

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2018.04.008

· 综述 ·

呼吸训练器在稳定期慢性阻塞性肺疾病患者肺康复中的应用现状

田家伟, 蔡丽婷, 侯昕珩

东南大学医学院附属江阴医院, 江苏江阴市 214400

通讯作者: 侯昕珩. E-mail: houxinheng2008@126.com

摘要

目前呼吸训练器的基本原理仍不明确, 但主要是依据呼吸肌的神经肌肉可塑性。现有呼吸训练器大体分为阻力或阈值负荷呼吸训练器、腹式呼吸训练器、多功能呼吸训练器以及新式呼吸训练器 5 类。呼吸训练器在稳定期慢性阻塞性肺疾病患者中的疗效目前尚不肯定, 有待更进一步的高质量研究予以评价。

关键词 慢性阻塞性肺疾病; 肺康复; 呼吸训练器; 综述

Application of Breathing Trainer in Pulmonary Rehabilitation of Stable Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease (review)

TIAN Jia-wei, CAI Li-ting, HOU Xin-heng

Department of Respiration, Jiangyin Hospital Affiliated to Medical College of Southeast University, Jiangyin, Jiangsu 214400, China

Correspondence to HOU Xin-heng. E-mail: houxinheng2008@126.com

Abstract

At present, the mechanism of breathing trainer is not very clear, but it mainly bases on the neuromuscular plasticity of respiratory muscle. The breathing trainers appeared on the market mainly included resistance load or threshold load breathing trainers, abdominal breathing trainers, multifunctional breathing trainers, and new breathing trainers. However, the efficacy of breathing trainer on the stable patients with chronic obstructive pulmonary disease remains uncertain, and needs further researches.

Key words: chronic obstructive pulmonary disease; pulmonary rehabilitation; breathing trainer; review

[中图分类号] R562.2 [文献标识码] A [文章编号] 1006-9771(2018)04-0416-06

[本文著录格式] 田家伟, 蔡丽婷, 侯昕珩. 呼吸训练器在稳定期慢性阻塞性肺疾病患者肺康复中的应用现状[J]. 中国康复理论与实践, 2018, 24(4): 416-421.

CITED AS: Tian JW, Cai LT, Hou XH. Application of breathing trainer in pulmonary rehabilitation of stable patients with chronic obstructive pulmonary disease (review) [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2018, 24(4): 416-421.

慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)是以持续气流受限为特征的可以预防和治疗的疾病, 其气流受限多呈进行性发展, 与气道和肺组织对香烟、烟雾等有害气体或有害颗粒的异常慢性炎症反应相关^[1]。世界卫生组织的评估资料显示, 全球大约 6500 万人罹患 COPD, 仅 2005 年就有 300 万人死亡^[2]。依据改良英国医学研究委员会呼吸困难量表(modified British Medical Research Council Dyspnea Scale, mMRC)对症状、肺功能改变和急性加重风险的评估等, 可对稳定期 COPD 患者的病情严重程度做出综合性评估, 并选择相应的治疗药物^[3]。2017 COPD 全球倡议: COPD 诊断、治疗与预防全球策略^[4]中就明确指出, 对于 2018, 24(4): 评估呼吸困难症状重和急性加重风险高的 B、C 和 D 组患者, 应当鼓励其进

行肺康复训练。COPD 的肺康复方案主要是以运动疗法为主的综合方案, 包括运动疗法、劝导戒烟、营养咨询和自我管理教育等^[5-6]。呼吸训练在运动疗法中占有举足轻重的地位, 除了简单的缩唇呼吸、腹式呼吸和部分呼吸法等训练外, 利用呼吸训练器的强化呼吸肌训练在临床上也广为使用。

本文旨在系统地综述呼吸训练器的原理, 对比目前国内外的呼吸训练器优劣和临床实际应用后的疗效, 为后续呼吸训练器的研发创新和试验验证提供可靠的理论基础。

1 呼吸训练器的原理

呼吸运动包括吸气和呼气两个过程。主要吸气肌是膈肌和肋间外肌, 主要呼气肌为肋间内肌和腹肌。此外, 还有一些辅助吸气肌, 如斜角肌和胸锁乳突肌。平静呼吸时, 吸气是主

作者简介: 田家伟(1990-), 男, 汉族, 湖北宜昌市人, 硕士, 医师, 主要研究方向: 慢性阻塞性肺疾病的肺康复治疗。通讯作者: 侯昕珩(1973-), 男, 汉族, 江苏无锡市人, 主任医师, 主要研究方向: 慢性阻塞性肺疾病的肺康复治疗。

