

机械性吸呼技术在有创机械通气中的应用进展

杨慧慧¹, 杨紫楠¹, 杨春婷², 刘春霞¹, 杜全胜¹

¹河北省人民医院重症医学科, 河北 石家庄

²贵州医科大学附属医院呼吸与危重症医学科, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年10月8日; 录用日期: 2023年11月3日; 发布日期: 2023年11月8日

摘要

有创机械通气是救治重症患者的核心技术之一。自新型冠状病毒肺炎(coronavirus disease 2019, COVID-19)疫情发生以来,有创机械通气在重症及危重症COVID-19患者中的应用日益增加。而长时间有创机械通气过程中出现的痰液滞留会影响患者的临床预后。因此,在有创机械通气过程中进行有效的松动和清除痰液是一个亟待解决的问题。机械性吸呼气技术是一种重要的辅助咳痰技术。当患者的咳嗽能力受损时,可通过模拟正常生理咳嗽来增强或放大咳嗽效应,有助于清除痰液,缩短有创机械通气时间,预防肺部感染以及减少肺部并发症,在气道清除治疗过程中具有重要的临床意义。本文对机械性吸呼技术在有创机械通气应用中的最新进展进行综述。

关键词

机械性吸呼技术, 有创机械通气, COVID-19, 排痰

Progress in the Application of Mechanical Insufflation-Exsufflation in Invasive Mechanical Ventilation

Huihui Yang¹, Zinan Yang¹, Chunting Yang², Chunxia Liu¹, Quansheng Du¹

¹Department of Intensive Care Medicine, Hebei General Hospital, Shijiazhuang Hebei

²Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang Guizhou

Received: Oct. 8th, 2023; accepted: Nov. 3rd, 2023; published: Nov. 8th, 2023

Abstract

Invasive mechanical ventilation is one of the core technologies in the treatment of severe patients.

文章引用: 杨慧慧, 杨紫楠, 杨春婷, 刘春霞, 杜全胜. 机械性吸呼技术在有创机械通气中的应用进展[J]. 临床医学进展, 2023, 13(11): 17374-17379. DOI: 10.12677/acm.2023.13112433

Since the outbreak of the novel coronavirus pneumonia epidemic, the use of invasive mechanical ventilation in severe and critically ill COVID-19 patients has been increasing. The retention of sputum during prolonged invasive mechanical ventilation may affect the clinical outcome of patients. Therefore, effective loosening and removal of sputum during invasive mechanical ventilation is an urgent problem. Mechanical insufflation-exsufflation is an important technique to assist expectoration. When patients' cough ability is impaired, the cough effect can be enhanced or amplified by simulating normal physiological cough, which is helpful to clear sputum, shorten the time of invasive mechanical ventilation, prevent lung infection and reduce lung complications, and has important clinical significance in the treatment of airway clearance. In this paper, the latest progress of mechanical insufflation-exsufflation in invasive mechanical ventilation is reviewed.

Keywords

Mechanical Insufflation-Exsufflation, Invasive Mechanical Ventilation, COVID-19, Sputum Excretion

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 背景

咳嗽是清除呼吸道粘液的一种必要的防御机制。咳嗽功能受损会导致严重的并发症，甚至患者死亡的发生。对重症患者进行有创机械通气时，由于人工气道的存在，会妨碍声带和声门的关闭，进而阻碍了胸内高压的产生和随后咳嗽速度的增强，使咳嗽受到了损害[1] [2]。同时，临床医生通常会对有创机械通气的患者采取镇静治疗，此类患者也可能存在意识水平低下或呼吸肌肉麻痹，这些都会影响患者的咳嗽反射、粘液纤毛的清除作用以及呼吸肌的功能，而无法进行有效咳嗽将会导致的痰滞留，最终导致拔管失败，临床死亡率也会随之增加[3]。气管内吸引是清除气道分泌物的最常用方法[4]。但该技术属于侵入性操作，会造成上气道的潜在创伤，无法清除下气道的分泌物，并且吸引管必须接触痰液才能够清除痰液[5] [6]。而机械性吸呼气技术作为重要的辅助咳痰技术，可通过模拟正常生理咳嗽来增强或放大咳嗽效应[7]。它是一种非侵入性操作，对患者的气道损伤较小，作用可延伸至整个气道，从而可以有效清除上、下气道痰液，因此其排痰效果更彻底[8]。它还可以缩短有创机械通气时间，预防肺部感染以及减少肺部并发症，在气道清除治疗过程中具有重要的临床意义。本文将对机械性吸呼气技术的基本原理以及其在有创机械通气患者(包括重症及危重症 COVID-19 患者)中应用的进展以及展望进行逐一阐述，并梳理关键点，意在为机械性吸呼气技术在有创机械通气中的应用提供一定的指导价值。

