

· 临床研究 ·

吸气肌耐力训练对高血压患者肺功能、呼吸肌力量及运动能力的影响

祝凯¹ 李娜² 彭朋³¹郑州大学体育学院, 郑州 450044; ²北京儿童医院保定医院五官科, 保定 071000; ³中国人民武装警察部队后勤学院卫生勤务系, 天津 300309

通信作者: 祝凯, Email: zkzz11@sina.com

【摘要】 目的 观察吸气肌耐力训练对原发性高血压患者血压水平、肺功能、呼吸肌力量以及运动能力的影响。**方法** 采用随机数字表法将 60 例原发性高血压患者分为观察组和对照组。观察组患者给予 8 周吸气肌耐力训练(采用德国产 POWERbreathe 呼吸训练器), 训练时吸气阻力强度设定为 55%最大吸气压(MIP)水平, 连续训练 30 次为 1 组, 每天训练 2 组, 每周训练 4 d, 持续训练 8 周; 对照组患者同期也进行吸气肌训练, 但吸气阻力强度设定为 10%MIP 水平, 其他训练参数同观察组。于干预前、干预 8 周后检测 2 组患者血压、肺功能及呼吸肌力量, 同时采用 6 min 步行试验(6MWT)检测 2 组患者运动能力改善情况。**结果** 干预后观察组 MIP[(123.6±13.9)cmH₂O vs (83.5±9.8)cmH₂O] 及 6MWT 距离[(597.1±52.7)m vs (541.3±49.6)m] 均较干预前明显增加($P<0.05$), 但血压水平、肺功能以及最大呼气气压(MEP)均较干预前无明显变化($P>0.05$)。对照组上述各参数均较干预前无明显变化($P>0.05$)。**结论** 8 周吸气肌耐力训练能显著改善原发性高血压患者呼吸肌力量及运动能力, 但对患者血压水平及肺功能并无明显影响。

【关键词】 吸气肌耐力训练; 高血压; 肺功能; 呼吸肌力量; 运动能力**基金项目:** 河南省重点科技攻关项目(152102310117)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.08.009

Effects of respiratory muscle endurance training on lung function, respiratory muscle strength and the motor capacity of hypertense patients

Zhu Kai¹, Li Na², Peng Peng³¹Sports College of Zhengzhou University, Zhengzhou 450044, China; ²Department of Otorhinolaryngology, Baoding Hospital of Beijing Children's Hospital, Baoding 071000, China; ³Department of Health Services, Logistics University of the Chinese People's Armed Police Forces, Tianjin 300309, China

Corresponding author: Zhu Kai, Email: zkzz11@sina.com

【Abstract】 Objective To explore the effect of respiratory muscle endurance training on the blood pressure, lung function, respiratory muscle strength and motor capacity of persons with hypertension. **Methods** Sixty persons with essential hypertension were randomly divided into an experimental group and a control group, each of 30. The experimental group received 8 weeks of inspiratory resistance training with an intensity of 55% of their maximum inspiratory air pressure (MIP) while the control group had an intensity of 10% MIP with the other training conditions the same as those of the experimental group. Both groups practiced 30 times as a set, two sets a day, 4 days a week. Blood pressure, lung function and respiratory muscle strength were measured before and after the intervention, and motor capacity was measured using the 6-minute walk test (6MWT). **Results** After the intervention, the average MIP of the experimental group had increased significantly (to 123.6±13.9 from 83.5±9.8cmH₂O). The average 6MWT time of the experimental group had also improved significantly, but there were no significant differences in any of the control group observations. **Conclusion** Eight weeks of respiratory muscle endurance training can improve the inspiratory muscle strength and motor capacity of patients with essential hypertension, but it has no effect on blood pressure or lung functioning.