动、耗能的过程,其中膈肌起主要作用^[7-8]。膈肌从胚胎学、形态学和功能上分析属于骨骼肌,由不同类型的肌纤维混合组成。根据收缩时间和代谢特征的不同,肌纤维可分为三类:① I 型(慢肌),即慢速氧化型肌纤维(slow oxidative, SO),约占 50%,含有丰富的毛细血管、肌红蛋白、线粒体,有利于有氧代谢,有较高的耐疲劳能力;② II A 型(快 A 型),即快速氧化型糖酵解纤维,约占 25%,含线粒体较多,能量供应足,也有一定的耐疲劳能力;③ II B 型(快 B 型),即快速糖酵解纤维(fast glycolytic, FG),约占 25%,该型纤维的毛细血管、肌红蛋白及线粒体虽然较少,但却有利于无氧酵解,故 II B 型纤维主要决定膈肌的收缩能力,而耐疲劳能力较差^[9-10]。

膈肌功能障碍是 COPD 患者的主要特征之一^[11]。一方面,在肺阻力和弹力增加的情况下,为保证正常的通气需求,膈肌等呼吸肌的负荷会相应增加;另一方面,受肺过度充气在初长度-张力关系上的影响,膈肌所能产生的收缩力下降;另外,炎症和氧化应激使膈肌肌纤维受损。纵观国内外 COPD 患者肺康复的研究^[12-13],发现国内外绝大多数研究只是从外表的症状缓解和肺功能改善等方面去论证肺康复的作用,并没有某一项研究能从内在基础的病理生理机制上阐明呼吸训练器在 COPD 患者中作用的机理,主要原因是目前在此方面并不是很清楚。不管是在体的还是离体的呼吸肌实验,研究设计均存在相当多的限制和不便。大多数研究者认为,膈肌的收缩特性和抗疲劳性可随其使用程度而产生适应性变化,在稳定期 COPD 患者中主要表现为 FG 向 SO 的转变^[14],即具有神经肌肉控制的可塑性,这是在治疗肺气肿患者时,采取两种相反意见的主要依据。一种是加强训练吸气肌肉的耐力;另一种是采用夜间机械通气方法,使吸气肌得到休息而恢复。

Ovechkin 等^[15]利用肌电图等技术进一步验证膈肌等呼吸肌在 COPD 肺康复训练中的可塑性。在呼吸运动训练(respiratory motor training, RMT)前, COPD 患者相比于健康对照组气道压力低,呼吸肌运动并不是以膈肌和肋间肌收缩为主;RMT 后,气道压力上升(见图 1),且各呼吸肌的肌电图分布与健康对照组相似(见图 2)。另外,相比于非疲劳状态,疲劳状态下 COPD 患者呼吸肌以 SO (4-60 Hz)为主,经过 RMT 后进一步加强(见图 3)。

现有的呼吸训练器即运用上述呼吸肌神经肌肉控制的可塑性,在呼吸过程中适当加压,进行对抗阻力呼吸训练,延缓呼气过程,使气流下降,提高气管内压,从肌力和耐力等各方面重塑各呼吸肌,从而达到肺康复的目的。

2 几种呼吸训练器的对比

通过阅读大量国内外相关文献,目前并没有相关文献对各种呼吸训练器加以综述和对比分析。本文从以下 5 个方面对其

加以分类,以便于后续相互比较。

2.1 阻力负荷呼吸训练器

COPD 患者因气道阻力增加、呼气期气道陷闭和肺的弹性回缩力减弱,使得呼吸不畅且不完全,形成所谓的“动态过度充气状态”,呼气末肺泡内滞留的气体形成一定的正压,称作 PEEPi,其范围为 1~19 cmH₂O^[16]。阻力负荷呼吸训练器(图 4A)即在呼吸过程中加载适当阻力与其形成对抗。按照所加载的阻力是否可调节,又可分为定量阻力和可调阻力负荷呼吸训练器。

定量阻力负荷呼吸训练器加载的阻力常固定为 3~5 cmH₂O。实际的呼吸训练器中常以所能吹出的水量来替代此部分压力。国内某型定量阻力呼吸训练器(图 4C),从吹气管中向第一呼吸瓶中吹气,使无菌注射用水从上面的连接管进入到第二呼吸瓶;当第二呼吸瓶中的水产生的压力超过单向压力阀的压力高限后,经底部连接管回流至第一呼吸瓶^[17]。

