

# 机械气道廓清技术临床应用专家共识

中华医学会呼吸病学分会 中国老年保健医学研究会呼吸病学分会 中国呼吸医师分会呼吸职业发展委员会呼吸治疗师工作组 中国康复医学会呼吸康复专委会  
通信作者:解立新,解放军总医院第八医学中心呼吸与危重症医学部,北京 100091, Email: xielx301@126.com; 梁宗安,四川大学华西医院呼吸与危重症医学科,成都 610041, Email: liang.zongan@163.com; 赵红梅,国家呼吸医学中心中日友好医院呼吸中心,北京 100029, Email: lucy0500@163.com

**【摘要】** 机械气道廓清技术是指通过机械方法清除气道淤积分泌物、维持气道通畅的治疗手段。目前机械气道廓清技术在临床中应用广泛,在清除呼吸道分泌物、改善呼吸困难症状、预防和减少呼吸道感染等方面有显著作用,但有关机械气道廓清技术临床应用的专业指导和规范流程尚未达成共识,因此,中华医学会呼吸病学分会呼吸治疗学组组织相关专家撰写了机械气道廓清技术临床应用专家共识。共识对机械气道廓清技术的定义、发展历史、工作原理和作用机制及临床应用等方面进行了系统性阐述,旨在增强对机械气道廓清技术的认知,为临床工作者提供规范的机械气道廓清技术应用流程,指导临床规范应用。

**基金项目:**国家重点研发计划(2021YFC0122500);军队重点课题(BLB20J002)

## Expert consensus on clinical application of mechanical airway clearance techniques

Chinese Thoracic Society, Respiratory Disease Branch of Chinese Association of Geriatric Research, Respiratory Care Group of Chinese Association of Chest Physicians Respiratory Career Development Committee, Respiratory Rehabilitation Committee of Chinese Association of Rehabilitation Medicine  
Corresponding author: Xie Lixin, College of Pulmonary and Critical Care Medicine, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100091, China, Email: xielx301@126.com; Liang Zong'an, Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China, Email: liang.zongan@163.com; Zhao Hongmei, National Respiratory Medicine Center, Respiratory Center of China-Japan Friendship Hospital, Beijing 100029, China, Email: lucy0500@163.com

**【Abstract】** Mechanical airway clearance techniques refer to the therapeutic method of using mechanical means to clear airway secretions and maintain airway patency. Currently, mechanical airway clearance techniques are widely used in clinical practice and have significant effects in clearing respiratory secretions, improving symptoms of respiratory distress, and preventing and reducing respiratory tract infections. However, up to now, there is no consensus, guidance, or standardized procedures for the clinical application of mechanical airway clearance techniques. Therefore, the Respiratory Care Group of Chinese Thoracic Society organized relevant experts to write the consensus on the clinical application of mechanical airway clearance techniques, and systematically describe the definition, historical development, working principles and mechanisms, and clinical applications of mechanical airway clearance techniques. The aim is to increase awareness of mechanical airway clearance techniques, to provide clinical practitioners with standardized procedures for the application of mechanical airway clearance techniques, and to guide the standardized clinical practice.

**Fund program:** China National Key Research Project(2021YFC0122500); PLA Key Research Project (BLB20J002)

DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20230531-00280

收稿日期 2023-05-31 本文编辑 吕小东

引用本文:中华医学会呼吸病学分会,中国老年保健医学研究会呼吸病学分会,中国呼吸医师分会呼吸职业发展委员会呼吸治疗师工作组,等.机械气道廓清技术临床应用专家共识[J].中华结核和呼吸杂志,2023,46(9):866-879. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20230531-00280.



人体生理状态下具有主动气道廓清的能力,然而,当人体气道屏障、黏液清除系统和主动咳嗽能力因疾病等各种因素而受损时,机械气道廓清技术的规范应用具有积极的临床价值,能够有效地清除气道分泌物,预防并减少呼吸道感染,促进患者呼吸功能尽快恢复。该技术主要借助机械廓清设备清除气道淤积物和分泌物,并改变气道气流来改善呼吸困难等症状。目前机械气道廓清技术包括呼气正压、气道振荡技术、外部高频胸部加压技术等<sup>[1]</sup>。虽然机械气道廓清技术在原理及应用方面可能有所不同,但它们的目标都是相同的,即清除呼吸道异常黏液分泌物,促进气道廓清。研究表明,机械气道廓清技术可在减少病情加重、改善症状、提高运动能力和改善生活质量等方面有显著作用<sup>[2]</sup>,但因受患者年龄、疾病严重程度、个人气道病理生理学、设备易用性和舒适度等因素影响,机械气道廓清疗效差异较大,有必要撰写机械气道廓清共识,指导和规范临床应用<sup>[1]</sup>。为此,中华医学会呼吸病学分会呼吸治疗学组、中国老年保健医学学会呼吸病学专委会、中国呼吸医师分会呼吸职业发展委员会呼吸治疗师工作组、中国康复医学会呼吸康复专委会组织相关专家特制订本专家共识,指导临床医务人员对机械气道廓清技术合理和规范使用。

### 一、共识制订方法学

1. 指南发起机构与专家组成员:本共识由中华医学会呼吸病学分会呼吸治疗学组,中国老年保健医学研究会呼吸病学分会,中国呼吸医师分会呼吸职业发展委员会呼吸治疗师工作组和中国康复医学会呼吸康复专委会联合发起,专家组成员涵盖呼吸与危重症医学、呼吸治疗、康复相关领域、生物工程等专业专家。

2. 文献检索:本共识英文文献检索以 Pubmed、Embase、Web of Science 和 Scopus 数据库内容为基础,中文文献检索以中国生物医学文献数据库、维普中文生物医学期刊数据库、万方医学数据库和中国学术期刊网络出版总库这 4 个数据库收录文献为基础,查询已发表的机械气道廓清技术的综述、临床实践指南、共识、指导意见和临床研究。英文检索词包括“airway clearance technique”或“oscillation and Lung Expansion”或“intrapulmonary percussive ventilation”或“High frequency chest wall compression”或“high frequency chest wall oscillation”或“Mechanical insufflation-exsufflation”或“Expiratory Flow Accelerator”或“(oscillatory) positive expiratory

pressure”或“non-invasive ventilation”或“intermittent positive pressure breathing”。中文检索词包括“气道廓清技术”或“呼气气流增加及肺扩张”或“肺内振荡及肺扩张、肺内叩击通气”或“高频胸壁震荡”或“咳痰机”。检索时限:除机械气道廓清技术发展历史部分,其余部分均为 2018 年 1 月 1 日以后发表文献。对于纳入的文献进一步追溯其参考文献。对上述检索结果进行人工核对,排除以下 3 项:(1)与检索内容无相关性;(2)动物实验研究;(3)研究对象未满 18 周岁的临床研究。

3. 文献筛选和证据总结:本共识的证据质量分级标准采用的是 GRADE 方法,证据质量分为“高(A)、中(B)、低(C)、极低(D)”4 个等级<sup>[3-5]</sup>,A 级:证据来自高质量的随机对照研究(RCT)或者系统评价/Meta 分析;B 级:证据来自有研究缺陷的 RCT 或低质量的系统评价/Meta 分析、高质量的观察性研究;C 级:证据来自非随机、病历对照或其他观察性研究;D 级:病例报道、专家意见。3 名证据评价组人员按照纳入和排除标准使用 Endnote X9 文献管理软件独立进行文献筛选,并依据不同 GRADE 方法对循证医学证据进行分类总结。若遇分歧,则第 4 名研究人员介入讨论解决。

4. 推荐意见产生和共识:本共识在总结国内外最新的临床研究及相关应用指南基础上,对机械气道廓清各类技术的发展历史、廓清原理和临床应用情况进行了系统全面阐述,但由于高质量临床证据的缺乏,本共识暂未形成推荐意见。我们将持续关注机械气道廓清技术领域的最新进展,在未来的更新版本中进行针对性的技术推荐。

## 二、机械气道廓清的概述

### (一)气道廓清的定义

气道廓清技术是指通过人工、药物或机械等方法清除气道淤积分泌物、维持气道通畅的治疗手段。正常健康的支气管上皮纤毛通过自主摆动运动以及人体咳嗽反射清除气道分泌物,防止黏液瘀滞、保持气道通畅,维持局部微环境稳定和正常的呼吸功能。多种内外理化因素、异常病理生理改变,均可影响机体呼吸道的正常自清功能。机械气道廓清技术是借助气道廓清设备清除气道淤积分泌物、改变气道气流,改善肺通气/换气功能、促进肺复张、改善氧合<sup>[6-7]</sup>。早期识别高危人群并尽早启动气道廓清治疗,对于提高患者生活质量、延缓疾病进展、改善预后有重要作用。本专家共识重点关注机械气道廓清技术相关内容。

## (二)机械气道廓清技术的发展历史(图 1)

1947 年首次报道间歇正压呼吸(intermittent positive pressure breathing, IPPB)治疗概念,并于 1990 年起被应用于囊性纤维化的治疗<sup>[8]</sup>。1953 年出现改变气管树内气流改善神经肌肉病变患者咳嗽无力的机械吸-呼技术(mechanical insufflation-exsufflation, MI-E)<sup>[8]</sup>。20 世纪 70 年代末,呼气正压(positive expiratory pressure, PEP)作为一种新兴气道廓清技术在丹麦出现并在临床中广泛应用<sup>[6]</sup>。同期,Forrest Bird 于 1979 年首次提出了肺内叩击通气(intrapulmonary percussive ventilation, IPV)<sup>[6]</sup>。20 世纪 80 年代末和 90 年代初高频胸壁震荡(high frequency chest wall oscillation, HFCWO)、振荡呼气正压(oscillation positive expiratory pressure, OPEP)和无创通气(non-invasive ventilation, NIV)技术开始在临床应用<sup>[9-12]</sup>。近十年来,随着机械气道廓清技术不断发展,肺内振荡及肺扩张(oscillation and lung expansion, OLE)和呼气流量加速器(expiratory flow accelerator, EFA)等新型机械气道廓清技术应用用于临床,对患者呼吸道功能康复起到了重要作用<sup>[6]</sup>。

## 三、机械气道廓清功能障碍的病理生理机制

### (一)正常成人气道廓清的生理学机制

人体正常气道廓清生理学功能包括纤毛黏液清除(mucociliary clearance, MCC)系统和咳嗽,通过 MCC 系统捕获气道内异物并形成黏液,推动至主气道和咽喉部,引起主动或被动咳嗽排出体外<sup>[13]</sup>。

### (二)气道廓清功能障碍病理生理机制

1. 纤毛黏液系统障碍:分为纤毛摆动障碍和纤毛数量减少;常见原因有:化学物质刺激、基因突变、痰液黏性增加和感染,表现为纤毛摆动异常、纤毛脱落、纤毛生长抑制等<sup>[14]</sup>。

