

·综述·

吸气肌训练的临床研究进展*

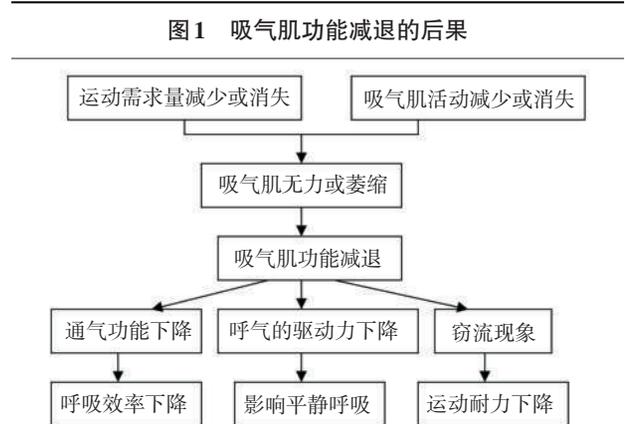
郭佳宝¹ 朱毅^{2,3}

不管是平静状态下呼吸还是用力深呼吸,吸气都是主动用力的过程,因此在呼吸过程中保证吸气功能的良好是十分必要的,为此我们强调进行吸气肌本身的训练。吸气肌训练是锻炼以膈肌为主的具有吸气功能的肌肉,以增强其肌力和耐力,改善心肺功能,促进运动能力的恢复。此种训练方式在肺康复临床中的应用已有超过30年的历史,国际康复领域中关于吸气肌训练的研究重点仍然集中在心肺疾病上,而国内此类研究虽然开展较早,但对吸气肌训练的认识尚不充分,对其价值也未有最终定论。为此我们特将吸气肌训练的机制和临床应用加以概括总结,并对当前国际上的研究动态进行探讨以引起国内同仁的关注与重视。

1 机制

很多疾病会导致吸气肌功能减退,出现吸气肌血液“窃流现象”^[1]。其窃流原理为在闭合的流体循环系统内,流体总量不变,特定支流的流量增加将减少其他支流的流量。如果吸气肌无力或萎缩,吸气肌本身的血流量就会减少,运动时,呼吸肌血流量占心输出量的比例可以从正常人的2%增加到16%,身体分配给吸气肌的血流量增多,相应运动肌的血流量就会减少,发生吸气肌窃取运动肌血流现象,造成运动肌能量供应不足,运动耐力下降。另外,作为肺通气原动力的吸气肌无力或萎缩,会导致通气功能降低,单次的呼吸效率下降等后果,如图1。因此,我们强调进行吸气肌肌力和耐力的训练,防止或减缓吸气肌萎缩,从而帮助避免吸气肌的血液“窃流现象”。膈肌是主要的吸气肌,具有骨骼肌的基本特性,窃流现象经常发生在膈肌虚弱时,所以在吸气肌训练时更要注重对膈肌的训练。

传统的呼吸训练更侧重对呼气肌或呼气过程的训练,而较少关注对吸气肌的训练。呼气肌训练常使用缩唇呼吸、等长收缩、腹肌训练和吹蜡烛等方法来增加潮气量和肺泡通气量,提高血气交换率,只能间接改善呼吸功能;而适度增加吸气肌负荷可以使吸气肌力量和耐力增加,强化携氧能力,最终从根本上改善呼吸功能。目前文献公认的吸气肌训练方法主要有以下四种:非线性阻力呼吸器^[2]、阈值压力负荷训练



器^[3]、限速阈值压力负荷吸气肌训练仪^[4]和靶流量阻力装置^[5]。

吸气肌训练的主要目的是增加吸气肌肌力和耐力,所以吸气肌肌力和耐力的测定是必不可少的,目前常以最大口腔吸气压(maximum inspiratory pressure, MIP)的大小来反映吸气肌肌力;以负荷呼吸时间(the time of loading breathing)长短来反映吸气肌耐力;以吸气流速峰值反映吸气肌快速收缩、克服阻力的能力。另外心肺功能、运动功能和生存质量的评定也是吸气肌训练后效果评估的重要指标。

