

基于家庭的物理性康复疗法在慢性阻塞性肺疾病中的应用

杜舒婷¹ 邢彬² 张晶² 白冲³

¹河北北方学院基础医学院病理生理学教研室, 张家口 075000; ²解放军陆军第 81 集团军医院呼吸内科, 张家口 075000; ³海军军医大学(第二军医大学)长海医院呼吸与危重症医学科, 上海 200433

通信作者: 杜舒婷, Email: 18931311685@163.com

【摘要】 慢性阻塞性肺疾病(COPD)对患者个人及社会危害巨大。肺康复(PR)作为目前最具成本效益的 COPD 治疗策略之一,有助于减少 COPD 患者住院次数,降低医疗费用,还能改善 COPD 患者运动耐力及生活质量。在当前新冠肺炎疫情影响下,以及有部分患者不愿或不能外出进行 PR 治疗,故如何在家庭环境中进行 PR 训练具有重要现实意义。本文对基于家庭能开展的物理康复疗法进行综述,以期为居家环境下实施 COPD 康复治疗提供选择方案及理论指导。

【关键词】 慢性阻塞性肺疾病; 物理康复; 家庭环境; 肺康复治疗; 家庭治疗

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.06.021

慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)已成为全球第三大死亡原因,且患者数量仍在持续增多^[1]。COPD 急性加重会导致疾病进展、病情恶化甚至死亡。长期以来临床多采用药物治疗 COPD 患者,但无法阻止患者肺功能恶化、肌力减退及生活质量逐年下降。肺康复(pulmonary rehabilitation, PR)作为目前最具成本效益的 COPD 治疗策略之一,有助于抑制 COPD 急性加重,缓解患者症状,减少住院时间,降低医疗费用,提高医保利用率,还能改善 COPD 患者肌肉功能及力量,提高运动能力和健康相关生活质量(health-related quality of life, HRQoL)^[2]。

自 2019 年新型冠状病毒肺炎疫情爆发以来,对全球造成极大危害,多种康复治疗策略也因之制订或改变。中国康复医学会建议,疫情期间需因地制宜、因人而异,通过远程方式或充分利用一切手段给予居家患者康复诊疗指导^[3]。即使在疫情之前,也有不少 COPD 患者因交通、疾病、经济或天气等因素更愿选择居家进行 PR 训练,故如何居家进行系统 PR 干预具有重要现实意义。本文拟对基于家庭能开展的物理康复疗法进行综述,以期为 COPD 患者居家康复治疗提供方案选择及理论指导。

肺康复的定义与内容

PR 是 COPD 管理的重要组成部分。2013 年美国胸科学会与欧洲呼吸学会将 PR 定义为:对有症状且日常活动减少的慢性呼吸系统疾病患者,经个体化治疗后,通过对患者进行全面评估,再由跨学科专业团队实施的一种综合干预措施,该措施应个体化,旨在减轻患者症状,使运动量达到最大,增加日常活动参与,提高生活自理能力及生活质量,改善患者生理及心理状态,稳定或逆转疾病的全身表现,长期实施有利于患者健康行为改变并降低医疗保健成本^[4]。PR 在全球多个临床指南^[5-6]中占有重要地位,为 COPD 患者提供了强有力的建议。虽然最初 PR 是为 COPD 患者开发和设计的,但随后 PR 在其他慢性呼吸系统疾病(如间质性肺病、支气管扩张等)中的益处也