2. 机械性吸呼气技术(Mechanical Insufflation-Exsufflation, MIE)的基本原理

MIE 装置是用于清除咳嗽受损患者气道分泌物的一种无创设备，最初是为了预防神经肌肉疾病患者与痰滞留相关呼吸并发症而研发的[9]。随着科学技术的不断革新，MIE 在 ICU 有创机械通气的危重病人中的应用不断增加[10]。MIE 连接面罩、口咬器或人工气道接口，与气道形成密闭的管腔。当患者处于吸气相时，MIE 正压输送气流促使肺膨胀，从而增加肺潮气量，当患者处于呼气相时，MIE 瞬间切换为负压。由于这种正负压呼吸之间的快速交替，气道内会产生足够高的呼气峰流量(Peak expiratory flows, PEF)，提供足够的剪切力和速度，增加气体流动，从而使分泌物松动并向口腔方向移动，促进排痰[8] [11]。

有研究发现, PEF 大于 160 升/分被认为是清除中央气道分泌物的阈值[12]。而 MIE 能够产生大于 160 升/分的 PEF, 由此临床疗效可以得到保证[13] [14]。目前, MIE 作为一种有效的排痰措施广泛应用于有创机械通气的患者。

3. MIE 在有创机械通气患者中的临床应用

有创机械通气的患者由于各种原因会存在咳嗽受损致使痰液滞留, 及时有效的清除痰液可以明显改善患者的临床结局, 因此痰液管理就成为了这类患者呼吸管理的重点。然而常用的气道廓清技术对某些患者有禁忌症, 并且不能彻底、有效地清除痰液, 甚至会对患者气道黏膜造成损害。相比之下, MIE 比常规的气道廓清技术可以明显减少给患者带来的刺激、疼痛、疲劳和不适, 同时更能有效地消除气道分泌物, 辅助患者排痰, 改善患者预后[15]。因此, MIE 技术对于危重症患者清除痰液是非常有必要, 在临床工作中值得推广。

3.1. MIE 在有创机械通气患者中的使用情况

近年来, MIE 作为一种有效的排痰措施广泛应用于有创机械通气的患者。例如, Ema [13]等调查了在英国成人重症医学科 MIE 的使用情况。有 166 份完整的报告可供分析。几乎所有(98%; 163/166)临床医生可使用 MIE。大多数报告显示临床医师每周或每月都在使用 MIE 设备(52/163, 32%; 50/163, 31%)。该研究结果也显示, 几乎所有临床医生(99%)对拔管患者使用 MIE, 大约一半的受访者(86/163, 53%)对插管患者使用 MIE。

3.2. 在有创机械通气患者中使用 MIE 的安全性研究

对于 MIE 的安全性问题临床医师可能存有一定的顾虑, 但多项研究表明 MIE 是安全有效的, Miguel [10] [16]等研究显示 MIE 在人工气道患者中的使用是安全有效的, MIE 不仅增加了痰液清除量, 而且也没有导致临床重要的血流动力学变化和不良事件的发生。另一项研究结果也显示, 高压 MIE 可改善危重患者的呼吸力学, 在清除肺分泌物方面更有效; 较高水平的 MIE 压力也不会对患者造成血流动力学影响; 因此, 该研究表明, 高压的 MIE 应用于危重病人是安全可行的。但 MIE 的安全性需要在更大规模的不同患者群体研究中得到证实[17]。