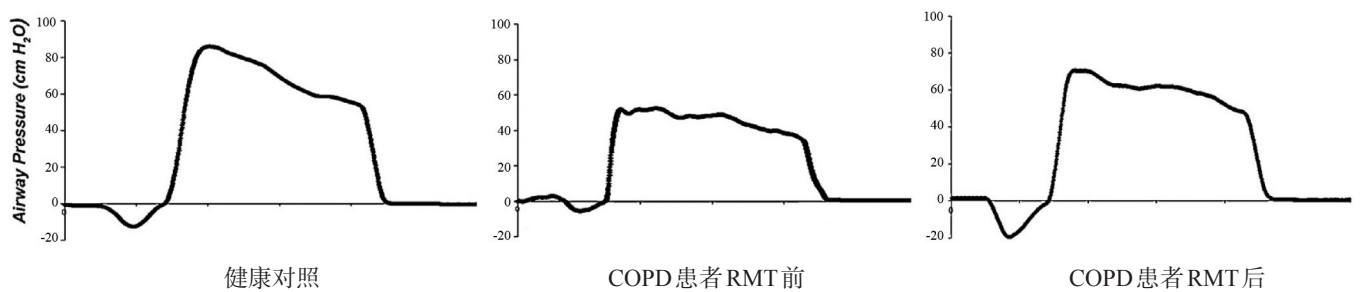
可调阻力负荷呼吸训练器相比于定量负荷呼吸训练器,在阻力上可根据不同 COPD 患者的个体情况调节阻力,有一定改进,但是同时也增加了制造成本和 COPD 患者的经济负担。也有某型可调阻力负荷呼吸训练器^[18-19](图 4D)可根据 COPD 患者基础情况,通过增加或减少含活塞球的腔体数量,以及拨动底部调节板调整换气孔大小来调节呼吸训练时的阻力,增减难度,完成训练。

2.2 阈值负荷呼吸训练器

按照流体的泊肃叶定律^[20],呼吸气的气流流量 Q 等于两点间的压力差 ΔP 和阻力差 ΔR 的比值,即 $Q=\Delta P/\Delta R$ 。阻力负荷呼吸训练器即依据上述原理,其所能提供的阻力依赖于呼吸气气流,限制的气流越小,产生阻力越大。而阈值负荷训练器并不依赖于呼吸气流的限制,当经口压超过预设的压力阈值后,通道开放,呼吸气开始流动。图 4B 所示为阈值负荷训练器,可通过内置的弹簧紧张度的调节设定出不同的压力阈值,以供呼吸训练。