【Key words】 Respiratory muscles; Endurance training; Hypertension; Lung function; Respiratory muscle strength; Motor capacity

Funding: A key scientific and technological project of He'nan Province (152102310117)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.08.009

高血压是临床最常见的心血管系统疾病,在中国约有 3 亿高血压患者,且患者数量呈逐年增加趋势^[1]。相关研究发现,高血压患者最大摄氧量(maximal oxygen uptake, VO_{2max})、最大心输出量以及最大心率(maximal heart rate, HR_{max})均较血压正常者明显降低^[2];此外高血压患者呼吸肌力量减弱,在运动过程中耗氧量增加,容易出现呼吸困难,因此患者运动功能、生活质量也随之降低^[3]。有大量文献报道,呼吸肌耐力训练能改善健康老年人^[4]、心肺疾病患者^[5-6]及运动员^[7]呼吸肌力量并提高呼吸功能,但呼吸肌耐力训练对于高血压患者运动能力的影响尚不确定。基于此,本研究观察吸气肌耐力训练对原发性高血压患者血压水平、肺功能、吸气肌力量以及运动功能的影响,为制订有针对性的运动康复处方提供参考依据。

对象与方法

一、研究对象

通过电话、走访、问卷调查等方式招募郑州市荆胡智慧社区高血压患者 60 例。患者入选标准包括:①年龄 18~70 岁;②均为原发性高血压患者,即在未使用降压药物情况下,非同日 3 次诊室测量收缩压(systolic blood pressure, SBP) ≥ 140 mmHg 和/或舒张压(diastolic blood pressure, DBP) ≥ 90 mmHg 并排除继发性高血压(如肾性高血压、嗜铬细胞瘤、库欣综合征等);③无规律运动习惯或每周运动次数 <2 次,每次运动时间 <30 min;④患者对本研究知晓并签署知情同意书。患者排除标准包括:①患有恶性或急进型高血压;②合并呼吸系统疾病、代谢性疾病、运动系统疾病或其他急慢性等疾病;③肺功能实测值低于 80% 预测值水平;④有烟、酒、咖啡等嗜好等。本研究同时经郑州大学伦理委员会审批(ZZU-20190316)。采用随机数字表法将上述 60 例高血压患者分为观察组及对照组,每组 30 例。

二、吸气肌耐力训练

观察组患者采用德国产 POWERbreathe 呼吸训练器进行吸气肌耐力训练(详见图 1),指导患者正常呼气后,上、下齿咬紧训练器咬嘴牙垫,尽最大能力缓慢吸气,训练强度设定为 55% 最大吸气压(maximal inspiratory pressure, MIP)水平,然后缓慢、均匀呼气,于呼气末稍作停顿后重复上述练习,连续训练 30 次为 1 组,每天训练 2 组,每周训练 4 d,持续训练 8 周。对照组患者同期也采用 POWERbreathe 训练器进行吸气肌训练,但训练强度设定为 10% MIP 水平,其它治疗参数均同观察组。训练过程中要求患者循序渐进、量力而行,不得憋气,如有不适症状(如头晕、胸闷、过度通

气等)须立即停止训练。



图 1 患者使用呼吸训练器进行吸气肌训练示意图

三、身体形态学及安静时血液动力学参数检测

于入选时、干预 8 周后选用方舟-III 型体质检测组件(中国产)检查入选患者身高、体重并计算身体质量指数(body mass index, BMI),选用身体成分分析仪(Inbody 520)测定患者体脂百分比(percentage of body fat, PBF);嘱患者保持安静坐位,10 min 后检测脉搏 3 次,取平均值作为安静心率值(heart rate, HR);随后选用鱼跃牌台式血压计(中国产)测量患者右上臂肱动脉血压(包括 SBP 和 DBP),共检测 3 次,每次间隔 5 min,取平均值作为安静血压值。

四、肺功能及呼吸肌力量测试

根据美国胸科学会相关指南建议^[8],本研究于入选时、干预 8 周后分别采用 Master Screen 电子肺量计(德国产)检测患者肺功能及呼吸肌力量。当进行肺功能检测时,患者取站位,头部保持自然水平,夹上鼻夹并紧含吹气筒,肺功能检测指标包括用力肺活量(forced vital capacity, FVC)和第 1 秒用力呼气量(forced expiratory volume in the first second, FEV1),上述指标预测值根据患者年龄、身高及体重等情况进行估算,将实测值与预测值的比值(%)纳入数据分析。进行呼吸肌力量检测时,患者保持端坐位,于完全呼气后尽全力吸气,吸气过程持续不中断,期间应避免咳嗽、憋气或双吸气等,在吸气结束后缓慢呼气,重复检测 3 次,每次间隔 10 s,取最大值作为最大吸气压(maximal inspiratory pressure, MIP);休息 10 min 后,于完全吸气后迅速全力呼气,呼气过程注意事项同上,重复检测 3 次,取最大值作为最大呼气压(maximal expiratory pressure, MEP),MIP、MEP 分别反映受试者吸气肌力量及呼气肌力量。

