

基于家庭使用的智能化辅助呼吸训练器设计研究

闫媚¹, 谭军¹, 陈功盛², 芦海涛^{3*}

¹中国残疾人辅助器具中心, 北京

²深圳怦怦科技有限公司, 广东 深圳

³中国康复研究中心神经康复科, 北京

收稿日期: 2022年7月26日; 录用日期: 2022年8月16日; 发布日期: 2022年8月25日

摘要

目前我国呼吸康复需求急速增大, 而专业呼吸治疗师严重缺乏。因此设计一款可以居家长期使用的呼吸辅助训练器具有重要的现实意义。本研究以呼吸肌肌力及耐力障碍人群为目标对象, 针对呼吸训练难以量化、直观化以及枯燥乏味等导致患者难以坚持这一特点, 拟设计一款智能、精准、卫生、低耗的呼吸训练设备以改善呼吸训练的困境, 为广大目标人群真正得到便捷、实用、有效的呼吸训练提供可靠的选择。

关键词

呼吸康复, 智能化, 辅助训练器

Research on Design of Intelligent Assisted Breathing Trainer Based on Home Use

Mei Yan¹, Jun Tan¹, Gongsheng Chen², Haitao Lu^{3*}

¹Department of Neurorehabilitation, China Rehabilitation Research Center, Beijing

²Shenzhen Pengpeng Technology Co., Ltd., Shenzhen Guangdong

³China Assistive Devices and Technology Center for Persons with Disabilities, Beijing

Received: Jul. 26th, 2022; accepted: Aug. 16th, 2022; published: Aug. 25th, 2022

Abstract

At present, the demand for respiratory rehabilitation in my country is rapidly increasing, while

*通讯作者。

there is a serious shortage of respiratory therapists. Therefore, it is important to design a breathing aid trainer that can be used at home for a long time. This study targets people with respiratory muscle strength and endurance disorders. In view of the difficulty in quantification, visualization and tediousness of respiratory training, which makes it difficult for patients to adhere to it. An intelligent, precise, hygienic and low-consumption respiratory assistive device is proposed to be designed. This training equipment aims to solve the problems of breathing training, and provide a kind of reliable choice to obtain convenient, practical and effective breathing training for the target groups.

Keywords

Respiratory Rehabilitation, Intelligent, Assistive Device

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

呼吸康复即肺康复，是康复医学的重要分支，尤其随着新型冠状病毒肺炎成为全球性重大公共卫生安全事件，呼吸康复的地位凸显。呼吸康复的主体不仅包括呼吸系统疾病，如慢性阻塞性肺病，间质性肺病，支气管扩张，支气管哮喘等，还包括围手术期患者，神经肌肉疾病以及中枢神经系统疾病引起的呼吸问题等[1]。需要强调的是对有症状、功能障碍，肺生理功能不全的患者都有进行肺康复的必要[2]。随着康复学科的发展，脑损伤等神经系统疾病患者肺康复日益得到重视，进一步加速我国肺康复需求，初步计算我国肺康复需求总人数超过5亿，但是据估计到2030年我国康复治疗师缺口可达408927人[3]。相比较康复治疗，其亚专业呼吸治疗在我国起步更晚，直至2019年末才被纳入国家人力资源和社会保障部职业目录中；且从业人员少，教育水平低，从业资质认证模糊等问题而远远不能满足临床需求[4][5]。因此依靠专业呼吸训练师对患者进行一对一的康复训练的愿景难以实施。

慢性呼吸系统疾病患者及神经系统疾病患者常表现为呼吸肌无力，这一障碍可通过呼吸肌力训练来改善咳痰能力，减轻呼吸做功，提高通气效率。因而呼吸训练设备可在长期慢性疾病以及具有主动配合的患者群体中发挥巨大作用。目前医疗机构常使用的呼吸训练器多为阻力型呼吸辅助设备，包括气流阻力仪和阈值阻力仪。前者如三球式呼吸训练器，可以鼓励患者进行最大和最长呼吸训练，但是阻力负荷不能量化，训练强度和进度难以把控，不能明确改善肺功能指标。此类设备设计虽然简易，但是需定期更换整机，物耗较大。阈值阻力仪可通过多种方式设定阻力，患者呼吸时需要根据阻力设定用力而增加胸内压，克服阻力以达到训练呼吸肌力的目的。一般情况需要动态递增吸气肌训练负荷量，往往需要医生监测压力并开具训练处方，目前多以训练吸气肌为主[6]。目前常用呼吸肌力训练辅助设备都存在呼吸训练枯燥费力的问题，患者往往难以坚持以达到训练效果。除三球式呼吸训练器外，常见的呼气肌正压通气训练器，以Acapella为代表，在呼气时给予阻力，协助排痰，适用于慢性肺部疾患，但缺少智能化显示及处方推荐，只适用于认知功能正常且自制力强的人群。POWERbreath是另外一款应用广泛的吸气肌训练器，适合家用及医疗机构使用，可以精确测量、记录及显示参数，但是缺少趣味性，对于神经系统疾患，尤其是慢性退行性疾病患者长期坚持训练困难。故目前急需研发设计一种可居家、重复使用，可以精准测量和记录训练呼吸肌力参数，又能同时锻炼吸气和呼气肌力的便携式智能呼吸训练器，可供