2 临床应用进展

吸气肌训练的临床应用十分广泛。对于那些为了提高吸气能力和运动耐力的学科来说,进行吸气肌训练是十分重要的。目前开展的临床研究主要是针对呼吸系统、心血管系统、神经系统及一些手术后的患者,这些患者的运动需求量减少、膈肌活动减少,长期处于减弱的状态造成了膈肌的萎缩,发生呼吸困难、运动耐力下降及各种并发症。因此,在这些疾病的特定阶段及时介入吸气肌训练更显得尤为重要。

2.1 呼吸系统疾病

2.1.1 慢性阻塞性肺疾病:吸气肌无力使慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)患者运动能力受限,并且MIP减低使患者对呼吸困难有更高敏感性,从而更容易产生呼吸困难的感受。因此,通过吸气肌训

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2014.09.023

*基金项目:江苏省青蓝工程

1 南京中医药大学第二临床医学院,南京市栖霞区仙林大道138号,210023; 2 南京中医药大学; 3 通讯作者

作者简介:郭佳宝,女,硕士; 收稿日期:2013-12-19

练提高膈肌的储备力和收缩力是有益的^[6]。关于 COPD 患者的吸气肌训练,国内外的研究已经取得了一定的进展。王兴旗等^[3]研究 20 例 COPD 患者,使用阈压力负荷吸气肌锻炼仪,以 40% 的 MIP 作为负荷进行吸气肌训练,每天 40min。结果发现训练 5 周即可增加 COPD 患者 MIP 和负荷呼吸时间。随后该课题组以相同方法对训练组中 16 例 COPD 缓解期患者进行远期效果观察,其中 8 例用上述方案继续坚持训练 10 周,另 8 例停止训练。10 周后复查,发现继续训练不仅增加 MIP,延长负荷呼吸时间,用力肺活量(forced vital capacity, FVC)、第一秒用力呼气量(forced expiratory volume in first second, FEV1)和最大通气量(maximal voluntary ventilation, MVV)也有增加,而停止训练组的各项参数均已恢复到锻炼前水平^[7]。该课题组继续研究气流速对吸气肌训练的影响,20 例 COPD 稳定期患者使用限速阈压力负荷吸气肌锻炼仪进行训练,以 0.8L/s 为流速,25% 的 MIP 为负荷进行吸气肌训练。20 例对照组不限速,同压力进行训练。两组均锻炼 40min/d,共 6 周。结果发现限速组的 MIP、负荷吸气时间和 12min 最大行走距离均显著增加,而对照组上述指标无显著变化^[4]。通过该课题组对吸气肌训练的系列研究,提示吸气肌训练能改善 COPD 患者吸气肌肌力和耐力,长期坚持还能改善肺功能。在阈压力负荷吸气肌训练中限制气流速,形成稳定的呼吸方式,可在较低的压力负荷下,获得较好的临床效果。

目前,系统评价的结果支持 COPD 患者使用吸气肌训练,从 meta 分析的结果看来吸气肌训练能提高患者吸气肌肌力和耐力,减少呼吸困难现象;然而在生存质量和运动耐力方面的提高并不显著^[8-9]。针对 COPD 患者的吸气肌训练研究较为成熟,研究的文献数量多,时间跨度久,相关的系统评价也不断更新。目前的研究集中在寻找将吸气肌训练作为单一治疗方式产生的效果,优化试验对象,缩小适应证,找到最为合适的训练强度是现在更为关注的。

2.1.2 哮喘:哮喘患者最常见的症状是反复发作的喘息、气促、胸闷和咳嗽,易常见肺功能下降。吸气肌训练改善哮喘患者症状的最新 Meta 分析结果,最终没有找到确凿的证据来证明吸气肌训练对哮喘患者是有效的^[10]。该 meta 分析纳入了 5 个研究共 113 例哮喘患者,其中 4 篇研究轻度到中度的哮喘患者,一篇研究重度哮喘患者,干预组使用阻力呼吸器或阈值压力负荷装置进行吸气肌训练。主要观察吸气肌肌力,哮喘发作时口服或吸入糖皮质激素的剂量和看急诊的次数。作者发现干预组吸气肌肌力有显著提高,除此之外,没有发现其他指标有显著性意义。