五、运动功能测试

于入选时、干预 8 周后分别采用 6 min 步行试验(6-minute walking test, 6MWT)检测患者运动功能情况,在平直地面上标记 30 m 长直线区域,嘱患者在该区域内尽可能快速往返步行 6 min,使用卷尺测量患者 6 min 内步行距离。重复检测 2 次,中间间隔 15 min,

取平均值纳入数据分析;通过患者佩戴的 Polar RS800cx 型遥测心率表(芬兰产)连续记录其运动过程中 HR 值,将运动后即刻 HR 作为 HR_{max} ,利用遥测心率表配套软件将患者运动过程中心率值进行积分处理获得平均 HR (mean HR, HR_{mean})。本研究还采用 Borg 主观感觉疲劳程度量表(ratings of perceived exertion, RPE)对患者运动后疲劳情况进行评定,该量表结果共包括 15 个条目(分别对应 6~20 级),其中 6 级表示安静,7 级表示非常轻松,8~10 级表示很轻松,11 级表示轻松,12~14 级表示稍费力,15 级表示费力,16~18 级表示很费力,19 级表示非常费力,20 级表示精疲力竭^[9]。

六、统计学分析

本研究所得计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,采用 SPSS 20.0 版统计学软件包进行数据分析,先采用 Shapiro-Wilk 法对数据进行正态性检验,连续型变量组间比较采用独立样本 t 检验,率的比较采用卡方检验;各指标(包括血压、肺功能、呼吸肌力量、运动功能等)干预前、后组内比较采用配对样本 t 检验, $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、本研究患者基线变量特征以及不良反应比较

干预过程中共失访 6 例患者(其中观察组 4 例,对照组 2 例),最终样本总量为 54 例,其中观察组 26 例,对照组 28 例。2 组患者基线变量特征详见表 1,表中数据显示 2 组患者人口统计学指标(性别、年龄、病程)、身体形态学指标(身高、体重、BMI、PBF)、血液动力学指标(SBP、DBP 和 HR)、肺功能指标(FVC、FEV1)以及服用药物(利尿剂、钙离子阻断剂、 β 受体阻断剂、血管紧张素转换酶抑制剂、血管紧张素 II 受体阻断剂、 α 受体阻断剂)情况等组间差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。干预过程中观察组有 2 例患者共出现 4 次轻微气促现象,经休息后症状消失,未再发生其它严重不良反应。

二、干预前、后 2 组患者血压情况比较

与干预前比较,干预后 2 组患者 SBP 及 DBP 均无显著变化,差异均无统计学意义($P>0.05$),具体数

据见表 2。

表 1 入选时 2 组患者基线变量特征比较

基线变量	观察组($n=26$)	对照组($n=28$)
人口统计学指标		
性别(女/男)	15/11	18/10
年龄(岁)	53.1 $\pm$ 7.9	56.2 $\pm$ 8.1
病程(年)	11.6 $\pm$ 4.9	12.9 $\pm$ 4.0
身体形态学指标		
身高(m)	1.73 $\pm$ 0.07	1.70 $\pm$ 0.08
体重(kg)	72.8 $\pm$ 6.8	75.5 $\pm$ 8.1
BMI(kg/m ²)	24.4 $\pm$ 3.2	26.3 $\pm$ 3.4
PBF(%)	21.5 $\pm$ 4.3	22.9 $\pm$ 3.9
血液动力学指标		
SBP(mmHg)	134 $\pm$ 21	137 $\pm$ 19
DBP(mmHg)	87 $\pm$ 11	89 $\pm$ 13
HR(bpm)	77 $\pm$ 5	74 $\pm$ 6
肺功能指标		
FVC(L)	2.11 $\pm$ 0.40	2.32 $\pm$ 0.31
FVC(%)	101 $\pm$ 14	109 $\pm$ 19
FEV1(L)	1.98 $\pm$ 0.66	2.01 $\pm$ 0.36
FEV1(%)	99 $\pm$ 17	100 $\pm$ 15
服用药物情况		
利尿剂(例,%)	25(96.2)	26(92.9)
钙离子阻断剂(例,%)	11(42.3)	13(46.4)
β 受体阻断剂(例,%)	12(46.1)	14(50.0)
血管紧张素转换酶抑制剂(例,%)	16(61.5)	18(64.3)
血管紧张素 II 受体阻断剂(例,%)	9(34.6)	8(28.6)
α 受体阻断剂(例,%)	5(19.2)	6(21.4)

