

·临床研究·

## 应用不同频率、部位腹肌电刺激的反馈式呼吸电刺激训练对慢性阻塞性肺疾病患者膈肌功能和呼吸效率的影响

张雷<sup>1,2</sup> 刘亚康<sup>2</sup> 张鸣生<sup>1,2,3</sup>

### 摘要

**目的:**探讨应用不同频率、不同腹肌电刺激的反馈式呼吸电刺激训练对腹肌功能、膈肌功能和呼吸效率的影响。

**方法:**募集15例中重度慢性阻塞性肺疾病患者,在同一周内分别随机进行30Hz下腹肌、30Hz腹直肌、50Hz下腹肌、50Hz腹直肌刺激的反馈式呼吸电刺激训练。呼吸电刺激训练主要由膈神经和腹肌电刺激、呼吸反馈、腹式呼吸三个部分组成。膈神经和腹肌电刺激:有两个交替输出的电流通道,A通道输出双向对称方波,频率30Hz,脉宽为0.5ms,刺激膈神经;B通道输出低频调制中频正弦波,载波频率4kHz,调制波频率在30Hz或50Hz,刺激下腹肌(腹股沟中点上2cm)或脐旁水平2cm处的腹直肌。在平静状态时和训练的第15min分别检测下腹肌肌电、腹横肌厚度、膈肌活动度、潮气量、死腔通气等指标。

**结果:**30Hz、50Hz下腹肌和腹直肌刺激后下腹肌肌电和厚度明显增加,且50Hz下腹肌刺激较其他三组下腹肌肌电和腹横肌增厚率大,且差异显著。30Hz、50Hz下腹肌和腹直肌刺激后膈肌活动度、潮气量明显增加,死腔通气明显减少,且50Hz下腹肌刺激较其他三组刺激膈肌活动度和潮气量大,差异有显著性差异( $P < 0.05$ )。

**结论:**反馈式呼吸电刺激训练可以增加腹肌收缩,提高膈肌活动度和呼吸效率。

**关键词** 呼吸电刺激;腹肌功能;膈肌活动度;潮气量;慢性阻塞性肺疾病

**中图分类号:**R563.3, R454.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2015)-12-1262-04

慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary diseases, COPD)是一种以气道阻塞、肺部气体滞留和肺过度充气为特征的慢性肺部疾病。已经发现20%—50%的COPD患者呼吸肌力量减弱15%—30%<sup>[1]</sup>。吸气肌活动不足导致通气不足,同时呼气肌肌力减弱导致运动时动态过度充气<sup>[1]</sup>。长时间的气流受限和过度充气潜在危害发展,激活几个肌肉结构适用性机制,为保存过度负荷的呼吸肌功能而做出相应反应,如吸气肌被动伸长,使其处于不利的长度——张力力学位置,膈肌活动度下降,导致肺功能下降。目前肺康复中对吸气肌训练较多,但对呼气肌训练重视较少。本文拟通过不同频率不同腹肌的电刺激训练,研究反馈式呼吸电刺激对COPD患者腹肌功能、膈肌活动度及潮气量的影响,探讨腹肌电刺激对COPD患者肺功能的影响及刺激参数的设置。

### 1 资料与方法

#### 1.1 研究对象

收集2013年7月—2015年5月,在广东省人民医院呼吸内科门诊就诊的中重度稳定期COPD患者15例,通过症状、

体征、胸部X线检查和肺功能检查明确诊断,符合2013年中华医学会呼吸病学分会制定的COPD诊治指南<sup>[2]</sup>。

**纳入标准:**①年龄50—80岁;②吸入支气管舒张剂后FEV1/FVC < 70%且30% < FEV1 < 80%预计值;③入选前4周内无急性发作史;④无合并支气管哮喘;⑤无长期吸烟史,或已戒烟。

**排除标准:**①近期进行过其他呼吸康复相关训练的患者;②合并I型或II型呼吸衰竭;③有胸膜疾病或胸廓畸形,骨关节疾病及神经肌肉接头疾病;④心脏疾病、肝肾功能不全、肿瘤;⑤精神异常、认知障碍者;⑥拒绝接受康复训练及依从性差的患者。一般资料见表1。