目前吸气肌训练干预哮喘的研究非常有限,今后需要更多高质量的临床随机对照试验来论证吸气肌训练对哮喘患者的治疗效果;哮喘是儿童最常见的慢性疾病,严重影响着

儿童的身心健康和生存质量,但当前研究对象基本都集中在成年哮喘患者,对儿童哮喘患者的吸气肌训练还有待进一步开展。

2.1.3 支气管扩张:Newall 等^[11]将 32 例支气管扩张的患者随机分到三组中,分别是肺功能康复配合吸气肌训练、肺功能康复配合假吸气肌训练及康复宣教组。结果发现前两组吸气肌肌力都有显著提高,但配合吸气肌训练组的运动耐力的改善在训练 3 个月后仍能保持,而配合假吸气肌训练组的则不能保持。该研究提示吸气肌训练能产生长期效应,可能是一种从根本上改善呼吸功能,提高运动耐力的训练方式。Liaw 等^[12]的研究给我们提供了一种家庭阈压力吸气肌训练方式,最初以 30% 的 MIP,然后每周增加 2cm 水柱的压力,每天 30min,每周 5 天,共 8 周,最终发现这种强度的训练能提高支气管扩张的患者吸气肌和呼气肌肌力。尽管 6min 步行试验和 Borg Scale 呼吸困难指数的变化没有显著性意义,但在研究过程中确实发现患者这两项是有较为显著改善的,所以研究者建议今后扩大研究对象样本量,训练结合其他康复治疗项目,延长治疗时间,寻找更为合适的阈压力值和增幅,以期找到吸气肌训练有效改善支气管扩张患者运动耐力的证据。

目前,增加吸气肌肌力对支气管扩张患者的临床意义还是未知的,通过吸气肌训练,提高吸气肌收缩的速度,缩短吸气时间,为呼气和肺排空提供更多时间,从而帮助支气管扩张患者咳嗽也只是猜想,有待证明。

2.2 心血管系统疾病

2.2.1 心力衰竭:30%—50% 的心衰患者存在吸气肌无力现象,这些患者的功能和生存质量下降,预后常常不良^[13]。近年来越来越多的文献研究吸气肌训练对心衰患者的作用,大多数研究报道了吸气肌训练对呼吸困难、运动能力和功能状态的改善是有效的^[14]。Mello^[15]等研究吸气肌训练对慢性心衰患者心脏和外周自主控制能力;Palau 等^[16]研究射血分数保留性心衰患者经吸气肌训练后的运动能力和生存质量;而 Bosnak-Guclu 等^[17]则单纯研究生存质量。目前心衰患者吸气肌训练的研究重点还是在心肺运动能力上,但也有研究者开始关注其生存质量^[18]。

2.2.2 高血压:Ferreira 等^[19]进行了 13 例高血压患者吸气肌训练的随机对照研究,结果发现吸气肌训练组吸气肌肌力显著提高,而安慰剂组则没有;并且发现吸气肌训练对高血压患者的血压和自主心血管控制方面都有有益的改变,吸气肌训练组 24h 收缩-舒张压下降,自主心血管控制增强,出现副交感神经调控增加,交感神经调控减弱现象。

2.3 神经系统疾病

2.3.1 脑卒中:脑卒中后可引起呼吸机制紊乱,包括由于轻度偏瘫引起的一侧呼吸肌无力,脑干损伤引起的呼吸中枢损

害。为了解吸气肌训练改善卒中患者吸气肌无力的有效性及安全性, Yousheng Xiao等^[20]对此进行了meta分析, 就吸气肌训练能否有效改善脑卒中患者的日常生活活动能力、呼吸肌功能、生存质量及心肺功能进行检验。该篇meta分析纳入2篇随机对照试验, 共66例患者。一篇研究发现吸气肌训练组较假训练组, 呼吸道肌肉力量显著提高, 但两组在改善患者生存质量上没有显著差异。另一篇研究显示吸气肌训练组在日常生活活动能力、生存质量和心肺健康方面更有可能提高。目前缺乏足够的证据支持吸气肌训练对脑卒中患者来说是种有效的方式, 因此设计良好的大样本量的随机、双盲、对照试验有待开展; 另外, 对于脑卒中患者来说, 吸气肌训练的安全性也需考虑。