表 2 干预前、后 2 组患者血压情况比较(mmHg, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	SBP		DBP	
		干预前	干预后	干预前	干预后
观察组	26	134 $\pm$ 21	137 $\pm$ 25	87 $\pm$ 11	89 $\pm$ 15
对照组	28	137 $\pm$ 19	132 $\pm$ 27	89 $\pm$ 13	86 $\pm$ 18

三、干预前、后 2 组患者肺功能及呼吸肌功能比较
与干预前比较,干预后 2 组患者 FVC、FEV1 及 MEP 均无显著变化($P>0.05$),观察组 MIP 明显升高($P<0.05$),对照组 MIP 仍无显著变化($P>0.05$);通过进一步组间比较发现,干预后观察组 MIP 亦显著高于对照组水平($P<0.05$),具体数据见表 3。

表 3 干预前、后 2 组患者肺功能及呼吸肌功能比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	FVC(L)	FVC(%)	FEV1(L)	FEV1(%)	MIP(cmH ₂ O)	MEP(cmH ₂ O)
观察组							
干预前	26	2.11 $\pm$ 0.40	101 $\pm$ 14	1.98 $\pm$ 0.66	99 $\pm$ 17	83.5 $\pm$ 9.8	96.5 $\pm$ 11.2
干预后	26	2.10 $\pm$ 0.6	100 $\pm$ 16	1.96 $\pm$ 0.52	98 $\pm$ 15	123.6 $\pm$ 13.9 ^{ab}	95.2 $\pm$ 10.8
对照组							
干预前	28	2.32 $\pm$ 0.31	100 $\pm$ 16	2.01 $\pm$ 0.36	100 $\pm$ 15	85.2 $\pm$ 10.3	94.3 $\pm$ 12.0
干预后	28	2.37 $\pm$ 0.40	110 $\pm$ 17	2.11 $\pm$ 0.46	105 $\pm$ 18	83.6 $\pm$ 9.5	97.9 $\pm$ 10.8

注:与组内干预前比较,^a $P<0.05$;与对照组相同时间点比较,^b $P<0.05$

四、干预前、后 2 组患者运动功能及生理反应情况比较

与干预前比较,干预后观察组 6MWT 距离明显增加($P<0.05$),RPE、 HR_{mean} 及 HR_{max} 均无显著变化($P>0.05$),对照组上述指标均无显著变化($P>0.05$);通过进一步组间比较发现,干预后观察组 6MWT 距离亦较对照组明显增加,组间差异具有统计学意义($P<0.05$),具体数据见表 4。

表 4 干预前、后 2 组患者运动功能及生理反应情况比较
($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	6MWT 距离 (m)	RPE(级)	HR_{mean} (bpm)	HR_{max} (bpm)
观察组					
干预前	26	541.3±49.6	14.3±1.6	140±11	155±14
干预后	26	597.1±52.7 ^{ab}	13.9±2.0	138±9	152±16
对照组					
干预前	28	535.2±65.2	13.9±1.8	139±10	153±17
干预后	28	525.7±55.8	14.1±1.5	143±11	150±16

注:与组内干预前比较,^a $P<0.05$;与对照组相同时间点比较,^b $P<0.05$

讨 论

一、吸气肌耐力训练对血压水平的影响

本研究观察组患者干预后其血压水平较入选时无显著改变,与 Ferreira 等^[10]报道结果不同,该研究发现高血压患者经 8 周呼吸肌耐力训练后其动态血压水平明显下降。造成上述结果差异的原因可能与血压测量方法不同有关,相较于诊室测量血压,24 h 动态血压可避免偶测血压的不稳定性,并全面反映患者 24 h 甚至更长时间内血压波动情况,具有较好的重复性及客观性^[11]。本研究主要采用诊室血压进行分析,发现干预后观察组 SBP 及 DBP 均值均有一定程度下降(分别降低 5 mmHg 和 3 mmHg),但由于受“白大褂”效应及其他应激因素影响,测量结果变异程度较大(如标准差、变异系数较大),进而影响最终统计学结果准确性。今后研究应采用动态血压测量法以准确评估吸气肌耐力训练对高血压患者血压水平的影响;另外本研究患者在观察期间均常规服用抗高血压药物,因此其血压基线值并未超过 140/90 mmHg,总体血压控制良好,这也在一定程度上抵消了吸气肌耐力训练的降压作用。