得到证明^[7]。

理想情况下 PR 应包括以下 6 个方面内容:①评估与目标设定——对患者进行健康测试,如 6 分钟步行实验(6-minute walk experiment, 6MWT)、穿梭行走或心肺运动测试(cardiopulmonary exercise test, CPET)等,并完成对疼痛、营养状况、心理社会问题(如焦虑、抑郁等)、运动能力和教育需求的评估,根据结果设定个人康复目标。②疾病教育与自我管理策略——COPD 疾病管理常见内容包括呼吸技术、营养、能量保存、疾病恶化管理、雾化药物、气道廓清技术、氧疗和压力管理等。学习这些内容可减少疾病发作及后续治疗费用。③运动训练——包括高强度、低强度有氧训练、呼吸肌力量训练、四肢力量训练及阻力训练等,可采用数种训练方式组合以提高肌肉及心肺功能,最常用的是恒定负荷耐力训练,另外低强度或间歇训练可用于提高机体耐受性;太极拳等一些传统健身功法也被证实有效。④心理社会干预和支持——参与者接受与抑郁、焦虑、恐慌、认知障碍或其它相关问题的心理社会干预及支持,如应对心理负担技能、降低烟草依赖方面的需求等。⑤营养和药物干预——主要解决与营养摄入不足、恶病质、肥胖、饮酒、高血压、胆固醇升高、钠和液体管理、药物管理有关的问题,以及与膳食准备和食物安全等有关的问题。⑥结果评估——患者将在项目完成时接受肺功能测试及其他测试,以评估其运动能力、日常症状及整体健康相关生活质量变化^[8]。上述内容中与物理性康复疗法有关的治疗手段主要包括气道廓清技术、氧疗与压力管理、呼吸肌力量训练、四肢力量及阻力训练、有氧训练(耐力训练)、平衡性及柔韧性训练、传统健身功法等。下面就这些内容进行分述。

气道廓清技术

健康成人每天会产生 10~100 ml 气道分泌物,通过气道黏膜纤毛的自动向心运动可清除这些分泌物,但 COPD 患者气道黏膜纤毛的“扶梯”作用削弱,当分泌物增多时容易发生滞留而加重病情。气道廓清疗法(airway clearance techniques, ACT)是

利用外部施加的力或改变肺内压、呼吸道气流促使痰液沿气管腔内表面向口咽方向移动,旨在帮助患者排痰,减轻分泌物滞留并减少并发症^[9]。临床上 ACT 技术较多,如主动循环呼吸技术、振动正压呼气技术、高频震荡技术等,但上述方法均不适合家用;适于家庭环境的 ACT 手段主要包括以下方面。

一、呼吸控制与咳嗽训练

患者取坐位,缓慢最大深吸气后屏气,身体略向前倾,缩唇,进行数次短促有力的咳嗽,咳嗽时可用手按压腹部或用力收缩腹肌以提高咳嗽有效性。

二、改良版体位引流

患者俯卧于床上,将床尾抬高约 15~30°,呈头低足高位,腹部佩戴腹带,并用棉被或软垫垫高腹部,双腿弯曲,有利于增强胸、腹腔压力及提高肢体舒适性、延长操作时间。患者家人或陪护协助拍背,拍背时手指弯曲并拢呈碗状,每次拍背持续 15~20 min,拍背频率 100~120 次/分,沿支气管走行由下向上叩击,嘱患者同时咳嗽,有助于排出痰液。

三、重力辅助引流

重力辅助引流主要针对支气管肺段特定区域进行引流,通常与手动技术结合实施。手动技术包括敲击、振动胸廓等多种方式,均是在胸壁部位施加外力以促使痰液移动^[10]。

四、主动呼吸技术

主动呼吸技术结合了胸廓扩张练习、呼吸控制和强迫呼气训练要点,以尽可能提高患者肺通气量,促使痰液移动;另外主动呼吸技术与重力辅助引流及手动技术结合使用^[11]。

除了上述训练方法外,患者也可购置橡胶拍背器、电动引流床、咳嗽辅助仪、振动排痰仪等进行协助排痰。由于不同 ACT 技术清除分泌物的机制不同,因此其适用人群各异。美国呼吸治疗学会临床实践指南指出,并不建议将 ACT 常规用于 COPD 患者,当权衡患者耐受性、治疗效果符合预期后,方可考虑对有分泌物滞留或有症状的 COPD 患者进行 ACT 干预(低级证据支持)^[12]。