#### 1.2 研究方法和分组

呼吸电刺激训练主要由膈神经和腹肌电刺激、呼吸反馈、腹式呼吸三个部分组成。①膈神经和腹肌电刺激:有两个交替输出的电流通道,A通道输出双向对称方波,频率30Hz,脉宽为0.5ms,刺激膈神经;B通道输出低频调制中频正弦波,载波频率4kHz,调制波频率在30Hz或50Hz,刺激下腹肌(腹股沟中点上2cm)或脐旁水平2cm处的腹直肌。②

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2015.12.013

\*基金项目:广东省科技计划项目(编号:2010b031600164);广州市科技计划项目(编号:2012j4300083)

1 南方医科大学,广州,510515; 2 广东省人民医院广东省医学科学院; 3 通讯作者

作者简介:张雷,男,硕士研究生,物理治疗师; 收稿日期:2015-08-27

表1 15例 COPD 患者一般资料 ( $\bar{x} \pm s$ )

参数	平均值
年龄(岁)	75.14±6.68
身高(cm)	164.53±7.40
体重(kg)	60.03±10.82
Borg	2.07±1.44
MRC	1.27±0.68
FEV1(L)	1.28±0.43
FEV1%pre	51.18±13.82
FEV1/FVC	47.89±10.86

呼吸反馈:患者舒适坐位,在脐水平绑上腹带,腹带通过简易的压力感受器连接电脑,可以直观地看到腹部舒缩周期,结合仪器的声音指示,吸气起始时发出“吸”指令,呼气起始时发出“呼”指令,患者根据声光反馈进行调整。所有患者随机完成①:30Hz下腹肌、②:30Hz腹直肌、③:50Hz下腹肌、④:50Hz腹直肌4次刺激。

### 1.3 检测流程

①所有入组患者当日完成一般资料和病史采集、肺功能检查。②患者先进行为期2周、每周2次、每次20min的门诊呼吸电刺激训练,在家时进行每天2次、每次20min的腹式呼吸训练。让患者熟悉反馈式呼吸电刺激训练,并学会腹式呼吸。③在检测前一天,患者暂停吸入支气管舒张剂和口服长效茶碱制剂。④患者在进行检测前充分休息10min,在呼吸电刺激训练前平静呼吸状态、呼吸训练第15min检测腹肌表面肌电、腹肌厚度变化率、肺功能,以及呼吸困难评分等参数。

### 1.4 常规肺功能检测

参照郑劲平所著《肺功能学:基础与临床》的肺通气功能测试步骤,采用杰斯特-101简易肺功能仪检测入组患者坐位肺功能,观察吸入支气管舒张剂(硫酸沙丁胺醇气雾剂400ug)15min前后FEV1.0、FVC实测值及其占预计值百分比、FEV1/FVC,以及深吸气量等变化。

### 1.5 腹肌厚度检测

选择右侧腹肌进行测量:B型线性超声探头(8—13MHz)置于肋缘下角与髂脊中间,距线10cm处,调整位置使腹横肌中间到超声图像中间有2cm<sup>[9]</sup>。

### 1.6 膈肌活动度检测

选择右侧膈肌活动度进行测量:参照Matamis D<sup>[4]</sup>报道的方法,3—8MHz曲阵超声探头置于右侧肋缘下锁骨中线和腋前线之间,向中间、头侧、背侧调整探头方向,使声束垂直于对应半侧膈肌的后1/3处(活动度最大)。所得膈肌图像为一条高回声线,B型超声获得最佳视图后转换为M型超声,所记录的膈肌活动轨迹即为膈肌活动度。

### 1.7 呼吸肌表面肌电

选择右侧下腹肌进行表面肌电检测。①电极位置:皮肤

充分去皮脂以减少皮肤和电极之间的电阻,Ag/AgCl双黏性电极置于髂前上棘下方,腹股沟上方的腹横肌处<sup>[9]</sup>,每对电极间距2—3cm。②数据采集和分析:在呼吸电刺激训练前平静呼吸状态、训练第15min(暂停电流输出)各采集30s的呼吸肌表面肌电信号。肌电采样频率为1000Hz,肌电信号带宽为10—1000Hz。肌电信号由16导生理记录仪(意大利BTS公司生产)记录,经过生物信号放大器(意大利BTS公司生产)放大处理后,通过肌电分析系统进行滤波(20—500Hz),计算持续100ms的肌电振幅均方根(root mean square, RMS)。为避免心电对呼吸肌表面肌电的干扰,我们选择右侧呼吸肌进行测量,分析时尽可能选择心电两QRS波之间的肌电信号。计算每一次呼吸的RMS最大值,选取重复性较好的3—5次呼气期的RMS最大值取平均值。