慢性病患者长期居家使用。

2. 新型智能呼吸辅助训练器的基本结构设计

目前尚无关于智能呼吸辅助训练器的国家、行业及团体标准。经过调研市场现有呼吸训练器类产品及患者需求,经专业团队多次研发、改进后研制出一款智能化、精准、卫生、低耗的便携式呼吸辅助训练器。适用于肺部疾病、神经系统疾病、其他系统疾病以及各种原因导致呼吸肌力或耐力减弱的人群。本机设计操作简单流畅,测试和训练数据、曲线显示明朗清晰,推荐智能化训练处方,便于患者自己操作,根据指引居家使用。本机采用可清洁及可更换部分配件设计,延长整机使用年限,减少感染机会和材料消耗,降低医疗费用;本机连接手机等电子设备,引入游戏设计,便于患者使用和前后比较,增加呼吸训练依从性。

本产品由主机,可拆卸传感管道、气阻嘴和可更换吹管几部分组成。主机采用大屏幕桌面式设计、数字化显示,便于实现患者自己操作设备,并能在训练过程中实时查看数据,见图 1。可拆卸传感管道可避免在使用过程中细菌污染主机,并可以反复拆卸清洗,不仅可以到期换新,主机还可以供多人使用,减少物资浪费。吹管为常规雾化管,可定期清洗和更换,有效减少细菌滋生。气阻嘴连接于传感管道,可供大部分患者抗阻训练,在特殊需求下可通过更换高阻力气阻嘴增加呼吸训练难度。

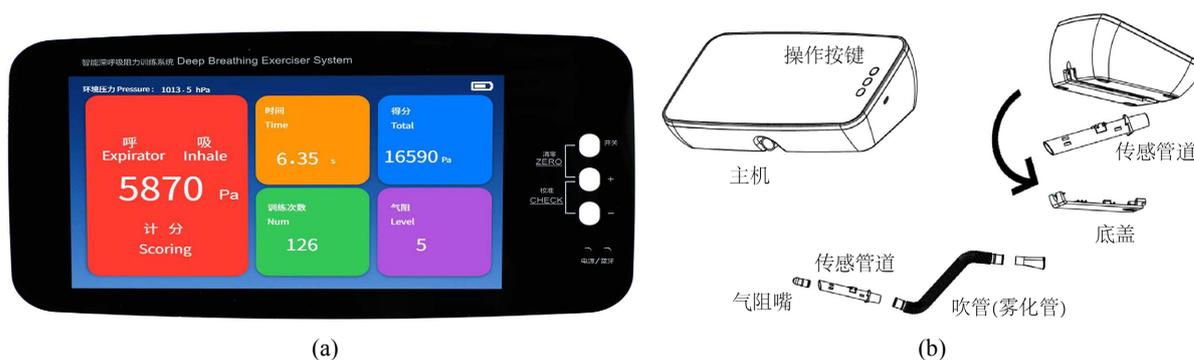


Figure 1. (a) Production appearance; (b) Product structure
图 1. (a) 产品外观; (b) 产品结构图

3. 新型智能呼吸辅助训练器特点

3.1. 采集数据精准

本设备采用世界先进的多传感器组合应用技术,以实现呼吸运动中压力的实时监测,相对精度达到 1 Pa,并可自动校准。参考“肺活量”计算模型,主机将每次吸气或呼气所产生的实时压力及持续时间合成得分,使患者清晰了解自己当次呼吸状况。

3.2. 呼吸评价与训练功能合一

作为呼吸训练辅助器具,本设备还可以测量吸气及呼气实时压力和持续时间,将实时压力及持续时间合成得分,得分可用来客观评价呼吸肌力及耐力,满足临床所需。使用者可自行边训练边评价,便于通过对比以了解训练效果,减少医疗消耗。