2. 黏液特性改变:表现为黏液蛋白增多,气管支气管上皮细胞凋亡、增加痰液黏附力。

3. 气道阻力改变:(1)气道内阻塞,常见支气管哮喘、支气管扩张和慢性阻塞性肺疾病(简称慢阻肺)患者,病理生理特点是气道结构性改变,中小气道重塑、变窄和气道高反应造成<sup>[15]</sup>。(2)气道外部受压,由于异物、肿瘤和先天性或获得性胸椎畸形对呼吸道造成压迫,导致气道狭窄。

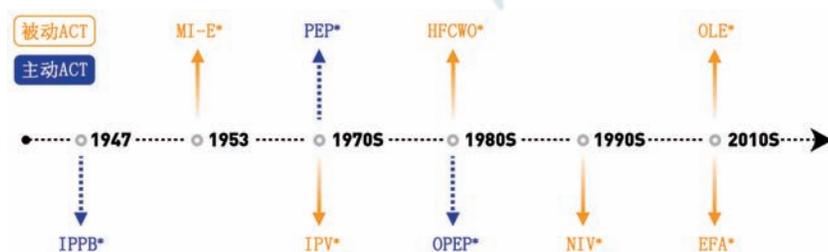
4. 咳嗽功能障碍:(1)神经传导障碍:包括传入功能障碍、反射性咳嗽的神经通路损伤和运动神经元障碍,可导致咳嗽超敏反应综合征、神经退行性疾病、脊髓损伤、胸部或上腹部手术<sup>[16]</sup>。(2)咳嗽肌力下降:①呼吸肌力下降,表现为呼吸肌无力和呼吸肌疲劳;②咳嗽前肺容积减少;③咳嗽峰流速下降,由于呼吸肌无力造成呼气末肺容积增加和咳嗽峰流速下降,常见于慢阻肺。

## 四、机械气道廓清技术原理机制

### (一)机械气道廓清技术的原理

1. 气道扩张及肺复张:生理情况下,小气道及其肺泡正常开放,气流进出正常。气道病理生理改变致使气管塌陷,黏液腺体高分泌使小气道及其肺泡因黏液栓塞而发生局限性肺气肿或肺不张,或黏液难以通过狭窄的气道形成痰栓,加重气道阻塞(图 2A)。机械气道廓清通过提高气道内压力促进气道扩张、增加肺内压和肺泡通气量,有利于扩张陷闭的小气道并复张肺泡,促进分泌物引流(图 2B)。机械气道扩张技术包括 PEP、IPPB 等。

2. 气道/胸壁振荡:振荡技术分为气道振荡(内振荡)和胸壁振荡(外振荡),气道振荡技术是指向大气道持续输入高频振荡波,并向中小气道扩散(图 3A),包括 OPEP、IPV、OLE 等;胸壁振荡技术主要通过定向叩击或脉冲气流产生器调节充气背心内部的充气和放气,产生一定频率和幅度的高频振荡并作用于胸壁(图 3B),如 HFCWO 等。气道振荡和胸壁振荡均可以使呼吸道表面黏液和代谢物松解、液化,振荡



注: ACT: airway clearance technique, 气道清除技术; IPPB: intermittent positive pressure breathing, 间歇正压呼吸; MI-E: mechanical insufflation-exsufflation, 机械吸-呼技术; PEP: positive expiratory pressure, 呼气正压; IPV: intrapulmonary percussive ventilation, 肺内叩击通气; HFCWO: high frequency chest wall oscillation, 高频胸壁震荡; OPEP: oscillation positive expiratory pressure, 振荡呼气正压; NIV: non-invasive ventilation, 无创通气; OLE: oscillation and lung expansion, 肺内振荡及肺扩张; EFA: expiratory flow accelerator, 呼气流量加速器

图 1 机械气道廓清技术的发展进程图

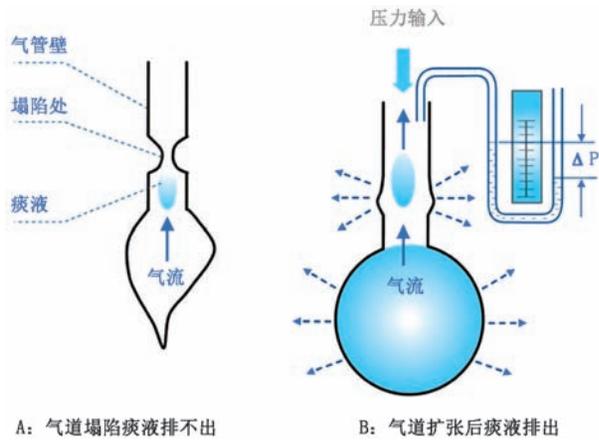


图2 气道及肺扩张廓清原理示意图

所引起的气道内气体流速变化可以产生一定强度的剪切力,促使分泌物脱离气管壁;另外,振荡还可以促进气道纤毛的摆动,推动痰液排出。

3. 增加呼气流速:2009年推出了一种新型的ACT呼气流量加速器(图4),利用文丘里效应(图4A),当外接的辅助气流经过类似文丘里管狭窄处时,流速为 $V_1$ 的气流因通过变窄的管路而增速到 $V_2$ ,使得在狭窄处的气压 $P_2$ 低于外接辅助气流的气压 $P_1$ 。随着外接气流 $V_1$ 流速增加,狭窄处气压 $P_2$ 成比例降低,甚至可以降为负压。由于 $P_2$ 低压的形成,使得流经该处的呼气气流速度增加,且 $P_2$ 压力越低,呼气气流增速越大。呼气气流流经呼吸道内部的黏液时,在黏液表面产生剪切力,且剪切力随着气流速度的增加而增加。当剪切力超过黏液层的表面张力时,附着在气管壁上的分泌物被“拖”

到气管中心区域,并随着气流呼出气道。基于该原理,在呼气管路内施加低于呼吸道的压力(甚至负压),或增加肺内压力,也能达到类似廓清气道的效果,如MI-E(图4B)等。

4. 其他(气囊上分泌物清除):自动气道管理系统是一种新型的气管插管管理系统,由可吸引式气管导管和自动化监测设备组成(图5)。该设备在周期内自动运行,从声门下空间采集空气样本以测量 $CO_2$ 浓度并确定气囊是否将气管加以密封,系统保持目标压力恒定,根据气囊上方 $CO_2$ 浓度高低调整气囊压力。当检测到 $CO_2$ 泄漏时,系统将气囊充气至目标压力。如果未检测到 $CO_2$ 泄漏,气囊压力将降低 $1\text{ cmH}_2\text{O}$ ( $1\text{ cmH}_2\text{O}=0.098\text{ kPa}$ ),并使用自动反馈回路加以保持,以确保在最小气囊压力下进行有效密封。此外,该系统采用自动化声门下吸引技术,通过双吸管道和盐水冲洗的组合方式自动地将声门下空间的气道分泌物排出,以促进分泌物去除。

传统的气道廓清设备多采用一种原理进行气道廓清,近些年来将多种气道廓清技术整合已成为一种趋势,从而达到更好的气道廓清效果。如将肺内振荡、肺扩张治疗与雾化进行整合具有非常好的协同作用,希望未来进一步将气道加温加湿技术进行整合解决气道廓清治疗期间的气道恒温恒湿问题。

## (二)机械气道廓清技术功能分类

1. 改善纤毛黏液系统的机械气道廓清技术见表1<sup>[17-22]</sup>。

2. 改善气道阻力的机械气道廓清技术见表2<sup>[22-30]</sup>。

3. 改善咳嗽功能的机械气道廓清技术见表3<sup>[31-34]</sup>。

4. 其他:气囊上分泌物清除见表4<sup>[35]</sup>。

5. 机械气道廓清技术常见不良反应:多数机械气道廓清设备在使用的过程中,如NIV、IPV、OLE和EFA,未见明显不良反应或不良反应较为轻微,包括恶心、疲劳等<sup>[25, 29-30, 33-34, 36]</sup>。正压通气相关设备,包括PEP/OPEP、IPPB和MI-E,可能发生气压伤(气胸、纵隔气肿和腹胀),心血管损害(心肌缺血、心输出量降低、回心血量减少、心

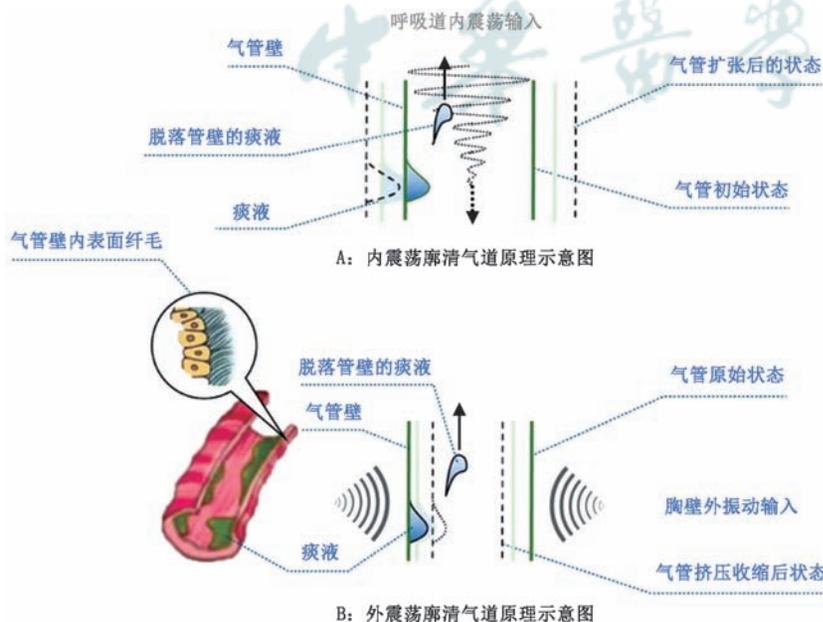
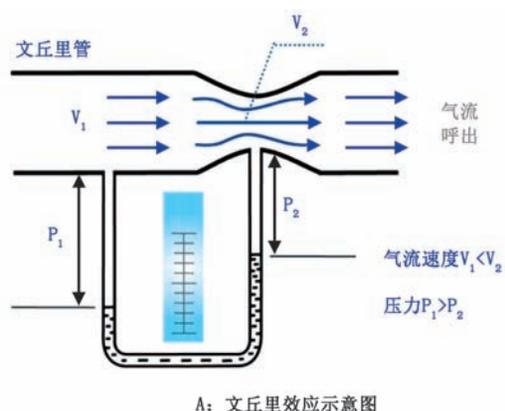
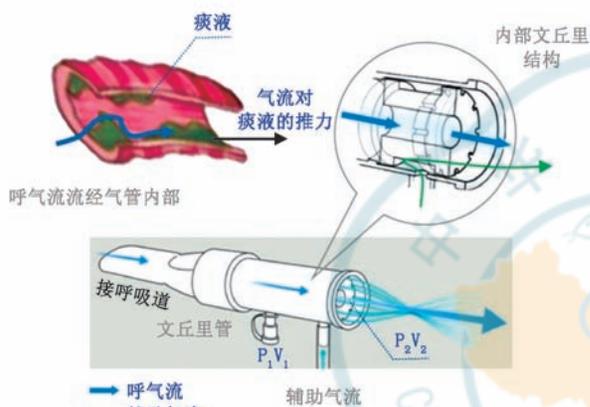