氧疗与压力管理

随着 COPD 患者肺功能恶化与疾病进展,其缺氧风险逐渐增加,继而导致低氧血症。低氧血症会引起肌肉骨骼功能恶化,降低运动能力及生活质量并增加死亡风险。氧疗能提高机体的氧供给,抑制运动过程中无氧代谢,减轻代谢性酸中毒。相关文献报道,长期氧疗(long-term oxygen therapy, LTOT)可提高伴严重低氧血症 COPD 患者的运动能力及生活质量,降低住院率,延长预期寿命。近年来有研究指出,接受 LTOT 的 COPD 患者与未使用 LTOT 的 COPD 患者均能从 PR 中受益;但与未使用 LTOT 的患者比较,接受 LTOT 的 COPD 患者经治疗后其 6 分钟步行距离(6 minute walking distance, 6MWD)增加幅度更显著,呼吸困难症状改善情况更佳^[13]。2020 年 11 月美国胸科学会官方临床实践指南建议:对于存在严重慢性低氧血症的 COPD 成年患者,建议 LTOT 至少 15 h/d;中度低氧血症患者不需 LTOT;对于严重劳累性 COPD 患者建议动态氧疗^[14];另外在家庭环境中使用经鼻高流量湿化氧疗(high-flow nasal cannula oxygen therapy, HFNC)可减缓 COPD 患者病情进展,增加 6MWD 距离,改善 HRQoL,降低 PaCO₂^[15]。HFNC 在减缓 COPD 疾病进展方面也可能优于无创机械通气(non-invasive mechanical

ventilation, NIV),有望作为抑制 COPD 患者病情加重的重要手段,但证据有限,需进一步研究。

由于目前证据相互矛盾,COPD 患者是否需长期给予 NIV 尚无定论。随着高强度(高气压与高呼吸频率)NIV 的引入,长期 NIV 干预对 COPD 患者已显示出治疗益处,如家庭 NIV 干预已被证实可改善 COPD 患者生存率、HRQoL 及运动耐受性,减少病情加重频次,尤其适用于病情加重后存在持续性严重高碳酸血症或处于慢性稳定状态的 COPD 患者^[16]。有学者建议,当患者存在 II 型慢性呼吸衰竭时,应长期介入 NIV 干预^[17]。此外夜间在家中进行 NIV 干预会延缓下一次 COPD 急性加重时间并减少急性加重发作率^[16];与 PR 相结合,夜间介入 NIV 干预也能增强 PR 益处,其理论依据可能与下列因素有关:NIV 干预能增加驱动压,改善肺泡通气,减轻呼吸肌负担,并促进气体交换;如果在夜间介入 NIV 干预,有助于 COPD 患者呼吸肌系统得到进一步休息和恢复^[18]。

呼吸肌力量训练

呼吸肌力量训练是 PR 的重要组成部分。在 COPD 患者中,最大吸气压力越低,则患者在运动过程中呼吸困难程度就越严重^[19]。COPD 患者进行呼吸肌训练[尤其是吸气肌训练(inspiratory muscle training, IMT)]能增强吸气肌力量及耐力,提高呼吸肌功能,改善呼吸困难症状及生活质量^[20]。

经典的呼吸肌力量训练包括前倾位呼吸、唇式呼吸、腹式呼吸及缩唇腹式呼吸等。呼吸肌训练最常用的设备是阻力性或阈值负荷呼吸设备,如吸气肌训练器、腹式呼吸训练器等。

IMT 训练时阻力值通常大于 30%最大吸气压(maximal inspiratory pressure, MIP)水平;MIP 可借助带三通阀的咬口器无创测定。IMT 训练的原理主要是利用肋间肌、膈肌等呼吸肌的可塑性,使肌肉在训练过程中产生适应性变化,最终增强患者胸廓活动,改善呼吸功能,提高肺泡通气,增加肺活量及呼吸肌力量。还有研究报道^[21],高强度 IMT 也适用于中重度 COPD 患者,能显著改善患者呼吸肌力量与耐力;建议 COPD 患者长期坚持 IMT 训练,因为一旦停止训练,患者病情会逐渐恶化。此外 IMT 结合特定呼气肌训练较单独 IMT 训练能更有效改善 COPD 患者呼吸肌力量,缓解呼吸困难症状。但也有学者认为,由于 COPD 患者存在呼吸困难,在高通气需求情况下,其呼吸肌已处于慢性负荷疲劳工作状态,再针对吸气肌进行强化训练可能会诱发严重后果^[22]。