3.3. 在有创机械通气患者中使用 MIE 的疗效性研究

MIE 的疗效也在有创机械通气撤离也得到了证实, 一项相关研究探讨了 MIE 在预防拔管后呼吸衰竭中的作用。结果显示 MIE 拔管方案再插管率明显低于常规拔管方案; 且无创通气时间显著降低[18]。同时, 另一项相关研究表明 MIE 可以预防危重患者呼吸机相关性肺炎, 并且危重患者使用 MIE 与降低呼吸机相关性肺炎发生率独立相关[5]。Marcia [11]等研究将 MIE 装置设计为快速充气标准组和缓慢充气优化组。结果显示优化组的 MIE 吸气峰流量(Peak inspiratory flows, PIF)显著降低。并且优化组的呼气流量偏倚(PEF 与 PIF 比值和 PEF 与 PIF 差值, 即吸气和呼气流量之间的差异)显著升高。优化组较高的呼气流量偏倚使粘液向外移位, 较标准组多出 2.6 cm, 多因素分析显示, 机动方式(优化 vs 标准)、PEF 与 PIF 差和 MIE 压力梯度与粘液位移显著相关, 而 PEF 与粘液位移无关。

综上所述, 虽然多项研究表明 MIE 设备在有创通气中的使用是安全可靠的, 但在国内使用相对于国外使用较少, 需要进一步研究 MIE 在有创机械通气患者中使用的适应证[16]。并且, 对于 MIE 的使用, 针对不同的患者实施的治疗方案及其参数设置方面也存在差异, 例如相对缓慢充气来说, 快速充气会导致次优治疗, 因此未来 MIE 的临床使用需要进一步标准化和个性化, 以为更多的 ICU 人群制定更合理的

MIE 治疗方案, 同时, 也能给未来 MIE 教学和技术实施提供重要的指导价值[13]。

3.4. MIE 在新型冠状病毒肺炎患者中的疗效研究

自从 COVID-19 疫情发生以来, 其感染率急剧增加。新型冠状病毒肺炎患者大部分为轻症, 临床预后良好, 小部分患者为重症或危重症。重症或危重症 COVID-19 患者往往是伴有基础疾病的高龄患者, 他们更易存在痰滞留致使肺不张, 因此, 辅助排痰是这类患者呼吸管理的重点。近年来, MIE 已作为一种有效的排痰措施在重症或危重症 COVID-19 患者中的应用也有相关报道。例如, Gloria [19]等发现一名 66 岁的男子因严重的 COVID-19 感染而插管 21 天。随后他接受了气管切开术, 通过气管切开口连接 MIE, 以清除分泌物, 增加肺活量, 并使氧饱和度正常, 患者的肺活量和肺通气能力得到明显改善。表明 MIE 对帮助患者脱机以及肺功能的恢复可能有益。同样, 一项相关研究探讨了一例因发热、呼吸急促在俯卧状态下接受理疗干预的高龄男性 COVID-19 肺炎患者, 通过俯卧位通气改善了通气/灌注比值和动脉氧合。但患者没有咳嗽反射, 因此, 使用 MIE 对患者进行排痰治疗。在此过程中 MIE 有效清除了气道顽强的分泌物。随后对患者进行再次临床干预治疗有效性评估时, 虽然肺部啰音仍然存在, 但明显改善患者呼吸急促的症状, 且整个治疗期间氧饱和度保持稳定。因此, 该病例研究得出结论, 在 COVID-19 危重症的插管患者中, 俯卧位通气时对患者进行 MIE 排痰治疗是有效可行的[20]。Kristi [21]等人研究发现感染 COVID-19 的脊髓损伤患者, 在呼吸道感染期间发展为急性呼吸衰竭的风险更高。通常情况下, 急性呼吸道感染会导致这类患者产生大量粘液, 因此, 有效的气道分泌物管理措施是临床治疗是否成功的关键一步。该研究使用 MIE 有效地清除了气道内滞留的痰液, 明显改善 COVID-19 患者临床预后, 表明 MIE 是一种有效的气道分泌物管理措施。