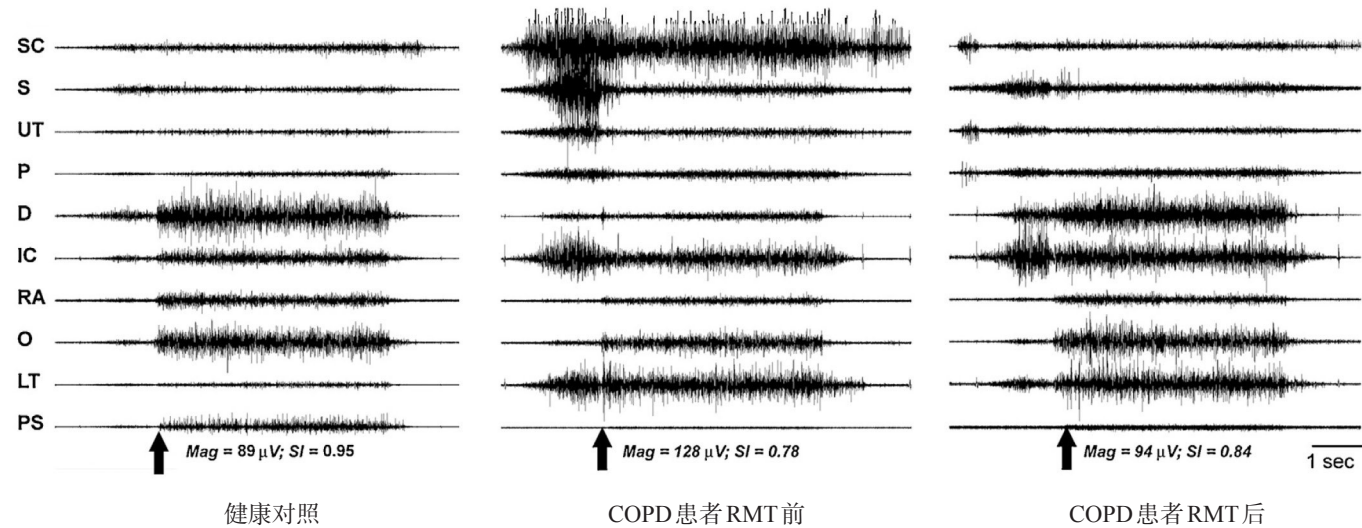
2.3 腹式呼吸训练器

胸式呼吸常不使用膈肌,而是借助于胸部肌肉,相比腹式呼吸缺乏效率,不能获得充足的氧气,满足各组织器官对氧的需求。腹式呼吸主要使用膈肌,最大限度地扩张肺组织,使肺组织得到锻炼,也有基于此原理的腹式呼吸训练器^[21](图 4E)。其原理是通过充气泵和压力传感器,周而复始地向压力腹带中充放气,一方面模拟腹式呼吸,另一方面也促进肠蠕动。临床使用中,从 COPD 患者使用的舒适性和便利性上比较,腹式呼吸训练器较阻力负荷呼吸训练器和阈值负荷呼吸训练器等胸式呼吸训练器差。