2.3.2 脊髓损伤:高位脊髓损伤患者常常伴有膈肌麻痹, 并且出现肺容量的改变, 吸气容量和补呼气量的下降。大约三分之二的脊髓损伤患者出现呼吸困难是由于吸气肌麻痹^[21]。Yasar等^[22]报道了一个C5—C7脊髓损伤伴有四肢瘫痪和膈肌麻痹的20岁男性患者, 试验者通过气管造口插入改良的吸气肌训练装置, 患者每天进行20—30次的呼吸训练, 训练强度缓慢递增, 第一周为12cm水柱(20%MIP), 第二周增加至16cm水柱(30%MIP), 第三周为20cm水柱(50%MIP), 训练3周后肌电图测试发现有横膈运动, 并且患者在自然呼吸时能够获得足够的换气量来维持呼吸。随着这项装置的广泛使用, 它的疗效将会被进一步验证。Liaw等^[23]报道了20例C4—C7节段损伤的髓损伤患者, 病程在30—134d, 将其随机分为吸气肌训练组10例和对照组10例进行研究。训练6周后发现试验组的肺活量(vital capacity, VC)、肺总量(total lung capacity, TLC)、FEV1较对照组均有更为显著的提高。休息时, 试验组的Borg Scale呼吸困难指数较对照组也下降更多。提示在颈脊髓损伤半年内进行吸气肌训练能有效改善患者通气功能、呼吸困难现象, 帮助提高呼吸耐力。

2.4 其他疾病

2.4.1 囊性纤维化:囊性纤维化是白种人中常见的一种致死性常染色体隐性外分泌腺遗传疾病, 主要影响到呼吸系统和肺功能。近年来有不少研究将吸气肌训练用于囊性纤维化患者的治疗, 希望改善其肺功能和生存质量。Houston等^[24]在2011年时发表的一篇关于囊性纤维化患者吸气肌训练的meta分析, 纳入8个临床随机对照试验, 180例患者, 选取与健康相关的生存质量、肺功能和运动耐力作为结局指标。通过meta分析最终没有得到证据证明吸气肌训练对囊性纤维化的患者是有效的。该篇meta分析提示为了改进未来研究, 有必要对研究对象设定一个更为细化的标准, 将囊性纤维化患者的临床状态作为考虑因素; 建议今后相关的研究采用吸气肌肌力、耐力、VO₂max等运动耐力及生存质量作为评价指标。此篇meta分析检索日期至2008年, 目前此类系统

评价还未被更新过, 而且近5年单纯研究吸气肌训练干预囊性纤维化患者的文献数目很少, 它的疗效至今没有被确定。

2.4.2 心脏或腹部大手术:术后肺部并发症是冠状动脉旁路移植术后主要的并发症和死亡原因, 而吸气肌无力可能导致术后肺功能异常。目前有研究进行术前吸气肌的强化训练来降低冠状动脉旁路移植术患者肺部并发症的发生率。在一项随机对照的临床研究中发现吸气肌训练能提高冠状动脉旁路移植术后患者的潮气量和肺活量; 多项研究证实术前吸气肌锻炼明显降低肺炎的发生率, 并缩短了术后住院时间^[25-27]; 另一项随机对照的研究发现吸气肌训练使冠状动脉旁路移植术患者术后在吸气肌肌力、功能性容量、重症监护、生存质量以及心理状态方面恢复的更快^[28]。