### 1.8 通气换气检测

采用德国Cortex公司生产的运动心肺仪测量患者呼吸训练过程中的通气换气变化,患者戴上密封面罩(Custo公司生产),通过气流气体传导器和气体分析仪相连,检测的指标主要为潮气量。

### 1.9 统计学分析

采用SPSS 19.0软件进行统计学分析。计量资料用均数±标准差表示,干预前后比较采用配对t检验进行统计分析。

## 2 结果

### 2.1 30Hz、50Hz下腹肌和腹直肌电刺激时腹横肌肌电和厚度变化

30Hz、50Hz下腹肌和腹直肌刺激后下腹肌肌电和厚度明显增加,且50Hz下腹肌刺激较其他三组下腹肌肌电和腹横肌增厚率大,且差异有显著性意义( $P<0.05$ )。见表2。

### 2.2 30Hz、50Hz下腹肌和腹直肌电刺激时膈肌活动度和潮气量的变化

30Hz、50Hz下腹肌和腹直肌刺激后膈肌活动度、潮气量明显增加,且50Hz下腹肌刺激较其他三组刺激膈肌活动度和潮气量大,差异有显著性意义( $P<0.05$ )。见表3。

### 2.3 30Hz、50Hz下腹肌和腹直肌电刺激时死腔通气变化

30Hz、50Hz下腹肌和腹直肌刺激后死腔通气,明显减少,且50Hz下腹肌刺激较腹直肌刺激死腔通气小,差异有显著性意义( $P<0.05$ )。见表4。

## 3 讨论

腹肌是非常重要的呼气肌,在呼气功能中有重要作用,比如用力呼气和咳嗽。当腹肌收缩时,推动腹壁向内,增加腹内压。这个运动使膈肌向胸腔运动,导致胸膜压增加,肺容量减少。刺激腹肌收缩有不同的方法,包括表面电极、磁

表2 电刺激时下腹肌表面肌电均方根和腹横肌增厚率改变 (x±s, 15例)

参数与部位	下腹肌肌电均方根(uV)		腹横肌增厚率	
	治疗前	治疗 15min	治疗前	治疗 15min
30Hz 下腹肌	7.776±1.125	8.911±1.170 <sup>①</sup>	0.192±0.116	0.322±0.110 <sup>①</sup>
30Hz 腹直肌	7.781±1.082	8.465±1.075 <sup>①</sup>	0.192±0.105	0.299±0.099 <sup>①</sup>
50Hz 下腹肌	7.770±1.198	10.693±1.403 <sup>①</sup>	0.187±0.137	0.363±0.124 <sup>①</sup>
50Hz 腹直肌	7.749±1.105	9.357±1.187 <sup>①</sup>	0.173±0.132	0.306±0.101 <sup>①</sup>

注:①前后比较, P < 0.05。

表3 电刺激时膈肌活动度和潮气量的改变 (x±s, 15例)

参数与部位	膈肌活动度(cm)		潮气量(L)	
	治疗前	治疗 15min	治疗前	治疗 15min
30Hz 下腹肌	2.709±0.588	3.637±0.616 <sup>①</sup>	0.491±0.222	0.843±0.295 <sup>①</sup>
30Hz 腹直肌	2.710±0.564	2.910±0.477 <sup>①</sup>	0.500±0.112	0.573±0.194 <sup>①</sup>
50Hz 下腹肌	2.705±0.571	3.819±0.646 <sup>①</sup>	0.491±0.216	0.970±0.340 <sup>①</sup>
50Hz 腹直肌	2.702±0.579	2.945±0.482 <sup>①</sup>	0.489±0.081	0.590±0.200 <sup>①</sup>

注:①前后比较, P < 0.05。

表4 电刺激时VD/VT的改变

参数与部位	VD/VT	
	治疗前	治疗 15min
30Hz 下腹肌	0.2990.038	0.2630.032
30Hz 腹直肌	0.3090.044	0.2830.031
50Hz 下腹肌	0.3020.042	0.2500.030
50Hz 腹直肌	0.3050.041	0.2770.026