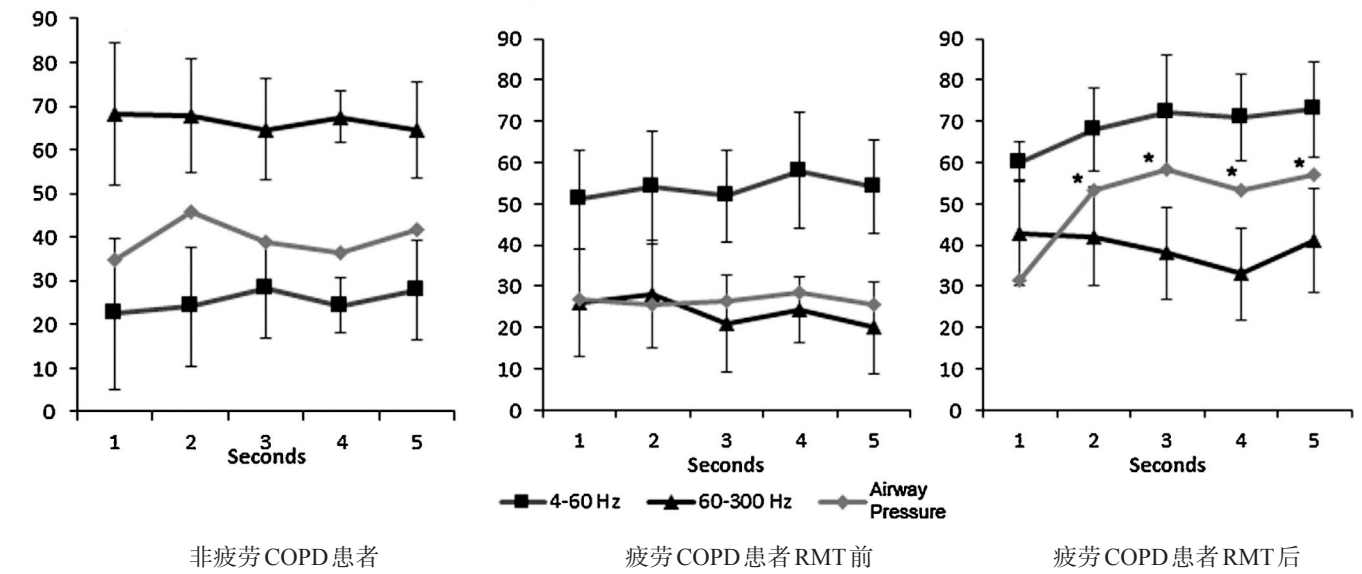
注：本图已获得版权所有 Elsevier 使用许可，并进行适当修改

图1 健康对照与COPD患者RMT前后用力呼吸时气道压力的比较



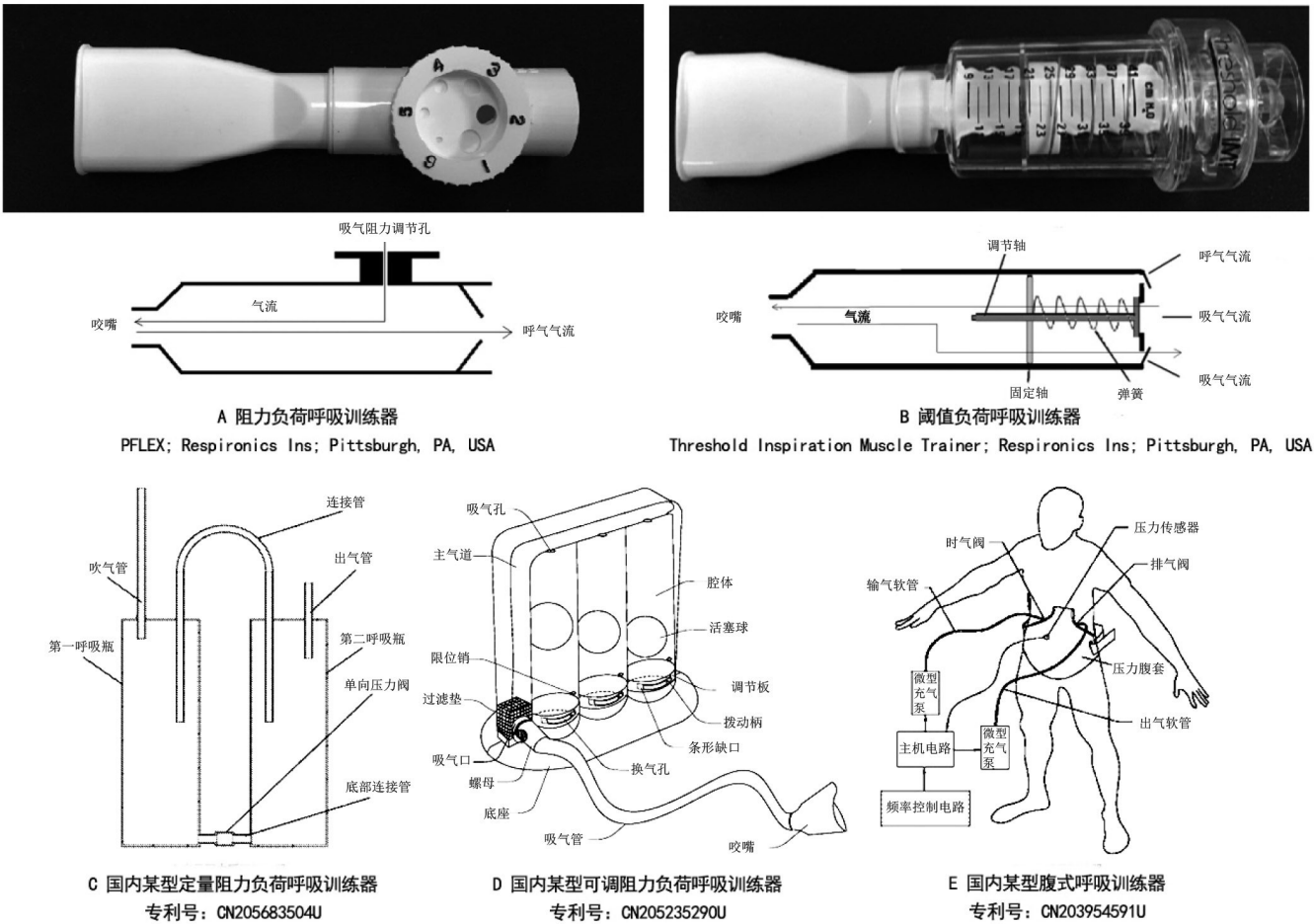
注：本图已获得版权所有 Elsevier 使用许可，并进行适当修改。SC，胸锁乳突肌(sternocleidomastoid)；S，斜角肌(scalene)；UT，上斜方肌(upper trapezius)；P，胸大肌(pectoralis)；D，膈肌(diaphragm)；IC，肋间肌肉(intercostals)；RA，腹直肌(rectus abdominis)；O，腹斜肌(obliquus abdominis)；LT，下斜方肌(lower trapezius)；PS，脊竖肌(lumbar paraspinal)

图2 健康对照与COPD患者RMT前后各呼吸肌肌电图变化的比较



注：本图已获得版权所有 Elsevier 使用许可，并进行适当修改

图3 COPD 患者非疲劳状态下与疲劳状态下RMT前后肌电图组成的比较



注：本图已获得版权所有者 Dovepress 使用许可，并进行适当修改

图4 呼吸训练器

2.4 多功能呼吸训练器

多功能呼吸训练器除具备主要的呼吸训练功能外，往往利用其自身特点附加开发一些另外的功能，例如带排痰功能的呼吸训练器^[22]。正常呼吸道纤毛摆动频率为10~15 Hz，此频率可有效将异物排除，并通过咳嗽和吞咽动作将异物彻底排出呼吸道^[23]。但是由于人体声带结构及肺部容积大小的影响，人体难以发出此类振动。此呼吸训练器在满足呼吸训练的同时，通过附带的低频振动发生单元，谐振增强呼吸道纤毛的活力，增加异物排除效率，起到多重的临床效果。