现有研究表明肥胖会影响呼吸肌功能, 肥胖人群(BMI≥30kg/m²)即使本身不存在肺部疾病, 他们的呼吸肌功能也会因肥胖而受累^[29]。近年来有不少研究将吸气肌训练用于肥胖患者减肥手术后的肺康复, 目前有术前和术后两种干预方式。Casali等^[30]研究接受减肥手术后的吸气肌训练, 试验组术后第2天至第30天接受每天30min的吸气肌训练, 结果发现第30天时MIP较术前提高了13%, 提示吸气肌肌力有明显提高; 而对照组第30天时MIP较术前下降了8%, 吸气肌肌力没有改善。相反, Barbalho-Moulim等^[31]则研究在腹部开放性减肥手术前进行吸气肌训练, 32例肥胖女性参与这个试验, 试验组在术前2—4周接受吸气肌训练, 对照组接受常规护理。结果发现在术前2—3天评估时试验组MIP提高有显著意义, 对照组则没有; 在术后第1天再次进行评估, 发现两组MIP均下降, 试验组下降28%, 对照组下降47%。该试验提示术前吸气肌训练能提高吸气肌肌力并能减少术后副作用。这两种方式都提高了吸气肌肌力, 哪种方式效果更好暂无此类研究。前者注重术后肺功能恢复, 后者强调减少术后并发症, 如能将两种方法结合起来, 是否能对运动功能恢复产生理想的效果也有待研究论证。

另外, 有研究支持慢性心衰患者上腹部手术^[32]、心肌血管重建术或心脏瓣膜手术^[33]、腹主动脉瘤手术^[34]等进行术前吸气肌强化训练, 认为这是一种安全有效的康复方式, 可以很好地降低术后肺部并发症的发生, 帮助肺功能的康复。

3 吸气肌训练在运动员中的应用

吸气肌训练还被应用于运动员的训练, 目的是帮助提高运动员的运动能力。其机制可能是吸气肌的耐力增强, 在运动过程中维持自身血流量的时间增加, 延迟了呼吸肌疲劳的发生, 那么身体给运动肌的血液供应就相对稳定, 就能较长时间保持高水平运动能力。

Dickinson等^[35]研究了一个案例, 一名女性运动员在高强度的运动训练时常常出现吸气性喘鸣, 导致她最后冲刺的成

绩很差,有时因为这种症状甚至得放弃比赛。研究者对其进行吸气肌训练,以50%—60%的MIP作为训练强度,每天2次,每周5天,共训练11周。训练结束后发现最大吸气压提高了31%,冲刺过程中发生吸气性喘鸣的次数明显下降,呼吸困难的症状也有所好转。对于游泳这项运动,有学者发现吸气肌训练后,运动员100m和200m的游泳成绩明显得到提高;还有学者研究在100m自由泳中各组运动员的表现,发现赛前进行吸气肌训练配合常规热身运动的运动员发挥最优秀^[36—37]。另外,吸气肌训练在足球、跑步运动员中也得到广泛使用^[38—39]。

West等^[40]研究10例C5—C7脊髓损伤的残奥会轮椅橄榄球运动员,试验组在6周吸气肌训练后,膈肌厚度、MIP显著增加,提示对于训练有素的颈段脊髓损伤运动员来说,此种训练能增加吸气肌肌力,而且最大摄氧量等运动耐力指标也有较强的增长趋势,证明吸气肌训练可以作为一种训练方式帮助残奥会的运动员提高运动能力。

4 小结

目前,吸气肌训练的临床研究在国际上的研究报道相对较多,研究的病种也比较丰富。虽然尚无有关吸气肌训练的大规模、多中心随机对照研究发表,但能够通过足够的统计学力度来彻底检验吸气肌训练在疾病治疗中的作用,如吸气肌循证医学研究的COPD^[8—9]、哮喘^[10]、心力衰竭^[18]、脑卒中^[20]、脊髓损伤^[41]和囊性纤维化^[24]等系统评价均已完成。另外在Cochrane图书馆中发现了神经肌肉功能障碍的吸气肌训练、腹部和心脏大手术前吸气肌训练等系统评价的研究计划书,这些系统评价的完成又将为吸气肌训练的临床疗效提供证据。而国内对吸气肌训练的认识尚不充分,临床报导不多且病种单一,至今未见有循证医学水平的论证。为此笔者对吸气肌训练的机制和临床应用加以概括总结,并对当前国际上的研究动态进行探讨,以期引起国内同仁的关注与重视,更好的指导临床实践。