四肢力量训练与阻力训练

力量训练属于短距、快速且缺乏耐久性的训练,属于无氧训练。力量训练较耐力训练能更有效提高肌肉质量和力量,此外力量训练时的呼吸困难程度较耐力训练时轻,故 COPD 患者对力量训练的依从性相对较好^[4]。许多研究发现,力量训练不仅可改善 COPD 患者肌肉力量和生活质量,还可改善其运动能力。COPD 力量训练最常用的方法是借助物体重量(如哑铃、铅球等)或器械进行上肢和下肢训练,但最佳训练方式仍未确定。上肢训练的目标肌肉通常是肱二头肌、三头肌、三角肌、背阔肌和胸肌,下肢则是股四头肌^[23]。

阻力训练可参照中国康复医学会建议使用渐阻抗训练方

案^[3],参与者以 80%最大运动量完成 1~3 组训练,每组重复训练 8~12 次,每组训练间歇 2 min,训练频率 2~3 次/周;一旦患者能够完成所有组的 8 次重复训练,则阻力值增加 10%。尽管阻力训练对 COPD 患者肌肉质量及力量的短期疗效确切,但长期影响尚待进一步观察。

有氧训练

有氧训练属于耐力训练,又称“心肺功能训练”。有氧训练的目的在于锻炼肌肉并改善心肺功能,以提高患者对呼吸困难及疲劳的耐受性。肺康复计划通常需患者进行较高强度的耐力训练,但对于某些 COPD 患者,无论其如何努力,也难以达到目标强度或训练时间要求;在这种情况下,可采用低强度耐力训练或间歇训练替代高强度耐力训练^[4]。

美国运动医学学会制订的运动测试和处方指南(第九版)指出,针对 COPD 稳定期患者的有氧运动推荐采用慢步行走(步行)或缓速自行车,居家情况下可使用踏步机或动感单车^[24]。如果训练主要目标是增加步行耐力,则步行训练是较佳运动方式;如果训练主要目标是增强股四头肌肌力,则自行车运动较步行训练效果更佳,而且自行车运动对机体血氧饱和度的影响较步行训练小^[25]。针对 COPD 稳定期患者的相关研究发现,与传统双腿同时训练比较,单腿训练能减少总代谢量并提高机体有氧运动能力,故单腿骑自行车已成为 COPD 患者主要训练方式之一^[26]。

COPD 患者有氧运动频次可随耐受情况改善逐渐递增,每周训练 3~5 次,每次训练 20~60 min。对于病情严重 COPD 患者,锻炼初期可每天进行多次低强度重复训练,每次训练 10 min,每天累积训练 30~45 min,必要时可在训练过程中辅以吸氧措施。根据 COPD 患者呼吸困难程度制订有氧训练强度,训练目标设定可参考 Borg 呼吸困难量表(Borg's dyspnea scale)评分 3~4 分标准^[27]。

神经肌肉电刺激

神经肌肉电刺激(neuromuscular electrical stimulation, NMES)通过放置在目标肌肉上的电极施加电刺激,从而使运动神经元去极化,并引起肌肉收缩。NMES 是改善肢体肌肉功能的一种被动训练方式,在刺激肌肉收缩过程中,对患者心率及呼吸困难的影响作用较小,尤其适用于病情严重 COPD 患者,并且 NMES 治疗还具有简单无创、治疗费用低、患者依从性好等优点,也适用于家庭治疗。Acheche 等^[28]研究发现,联合采用 NMES 与耐力训练及阻力训练治疗稳定期 COPD 患者,可显著改善 COPD 患者运动耐力及下肢力量。

NMES 最常见的不良反应是轻度肌肉酸痛,但随着治疗次数增多,该症状会逐渐缓解。另外肌肉酸痛不适与 NMES 刺激幅度及频率密切相关,如电刺激强度超过 100 mA 可能会导致无法忍受的肌肉不适;一些患者即使在较低电刺激强度下也无法忍受 NMES 治疗。运动耐力的提高取决于 COPD 患者对增量训练刺激强度的耐受能力^[29];在 NMES 训练开始阶段,刺激强度以诱发无痛性肌肉收缩为宜,以后则根据患者耐受情况在训练过程中逐步增加刺激幅度。