2.5 新式呼吸训练器

随着智能穿戴设备的大量开发，在呼吸训练器领域，逐步出现许多可穿戴的智能呼吸训练器^[24]，即新式呼吸训练器。此类呼吸训练器可通过无线通讯，将实时训练的各监测数据呈现在智能手持终端上，并回传到医疗机构的云服务器上，有效增加使用者呼吸训练的兴趣，从而有效提高使用者呼吸训练效果；另一方面也便于医疗机构的临床工作者实时掌握使用者肺康复训练的具体情况。类似于上述依托于物联网思维的肺康复训练也在大量开展^[25-26]。

3 相关临床应用研究

通过检索各大数据库，发现有大量关于COPD患者肺康复方面的临床研究，但单独以呼吸训练器作为干预措施的很少。近期发表的一篇COPD患者肺康复系统评价的文章中，Hakamy等^[27]检索了OVID、Medline、EMBASE和ClinicalTrials.gov数据库从1980年1月至2015年10月的文献，初步得到3216篇，但按照自己所要研究的肺康复对稳定期COPD患者死亡率等方面影响的条件筛选后，只剩下7篇。同样，在PubMed中，以“COPD”、“pulmonary rehabilitation”和“breathing trainer”为关键词检索，仅有3篇早些年的相关文献^[28-30]。相关影响因素也不除外部分研究者直接用所使用呼吸训练器的注册商品名称发表文章。时间较近的一篇文章是Lisboa等^[29]回顾一些随机对照的研究，发现大多数研究都证实呼吸训练器在COPD肺康复中对吸气肌功能的积极作用。有限的可用数据显示，可提高COPD患者6~12 min内步行距离，以及夜间的血氧饱和度(SaO₂)，并最终总结呼吸训练器是一种很有帮助的治疗方法。

在国内，宫巧俐等^[31]曾对60例门诊稳定期的COPD患者进行呼吸训练器干预，发现使用呼吸训练组在肺功能、血气分析

氧分压和 SaO_2 方面均有显著改善。另外,在注册的临床研究方面, ClinicalTrials.gov 数据库中,广州呼吸疾病研究所呼吸疾病国家重点实验室陈荣昌曾在 2014 年主持过类似的前瞻性随机对照研究 (ClinicalTrials.gov identifier: NCT02278523), 以 Threshold IMT[®] 呼吸训练器为干预措施, 对比训练前后 COPD 患者肺功能 (FEV_1 、 $\text{FEV}_1/\text{Pred}\%$ 、 FVC 、 $\text{FVC}/\text{Pred}\%$ 和 $\text{FEV}_1/\text{FVC}\%$) 和呼吸力学指标 (经口压、食道压、胃内压、跨膈压、呼吸气流速、潮气量和食道膈肌肌电) 的变化, 但是未见相关结果发表, 后经了解他们进行了另一项有意义且已有结果发表的研究 (ClinicalTrials.gov identifier: NCT03017300)^[32], 即将我们上述所说的阻力负荷训练器和阈值负荷训练器进行对比研究, 相比之下阈值负荷训练器更利于膈肌的动员, 产生大的跨膈压, 更适合于 COPD 患者的肺康复锻炼。

近期 Leelarungrayub 等^[33]利用呼吸训练器将被研究者随机分为对照组、标准训练组和呼吸器训练组, 对比 6 周训练后三组呼吸肌强度 (最大吸气压 PIMax 和最大呼气压 PEMax)、肺功能 (FVC 、 $\text{FVC}/\text{Pred}\%$ 、 FEV_1 、 $\text{FEV}_1/\text{Pred}\%$ 、 $\text{FEV}_1/\text{FVC}\%$)、6 min 步行试验 (6-minute walking distance, 6MWD)、生活质量评分、氧化应激标志物 (谷胱甘肽)、丙二醛和呼出气一氧化氮测定, 以及呼吸困难评分, 发现未进行呼吸训练的对照组, 上述指标在 6 周前后无明显变化, 而经呼吸训练器训练后的标准训练组和呼吸器训练组在 6 周前后, 上述指标除 $\text{FVC}/\text{Pred}\%$ 、 FEV_1 、 $\text{FEV}_1/\text{Pred}\%$ 、6MWD 和谷胱甘肽外, 均发生有意义的变化。另外, 研究还表明, 其所用的新的筒式呼吸训练器优于标准训练组所用的呼吸训练器 (Portex[®])。