①前后比较, P < 0.05。

刺激和脊髓植入电极。表面电极刺激有无创性和成本便宜的优势, Gollee 等<sup>[6]</sup>报道腹肌神经肌肉电刺激能支持呼吸, 大部分肌肉瘫痪时使用单纯表面刺激甚至能产生肌肉收缩。本研究结果显示: 30Hz、50Hz 刺激后腹横肌肌电、厚度和膈肌活动度明显增加, 表明反馈式呼吸电刺激能增加腹横肌收缩能力; 腹肌电刺激可以再训练呼气肌, 提高肌肉力量, 通过重复传入刺激腹肌诱导呼气肌收缩, 增加腹内压, 易于膈肌向上运动, 降低胸腔压力和肺容量, 因此改善呼吸和排痰能力, 与本试验结果相似。腹肌是吸气肌的一个重要补充, 腹肌的协调使吸气容易。反馈式呼吸训练腹肌电刺激使吸气容易(膈肌活动度抬高)有以下两种机制: ①增加呼气流速和呼气延长使呼气末肺容量减少。肺容量减少到被动呼气末容量以下可以诱导吸气弹性回缩压, 所以腹肌协助吸气作功。②由于腹肌作用使膈肌长度延长, 膈肌压力产生能力增加。腹肌收缩提高腹压, 这使膈肌向胸部靠近, 拉长膈肌纤维, 使其处在有利长度张力曲线位置。

腹肌电刺激能提高呼气时肺功能, 因为电刺激诱导的腹肌收缩增加咳嗽和直接增加最大吸气压来改善呼气流速。Gollee<sup>[6]</sup>也报道腹肌电刺激能减少肺容量来提高呼吸效率。有研究<sup>[7]</sup>报道腹肌电刺激也能通过减少功能残气量和吸气时弹性回缩力来改善肺功能。腹肌电刺激还可以提高神经反射和能自主呼吸的脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)患者的潮气量<sup>[6,8]</sup>。本研究结果显示: 30Hz、50Hz 刺激后潮气量明

显增加, 表明反馈式呼吸电刺激能够增加潮气量。反馈式呼吸电刺激时, 电刺激与呼吸同步。当吸气时进行膈神经电刺激增加, 当呼气时进行腹肌电刺激, 增加潮气量。VD/VT 表示死腔通气量/潮气量, 值越小, 说明残气量越少, 呼吸效率越高。本试验结果显示 30Hz、50Hz 此后 VD/VT 较治疗前降低, 且 50Hz 下腹肌刺激优于腹直肌刺激。说明反馈式呼吸电刺激训练能够减少功能残气量, 且 50Hz 下腹肌刺激较优。Gollee<sup>[9]</sup>等研究认为腹部电刺激安静呼吸时在呼气开始阶段使用刺激效果最好。腹部电刺激可以增加潮气量。刺激开始阶段就可以增加潮气量, 接着呼吸效率开始增加。在神经完整的个体中, 随着刺激的继续, 过度换气症状开始慢慢出现。当刺激结束, 潮气量马上减少, 呼吸效率也减少, 最后过度换气效应也开始消失。

低频调制中频兼具低频和中频的优点: 频率、波幅、波形不断变化, 人体不易适用。但无低频的作用表浅、对皮肤刺激大、有电解作用等缺点, 同时低频调制中频刺激神经肌肉时可引起较强的肌肉收缩, 同时使患者能耐较大强度的电流。有研究报道<sup>[10]</sup>神经肌肉电刺激能增加 RNA 含量和肌浆蛋白含量, 减少泛素结合的肌浆蛋白和蛋白酶体活性, 同时机械生长因子与应用电流强度成正比。使用低频调制中频时, 由于耐受强度较大, 可较多增强肌肉力量。COPD 患者呼气时腹横肌对呼气功能作用较多, 且腹横肌解剖位置较深, 低频调制中频电刺激是一种较好的刺激方法。生理学上发生强制性收缩的频率在 20—30Hz<sup>[11]</sup>, 而较低频率可以增加耐力, 而 50Hz 或者更高的频率可以增加肌肉工作效率, 提高肌肉力量<sup>[12]</sup>。目前临床上腹肌电刺激多采用 50Hz 左右刺激频率<sup>[10,13]</sup>。本研究结果显示 50Hz 较 30Hz 电刺激效果好, 与以上结果相似。

