化能力的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2004,26(5):269—271.
 - [26] Jang SH, Bang HS. Effect of thoracic and cervical joint mobilization on pulmonary function in stroke patients[J]. Journal Of Physical Therapy Science, 2016,28(1):257—260.
 - [27] 黄岳, 崔利华, 刘丽旭, et al. 脑卒中患者的呼吸功能障碍及其康复[J]. 中国康复理论与实践, 2015,21(9):1055—1057.
 - [28] 王赛华, 熊键, 高李侠, 等. 徒手呼吸训练干预脑卒中后吞咽功能障碍患者的疗效观察[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019,41(10):735—739.
 - [29] Hashem MD, Parker AM, Needham DM. Early mobilization and rehabilitation of patients who are critically ill[J]. Chest, 2016,150(3):722—731.
 - [30] Cader SA, de Souza Vale RG, Zamora VE, et al. Extubation process in bed-ridden elderly intensive care patients receiving inspiratory muscle training: A randomized clinical trial[J]. Clin Interv Aging, 2012,7:437—443.
 - [31] 周洁, 杜晴, 刘田, 等. 体外膈肌起搏对脑卒中后气管切开患者拔管时间及肺部感染疗效的研究[J]. 中国伤残医学, 2019,27(9):10—12.
 - [32] 李时悦, 苏柱泉. 插管后气管狭窄的危险因素及其处理[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2014,37(8):561—562.