图3 气道/胸壁振荡廓清气道原理示意图



A: 文丘里效应示意图



B: 呼气增速廓清气道原理

图4 呼气增速廓清气道原理

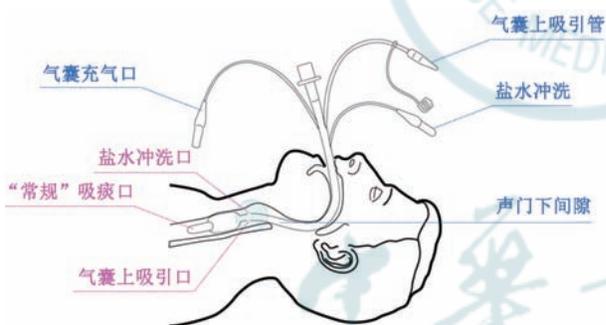


图5 气囊上分泌物清除示意图

律失常)及神经系统损害(颅内压升高和颅内出血)等<sup>[6]</sup>。气道外振荡设备HFCWO除引起急性心肺脑功能障碍(低氧血症、颅内压增高及低血压)外,还可以导致骨骼肌肉系统的疼痛或损伤,以及呕吐和误吸。

### 五、机械气道廓清技术的临床应用

#### (一)适应证和禁忌证

1. 适应证<sup>[6-7, 18]</sup>: (1)气道黏液高分泌状态:慢性气道疾病,如慢性阻塞性肺疾病、支气管哮喘、弥漫性泛细支气管炎、肺不张、肺炎、支气管扩张、囊性纤维化等。(2)呼吸肌无力和咳嗽受损:神经、肌肉疾病,如肌萎缩侧索硬化症、重症肌无力、进行性肌营

养不良等、脊髓损伤、原发性神经疾病和全身无力等。(3)外科术后:胸腹部手术、头颈部手术、骨科手术、外周神经肌肉相关手术等。(4)呼吸道传染类疾病:肺结核、新型冠状病毒肺炎等。(5)其他:长时间机械通气、高龄卧床患者、颈髓损伤、胸腰椎损伤等。

2. 相对禁忌证<sup>[6, 18, 37-38]</sup>:机械气道廓清技术没有绝对禁忌证,医疗团队应结合患者实际情况进行综合判断是否可以机械气道廓清。(1)血流动力学不稳定(心率<60次/min或>130次/min,收缩压<90 mmHg或>180 mmHg,或平均动脉压<60 mmHg或>100 mmHg)。(2)不稳定型心绞痛或心律失常。(3)颅内压>20 mmHg。(4)活动性出血。(5)可疑或存在活动性咯血。(6)未经引流的气胸。(7)不稳定的深静脉血栓或肺动脉栓塞。(8)不稳定的脊柱、长骨骨折。(9)不稳定的头颈部损伤。

#### (二)气道廓清能力的评估及意义

1. 主观咳嗽功能评估:咳嗽反射减弱或消失,误吸的可能性大大增加<sup>[18]</sup>;半定量咳嗽评分中0~2分的患者归为咳嗽力度弱,需进行气道廓清,此类患者无创失败率高、死亡风险大;3~5分归为咳嗽力度强,可进行简单咳嗽指导,此类患者拔管失败率低。白卡试验中3~4次咳嗽仍不能将卡片弄湿的患者咳嗽能力较差、拔管失败的可能性较大,此预测差于咳嗽峰流速<sup>[39]</sup>。

2. 咳嗽/呼气峰流速:(1)主动咳嗽峰流速(voluntary cough peak flow, CPFv):健康成年人咳嗽峰流速正常值是470~600 L/min<sup>[40]</sup>。非气管插管患者,CPFv≥270 L/min可防止肺部并发症的发生(<270 L/min作为开始气道廓清的指标)。对于气管插管且通过自主呼吸试验(spontaneous breathing trial, SBT)试验后的患者,CPFv<60 L/min拔管失败率较高;拔管后CPFv<160 L/min,拔管失败率高;CPFv<70 L/min,预防性使用NIV比不使用NIV可减少拔管失败率。(2)被动咳嗽峰流速(involuntary cough peak flow, CPFi):对于气管插管且通过SBT试验后的患者,CPFi<60 L/min拔管失败率较高,且预测优于CPFv;气切患者CPFi<30 L/min拔管失败率较高。

3. 呼吸肌力:(1)最大吸气压(maximal inspiratory pressure, MIP):无人工气道的神经肌肉疾病或外伤患者中,当MIP<正常预计值的30%时,易出现呼吸衰竭;有人工气道,MIP<-30 cmH<sub>2</sub>O,预示患者撤机成功率较高。(2)最大呼气压(maximal expiratory pressure, MEP):无人工气道患者,MEP<60 cmH<sub>2</sub>O,提示患者无效咳嗽;有人工气道,MEP<

表 1 改善纤毛黏液系统的机械气道廓清技术

技术	廓清原理	使用方法	技术特点
HFCWO	◆ 通过胸壁振动促进分泌物脱离气道壁并聚集 <sup>[6]</sup> ◆ 促进纤毛摆动	使用 HFCWO 设备时应考虑背心型号、频率、强度和持续时间。家庭和普通患者可选择背心式,危重患者以胸带式为主 <sup>[17]</sup> 。启动频率可设置为 5 Hz,最高可达 10~15 Hz;治疗时间:持续 20~30 min;治疗频次:3~4 次/d <sup>[18]</sup> ,危重患者耐受性较差,可相应减少每次治疗时间,增加治疗次数 <sup>[17]</sup>	安全性、耐受性和依从性较好;使用机械替代人工的治疗方式减少医护人员工作时间,优化了工作流程和效率 <sup>[19]</sup>
IPV	◆ 脉冲式气流产生气道内振荡,促进气道内分泌物松解液化 <sup>[7]</sup> ◆ 促进纤毛摆动	为了获得最高的压力峰值,建议使用高频率和短吸气时间;若患者需要辅助通气时,需要较低的频率和较高的压力;呼吸机依赖患者可增加压力,以获得正常氧饱和度和二氧化碳水平;IPV 疗程长短与患者舒适度有关;使用面罩,IPV 通气应控制在 1~2 min 内;使用鼻接口可增加患者舒适度,治疗时间可延长至 15 min <sup>[7]</sup> 。此外,使用频率通常为 3~4 次/d <sup>[18]</sup>	IPV 装置通过机械辅助可直接提供最优化的支持,无需患者配合
OPEP	◆ 内振荡有利于降低气道内分泌物黏性 <sup>[6, 20-21]</sup> ◆ 提供间歇呼气阻力产生呼气正压增加肺容积(FRC 和 VT) <sup>[6, 20]</sup> ◆ 减少肺过度膨胀	使用固定或可变孔径的装置产生 10~20 cmH <sub>2</sub> O 的阻力;治疗频次 <sup>[18]</sup> : 2 次/d,6~12 组/次;(关于每次治疗的最佳治疗频率和周期数,目前尚未达成共识,须个体化) <sup>[22]</sup>	振动对黏稠分泌物松解作用显著,对患者的认知和学习能力有一定的要求,患者的操作表现是治疗成功的关键因素 <sup>[6]</sup>

表 2 改善气道阻力的机械气道廓清技术

技术	廓清原理	使用方法	技术特点
PEP/OPEP	◆ 提供间歇呼气阻力产生呼气正压增加肺容积(FRC 和 VT) <sup>[6, 20]</sup> ◆ 减少气道和肺的塌陷	使用固定或可变孔径的装置产生 10~20 cmH <sub>2</sub> O 的阻力;治疗频次:2 次/d,6~12 组/次 <sup>[18]</sup> ;(关于每次治疗的最佳治疗频率和周期数,目前尚未达成共识,需个体化) <sup>[22]</sup>	对于慢阻肺的早期治疗非常有效,对患者的认知和学习能力有一定的要求,患者的操作表现是治疗成功的关键因素 <sup>[6]</sup>
NIV	◆ CPAP 提供恒定压力扩张和促进肺复张 <sup>[6]</sup> ◆ BiPAP 提供的吸气和呼气压力差可增加肺泡通气量,促进分泌物清除 <sup>[23-25]</sup>	通气模式的选择:(1)低氧血症患者可选择压力支持通气模式结合呼气末正压;(2)对于慢阻肺患者,压力支持通气模式相较于辅助控制通气模式更易被患者接受,且不良反应相对较少;(3)严重胸廓畸形和肥胖患者首选容量控制模式,以获得更高的扩张驱动力 <sup>[26]</sup>	相较于有创通气,保留患者气道防御机制,更舒适,避免插管相关的并发症 <sup>[23-24]</sup>
IPPB	◆ 无创通气的基础上提供短期或间歇正压的无创呼吸模式,增强肺扩张、输送气雾剂药物或辅助通气	提供的吸气相压力逐渐增加至最高耐受值(高达 40 cmH <sub>2</sub> O);呼吸频率、吸气流量(20~60 L/min)和吸气末触发/灵敏度的设置均以最大限度地提高患者舒适度为目标;每次治疗持续 30 min,2 次/d	无需自主呼吸触发,可使呼吸肌完全休息
OLE	◆ 三种治疗模式结合: ◆ 连续呼气正压扩张肺部 ◆ 脉冲式气流产生气道内振荡,促进气道内分泌物松解液化 ◆ 雾化药物输送 <sup>[27-28]</sup>	通常采取 CPEP 和 CHFO 模式交替循环治疗,同时伴随喷雾治疗,以 10 min 为一个治疗周期;CHFO 和 CPEP 治疗设置和持续时间需根据患者耐受情况进行调整;治疗频次:2~4 次/d,与呼吸机联用可增加至 4~8 次/d <sup>[29-30]</sup>	OLE 疗法能有效减少术后肺部并发症,减少住院时间及呼吸机使用时间;操作简单 <sup>[30]</sup>

注:FRC: functional residual capacity, 功能残气量;VT: tidal volume, 潮气容积;CPAP: continuous positive airway pressure, 持续气道正压通气;BiPAP: Biphase positive airway pressure, 双水平气道正压;CPEP: continuous positive airway pressure, 持续正压呼吸;CHFO: continuous high-frequency oscillation, 持续高频振荡