呼吸肌训练除可应用于 COPD 外, 还可用于脊髓损伤、系统性硬化、帕金森病和失声等患者的康复训练。有综述^[34]阐述, 对于 COPD 患者, 由于 PEEPi 的存在, 吸气肌的训练相对于呼气肌更有益处; 采用阈值负荷训练器进行呼气肌的训练可改善咳嗽、吞咽和发声的功能, 有利于形成新的神经肌肉可塑性。另一方面, 也有研究者对上述结果持怀疑态度。Wlodarczyk 等^[35]为了去验证呼吸训练器 (SpiroTiger[®]) 在胸外科患者术后康复的积极作用, 以 “spiroTiger” 或 “spiro tiger” 检索了 Academic Search Complete、Medline、Ebscohost 和 PubMed 数据库, 最终找到涉及 COPD 的相关文献仅 1 篇。在这篇文献里分析的 5 个研究, 仅 2 项研究证明 SpiroTiger[®] 可以提高 6MWD 测试成绩, 改善呼吸肌疲劳和提高活动耐量, 文章认为就目前分析, 呼吸训练器的积极作用是不明确的。

综上所述, 以呼吸训练器为媒介的呼吸肌康复训练在稳定期 COPD 患者肺康复中非常重要, 但其具体作用机制仍不明确, 考虑与呼吸肌的神经肌肉控制可塑性相关。现有的呼吸训练器大体可分为阻力或阈值负荷呼吸训练器、腹式呼吸训练器、多功能呼吸训练器和新式呼吸训练器等 5 类。相关研究中, 以呼吸训练器作为干预措施的稳定期 COPD 肺康复, 存在一定程度的积极作用, 但由于相关优质文献较少, 目前确切作用尚不明确, 同时也值得更进一步的深入研究。

[参考文献]

- [1] Anzueto A, Miravittles M. Pathophysiology of dyspnea in COPD [J]. Postgrad Med, 2017, 129(3): 366-374.
- [2] Lopez- Campos JL, Tan W, Soriano JB. Global burden of COPD [J]. Respirology, 2016, 21(1): 14-23.
- [3] 慢性阻塞性肺疾病急性加重诊治专家组. 慢性阻塞性肺疾病急性加重 (AECOPD) 诊治中国专家共识 (2017 年更新版) [J]. 国际呼吸杂志, 2017, 37(14): 1041-1057.
- [4] Vogelmeier CF, Criner GJ, Martinez FJ, et al. Global Strategy for the Diagnosis, Management and Prevention of Chronic Obstructive Lung Disease 2017 Report: GOLD Executive Summary [J]. Eur Respir J, 2017, 49(6): 1750214.
- [5] Hill K, Vogiatzis I, Burtin C. The importance of components of pulmonary rehabilitation, other than exercise training, in COPD [J]. Eur Respir Rev, 2013, 22(129): 405-413.
- [6] Jones AW, Taylor A, Gowler H, et al. Systematic review of interventions to improve patient uptake and completion of pulmonary rehabilitation in COPD [J]. ERJ Open Res, 2017, 3(1): 00089-2016.
- [7] 朱大年, 王庭槐. 生理学 [M]. 8 版. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 152-153.
- [8] Lessa TB, De Abreu DK, Bertassoli BM, et al. Diaphragm: A vital respiratory muscle in mammals [J]. Ann Anat, 2016, 205: 122-127.
- [9] 朱蕾, 刘又宁, 钮善福. 临床呼吸生理学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 275-285.
- [10] Clanton TL, Levine S. Respiratory muscle fiber remodeling in chronic hyperinflation: dysfunction or adaptation? [J]. J Appl Physiol (1985), 2009, 107(1): 324-335.
- [11] Dube BP, Dres M. Diaphragm dysfunction: diagnostic approaches and management strategies [J]. J Clin Med, 2016, 5 (12): E113.
- [12] 姚文飞, 屠春林, 赵开顺, 等. 慢性阻塞性肺疾病的肺康复研究进展 [J]. 临床肺科杂志, 2017, 22: 347-350.
- [13] Troosters T, Demeyer H, Hornikx M, et al. Pulmonary rehabilitation [J]. Clin Chest Med, 2014, 35(1): 241-249.
- [14] Klimathianaki M, Vaporidi K, Georgopoulos D. Respiratory muscle dysfunction in COPD: from muscles to cell [J]. Curr Drug Targets, 2011, 12(4): 478-488.
- [15] Ovechkin AV, Sayenko DG, Ovechkina EN, et al. Respiratory motor training and neuromuscular plasticity in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a pilot study [J]. Respir Physiol Neurobiol, 2016, 229: 59-64.
- [16] Chen S, Li Y, Zheng Z, et al. The analysis of components that lead to increased work of breathing in chronic obstructive pulmonary disease patients [J]. J Thorac Dis, 2016, 8(8): 2212-2218.