3.3. 评价及训练呼吸双期相

人体在吸气相和呼气相涉及不同的肌肉。平静吸气时膈肌起主要作用,其他吸气肌也参与其中,如

斜角肌和肋间肌。而用力吸气时胸锁乳突肌、胸小肌、背阔肌及斜方肌也参与,即辅助吸气肌。呼气运动是被动过程,其第一个作用力来自肺弹性回缩力,主要呼气肌为腹肌,尤其用力呼气时腹肌可以带动内脏、脊柱及骨盆运动。

正常情况下吸气是主动过程,大部分人群主要是吸气肌力量减弱,因此目前大部分呼吸肌训练设计只进行吸气肌力训练,确实可以改善吸气肌力量、运动能力和生活质量。但是很多情况下呼气肌力训练也是必不可少的。有研究显示呼气肌训练可使肺部产生正压,促进气道打开;同时呼气迫使肺部分泌物离开肺泡表面,推动分泌物向上进入气管,利于咳嗽,有效防治肺部感染[7]。而对于吞咽障碍患者呼气肌力量训练能通过强力吹气产生呼气末正压,有效增加喉上肌群的力量而改善吞咽障碍[8]。本设备采用抗阻法对吸气肌和呼气肌双期相训练设计,锻炼不同呼吸相关肌肉及组织,完成完整的呼吸训练过程,并能促进主动咳嗽和痰液排出过程,改善吞咽及发声功能障碍,提高康复效能,尤其适用于神经系统疾病患者。

3.4. 局部配件可清洗、更换

部分呼吸训练器为一体化设计,只能单人使用,清洗困难,虽然单价较为便宜,但是需要定期更换。而大部分智能呼吸训练器也只能每人使用自己的吹管部分,而与吹管相连部分不能清洁及更换,很容易造成细菌滋生及患者间交叉感染。本设备不仅患者直接接触的吹管可以随时更换,而与之相接的传感管道也可以随时取下清洗和换新,进一步减少感染机会,节约物资损耗。

3.5. 智能化设计

为便于患者居家训练,本设备加入多种智能化设计,使操作更加便捷,见图 2。主机可实时显示呼吸压力、时间、得分、训练次数参数,并可根据测得呼吸实际得分以每阶提升 5%得分的设计自行生成训练目标(不超过同年龄段正常生理值),使用者可在保证安全前提下自行训练。本设备经过微信小程序简单设定,可与智能手机和平板蓝牙连接,所有参数及实时动态图像均可显示在相应设备上。另外此设备在评价和训练过程中产生的数据可实现存储功能,且外接云服务器后可存储于后台便于医护人员远程指导及大数据收集处理。

3.6. 游戏化训练设计

游戏化的核心理念是利用游戏的机制和设计方法应用到非游戏领域,从而提高参与者的积极性和参与度,提高参与者的使用粘度。目前游戏化已经被广泛应用到教育、医疗、互联网、设计、旅游、企业管理等各个领域[9]。虽然在主机面板上有实时显示数字,但是患者仍然难以明确训练目标,从而增加了训练难度。抗阻深呼吸训练枯燥而费力,且每日需要多次重复,常人难以坚持,很多患者更是半途而废。为了增加患者对此训练的兴趣并改善训练质量,本产品特别设计游戏界面帮助患者在愉快的氛围下完成日常训练。用户需要达到系统设定的吸气或呼气压力值才能击中飞机,标志此次呼吸训练任务完成,见图 3。

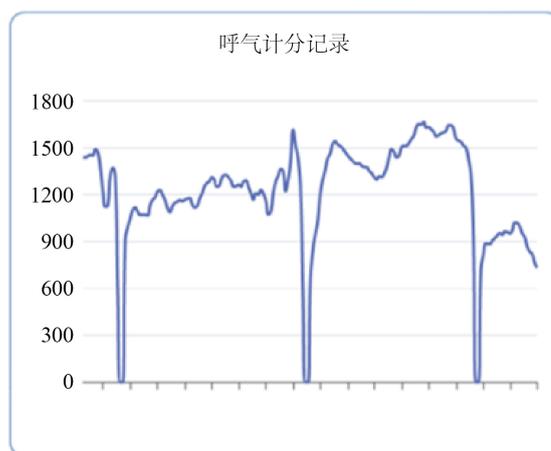
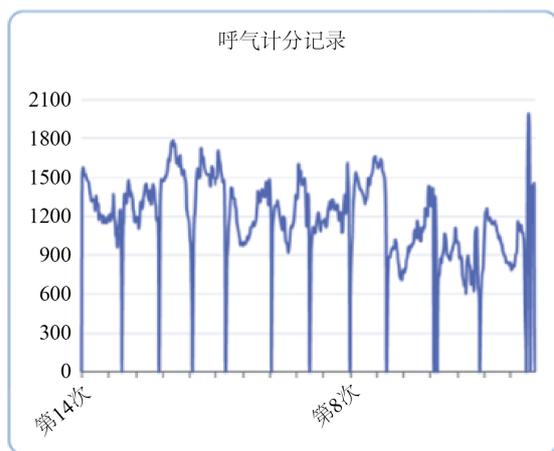
4. 智能呼吸辅助训练器使用方法