表 3 常用的改善咳嗽功能的机械气道廓清技术

技术	廓清原理	使用方法	技术特点
MI-E	通过对气道施加正负压变化来模拟咳嗽,增加呼气流速、促进分泌物排出 <sup>[7, 31]</sup>	正负压设定(40~50)/(-40~-50) cmH <sub>2</sub> O, 每个疗程 4~10 个周期,共治疗 3~4 个疗程。治疗流程:每次 5 个呼吸周期,然后中断一定时间,重复该过程直至无痰液排出;每天治疗 3~4 次 <sup>[18]</sup>	增加咳嗽峰值,提高咳嗽有效性 <sup>[6-7]</sup>
EFA	采用文丘里效应产生高速气流,拖动分泌物脱离气道壁 <sup>[32-34]</sup>	基于既往研究,EFA 技术治疗可持续 20~30 min,每天 2~3 次 <sup>[32-34]</sup>	在气道内不产生负压,能避免可能的气道塌陷风险;无需患者配合呼吸,使用 20 min 不会引起呼吸疲劳或不适 <sup>[34]</sup>

表 4 气囊上分泌物清除方法

技术	廓清原理	使用方法	技术特点
声门下吸引技术 <sup>[35]</sup>	通过声门下自动分泌物冲洗及吸引,为患者清除气囊上/声门下分泌物	双腔可吸引式气管导管以 100~150 mmHg 的负压按照机器编程间断进行声门下分泌物引流并使用专用的生理盐水冲洗,防止吸引时发生管道堵塞,可设置生理盐水冲洗量和冲洗频率的范围,分别为 1~8 ml/次,间隔 30 min 及 1、2、3、10 h 不等	持续动态监测声门下分泌物,能定时自动化进行声门下分泌物冲洗和吸引



40 cmH<sub>2</sub>O, 存在气道廓清障碍。

4. 咳嗽时气管插管气囊压力变化值:气管插管气囊压力变化(endotracheal tube cuff pressure, ΔPcuff)<28 cmH<sub>2</sub>O 与 CPFv<60 L/min 相关性好,提示拔管失败率较高<sup>[41]</sup>。

5. 腹横肌超声:实验研究示腹横肌厚度与 CPF(cough peak flow, 咳嗽/呼气峰流速)相关性较好,个体差异较大,无正常参考范围<sup>[42-43]</sup>。

6. 膈肌超声:平静呼吸下右侧膈肌移动度<1.4 cm,可预测患者撤机成功率较低。咳嗽状态下膈肌移动度与 CPF 之间存在显著的相关性且可预测 CPF; CPF 预测值=膈肌移动度(cm)×38.3+年龄(岁)×4.42+身高(cm)×0.796+性别×119-112<sup>[44-45]</sup>。

7. 其他:也可通过咳嗽时腹内压的变化(通过自主呼吸试验后的患者咳嗽时腹内压<70 cmH<sub>2</sub>O 拔管成功率低<sup>[46]</sup>),以及可穿戴式麦克风设备采集咳嗽声<sup>[47]</sup>等方式评估咳嗽能力。

(三)机械气道廓清技术的应用(表 5)<sup>[48-80]</sup>

(四)终止指征及处理办法

针对不同的患者需选择适宜的气道廓清技术。气道廓清过程中,严密观察患者的神志、面色、呼吸、心率、咳嗽、咳痰情况,以及有无胸闷、支气管痉挛、呼吸困难和恶心、呕吐等不良反应,必要时暂停操作。如出现心跳呼吸骤停、大咯血、气道或导管阻塞停止操作并给予相应处理,以保证患者安全<sup>[81]</sup>。

(五)机械气道廓清技术的疗效评估

结合患者实际情况,如有条件可参照以下标准:当患者痰量减少、呼吸音有明显改善、感染指标明显好转<sup>[82]</sup>、咳嗽峰流速明显增加。(气管插管患者>160 L/min,无人工气道患者>270 L/min)、动脉血气或血氧饱和度有所改善、影像学有明显改善以及患者自觉呼吸困难程度降低时,表明患者感染得到控制、自主咳痰能力恢复、气道廓清效果明显,可以考虑停止气道廓清治疗<sup>[83-84]</sup>。

(六)机械 ACTs 临床应用流程图(图 6)

六、总结与展望

气道廓清技术现已发展成为包含治疗方法、技术手段和应用设备的救治体系,其中机械气道廓清

表 5 机械气道廓清技术的应用推荐

病理生理机制	危险因素	廓清原理	推荐技术
纤毛黏液系统障碍	<ul style="list-style-type: none"> <li>慢性气道疾病<sup>[1, 14]</sup>。(如慢性阻塞性肺疾病、支气管哮喘、弥漫性泛细支气管炎、支气管扩张、囊性纤维化);肺实质损伤(如肺炎、ARDS 等);肺间质疾病(如肺间质纤维化);先天性慢性气道疾病(如原发性纤毛运动障碍)</li> <li>感染:细菌、病毒、真菌</li> <li>吸入颗粒物、有毒化学物质(香烟、大麻、高氧)、环境暴露(职业性危害)、空气污染、粉尘暴露</li> <li>老龄化<sup>[7]</sup></li> <li>长期人工气道</li> <li>剧烈活动</li> <li>遗传性因素<sup>[15, 18]</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>气道/胸壁振荡</li> <li>增加呼气流速</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>HFCWO<sup>[48-50]</sup>(证据等级 B, 囊性纤维化、慢阻肺)</li> <li>IPV<sup>[51-53]</sup>(证据等级 B, 肺炎、慢阻肺、呼吸衰竭等)</li> <li>OPEP<sup>[54-55]</sup>(证据等级 A, 支气管扩张和囊性纤维化)</li> <li>OLE<sup>[27, 56]</sup>(证据等级 D, 烧伤后气管插管及肺不张)</li> <li>MI-E<sup>[57-58]</sup>(证据等级 B, 重症机械通气患者)</li> <li>EFA<sup>[59-60]</sup>(证据等级 B, 慢阻肺和气管切开患者)</li> </ul>
黏液特性改变	<ul style="list-style-type: none"> <li>慢性气道疾病<sup>[61-62]</sup>。(如慢性阻塞性肺疾病、支气管哮喘、弥漫性泛细支气管炎、支气管扩张、囊性纤维化);肺实质损伤(如肺炎、ARDS 等);肺间质疾病(如肺间质纤维化)</li> <li>感染:细菌、病毒、真菌</li> <li>吸入颗粒物、有毒化学物质(香烟、大麻、高氧)、环境暴露(职业性危害)、空气污染、粉尘暴露</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>加温加湿</li> <li>气道/胸壁振荡</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OLE<sup>[27, 56]</sup>(证据等级 D, 烧伤后气管插管及肺不张)</li> <li>OPEP<sup>[63-64]</sup>(证据等级 A, 囊性纤维化)</li> <li>OLE<sup>[27, 56]</sup>(证据等级 D, 烧伤后气管插管及肺不张)</li> <li>IPV<sup>[51-53]</sup>(证据等级 B, 肺炎、慢阻肺、呼吸衰竭等)</li> <li>HFCWO<sup>[65]</sup>(证据等级 B, 支气管炎)</li> <li>MI-E<sup>[66]</sup>(证据等级 A, 重症机械通气患者)</li> </ul>
气道阻力改变	<ul style="list-style-type: none"> <li>气道外部压迫</li> <li>气道内部管腔阻塞<sup>[67]</sup>(如慢阻肺、慢性支气管炎、支气管哮喘等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>气道扩张及肺复张</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PEP<sup>[68]</sup>(证据等级 B, 囊性纤维化)</li> <li>OPEP<sup>[69]</sup>(证据等级 B, 支气管扩张)</li> <li>NIV<sup>[70-71]</sup>(证据等级 B, 慢阻肺和囊性纤维化)</li> <li>IPPB<sup>[72-73]</sup>(证据等级 B, 神经肌肉疾病和重症机械通气患者)</li> <li>OLE<sup>[28]</sup>(证据等级 D, 呼吸衰竭)</li> <li>MI-E<sup>[57, 66, 74]</sup>(证据等级 A, 机械通气及气管切开患者)</li> </ul>
咳嗽功能障碍	<ul style="list-style-type: none"> <li>神经肌肉疾病<sup>[75]</sup>(如吉兰-巴雷综合征、重症肌无力、肌营养不良症、脊髓损伤、脊髓侧索硬化综合征、帕金森氏病、ICU 获得性衰弱)</li> <li>脑血管疾病(如脑梗中、颅脑损伤)</li> <li>外科手术(如胸部手术、肺移植、腹部及颅脑、颈、胸、腰椎等手术)</li> <li>麻醉、镇静、镇痛、肌松</li> <li>老龄化</li> <li>长期人工气道<sup>[75]</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>增加呼气流速</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MI-E<sup>[66, 76-79]</sup>(证据等级 A, 脑瘫、脊髓损伤、杜氏肌营养不良等神经肌肉疾病)</li> <li>EFA<sup>[32-34, 59, 80]</sup>(证据等级 C, 气管切开和脑瘫、脊髓性肌萎缩等神经肌肉疾病患者)</li> </ul>