- [17] 施艳群, 洪诗慧, 姚慧, 等. 定量阻力呼吸训练器: CN205683504U [P/OL]. 2016-5-24. <http://d.wanfangdata.com.cn/Patent/CN201620476278.0/>.
- [18] 王文. 呼吸训练器: CN205235290U [P/OL]. 2015-12-15. <http://d.wanfangdata.com.cn/Patent/CN201521039376.X/>.
- [19] 高天敏, 周全昌, 黄仕聪, 等. 三球式呼吸训练器在慢性阻塞性肺病患者肺康复中的应用研究[J]. 重庆医学, 2015, 44(32): 4514-4516.
- [20] 胡新珉. 医学物理学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 37-38.
- [21] 钟新华. 腹式呼吸训练器: CN203954591U [P/OL]. 2014-7-17. <http://d.wanfangdata.com.cn/Patent/CN201420395964.6/>.
- [22] 陆明. 一种电子低频导痰呼吸训练器: CN205041719U [P/OL]. 2015-08-28. http://www.wanfangdata.com.cn/details/detail.do?_type=patent&id=CN201520660698.X.
- [23] Kamimura M, Kameyama N, Homma C, et al. A new method for enhanced expectoration of sputum by vibratory stimulation of the cervical trachea [J]. Respir Investig, 2017, 55(4): 276-282.
- [24] 陆明. 可穿戴式智能呼吸训练器, CN205055337U [P/OL]. 2015-08-28. http://www.wanfangdata.com.cn/details/detail.do?_type=patent&id=CN201520664276.X.
- [25] McCabe C, McCann M, Brady AM. Computer and mobile technology interventions for self-management in chronic obstructive pulmonary disease [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2017, 5: CD011425
- [26] Chaplin E, Hewitt S, Apps L, et al. Interactive web-based pulmonary rehabilitation programme: a randomised controlled feasibility trial [J]. BMJ Open, 2017, 7(3): e013682
- [27] Hakamy A, Bolton CE, McKeever TM. The effect of pulmonary rehabilitation on mortality, balance, and risk of fall in stable patients with chronic obstructive pulmonary disease [J]. Chron Respir Dis, 2017, 14(1): 54-62.
- [28] Martinez FJ, Vogel PD, Dupont DN, et al. Supported arm exercise vs unsupported arm exercise in the rehabilitation of patients with severe chronic airflow obstruction [J]. Chest, 1993, 103(5): 1397-1402.
- [29] Lisboa C, Borzone G, Cruz E. [Inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease] [J]. [in Spanish]. Rev Med Chil, 1998, 126(5): 563-568.
- [30] Berry MJ, Adair NE, Sevensky KS, et al. Inspiratory muscle training and whole-body reconditioning in chronic obstructive pulmonary disease [J]. Am J Respir Crit Care Med, 1996, 153(6 Pt 1): 1812-1816.
- [31] 宫巧俐, 李慧凤, 张颖, 等. 呼吸训练对慢阻肺患者康复的研究[J]. 中国医刊, 2009, 44(11): 36-37.
- [32] Wu W, Zhang X, Lin L, et al. Transdiaphragmatic pressure and neural respiratory drive measured during inspiratory muscle training in stable patients with chronic obstructive pulmonary disease [J]. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2017, 12: 773-781.
- [33] Leelarungrayub J, Pinkaew D, Puntumetakul R, et al. Effects of a simple prototype respiratory muscle trainer on respiratory muscle strength, quality of life and dyspnea, and oxidative stress in COPD patients: a preliminary study [J]. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2017, 12: 1415-1425.
- [34] Sapienza CM, Wheeler K. Respiratory muscle strength training: functional outcomes versus plasticity [J]. Semin Speech Lang, 2006, 27(4): 236-244.
- [35] Włodarczyk OM, Barinow-Wojewodzki A. The impact of resistance respiratory muscle training with a SpiroTiger((R)) device on lung function, exercise performance, and health-related quality of life in respiratory diseases [J]. Kardiochir Torakochirurgia Pol, 2015, 12(4): 386-390.

(收稿日期:2017-09-19 修回日期:2018-03-05)