关于 NMES 的电刺激方式较多,如低频电流、中频电流、单

极性脉冲电流、双极性脉冲电流等。前期有研究发现,低频(15 Hz)或高频(75 Hz)NMES 适用于重度呼吸困难 COPD 患者康复训练,该发现与采用频率 35 或 50 Hz NMES 治疗 COPD 急性加重患者的结果基本一致^[29]。对于不同分期 COPD 患者,选择何种频率 NMES 进行治疗仍需进一步探讨。

平衡性及柔韧性训练

相关研究发现,当 COPD 患者合并骨骼肌功能障碍时极易发生跌倒^[30]。对该类具有平衡功能障碍的患者,可通过徒手平衡训练、平衡训练仪等方式进行康复干预,以改善其平衡功能。COPD 患者常见的姿势障碍包括胸椎后凸畸形、胸廓前后径增加、肩部抬高及躯干屈曲等,姿势异常会改变患者呼吸力学特征,导致其肺功能下降并加重呼吸困难程度。而针对 COPD 患者异常姿势可开展柔韧性训练;尽管柔韧性训练是许多运动方案的重要组成部分,但迄今为止,尚无直接证据明确其在 PR 中的有效性。当 COPD 患者进行柔韧性训练时,可指导其进行上、下躯体柔韧性运动,包括伸展主要肌肉群(如小腿、股四头肌及股二头肌等)以及颈部、肩膀、腹部等一系列运动,每周至少训练 2~3 d^[4]。

传统健身功法

传统健身功法主要针对轻中度和重度稳定期 COPD 患者,较少应用于极重度以及处于加重期的 COPD 患者。常用锻炼方法包括太极拳、瑜伽、五禽戏、六字诀、八段锦等^[3,5]。传统健身功法训练不受时间和场地限制,且不需要器械辅助,具有简便、安全、经济、适用面广等优点。传统健身功法训练属于现代医学中的有氧运动,一般采用中低强度进行锻炼,训练过程涵盖了 PR 要求的耐力训练、力量训练、呼吸肌锻炼、社会参与、心理康复等多个环节,对提高 COPD 患者运动耐力、生活质量及改善呼吸困难症状具有确切疗效^[31]。

其他

目前还有一些其他项目(如水疗、木球运动、北欧式步行和舞蹈等)也用于 COPD 患者 PR 治疗;另外采用视频游戏技术治疗 COPD 患者正在兴起,有研究报道,使用任天堂 Wii Fit 健身游戏包和微软 Xbox Kinect 进行游戏训练,对提高 COPD 患者运动能力及生活质量具有可行性^[32]。将虚拟现实技术应用于康复可能是未来的治疗方向之一,这项技术目前正在英国进行评估,以确定其易用性及 COPD 患者的可接受性。

最后电子医疗及移动应用的迅速发展也给 PR 治疗带来了新的手段,如澳大利亚和新西兰的研究人员正在开发移动肺康复应用程序,该程序能让患者通过智能手机完成 PR 训练^[33]。高新技术在 PR 中的应用令人兴奋,但这绝不意味着 PR 具有固定的形式;未来的研究需将这些创新的康复方法与传统模式康复进行对比、融合,根据患者喜好制订出能让患者长期坚持且行之有效的康复干预手段。

参 考 文 献

- [1] 陈琰,钱频,袁琳.慢性阻塞性肺疾病肺外合并症的治疗现状和研究进展[J].中华肺部疾病杂志(电子版),2020,13(1):105-108.

DOI:CNKI.SUN.ZFBD.0.2020-01-022.