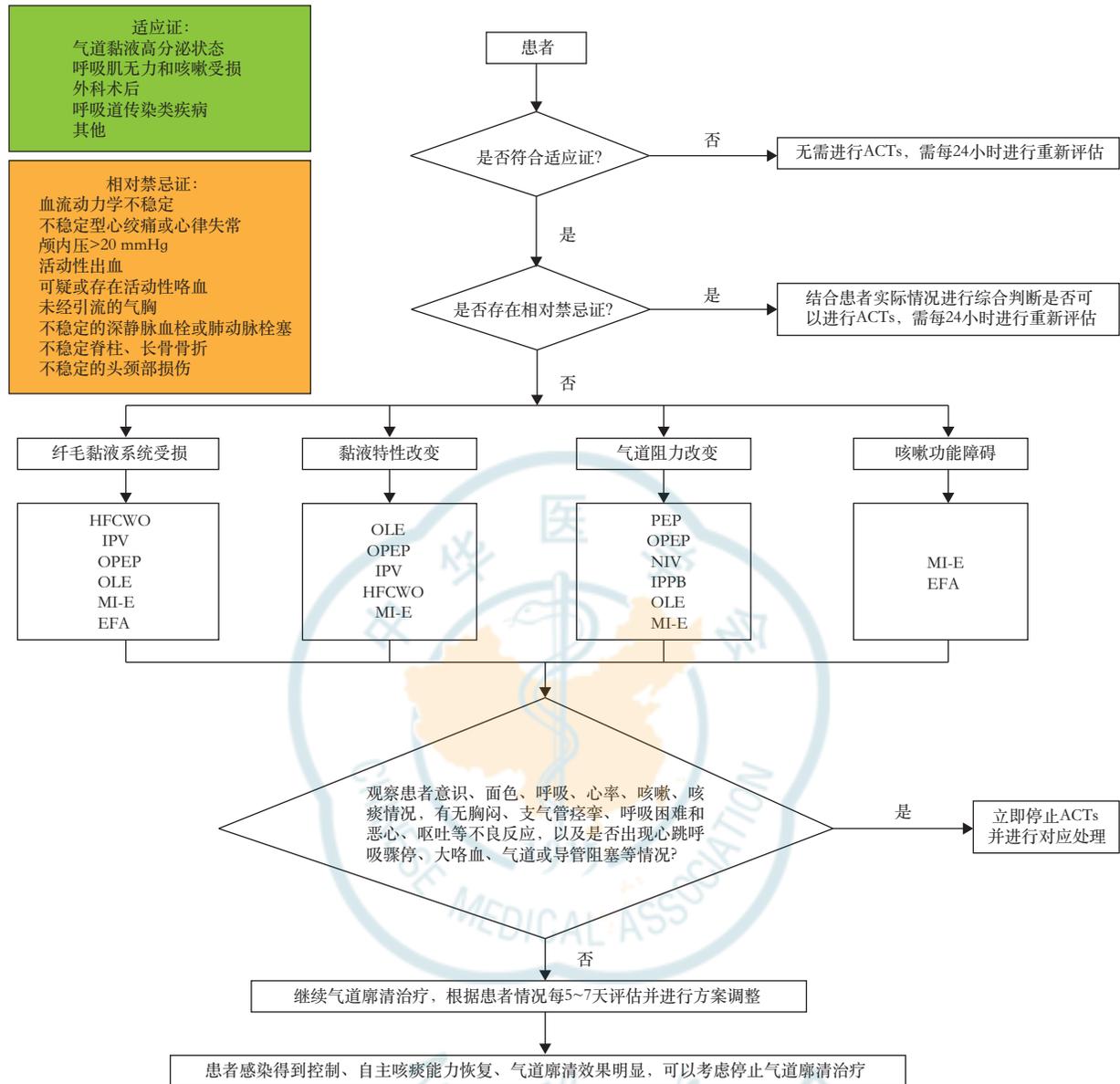


图6 机械ACTs临床应用流程图

技术是临床一线应用最为广泛的呼吸治疗和呼吸康复医疗技术之一。制订此专家共识目的是基于各情境患者气道廓清的病理生理机制, 结合机械气道廓清系统治疗的原理, 同时考虑到临床应用及患者使用需求, 将机械气道廓清系统的使用进一步细分, 选择合适的治疗方案。随着医疗、科技的进步及大数据、人工智能的发展, 机械气道廓清技术将日趋个体化、智能化、远程化。机械气道廓清技术也将不断被研发更新, 更好地应用于临床, 使医务人员及各类患者均受益。

共识制订专家组(以姓氏拼音排序)

代冰(中国医科大学附属第一医院), 段均(重庆医科大学附属第一医院), 段开亮(浙江大学医学院附属邵逸夫医院),

冯耘(上海交通大学医学院附属瑞金医院), 葛慧青(浙江大学医学院附属邵逸夫医院), 龚亨文(赣州市第五人民医院), 蒋进军(复旦大学附属中山医院), 黎毅敏(广州医科大学附属第一医院), 李琦(解放军陆军军医大学第二附属医院), 梁国鹏(四川大学华西医院), 梁宗安(四川大学华西医院), 刘凯(复旦大学附属中山医院), 刘晓青(广州医科大学附属第一医院), 罗凤鸣(四川大学华西医院), 倪忠(四川大学华西医院), 孙兵(首都医科大学附属北京朝阳医院), 夏金根(中日友好医院), 谢菲(解放军总医院), 解立新(解放军总医院), 徐培峰(浙江大学医学院附属邵逸夫医院), 詹庆元(中日友好医院), 赵红梅(中日友好医院), 赵建平(华中科技大学同济医学院附属同济医院), 周敏(上海交通大学医学院附属瑞金医院), 张伟(解放军海军军医大学第一附属医院)

执笔者(以姓氏拼音排序)

陈闯、段智梅、谷红俊、韩欣洁、胡兴硕、胡晔、花梓玉、蒋敏、解立新、李丽娜、李晓莹、刘慧莹、马一洲、潘盼、圣朝军、宋雨薇、王江、王珊、温若霏、吴佳梦、肖坤、谢社玲、杨庆云、袁越阳、张信信、赵瑛

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

## 附录 1 机械气道廓清评估表、操作流程(附表 1、2)

1. 痰液颜色及性状评分<sup>[18]</sup>: 1分:水样透明痰; 2分:白色黏液痰; 3分:淡黄色或黄色痰; 4分:黄绿色痰。

2. 痰量分级: (1)普通分级:无人工气道患者。少量: 24 h 累计 < 10 ml; 中量: 24 h 累计 10~150 ml; 大量: 24 h 累计 > 150 ml 或一次性痰量 100 ml。 (2)人工气道患者痰量分级: 有人工气道患者。0级: 没有或只在吸痰管外侧有少量痰迹; 1级: 只在吸痰管顶端内侧有痰液; 2级: 吸痰管内充满痰液; 3级: 吸痰时间 < 12 s (两个呼吸周期); 4级: 大量痰液, 吸引时间 > 12 s。

3. 痰液黏稠度分级: I 度: 外观呈泡沫样或米汤样痰; II 度: 稀米糊状样痰; III 度: 黏稠呈坨状样痰。

4. 判断是否存在咳嗽反射: 以拇指指腹快速用力推压环状软骨下缘或胸骨上凹陷, 或通过雾化高渗盐水、辣椒素、柠檬酸等, 观察患者是否会出现咳嗽反射。

5. 半定量咳嗽评分 (semiquantitative cough strength score, SCSS)<sup>[18, 20]</sup>: 0分: 没有咳嗽; 1分: 没

有咳嗽, 但可听见口腔里的气流声; 2分: 弱 (勉强) 可听见咳嗽声; 3分: 清楚可听见咳嗽声; 4分: 较强的咳嗽声; 5分: 连续强咳。

6. 白卡试验 (white card test, WCT)<sup>[18, 20]</sup>: 在气管拔管之前, 于气管内导管末端 1~2 cm 处放置 1 张白色卡片, 要求患者进行 3~4 次咳嗽, 观察白色卡片上是否有潮湿; 如卡上出现任何潮湿, 即为阳性, 说明患者咳嗽力度尚可。

7. CPF: (1) CPF<sub>i</sub><sup>[18, 20]</sup>: 床头抬高 30~45° 或坐位, 指导患者做咳嗽动作, 将峰流量测量仪连接到人工气道末端/直接从呼吸机读取, 在吸气末通过插管前端快速向气管内注入生理盐水 2 ml, 连续记录 3 次咳嗽峰流量, 取最大值 (气切患者为吸痰管刺激诱导咳嗽); (2) CPF<sub>v</sub><sup>[18, 20]</sup>: 床头抬高 30~45° 或坐位, 指导患者做咳嗽动作, 嘱患者含住峰流量测量仪/连接到人工气道末端/直接从呼吸机读取, 嘱患者进行深吸气至肺总量位后用力咳嗽, 连续记录 3 次咳嗽峰流量, 取最大值。

8. 呼吸肌力: (1) MIP<sup>[18]</sup>: 在功能残气位或残气位, 气道阻断状态下, 用最大努力吸气测得的最大并维持至少 1 s 的口腔压或气道压, 反映全部吸气肌的收缩能力; (2) MEP<sup>[18]</sup>: 在肺总量位, 气道阻断条件下, 最大用力呼气所测得的最大、并维持至少 1 s 的口腔压或气道压, 反映全部呼气肌肉的收缩能力。

9. ΔP<sub>cuff</sub><sup>[18]</sup>: 将患者气管插管内的痰液抽吸干净, 患者床头抬高 30°~45°, 嘱其做 3 次自主咳嗽,

附表 1 痰液颜色改变及临床意义

颜色	常见原因	临床意义
黄色、黄绿色	脓细胞/白细胞增多	肺炎、慢性支气管炎、支气管扩张、肺脓肿、肺结核
红色、棕红色	出血	肺癌、肺结核、支气管扩张
铁锈色	血红蛋白变性	急性肺水肿、大叶性肺炎、肺梗死/肺栓塞
粉红色泡沫痰	肺淤血、肺水肿	左心衰竭
烂桃样灰黄色	肺组织坏死	肺吸虫病
棕褐色	红细胞破坏	阿米巴肺脓肿、肺吸虫病
灰色、灰黑色	吸入粉尘、烟雾	矿工、锅炉工、长期吸烟者
无色 (大量)	支气管黏膜溢出	肺泡细胞癌

附表 2 痰液性状改变及临床意义

性状	特点	临床意义
黏液性	黏稠、无色透明或灰色、白色、牵拉成丝	急性支气管炎、支气管哮喘、早期肺炎、白假丝酵母菌感染
浆性	稀薄、泡沫	肺水肿、肺淤血、棘球蚴病
脓性	脓性、浑浊、黄绿色或绿色、有臭味	支气管扩张、肺脓肿、脓胸向肺内破溃、活动性肺结核等
黏液脓性	黏液、脓细胞、淡黄白色	慢性气管炎发作期、支气管扩张、肺结核等
浆液脓性	痰液静置后分四层, 上层为泡沫和黏液, 中层为浆液, 下层为脓细胞, 底层为坏死组织	肺脓肿、肺组织坏死、支气管扩张
血性	痰液中带鲜红血丝、血性泡沫样痰、黑色血痰	肺结核、支气管扩张、肺水肿、肺癌、肺梗死、出血性疾病等



用气囊压力表对气囊进行取样后(在患者咳嗽之前,需要设置一个基础气囊压力,每次咳嗽得到一个Pcuff值,ΔPcuff为测量值减去基线值),取最好一次(初始气囊压为20 cmH<sub>2</sub>O)。

10. 肌骨超声(腹横肌厚度)<sup>[18]</sup>:患者取仰卧位,膝盖弯曲,凸阵/线阵探头置于腋中线、髂前上棘与肋弓下缘中点。

11. 膈肌超声:(1)平静呼吸下膈肌移动度<sup>[18]</sup>:平静呼吸下,仰卧位,将凸阵探头置于右侧肋缘下

与腋中线交点,将超声波束以不到70°的角度定向到半膈穹顶,测量吸气末至呼气末的垂直距离,6次取平均值;(2)咳嗽状态下膈肌移动度<sup>[18]</sup>:仰卧位,以最大的努力咳嗽3次,将凸阵探头置于右侧肋缘下、腋中线和乳头线之间,调整探头角度使超声束垂直于右侧膈肌的后1/3,从吸气末至咳嗽呼气末测量膈肌移动度峰值。

附录2 机械气道廓清技术在不同临床场景中的应用(附表3)