二、吸气肌耐力训练对肺功能及呼吸肌力量的影响

本研究 2 组患者干预后其 FVC、FEV1 及 MEP 均较干预前无显著变化,但观察组 MIP 较干预前明显升高,提示 8 周吸气肌耐力训练在增强患者吸气肌力量同时并未改善其肺功能,这与 Souza 等^[12]及 Mills

等^[13]针对健康老年对象的观察结果基本一致;但同时也有针对呼吸系统疾病(导致肺功能显著下降)患者的临床研究报道,呼吸肌耐力训练能提高患者 FVC、FEV1 等参数^[5]。造成上述结果不同的原因可能与本研究患者肺功能基础水平较好以及干预时间偏短(8 周)有关。本研究观察组患者经吸气肌耐力训练后,其 MIP 提高有助于改善吸气肌协调性及运动单位募集,使日常活动或运动锻炼时呼吸阻力以及吸气肌相对做功量下降,能缓解吸气肌疲劳、气促、呼吸困难等症状^[12-13],进而改善患者生活质量。

三、吸气肌耐力训练对运动功能的影响

虽然通过极量或力竭运动试验检测 VO_{2max} 是评价机体运动功能的金标准,但大多数日常活动强度均处于亚极量水平,而 6MWT 作为客观评估机体运动能力的亚极量运动试验,具有简单易行、费用低、安全性好等优点,且 6MWT 与 VO_{2max} 具有较高相关性,目前已广泛应用于心肺疾病患者心肺适能评估及康复训练中^[1]。此外 Du 等^[14]研究发现,通过 6MWT 进行日常体力训练有助于患者形成良好生活习惯,对促进健康、防治疾病具有积极作用。Huang 等^[15]研究发现,慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)患者经 6 周呼吸肌耐力训练后,其 6MWT 距离明显增加。Mills 等^[13]报道,健康老年人经呼吸肌耐力训练后其 6MWT 距离并无明显增加,并认为该结果与受试者基线体能水平较高有关。本研究观察组患者干预后 6MWT 距离明显增加,提示 8 周吸气肌耐力训练可明显改善高血压患者亚极量运动能力,进而提高其日常生活中的运动耐力。

本研究 2 组患者干预后其 RPE、 HR_{mean} 及 HR_{max} 均无明显差异,表明 2 组患者在运动时的生理反应及主观努力程度基本一致,但观察组 6MWT 距离明显增加,提示机体可能存在其它适应机制。本研究入选患者干预前其 6MWT 基础值与 Mills 等^[13]研究对象基本一致,但干预后观察组 MIP 上调幅度(+40 cmH₂O)明显大于 Mills 等观察结果(+25 cmH₂O),提示观察组患者运动功能改善可能与其吸气肌肌力增强有关。Turner 等^[16]研究发现,原发性高血压患者经呼吸肌耐力训练后,当以 75% VO_{2max} 强度运动时其呼吸肌耗氧量较干预前明显下降。本研究并未监测运动过程中患者呼吸肌气体代谢参数变化,推测其运动功能改善可能与呼吸泵效率提高、呼吸肌代谢反射(即呼吸肌疲劳造成运动肌与呼吸肌间血流量重新分布,呼吸肌“盗取”运动肌血流量从而使运动功能下降)阈值上调进而延缓呼吸肌疲劳有关^[17]。由于 6MWT 的运动强度明显低于其它方式运动试验(如定量负荷或递增负荷力竭试验、高强度间歇试验等),故肌代谢反射阈值

上调可能并不是其主要机制,呼吸泵效率增加或其他促心肺耦联的因素可能发挥主导作用。

综上所述,本研究结果表明,8 周吸气肌耐力训练能显著改善原发性高血压患者吸气肌力量及运动功能,但对患者血压水平及肺功能并无明显影响,为临床科学制订高血压患者运动康复处方提供参考资料。