- [2] Rochester CL, Vogiatzis I, Holland AE, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society policy statement: enhancing implementation, use, and delivery of pulmonary rehabilitation[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2015, 192(11): 1373-1386. DOI: 10.1164/rccm.201510-1966ST.
- [3] 中国康复医学会. 基于新型冠状病毒肺炎的呼吸道传染性疾病预防期间康复诊疗专家共识[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2020, 42(2): 97-101. DOI: 10.3760/ema.j.issn.0254-1424.2020.02.001.
- [4] Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement; key concepts and advances in pulmonary rehabilitation[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 188(8): e13-64. DOI: 10.1164/rccm.201309-1634ST.
- [5] 中国康复医学会, 中国康复医学会呼吸康复专委会, 中华医学会物理医学与康复学分会心肺康复学组. 2019 新型冠状病毒肺炎呼吸康复指导意见(第二版)[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2020, 43(4): 308-314. DOI: 10.3760/ema.j.cn1121472020022800206.
- [6] Pleguezuelos E, Gimeno-Santos E, Hernandez C, et al. Recommendations on non-pharmacological treatment in chronic obstructive pulmonary disease from the Spanish COPD guidelines (GesEPOC2017)[J]. *Arch Bronconeumol*, 2018, 54(11): 568-575. DOI: 10.1016/j.arbres.2018.06.001.
- [7] Mcnamara RJ, Dale M, Mckeough ZJ. Innovative strategies to improve the reach and engagement in pulmonary rehabilitation[J]. *J Thorac Dis*, 2019, 11(S17): 2192-2199. DOI: 10.21037/jtd.2019.10.29.
- [8] Cornelison SD, Pascual RM. Pulmonary rehabilitation in the management of chronic lung disease[J]. *Med Clin North Am*, 2019, 103(3): 577-584. DOI: 10.1016/j.mcna.2018.12.015.
- [9] Westerdaal E, Osadnik C, Emtner M. Airway clearance techniques for patients with acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease: physical therapy practice in Sweden[J]. *Chron Respir Dis*, 2019, 16(9): 1479973119855868. DOI: 10.1177/1479973119855868.
- [10] Mccarren B, Alison JA. Physiological effects of vibration in subjects with cystic fibrosis[J]. *Eur Respir J*, 2006, 27(6): 1204-1209. DOI: 10.1183/09031936.06.00083605.
- [11] Lee AL, Burge AT, Holland AE. Positive expiratory pressure therapy versus other airway clearance techniques for bronchiectasis[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2017, 9(9): Cd011699. DOI: 10.1002/14651858.CD011699.pub2.
- [12] Strickland SL, Rubin BK, Drescher GS, et al. AARC clinical practice guideline: effectiveness of nonpharmacologic airway clearance therapies in hospitalized patients[J]. *Respir Care*, 2013, 58(12): 2187-2193. DOI: 10.4187/respcare.02925.
- [13] Sahin H, Varol Y, Naz I, et al. Effectiveness of pulmonary rehabilitation in COPD patients receiving long-term oxygen therapy[J]. *Clin Respir J*, 2018, 12(4): 1439-1446. DOI: 10.1111/crj.12680.
- [14] Jacobs SS, Krishnan JA, Lederer DJ, et al. Home oxygen therapy for adults with chronic lung disease. An official American Thoracic Society clinical practice guideline[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2020, 202(10): e121-e141. DOI: 10.1164/rccm.202009-3608ST.
- [15] Storgaard LH, Hockey HU, Laursen BS, et al. Long-term effects of oxygen-enriched high-flow nasal cannula treatment in COPD patients with chronic hypoxemic respiratory failure[J]. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2018, 13(4): 1195-1205. DOI: 10.2147/copd.s159666.
- [16] Murphy PB, Rehal S, Arbane G, et al. Effect of home noninvasive ventilation with oxygen therapy vs oxygen therapy alone on hospital readmission or death after an acute COPD exacerbation: a randomized clinical trial[J]. *Jama*, 2017, 317(21): 2177-2186. DOI: 10.1001/jama.2017.4451.