附表3 机械气道廓清技术在不同临床场景中的应用

应用场景	纤毛黏液系统障碍	黏液特性改变	气道阻力改变	咳嗽功能障碍	
围术期	术前 <sup>[30]</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:2次/d,6~12组/次</li> <li>◆ NIV、IPPB:3次/d或按需</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d,15~30 min/次或按需</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:2次/d,6~12组/次</li> <li>◆ NIV、IPPB:3次/d或按需</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d,15~30 min/次或按需</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:2次/d,6~12组/次</li> <li>◆ NIV、IPPB:3次/d或按需</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ EFA:2~3次/d</li> </ul>
	术后	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:2次/d,6~12组/次</li> <li>◆ NIV、IPPB:3次/d或按需</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d,15~30 min/次或按需</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:2次/d,6~12组/次</li> <li>◆ NIV、IPPB:3次/d或按需</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d,15~30 min/次或按需</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:2次/d,6~12组/次</li> <li>◆ NIV、IPPB:3次/d或按需</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d,15~30 min/次或按需</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ EFA:2~3次/d</li> </ul>
	心肺手术 <sup>[85-86]</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:2次/d,6~12组/次</li> <li>◆ NIV、IPPB:3次/d或按需</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d,15~30 min/次或按需</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:2次/d,6~12组/次</li> <li>◆ NIV、IPPB:3次/d或按需</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d,15~30 min/次或按需</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:2次/d,6~12组/次</li> <li>◆ NIV、IPPB:3次/d或按需</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d,15~30 min/次或按需</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ EFA:2~3次/d</li> </ul>
内科ICU	其他手术	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:2次/d,6~12组/次</li> <li>◆ NIV、IPPB:3次/d或按需</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d,15~30 min/次或按需</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:2次/d,6~12组/次</li> <li>◆ NIV、IPPB:3次/d或按需</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d,15~30 min/次或按需</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:2次/d,6~12组/次</li> <li>◆ NIV、IPPB:3次/d或按需</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d,15~30 min/次或按需</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ EFA:2~3次/d</li> </ul>
	无创通气	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ HFCWO:2次/d<sup>[19]</sup></li> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d<sup>[6]</sup></li> <li>◆ PEP:3~6次/d</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ HFCWO:2次/d<sup>[87]</sup></li> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:3~6次/d</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ HFCWO:2次/d</li> <li>◆ IPV:3~4次/d或按需</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ PEP:3~6次/d<sup>[88]</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ EFA:2~3次/d</li> </ul>
	有创通气	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ PEP/OPEP:2次/d</li> <li>◆ IPV:3~4次/d,20 min/次</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ OLE:2~4次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ PEP/OPEP:2次/d</li> <li>◆ IPV:3~4次/d,20 min/次</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ PEP/OPEP:2次/d</li> <li>◆ IPV:3~4次/d,20 min/次</li> <li>◆ OLE:2~4次/d</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d<sup>[89-90]</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ EFA:2~3次/d</li> </ul>
普通病房	昏迷/镇静	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ PEP/OPEP:2次/d<sup>[37]</sup></li> <li>◆ OLE:4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IPV:3~4次/d</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ PEP/OPEP:2次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ PEP/OPEP:2次/d</li> <li>◆ IPV:3~4次/d,20 min/次</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ MI-E:3~4次/d</li> <li>◆ EFA:2~3次/d</li> </ul>
	气道相关疾病	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ PEP/OPEP:2~3次/d</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d<sup>[91]</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ OPEP:2~3次/d</li> <li>◆ HFCWO:3~4次/d</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ PEP:2~3次/d</li> <li>◆ IPPB:3次/d或按需</li> <li>◆ NIV:3次/d或按需</li> </ul>	-
神经肌肉疾病	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ HFCWO:3次/d<sup>[92]</sup></li> <li>◆ IPV:2~3次/d<sup>[7]</sup></li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ HFCWO:3次/d</li> <li>◆ IPV:2~3次/d</li> <li>◆ OLE:2~4次/d或与呼吸机联用可增加至4~8次/d</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ PEP:2~3次/d</li> <li>◆ IPPB:3次/d或按需</li> <li>◆ NIV:3次/d或按需</li> </ul>	-	

续附表 3

应用场景	纤毛黏液系统障碍	黏液特性改变	气道阻力改变	咳嗽功能障碍
外科术后	◆ PEP/OPEP: 3 次/d 或按需, 术后 5 d ◆ EFA: 2~3 次/d ◆ IPPB: 3 次/d ◆ MI-E: 3~4 次/d ◆ NIV: 2 次/d ◆ HFCWO: 2~3 次/d	◆ OPEP: 3 次/d 或按需, 术后 5 d ◆ HFCWO: 2~3 次/d	◆ PEP: 3 次/d 或按需, 术后 5 d ◆ IPPB: 3 次/d ◆ NIV: 2 次/d <sup>[93]</sup>	◆ EFA: 2~3 次/d <sup>[33]</sup> ◆ MI-E: 3~4 次/d
其他	◆ HFCWO: 2~3 次/d	◆ OPEP: 2~3 次/d ◆ HFCWO: 3~4 次/d <sup>[6]</sup>	◆ PEP: 3 次/d 或按需 ◆ IPPB: 3 次/d ◆ NIV: 2 次/d	◆ EFA: 2~3 次/d ◆ MI-E: 3~4 次/d
门诊	◆ 面罩 PEP: 2 次/d <sup>[94]</sup> ◆ OPEP: 2 次/d ◆ HFCWO: 3~4 次/d ◆ IPV: 3~4 次/d, 20 min/次 或按需 ◆ OLE: 2~4 次/d 或与呼吸机联用可增加至 4~8 次/d	◆ 面罩 PEP: 2 次/d ◆ PEP/OPEP: 2 次/d <sup>[95]</sup> ◆ HFCWO: 3~4 次/d ◆ IPV: 3~4 次/d, 20 min/次 或按需 <sup>[90]</sup> ◆ 支气管扩张患者在廓清之前雾化黏液溶解剂 <sup>[96]</sup>	◆ 面罩 PEP: 2 次/d ◆ OPEP: 2 次/d ◆ 中度至重度的慢阻肺患者在 ACT 前加用雾化 DORNASE ALFA; 痰液量明显增加者, 可雾化氟替卡松 <sup>[97]</sup> ◆ 中重度哮喘患者中, 在气道廓清技术之后根据需要需要使用沙丁胺醇和布地奈德组合 <sup>[48]</sup>	◆ MI-E: 3~4 次/d ◆ EFA: 2 次/d
居家/养老院	◆ OPEP 2 次/d <sup>[98]</sup> ◆ IPV 3~4 次/d 或按需 <sup>[98]</sup> ◆ HFCWO 3~4 次/d 或按需 <sup>[98]</sup>	◆ OPEP 2 次/d <sup>[98]</sup> ◆ IPV 3~4 次/d 或按需 <sup>[98]</sup> ◆ HFCWO 3~4 次/d 或按需 <sup>[98]</sup>	◆ NIV 3 次/d 或按需 <sup>[6]</sup> ◆ PEP/OPEP 2 次/d <sup>[98]</sup> ◆ IPPB 3 次/d 或按需 <sup>[6]</sup> ◆ IPV 3~4 次/d 或按需 <sup>[98-99]</sup>	◆ MI-E 3~4 次/d 或按需 <sup>[6, 99-100]</sup>

注: -为无此项

参 考 文 献

[1] Basavaraj A, Choate R, Addrizzo-Harris D, et al. Airway clearance techniques in bronchiectasis: analysis from the united states bronchiectasis and non-TB Mycobacteria research registry[J]. Chest, 2020, 158(4):1376-1384. DOI: 10.1016/j.chest.2020.06.050.

[2] Morrison L, Innes S. Oscillating devices for airway clearance in people with cystic fibrosis[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2017, 5(5): CD006842. DOI: 10.1002/14651858.CD006842.pub4.

[3] Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, et al. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations[J]. BMJ, 2008, 336(7650): 924-926. DOI: 10.1136/bmj.39489.470347.AD.

[4] Guyatt G, Oxman AD, Akl EA, et al. GRADE guidelines: 1. Introduction-GRADE evidence profiles and summary of findings tables[J]. J Clin Epidemiol, 2011, 64(4):383-394. DOI: 10.1016/j.jclinepi.2010.04.026.

[5] Guyatt GH, Oxman AD, Kunz R, et al. Going from evidence to recommendations[J]. BMJ, 2008, 336(7652): 1049-1051. DOI: 10.1136/bmj.39493.646875.AE.

[6] Belli S, Prince I, Savio G, et al. Airway clearance techniques: the right choice for the right patient[J]. Front Med (Lausanne), 2021, 8: 544826. DOI: 10.3389/fmed.2021.544826.

[7] Chatwin M, Toussaint M, Gonçalves MR, et al. Airway clearance techniques in neuromuscular disorders: a state of the art review[J]. Respir Med, 2018, 136:98-110. DOI: 10.1016/j.rmed.2018.01.012.

[8] Chaudary N, Balasa G. Airway Clearance Therapy in cystic fibrosis patients insights from a clinician providing cystic fibrosis care[J]. Int J Gen Med, 2021, 14:2513-2521. DOI: 10.2147/IJGM.S274196.

[9] Rowbotham NJ, Daniels TE. Airway clearance and exercise for people with cystic fibrosis: Balancing longevity with life[J]. Pediatr Pulmonol, 2022, 57 Suppl 1: S50-S59. DOI: 10.1002/ppul.25734.

[10] Poulton EP. Left-sided heart failure with pulmonary edema: its treatment with the "Pulmonary plus machine" [J]. Lancet, 1936, 228:981-983.

[11] Brochard L, Isabey D, Piquet J, et al. Reversal of acute exacerbations of chronic obstructive lung disease by inspiratory assistance with a face mask[J]. N Engl J Med, 1990, 323(22): 1523-1530. DOI: 10.1056/NEJM199011293232204.

[12] Brochard L, Mancebo J, Wysocki M, et al. Noninvasive ventilation for acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease[J]. N Engl J Med, 1995, 333(13): 817-822. DOI: 10.1056/NEJM199509283331301.

[13] Whitsett JA. Airway epithelial differentiation and mucociliary clearance[J]. Ann Am Thorac Soc, 2018, 15(Suppl 3): S143-S148. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201802-128AW.

[14] Adivitiya, Kaushik MS, Chakraborty S, et al. Mucociliary respiratory epithelium integrity in molecular defense and susceptibility to pulmonary viral infections[J]. Biology (Basel), 2021, 10(2):95. DOI: 10.3390/biology10020095.

[15] Wark P, Ramsahai JM, Pathinayake P, et al. Respiratory viruses and asthma[J]. Semin Respir Crit Care Med, 2018, 39(1):45-55. DOI: 10.1055/s-0037-1617412.

[16] Hilton E, Marsden P, Thurston A, et al. Clinical features of the urge-to-cough in patients with chronic cough[J]. Respir Med, 2015, 109(6): 701-707. DOI: 10.1016/j.rmed.2015.03.011.

[17] 刘婷婷, 梁宗安. 高频胸壁振荡的应用现状[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2012, 35(12): 951-953. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2012.12.026.

[18] 中国病理生理危重病学会呼吸治疗学组. 重症患者气道廓清技术专家共识[J]. 中华重症医学电子杂志(网络版), 2020, 6(3):272-282. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2096-1537.2020.03.007.

[19] 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.