参 考 文 献

- [1] Wang Z, Chen Z, Zhang L, et al. Status of hypertension in China: results from the China hypertension survey, 2012-2015 [J]. *Circulation*, 2018, 137(22): 2344-2356. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.117.032380.
- [2] Lazarus NR, Lord JM, Harridge S. The relationships and interactions between age, exercise and physiological function [J]. *J Physiol*, 2019, 597(5): 1299-1309. DOI: 10.1113/JP277071.
- [3] Wang C, Just A, Heiss J, et al. Biomarkers of aging and lung function in the normative aging study [J]. *Aging*, 2020, 12(12): 11942-11966. DOI: 10.18632/aging.103363.
- [4] Roldan A, Cordellat A, Monteagudo P, et al. Beneficial effects of inspiratory muscle training combined with multicomponent training in elderly active women [J]. *Res Q Exerc Sport*, 2019, 90(4): 547-554. DOI: 10.1080/02701367.2019.1633009.
- [5] Beaumont M, Forget P, Couturaud F, et al. Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: a systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Respir J*, 2018, 12(7): 2178-2188. DOI: 10.1111/crj.12905.
- [6] Wu J, Kuang L, Fu L. Effects of inspiratory muscle training in chronic heart failure patients: a systematic review and meta-analysis [J]. *Congenit Heart Dis*, 2018, 13(2): 194-202. DOI: 10.1111/chd.12586.
- [7] Karsten M, Ribeiro GS, Esquivel MS, et al. The effects of inspiratory muscle training with linear workload devices on the sports performance and cardiopulmonary function of athletes: a systematic review and meta-analysis [J]. *Phys Ther Sport*, 2018, 34: 92-104. DOI: 10.1016/j.ptsp.2018.09.004.
- [8] Redlich CA, Tarlo SM, Hankinson JL, et al. Official American Thoracic Society technical standards: spirometry in the occupational setting [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2014, 189(8): 983-993. DOI: 10.1164/rccm.201402-200337ST.
- [9] Eston R. Use of ratings of perceived exertion in sports [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 2012, 7(2): 175-182. DOI: 10.1123/ijsspp.7.2.175.
- [10] Ferreira JB, Plentz RD, Stein C, et al. Inspiratory muscle training reduces blood pressure and sympathetic activity in hypertensive patients: a randomized controlled trial [J]. *Int J Cardiol*, 2013, 166(1): 61-67. DOI: 10.1016/j.ijcard.2011.09.069.
- [11] 徐芳芳, 刘迪雅, 李瑶, 等. 诊室血压、动态血压及家庭血压测量对于高血压患者诊断和管理的研究进展 [J]. *中国循证医学杂志*, 2020, 20(2): 207-213. DOI: 10.7507/1672-2531.201905074.
- [12] Souza H, Rocha T, Pessoa M, et al. Effects of inspiratory muscle training in elderly women on respiratory muscle strength, diaphragm thickness and mobility [J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2014, 69(12): 1545-1553. DOI: 10.1093/gerona/glu182.
- [13] Mills DE, Johnson MA, Barnett YA, et al. The effects of inspiratory muscle training in older adults [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2015, 47(4): 691-697. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000474.
- [14] Du H, Newton PJ, Salamonson Y, et al. A review of the six-minute walk test: its implication as a self-administered assessment tool [J]. *Eur J Cardiovasc Nurs*, 2009, 8(1): 2-8. DOI: 10.1016/j.ejcnurse.2008.07.001.
- [15] Huang CH, Yang GG, Wu YT, et al. Comparison of inspiratory muscle strength training effects between older subjects with and without chronic obstructive pulmonary disease [J]. *J Formos Med Assoc*, 2011, 110(8): 518-526. DOI: 10.1016/S0929-6646(11)60078-60078.
- [16] Turner LA, Tecklenburg-Lund SL, Chapman RF, et al. Inspiratory muscle training lowers the oxygen cost of voluntary hyperpnea [J]. *J Appl Physiol*, 2012, 112(1): 127-134. DOI: 10.1152/jappphysiol.00954.2011.
- [17] Moreno AM, Toledo-Arruda AC, Lima JS, et al. Inspiratory muscle training improves intercostal and forearm muscle oxygenation in patients with chronic heart failure: evidence of the origin of the respiratory metaboreflex [J]. *J Card Fail*, 2017, 23(9): 672-679. DOI: 10.1016/j.cardfail.2017.05.003.

(修回日期: 2021-06-20)

(本文编辑: 易 浩)