连接设备各部件,使用智能手机等电子设备微信搜索小程序“值得练”,蓝牙连接,进入程序后首先选择“测评推荐”,吸气模式。患者端坐位,嘴唇紧密包含咬嘴,缓慢且完全的呼气,然后用力快速吸气,重复 10 次。呼气测评与之相同,需缓慢且完全的吸气,然后用力快速呼气。系统会自动生成测评统计曲线、数值及推荐训练方案。患者可根据自身情况自行选择每日训练次数,进入“日常训练模式”,用力且缓慢的进行吸气/呼气训练,当达到设定阈值时,屏幕上方的飞机会被击落,表示完成此次训练目

标。当预定训练完成后可以点击“训练日志”，看到训练次数、目标通过率、呼吸得分趋势图、得分记录以及每次训练时的呼吸压力峰值等信息。



(a)



(b)

Figure 2. (a) The result interface of breath assessment, the blue curve is the score curve of each breath assessment; the green curveshows scoring trend; (b) Respiratory training process score display graph

图 2. 智能化设计：(a) 呼吸测评显示结果界面，蓝色标线为每次呼吸测评得分曲线；绿色标线为得分趋势；(b) 呼吸训练过程得分显示曲线图



Figure 3. Gamification training interface diagram
图 3. 游戏化训练界面图

5. 肌病患者试用初步结果

本设备已经试用于 20 例肌营养不良患者，所有试用者未见不良反应，试用满意度较高。呼气及吸气肌力训练前后得分有显著性差异，训练后呼气及吸气得分均明显高于训练前得分具体见表 1。但是因为试用人数少，试用天数差别大，缺少对照组等原因尚需严格入排标准和完善试验方案行进一步研究以证实此结论。

Table 1. Trial scenario
表 1. 试用情况

年龄(岁)	性别(男/女)	试用时间(天)	呼气初始得分	呼气训练后得分	吸气初始得分	吸气训练后得分
15.5 (6,60)	17/3	15.5 (15,60)	7652.4 ± 1344.1	12062.0 ± 2053.5	6201.4 ± 1138.3	9911.7 ± 1569.9
T				-13.65		-13.99
p				0.000		0.000

6. 总结

呼吸训练不仅应用于系统疾病患者，还可以改善中老年人、亚健康状态者肌肉力量和氧合能力，从而改善体质和情绪状态。而此款便于居家使用的智能化呼吸训练辅助设备的使用可以提供定量呼吸肌测评和训练数据，多元化设计增加使用人群的粘性，改善呼吸训练质量以及吞咽、发声力量，同时大幅度减少医疗资源投入，具有巨大的市场潜力。

基金项目

中国残联残疾人辅助器具专项课题“一款新型的智能呼吸辅助训练器的研究”(课题编号 2021CDPFAT-12)。

参考文献

- [1] 李俊, 冷虎. 呼吸康复临床研究进展[J]. 齐齐哈尔医学院学报, 2018, 20(39): 2435-2437.
- [2] American Thoracic Society (1999) Pulmonary Rehabilitation—1999. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **159**, 1666-1682. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.159.5.ats2-99>

- [3] 任光圆, 周菊芝, 孙统达, 祁义霞, 周立峰, 李海舟. 我国医疗卫生行业康复治疗技术人员供需现状与对策研究[J]. 中华医学教育杂志, 2016, 36(3): 358-361.
- [4] 胡兴硕, 解立新. 中国医院呼吸治疗团队建设的现状与未来[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2021, 44(9): 772-774.
- [5] 梁国鹏, 杨福, 康焰. 中国呼吸治疗的现状与发展[J]. 中国呼吸与危重监护杂志, 2020, 19(6): 533-535.
- [6] 袁月华, 解立新, 葛慧青, 等. 肺康复成功指南[M]. 第一版. 北京: 人民卫生出版社, 2019.
- [7] 杨秀华, 孙晓. 正压呼气训练对慢性阻塞性肺疾病患者急性期肺功能的影响[J]. 中华养生保健, 2021, 39(7): 11-13.
- [8] 于海英. 呼气肌力量训练改善脑卒中患者吞咽困难症状的效果观察[J]. 卫生职业教育, 2016, 34(19): 140-141.
- [9] 李伟伟. 以游戏化增强呼吸训练的交互系统原型设计与开发[D]. [硕士学位论文]: 上海: 上海交通大学, 2016.