[20] Volsko TA. Airway clearance therapy: finding the evidence [J]. Respir Care, 2013, 58(10): 1669-1678. DOI: 10.4187/



- respcare.02590.
- [21] Alghamdi SM, Barker RE, Alsulayyim A, et al. Use of oscillatory positive expiratory pressure (OPEP) devices to augment sputum clearance in COPD: a systematic review and meta-analysis[J]. *Thorax*, 2020, 75(10):855-863. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2019-214360.
- [22] Fagevik Olsén M, Lannefors L, Westerdahl E. Positive expiratory pressure-common clinical applications and physiological effects[J]. *Respir Med*, 2015, 109(3):297-307. DOI: 10.1016/j.rmed.2014.11.003.
- [23] Popowicz P, Leonard K. Noninvasive ventilation and oxygenation strategies[J]. *Surg Clin North Am*, 2022, 102(1):149-157. DOI: 10.1016/j.suc.2021.09.012.
- [24] Rochwerg B, Brochard L, Elliott MW, et al. Official ERS/ATS clinical practice guidelines: noninvasive ventilation for acute respiratory failure[J]. *Eur Respir J*, 2017, 50(2). DOI: 10.1183/13993003.02426-2016.
- [25] 中国医师协会急诊医师分会, 中国医疗保健国际交流促进会急诊急救分会, 国家卫生健康委能力建设与继续教育中心急诊学专家委员会. 无创正压通气急症临床实践专家共识(2018)[J]. *临床急诊杂志*, 2019, 20(1):1-12. DOI: 10.13201/j.issn.1009-5918.2019.01.001.
- [26] Bello G, De Pascale G, Antonelli M. Noninvasive ventilation[J]. *Clin Chest Med*, 2016, 37(4):711-721. DOI: 10.1016/j.ccm.2016.07.011.
- [27] Ferguson A, Wright S. Innovative chest physiotherapy techniques (the MetaNeb® System) in the intubated child with extensive burns[J]. *Respir Med Case Rep*, 2017, 22:232-234. DOI: 10.1016/j.rmcr.2017.08.020.
- [28] Morgan S, Hornik CP, Patel N, et al. Continuous high-frequency oscillation therapy in invasively ventilated pediatric subjects in the critical care setting[J]. *Respir Care*, 2016, 61(11):1451-1455. DOI: 10.4187/respcare.04368.
- [29] Caldwell KB. A Novel Ventilatory Technique in refractory hypoxemic respiratory failure secondary to therapeutic thoracentesis and paracentesis[J]. *Am J Case Rep*, 2020, 21:e924862. DOI: 10.12659/AJCR.924862.
- [30] Huynh TT, Liesching TN, Cereda M, et al. Efficacy of oscillation and lung expansion in reducing postoperative pulmonary complication[J]. *J Am Coll Surg*, 2019, 229(5):458-466.e1. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2019.06.004.
- [31] Volpe MS, Guimarães FS, Morais CC. Airway clearance techniques for mechanically ventilated patients: insights for optimization[J]. *Respir Care*, 2020, 65(8):1174-1188. DOI: 10.4187/respcare.07904.
- [32] Patrizio G, D'Andria M, D'Abrosca F, et al. Airway clearance with expiratory flow accelerator technology: effectiveness of the "free aspire" device in patients with severe COPD[J]. *Turk Thorac J*, 2019, 20(4):209-215. DOI: 10.5152/TurkThoracJ.2018.18053.
- [33] Bertelli L, Nardo GD, Cazzato S, et al. Free-Aspire: A new device for the management of airways clearance in patient with ineffective cough[J]. *Pediatr Rep*, 2017, 9(3):7270. DOI: 10.4081/pr.2017.7270.
- [34] Rotolo N, Cattoni M, D'Andria M, et al. Comparison of an expiratory flow accelerator device versus positive expiratory pressure for tracheobronchial airway clearance after lung cancer lobectomy: a preliminary study[J]. *Physiotherapy*, 2021, 110:34-41. DOI: 10.1016/j.physio.2019.01.011.
- [35] 高艳红, 罗政, 王晓媛. 4例高龄气管插管患者应用自动气道管理系统的护理[J]. *中华护理杂志*, 2021, 56(4):585-588. DOI: 10.3761/j.issn.0254-1769.2021.04.018.
- [36] Reyhler G, Debier E, Contal O, et al. Intrapulmonary percussive ventilation as an airway clearance technique in subjects with chronic obstructive airway diseases[J]. *Respir Care*, 2018, 63(5):620-631. DOI: 10.4187/respcare.05876.
- [37] Blakeman TC, Scott JB, Yoder MA, et al. AARC Clinical Practice Guidelines: Artificial Airway Suctioning[J]. *Respir Care*, 2022, 67(2):258-271. DOI: 10.4187/respcare.09548.
- [38] Devlin JW, Skrobik Y, Gélinas C, et al. Clinical practice guidelines for the prevention and management of pain, agitation/sedation, delirium, immobility, and sleep disruption in adult patients in the ICU[J]. *Crit Care Med*, 2018, 46(9):e825-e873. DOI: 10.1097/CCM.0000000000003299.
- [39] Hong Y, Duan J, Bai L, et al. Noninvasive ventilation failure in pneumonia patients ≥65 years old: The role of cough strength[J]. *J Crit Care*, 2018, 44:149-153. DOI: 10.1016/j.jcrr.2017.11.008.
- [40] Magalhães P, Camillo CA, Langer D, et al. Weaning failure and respiratory muscle function: What has been done and what can be improved? [J]. *Respir Med*, 2018, 134:54-61. DOI: 10.1016/j.rmed.2017.11.023.
- [41] O'Neill MP, Gopalan PD. Endotracheal tube cuff pressure change: Proof of concept for a novel approach to objective cough assessment in intubated critically ill patients[J]. *Heart Lung*, 2020, 49(2):181-185. DOI: 10.1016/j.hrtlng.2019.10.013.
- [42] Yoon HS, Cha YJ, You J. Effects of dynamic core-postural chain stabilization on diaphragm movement, abdominal muscle thickness, and postural control in patients with subacute stroke: A randomized control trial[J]. *NeuroRehabilitation*, 2020, 46(3):381-389. DOI: 10.3233/NRE-192983.
- [43] Lee DH, Hong SK, Lee YS, et al. Is abdominal hollowing exercise using real-time ultrasound imaging feedback helpful for selective strengthening of the transversus abdominis muscle?: A prospective, randomized, parallel-group, comparative study[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(27):e11369. DOI: 10.1097/MD.00000000000011369.
- [44] Kim WY, Suh HJ, Hong SB, et al. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation[J]. *Crit Care Med*, 2011, 39(12):2627-2630. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3182266408.
- [45] Norisue Y, Santanda T, Homma Y, et al. Ultrasonographic Assessment of Passive Cephalic Excursion of Diaphragm During Cough Expiration Predicts Cough Peak Flow in Healthy Adults[J]. *Respir Care*, 2019, 64(11):1371-1376. DOI: 10.4187/respcare.06780.
- [46] Norisue Y, Kataoka J, Homma Y, et al. Increase in intra-abdominal pressure during airway suctioning-induced cough after a successful spontaneous breathing trial is associated with extubation outcome[J]. *Ann Intensive Care*, 2018, 8(1):61. DOI: 10.1186/s13613-018-0410-x.
- [47] Umayahara Y, Soh Z, Sekikawa K, et al. Estimation of cough peak flow using cough sounds[J]. *Sensors (Basel)*, 2018, 18(7):2381. DOI: 10.3390/s18072381.
- [48] Santos MD, Milross MA, Eisenhuth JP, et al. Tubing