参考文献

- [1] Becker LC. Conditions for vasodilator-induced coronary steal in experimental myocardial ischemia[J]. *Circulation*, 1978, 57(6): 1103—1110.
- [2] Harver A, Mahler DA, Daubenspeck JA. Targeted inspiratory muscle training improves respiratory muscle function and reduces dyspnea in patients with chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Ann Intern Med*, 1989, 111(2): 117—124.
- [3] 王兴旗, 蔡映云, 钮善福, 等. 慢性阻塞性肺疾病患者阈值压力负荷吸气肌锻炼的疗效观察[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 1995, 18(2): 119—119.
- [4] 施斌, 顾宇彤. 限制吸气流速对吸气肌训练的临床价值[J]. *中*

- 国康复, 2001, 16(1): 10—11.
- [5] Belman MJ, Shadmehr R. Targeted resistive ventilatory muscle training in chronic obstructive pulmonary disease[J]. *J Appl Physiol*, 1988, 65(6): 2726—2735.
- [6] Mota-Casals S. What is the role of inspiratory muscle training in the treatment of chronic obstructive pulmonary disease [J]? *Arch Bronconeumol*, 2005, 41(11): 593—595.
- [7] 蔡映云, 吴振安. COPD 缓解期患者阈压力负荷吸气肌锻炼的疗效观察[J]. *中国康复医学杂志*, 1997, 12(1): 1—5.
- [8] Geddes EL, O'Brien K, Reid WD, et al. Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: an update of a systematic review[J]. *Respir Med*, 2008, 102(12): 1715—1729.
- [9] Gosselink R, De Vos J, Van Den Heuvel SP, et al. Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence[J]? *Eur Respir J*, 2011, 37(2): 416—425.
- [10] Silva IS, Fregonezi GA, Dias FA, et al. Inspiratory muscle training for asthma[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2013, 9: CD003792.
- [11] Newall C, Stockley RA, Hill SL. Exercise training and inspiratory muscle training in patients with bronchiectasis[J]. *Thorax*, 2005, 60(11): 943—948.
- [12] Liaw MY, Wang YH, Tsai YC, et al. Inspiratory muscle training in bronchiectasis patients: a prospective randomized controlled study[J]. *Clin Rehabil*, 2011, 25(6): 524—536.
- [13] Ribeiro JP, Chiappa GR, Callegaro CC. The contribution of inspiratory muscles function to exercise limitation in heart failure: pathophysiological mechanisms[J]. *Rev Bras Fisioter*, 2012, 16(4): 261—267.
- [14] Cahalin LP, Arena R, Guazzi M, et al. Inspiratory muscle training in heart disease and heart failure: a review of the literature with a focus on method of training and outcomes [J]. *Expert Rev Cardiovasc Ther*, 2013, 11(2): 161—177.
- [15] Mello PR, Guerra GM, Borile S, et al. Inspiratory muscle training reduces sympathetic nervous activity and improves inspiratory muscle weakness and quality of life in patients with chronic heart failure: a clinical trial[J]. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 2012, 32(5): 255—261.
- [16] Palau P, Domínguez E, Núñez E, et al. Effects of inspiratory muscle training in patients with heart failure with preserved ejection fraction[J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2013: 2047487313498832.
- [17] Bosnak-Guclu M, Arıkan H, Savcı S, et al. Effects of inspiratory muscle training in patients with heart failure[J]. *Respir Med*, 2011, 105(11): 1671—1681.
- [18] Sbruzzi G, Dal Lago P, Ribeiro RA, et al. Inspiratory muscle training and quality of life in patients with heart fail-