不同的腹肌在呼气中作用不同。狗脊髓电刺激时, 斜肌和腹横肌对正压通气的贡献最大<sup>[14]</sup>。使用肌内电极检测狗

和人腹肌激活情况,发现腹肌呼吸时作用不是统一的。呼气时腹横肌和腹内斜肌的募集较表层肌肉优先。有研究发现当最大呼气时<sup>[15]</sup>,腹横肌、腹内斜肌和腹直肌较腹外斜肌优先募集,腹横肌对腹压产生作用最大。研究发现侧腹肌较腹直肌电刺激能产生更多的潮气量<sup>[13]</sup>,本试验结果显示50Hz下腹肌刺激最优,以上结论与本试验结果相似。单纯吸气肌训练对肺功能的改善还存在一定的争议,特别是FEV1<sup>[7]</sup>,而吸气肌训练结合腹肌电刺激能改善FEV1、PEF和膈肌厚度率。腹肌电刺激作为一种吸气肌训练的补充在临床中应该受到越来越多的重视。反馈式呼吸电刺激训练结合电刺激和呼吸训练,电刺激吸气肌和呼气肌的协同作用,更有利膈肌活动及潮气量增加,一种非常好的训练方法。本试验存在以下不足之处:①未与其他呼吸训练方法进行对比,探讨不同训练方法的差异;②未对FEV1、FVC等关键指标进行测量。后续会对以上问题进行探讨研究。本试验患者年龄较大,个体差异大,试验结果可能存在一定偏差。

#### 参考文献

- [1] Makarevich AE, Lemiasheuskaya SS, Pochtavcev AJ, et al. The dynamics of respiratory muscle changes during the progression of chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Adv Clin Exp Med*, 2014, 23(3):381—394.
- [2] 中华医学会呼吸病学分会慢性阻塞性肺疾病学组. 慢性阻塞性肺疾病诊治指南(2013年修订版)[J]. *中国医学前沿杂志(电子版)*, 2014, (02):67—80.
- [3] Ferreira PH, Ferreira ML, Hodges PW. Changes in recruitment of the abdominal muscles in people with low back pain: ultrasound measurement of muscle activity[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2004, 29(22):2560—2566.
- [4] Matamis D, Soilemezi E, Tsagourias M, et al. Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications[J]. *Intensive Care Med*, 2013, 39(5):801—810.
- [5] Hides J, Wilson S, Stanton W, et al. An MRI investigation into the function of the transversus abdominis muscle during "drawing-in" of the abdominal wall[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2006, 31(6):E175—E178.
- [6] Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, et al. Automatic electrical stimulation of abdominal wall muscles increases tidal volume and cough peak flow in tetraplegia[J]. *Technol Health Care*, 2008, 16(4):273—281.
- [7] Jung JH, Shim JM, Kwon HY, et al. Effects of Abdominal Stimulation during Inspiratory Muscle Training on Respiratory Function of Chronic Stroke Patients[J]. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26(1):73—76.
- [8] Garshick E, Kelley A, Cohen SA, et al. A prospective assessment of mortality in chronic spinal cord injury[J]. *Spinal Cord*, 2005, 43(7):408—416.
- [9] Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, et al. A control system for automatic electrical stimulation of abdominal muscles to assist respiratory function in tetraplegia[J]. *Med Eng Phys*, 2007, 29(7):799—807.
- [10] Strasser EM, Stättner S, Karner J, et al. Neuromuscular electrical stimulation reduces skeletal muscle protein degradation and stimulates insulin-like growth factors in an age- and current- dependent manner: a randomized, controlled clinical trial in major abdominal surgical patients[J]. *Ann Surg*, 2009, 249(5):738—743.
- [11] Gorman PH. An update on functional electrical stimulation after spinal cord injury[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2000, 14(4):251—263.
- [12] Cheng PT, Chen CL, Wang CM, et al. Effect of neuromuscular electrical stimulation on cough capacity and pulmonary function in patients with acute cervical cord injury[J]. *J Rehabil Med*, 2006, 38(1):32—36.
- [13] Kandare F, Exner G, Jeraj J, et al. Breathing induced by abdominal muscle stimulation in individuals without spontaneous ventilation[J]. *Neuromodulation*, 2002, 5(3):180—185.
- [14] DiMarco AF, Romaniuk JR, Kowalski KE, et al. Mechanical contribution of expiratory muscles to pressure generation during spinal cord stimulation[J]. *J Appl Physiol*, 1999, 87(4):1433—1439.
- [15] Misuri G, Colagrande S, Gorini M, et al. In vivo ultrasound assessment of respiratory function of abdominal muscles in normal subjects[J]. *Eur Respir J*, 1997, 10(12):2861—2867.