- [17] Ergan B, Oczkowski S, Rochweg B, et al. European Respiratory Society guideline on long-term home non-invasive ventilation for management of chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Eur Respir J*, 2019, 54(3): 1901003. DOI: 10.1183/13993003.01003-2019.
- [18] Van Dijk M, Gan CT, Koster TD, et al. Treatment of severe stable COPD: the multidimensional approach of treatable traits[J]. *ERJ Open Res*, 2020, 6(3): 322. DOI: 10.1183/23120541.00322-2019.
- [19] Figueiredo RIN, Azambuja AM, Cureau FV, et al. Inspiratory muscle training in COPD[J]. *Respir Care*, 2020, 65(8): 1189-1201. DOI: 10.4187/respcare.07098.
- [20] Langer D, Ciavaglia C, Faisal A, et al. Inspiratory muscle training reduces diaphragm activation and dyspnea during exercise in COPD[J]. *J Appl Physiol*, 2018, 125(2): 381-392. DOI: 10.1152/jappphysiol.01078.2017.
- [21] Rossi A, Aisanov Z, Avdeev S, et al. Mechanisms, assessment and therapeutic implications of lung hyperinflation in COPD[J]. *Respir Med*, 2015, 109(7): 785-802. DOI: 10.1016/j.rmed.2015.03.010.
- [22] Donaldson AV, Maddocks M, Martolini D, et al. Muscle function in COPD: a complex interplay[J]. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2012, 7(8): 523-535. DOI: 10.2147/copd.s28247.
- [23] Berry MJ, Shields KL, Adair NE. Comparison of effects of endurance and strength training programs in patients with COPD[J]. *COPD*, 2018, 15(2): 192-199. DOI: 10.1080/15412555.2018.1446926.
- [24] Ferguson B. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription 9th Ed 2014[J]. *J Can Chiropr Assoc*, 2014, 58(3): 328. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2014-206260.130.
- [25] Iepsen UW, Munch GD, Rugbjerg M, et al. Effect of endurance versus resistance training on quadriceps muscle dysfunction in COPD: a pilot study[J]. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2016, 11(10): 2659-2669. DOI: 10.2147/copd.s114351.
- [26] Dolmage TE, Goldstein RS. Effects of one-legged exercise training of patients with COPD[J]. *Chest*, 2008, 133(2): 370-376. DOI: 10.1378/chest.07-1423.
- [27] Horowitz MB, Littenberg B, Mahler DA. Dyspnea ratings for prescribing exercise intensity in patients with COPD[J]. *Chest*, 1996, 109(5): 1169-1175. DOI: 10.1378/chest.109.5.1169.
- [28] Acheche A, Mekki M, Paillard T, et al. The effect of adding neuromuscular electrical stimulation with endurance and resistance training on exercise capacity and balance in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized controlled trial[J]. *Can Respir J*, 2020, 20(9): 9826084. DOI: 10.1155/2020/9826084.
- [29] Vivodtzev I, Lacasse Y, Maltais F. Neuromuscular electrical stimulation of the lower limbs in patients with chronic obstructive pulmonary disease[J]. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 2008, 28(2): 79-91. DOI: 10.1097/01.HCR.0000314201.02053.a3.
- [30] Tudorache E, Fildan AP, Frandes M, et al. Aging and extrapulmonary effects of chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Clin Interv Aging*, 2017, 12(8): 1281-1287. DOI: 10.2147/cia.s145002.
- [31] Liu X, Li P, Xiao L, et al. Effects of home-based prescribed pulmonary exercise by patients with chronic obstructive pulmonary disease: study protocol for a randomized controlled trial[J]. *Trials*, 2019, 20(1): 41. DOI: 10.1186/s13063-018-3149-7.
- [32] Simmich J, Deacon AJ, Russell TG. Active video games for rehabilitation in respiratory conditions: systematic review and meta-analysis[J]. *JMIR Serious Games*, 2019, 7(1): e10116. DOI: 10.2196/10116.
- [33] Mcnamara RJ, Dale M, Mckeough ZJ. Innovative strategies to improve the reach and engagement in pulmonary rehabilitation[J]. *J Thorac Dis*, 2019, 11(S17): 2192-2199. DOI: 10.21037/jtd.2019.10.29.

(修回日期: 2021-03-25)

(本文编辑: 易浩)