- ure: Systematic review of randomized trials[J]. *Int J Cardiol*, 2012, 156(1): 120—121.
- [19] 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.
- [20] Xiao Y, Luo M, Wang J, et al. Inspiratory muscle training for the recovery of function after stroke[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2012, 5:CD009360.
- [21] Spungen AM, Grimm DR, Lesser M, et al. Self-reported prevalence of pulmonary symptoms in subjects with spinal cord injury[J]. *Spinal Cord*, 1997, 35(10): 652—657.
- [22] Yasar F, Tasci C, Savci S, et al. Pulmonary rehabilitation using modified threshold inspiratory muscle trainer (IMT) in patients with tetraplegia[J]. *Case Rep Med*, 2012, 2012: 587901.
- [23] Liaw MY, Lin MC, Cheng PT, et al. Resistive inspiratory muscle training: its effectiveness in patients with acute complete cervical cord injury[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2000, 81(6): 752—756.
- [24] Houston BW, Mills N, Solis-Moya A. Inspiratory muscle training for cystic fibrosis[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2008, 11:CD006112.
- [25] Hulzebos EH, Helders PJ, Favié NJ, et al. Preoperative intensive inspiratory muscle training to prevent postoperative pulmonary complications in high-risk patients undergoing CABG surgery[J]. *JAMA*, 2006, 296(15): 1851—1857.
- [26] 陈振强, 赵扬, 郭子黄, 等. 冠状动脉搭桥术前吸气肌锻炼的临床研究[J]. *铁道医学*, 2001, 29(6): 363—365.
- [27] Weiner P, Zeidan F, Zamir D, et al. Prophylactic inspiratory muscle training in patients undergoing coronary artery bypass graft[J]. *World J Surg*, 1998, 22(5): 427—431.
- [28] Savci S, Degirmenci B, Saglam M, et al. Short-term effects of inspiratory muscle training in coronary artery bypass graft surgery: a randomized controlled trial[J]. *Scand Cardiovasc J*, 2011, 45(5): 286—293.
- [29] Arena R, Cahalin LP. Evaluation of cardiorespiratory fitness and respiratory muscle function in the obese population [J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2014, 56(4): 457—464.
- [30] Casali CC, Pereira AP, Martinez JA, et al. Effects of inspiratory muscle training on muscular and pulmonary function after bariatric surgery in obese patients[J]. *Obes Surg*, 2011, 21(9): 1389—1394.
- [31] Barbalho-Moulim MC, Miguel GP, Forti EM, et al. Effects of preoperative inspiratory muscle training in obese women undergoing open bariatric surgery: respiratory muscle strength, lung volumes, and diaphragmatic excursion[J]. *Clinics*, 2011, 66(10): 1721—1727.
- [32] 马丙强, 韩流, 李莎, 等. 术前强化吸气肌训练降低稳定期慢性心力衰竭患者上腹部手术后的肺部并发症[J]. *临床外科杂志*, 2010, 18(7): 493—494.
- [33] Flynn MG, Barter CE, Nosworthy JC, et al. Threshold pressure training, breathing pattern, and exercise performance in chronic airflow obstruction[J]. *Chest*, 1989, 95(3): 535—540.
- [34] Dronkers J, Veldman A, Hoberg E, et al. Prevention of pulmonary complications after upper abdominal surgery by preoperative intensive inspiratory muscle training: a randomized controlled pilot study[J]. *Clin Rehabil*, 2008, 22(2): 134—142.
- [35] Dickinson J, Whyte G, McConnell A. Inspiratory muscle training: a simple cost-effective treatment for inspiratory stridor[J]. *Br J Sports Med*, 2007, 41(10): 694—695.
- [36] Kilding AE, Brown S, McConnell AK. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2010, 108(3): 505—511.
- [37] Wilson EE, McKeever TM, Lobb C, et al. Respiratory muscle specific warm-up and elite swimming performance[J]. *Br J Sports Med*, 2014, 48(9): 789—791.
- [38] Guy JH, Edwards AM, Deakin GB. Inspiratory muscle training improves exercise tolerance in recreational soccer players without concomitant gain in soccer specific fitness [J]. *J Strength Cond Res*, 2014, 28(2): 483—491.
- [39] Bell GJ, Game A, Jones R, et al. Inspiratory and expiratory respiratory muscle training as an adjunct to concurrent strength and endurance training provides no additional 2000 m performance benefits to rowers[J]. *Res Sports Med*, 2013, 21(3): 264—279.
- [40] West CR, Taylor BJ, Campbell IG, et al. Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in Paralympic athletes with cervical spinal cord injury[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2013, [Epub ahead of print].
- [41] Sheel AW, Reid WD, Townson AF, et al. Effects of exercise training and inspiratory muscle training in spinal cord injury: a systematic review[J]. *J Spinal Cord Med*, 2008, 31(5): 500—508.