- internal diameter affects the pressures and oscillation frequencies generated by the therapist-made bubble-positive expiratory pressure device[J]. *Physiother Theory Pract*, 2020, 36(2): 333-339. DOI: 10.1080/09593985.2018.1485067.
- [49] Leemans G, Belmans D, Van Holsbeke C, et al. The effectiveness of a mobile high-frequency chest wall oscillation (HFCWO) device for airway clearance[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2020, 55(8):1984-1992. DOI: 10.1002/ppul.24784.
- [50] Huang HP, Chen KH, Tsai CL, et al. Effects of High-Frequency Chest Wall Oscillation on Acute Exacerbation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials[J]. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2022, 17:2857-2869. DOI: 10.2147/COPD.S378642.
- [51] Toussaint M, De Win H, Steens M, et al. Effect of intrapulmonary percussive ventilation on mucus clearance in duchenne muscular dystrophy patients: a preliminary report[J]. *Respir Care*, 2003, 48(10):940-947.
- [52] Hassan A, Milross M, Lai W, et al. Feasibility and safety of intrapulmonary percussive ventilation in spontaneously breathing, non-ventilated patients in critical care: A retrospective pilot study[J]. *J Intensive Care Soc*, 2021, 22(2):111-119. DOI: 10.1177/1751143720909704.
- [53] Hassan A, Lai W, Alison J, et al. Effect of intrapulmonary percussive ventilation on intensive care unit length of stay, the incidence of pneumonia and gas exchange in critically ill patients: A systematic review[J]. *PLoS One*, 2021, 16(7): e0255005. DOI: 10.1371/journal.pone.0255005.
- [54] Wilson LM, Morrison L, Robinson KA. Airway clearance techniques for cystic fibrosis: an overview of Cochrane systematic reviews[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2019, 1(1): CD011231. DOI: 10.1002/14651858. CD011231. pub2.
- [55] Schofield LM, Duff A, Brennan C. Airway Clearance Techniques for Primary Ciliary Dyskinesia; is the Cystic Fibrosis literature portable?[J]. *Paediatr Respir Rev*, 2018, 25:73-77. DOI: 10.1016/j.prrv.2017.03.011.
- [56] Ortiz-Pujols S, Boschini LA, Klatt-Cromwell C, et al. Chest high-frequency oscillatory treatment for severe atelectasis in a patient with toxic epidermal necrolysis[J]. *J Burn Care Res*, 2013, 34(2): e112-115. DOI: 10.1097/BCR.0b013e318257d83e.
- [57] Nunes LC, Rizzetti DA, Neves D, et al. Mechanical insufflation/exsufflation improves respiratory mechanics in critical care: Randomized crossover trial[J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2019, 266: 115-120. DOI: 10.1016/j.resp.2019.05.008.
- [58] Martínez-Alejos R, Martí JD, Li Bassi G, et al. Effects of Mechanical Insufflation-Exsufflation on Sputum Volume in Mechanically Ventilated Critically Ill Subjects[J]. *Respir Care*, 2021, 66(9):1371-1379. DOI: 10.4187/respcare.08641.
- [59] Belli S, Cattaneo D, D'Abrosca F, et al. A pilot study on the non-invasive management of tracheobronchial secretions in tracheostomised patients[J]. *Clin Respir J*, 2019, 13(10): 637-642. DOI: 10.1111/crj.13074.
- [60] Zampogna E, Crisafulli E, D'Andria M, et al. Expiratory flow accelerator (EFA) technique on mucus hypersecretion of COPD patients with reduced cough efficiency after a severe exacerbation[J]. *Int Clin Med*, 2019, 3:1-6. DOI: 10.15761/ICM.1000168.
- [61] Zhou-Suckow Z, Duerr J, Hagner M, et al. Airway mucus, inflammation and remodeling: emerging links in the pathogenesis of chronic lung diseases[J]. *Cell Tissue Res*, 2017, 367(3): 537-550. DOI: 10.1007/s00441-016-2562-z.
- [62] Ma J, Rubin BK, Voynow JA. Mucins, mucus, and goblet cells[J]. *Chest*, 2018, 154(1): 169-176. DOI: 10.1016/j.chest.2017.11.008.
- [63] Wheatley CM, Baker SE, Daines CM, et al. Influence of the vibralong acoustical percussor on pulmonary function and sputum expectoration in individuals with cystic fibrosis[J]. *Ther Adv Respir Dis*, 2018, 12: 1753466618770997. DOI: 10.1177/1753466618770997.
- [64] Rocamora-Pérez P, Benzo-Iglesias MJ, MLÁ V, et al. Effectiveness of positive expiratory pressure on patients over 16 years of age with cystic fibrosis: systematic review and meta-analysis[J]. *Ther Adv Respir Dis*, 2022, 16: 17534666221089467. DOI: 10.1177/17534666221089467.
- [65] González-Bellido V, Velaz-Baza V, Blanco-Moncada E, et al. Immediate effects and safety of high-frequency chest wall compression compared to airway clearance techniques in non-hospitalized infants with acute viral bronchiolitis[J]. *Respir Care*, 2021, 66(3): 425-433. DOI: 10.4187/respcare.08177.
- [66] Ferreira de Camillis ML, Savi A, Goulart Rosa R, et al. Effects of mechanical insufflation-exsufflation on airway mucus clearance among mechanically ventilated ICU subjects[J]. *Respir Care*, 2018, 63(12): 1471-1477. DOI: 10.4187/respcare.06253.
- [67] Liu CL, Shi GP. Calcium-activated chloride channel regulator 1 (CLCA1): more than a regulator of chloride transport and mucus production[J]. *World Allergy Organ J*, 2019, 12(11): 100077. DOI: 10.1016/j.waojou.2019.100077.
- [68] Dwyer TJ, Daviskas E, Zainuldin R, et al. Effects of exercise and airway clearance (positive expiratory pressure) on mucus clearance in cystic fibrosis: a randomised crossover trial[J]. *Eur Respir J*, 2019, 53(4). DOI: 10.1183/13993003.01793-2018.
- [69] de Souza Simoni LH, Dos Santos DO, de Souza H, et al. Acute effects of oscillatory PEP and thoracic compression on secretion removal and impedance of the respiratory system in non-cystic fibrosis bronchiectasis[J]. *Respir Care*, 2019, 64(7):818-827. DOI: 10.4187/respcare.06025.
- [70] Stanford G, Parrott H, Bilton D, et al. Randomised cross-over trial evaluating the short-term effects of non-invasive ventilation as an adjunct to airway clearance techniques in adults with cystic fibrosis[J]. *BMJ Open Respir Res*, 2019, 6(1): e000399. DOI: 10.1136/bmjresp-2018-000399.
- [71] Rodriguez Hortal MC, Nygren-Bonnier M, Hjelte L. Non-invasive ventilation as airway clearance technique in cystic fibrosis[J]. *Physiother Res Int*, 2017, 22(3). DOI: 10.1002/pri.1667.
- [72] Dohna-Schwake C, Ragette R, Teschler H, et al. IPPB-assisted coughing in neuromuscular disorders[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2006, 41(6): 551-557. DOI: 10.1002/ppul.20406.
- [73] Chen YH, Yeh MC, Hu HC, et al. Effects of lung expansion therapy on lung function in patients with prolonged



- mechanical ventilation[J]. *Can Respir J*, 2016, 2016: 5624315. DOI: 10.1155/2016/5624315.
- [74] Bach JR, Giménez GC, Chiou M. Mechanical in-exsufflation-expiratory flows as indication for tracheostomy tube decannulation: case studies[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2019, 98(3): e18-e20. DOI: 10.1097/PHM.0000000000000999.
- [75] Camela F, Gallucci M, Ricci G. Cough and airway clearance in Duchenne muscular dystrophy[J]. *Paediatr Respir Rev*, 2019, 31:35-39. DOI: 10.1016/j.prrv.2018.11.001.
- [76] Siriwat R, Deerojanawong J, Sritippayawan S, et al. Mechanical insufflation-exsufflation versus conventional chest physiotherapy in children with cerebral palsy[J]. *Respir Care*, 2018, 63(2): 187-193. DOI: 10.4187/respcare.05663.
- [77] Lalmolda C, Prados H, Mateu G, et al. Titration of mechanical insufflation-exsufflation optimal pressure combinations in neuromuscular diseases by flow/pressure waveform analysis[J]. *Arch Bronconeumol (Engl Ed)*, 2019, 55(5): 246-251. DOI: 10.1016/j.arbres.2018.10.011.
- [78] Neeraj S, Matthew B, Rebecca DC, et al. Physiological changes following mechanical insufflation: exsufflation therapy in patients with spinal cord injury (SCI) [J]. *Eur Respir J*, 2019, 54(suppl 63): PA797. DOI: 10.1183/13993003.
- [79] Kikuchi K, Satake M, Kimoto Y, et al. Approaches to cough peak flow measurement with duchenne muscular dystrophy[J]. *Respir Care*, 2018, 63(12):1514-1519. DOI: 10.4187/respcare.06124.
- [80] Garuti G, Verucchi E, Fanelli I, et al. Management of bronchial secretions with free aspire in children with cerebral palsy: impact on clinical outcomes and healthcare resources[J]. *Ital J Pediatr*, 2016, 42: 7. DOI: 10.1186/s13052-016-0216-0.
- [81] 胡晔, 赵瑛, 解立新. 呼吸危重症患者的个体化康复策略[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2022, 45(9): 841-844. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20220608-00489.
- [82] 杨娟, 陈敏, 朱慕云. 振动正压呼气排痰对慢阻肺急性加重患者肺康复影响的临床研究[J]. *中国现代医药杂志*, 2018, 20(5):46-49. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9463.2018.05.012.
- [83] Duan J, Zhou L, Xiao M, et al. Semiquantitative cough strength score for predicting reintubation after planned extubation[J]. *Am J Crit Care*, 2015, 24(6): e86-90. DOI: 10.4037/ajcc2015172.
- [84] 马青, 王导新. 慢性阻塞性肺疾病急性加重患者血浆 CC16 的动态变化及临床意义[J]. *中国呼吸与危重监护杂志*, 2019, 18(2):115-119. DOI: 10.7507/1671-6205.201809025.
- [85] Suryadinata R, Levin K, Holsworth L, et al. Airway cilia recovery post lung transplantation[J]. *Immun Inflamm Dis*, 2021, 9(4):1716-1723. DOI: 10.1002/iid3.527.
- [86] Pieczkoski SM, de Oliveira AL, Haefner MP, et al. Positive expiratory pressure in postoperative cardiac patients in intensive care: a randomized controlled trial[J]. *Clin Rehabil*, 2021, 35(5):681-691. DOI: 10.1177/0269215520972701.
- [87] 中国医学装备协会呼吸病学装备专业委员会, 中国残疾人康复协会肺康复专业委员会中青年肺康复专业学组. 针对气道黏液高分泌的呼吸康复治疗中国专家共识[J]. *国际呼吸杂志*, 2021, 41(22): 1686-1696. DOI: 10.3760/cma.j.cn131368-20210921-00705.
- [88] Mwakanyanga ET, Masika GM, Tarimo E. Intensive care nurses' knowledge and practice on endotracheal suctioning of the intubated patient: A quantitative cross-sectional observational study[J]. *PLoS One*, 2018, 13(8):e0201743. DOI: 10.1371/journal.pone.0201743.
- [89] Ribeiro BS, Lopes AJ, Menezes S, et al. Selecting the best ventilator hyperinflation technique based on physiologic markers: a randomized controlled crossover study[J]. *Heart Lung*, 2019, 48(1): 39-45. DOI: 10.1016/j.hrtlng.2018.09.006.
- [90] Muñoz Castro G, Balañá Corberó A. Airway clearance and mucoactive therapies[J]. *Semin Respir Crit Care Med*, 2021, 42(4):616-622. DOI: 10.1055/s-0041-1730922.
- [91] Huang HP, Chen KH, Tsai CL, et al. Effects of high-frequency chest wall oscillation on acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2022, 17:2857-2869. DOI: 10.2147/COPD.S378642.
- [92] Lechtzin N, Wolfe LF, Frick KD. The impact of high-frequency chest wall oscillation on healthcare use in patients with neuromuscular diseases[J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2016, 13(6): 904-909. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201509-5970C.
- [93] Faria DA, da Silva EM, Atallah ÁN, et al. Noninvasive positive pressure ventilation for acute respiratory failure following upper abdominal surgery[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015, 2015(10): CD009134. DOI: 10.1002/14651858.CD009134.pub2.
- [94] Mclwaine M, Bradley J, Elborn JS, et al. Personalising airway clearance in chronic lung disease[J]. *Eur Respir Rev*, 2017, 26(143):160086. DOI: 10.1183/16000617.0086-2016.
- [95] Herrero-Cortina B, Alcaraz V, Vilaró J, et al. Impact of hypertonic saline solutions on sputum expectoration and their safety profile in patients with bronchiectasis: a randomized crossover trial[J]. *J Aerosol Med Pulm Drug Deliv*, 2018, 31(5): 281-289. DOI: 10.1089/jamp.2017.1443.
- [96] Papi A, Chipps BE, Beasley R, et al. Albuterol-budesonide fixed-dose combination rescue inhaler for asthma[J]. *N Engl J Med*, 2022, 386(22): 2071-2083. DOI: 10.1056/NEJMoa2203163.
- [97] Morrow B, Zampoli M, van Aswegen H, et al. Mechanical insufflation-exsufflation for people with neuromuscular disorders[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2013, (12): CD010044. DOI: 10.1002/14651858.CD010044.pub2.
- [98] Daynes E, Jones AW, Greening NJ, et al. The use of airway clearance devices in the management of chronic obstructive pulmonary disease. A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2021, 18(2): 308-320. DOI: 10.1513/AnnalsATS.202005-4820C.
- [99] Hadda V, Suri TM, Pahuja S, et al. Secretion management in patients with ineffective airway clearance with non-invasive mechanical ventilation use: Expert guidance for clinical practice[J]. *Monaldi Arch Chest Dis*, 2021, 91(4). DOI: 10.4081/monaldi.2021.1499.
- [100] Chatwin M, Toussaint M, Gonçalves MR, et al. Airway clearance techniques in neuromuscular disorders: A state of the art review[J]. *Respir Med*, 2018, 136:98-110. DOI: 10.1016/j.rmed.2018.01.012.