重症或危重症 COVID-19 患者会存在痰液滞留所致的肺不张, 对这类患者积极运用 MIE 技术可以清除分泌物, 增加肺活量, 并有效改善氧饱和度[19]。虽然 MIE 应用在 COVID-19 患者中的研究报道较少, 但 MIE 清除痰液的有效性在相关研究中已经得到证实。随着对 MIE 技术的不断深入研究, 有望在不久的将来, MIE 在 COVID-19 患者中能得到广泛应用。

4. MIE 的总结与展望

机械性吸呼气技术作为重要的辅助咳痰技术, 是一种非侵入性的排痰辅助装置, 通过施加气道正压以最大限度地为肺部充气, 然后立即施加负压以产生高呼气气体流量, 这种快速交替的正负压旨在模拟正常生理咳嗽, 在口腔和肺泡之间产生高呼气压力梯度, 以便于远端气道或深部痰液的松动致使痰液向口腔方向移动[5] [13]。MIE 装置在 ICU 中得到广泛使用, 其中在拔管患者中使用更为普遍, MIE 在有创机械通气患者中是安全有效的, 它有助于清除整个气道的顽固痰液, 由此可以缩短有创机械通气时间, 预防肺部感染以及减少肺部并发症[13]。随着 COVID-19 疫情爆发, MIE 在重症或危重症 COVID-19 患者中也有相关报道, 对这类患者积极运用 MIE 可以增加肺活量, 并有效改善肺顺应性及氧饱和度。但目前 MIE 临床应用中仍然存在一些需要解决的问题, 一些专家指出在 ICU 人群中引入 MIE 治疗可能会出现几个潜在的问题[22]。第一: 在有突然肺萎陷(如 ARDS、病态肥胖、腹间室综合征)或机械通气断开风险的患者中, 应用高压作用于气道, 可能会导致突然的重度低氧血症。第二: 对于伴有大量浓稠分泌物的患者, MIE 治疗似乎是一种更合理、更安全的治疗选择, 虽然相关研究过程中没有出现与 MIE 使用相关的呼吸机或血流动力学并发症, 但是对于呼吸机状态不稳定等患者 MIE 的使用需更加谨慎。第三: 由于该技术是应用于异质的危重症患者群体, 所以无法精确定义 MIE 对每个病患具体的疗效情况。

相信随着对 MIE 研究的不断深入, 危重病患者 MIE 使用的最佳时间和标准化参数将能够得到确定, 以提供临床患者更有效、安全和舒适的个性化 MIE 精确治疗方案, 并且随着 MIE 在临床应用中存在的问

题得到解决和改善, 未来 MIE 将有望在临床上得到推广和广泛应用。

基金项目

重症患者气道廓清技术在县级医院的应用推广(20210002); 河北省自然科学基金资助项目(H2020307040); 博士后科研项目择优资助(B2019003039, 2020M670024ZX)。

参考文献

- [1] Terzi, N., Prigent, H. and Lofaso, F. (2018) Mechanical Insufflation-Exsufflation to Improve Secretion Clearance during Invasive Ventilation. *Respiratory Care*, **63**, 1577-1578. <https://doi.org/10.4187/respcare.06700>
- [2] Terzi, N., Lofaso, F., Masson, R., et al. (2018) Physiological Predictors of Respiratory and Cough Assistance Needs after Extubation. *Annals of Intensive Care*, **8**, 18. <https://doi.org/10.1186/s13613-018-0360-3>
- [3] Swingwood, E., Stilma, W., Tume, L., et al. (2020) The Use of Mechanical Insufflation-Exsufflation in Invasively Ventilated Critically Ill Adults: A Scoping Review Protocol. *Systematic Reviews*, **9**, Article No. 287. <https://doi.org/10.1186/s13643-020-01547-8>
- [4] Sole, M.L., Bennett, M. and Ashworth, S. (2015) Clinical Indicators for Endotracheal Suctioning in Adult Patients Receiving Mechanical Ventilation. *American Journal of Critical Care*, **24**, 318-324. <https://doi.org/10.4037/ajcc2015794>
- [5] Kuroiwa, R., Tateishi, Y., Oshima, T., et al. (2021) Mechanical Insufflation-Exsufflation for the Prevention of Ventilator-Associated Pneumonia in Intensive Care Units: A Retrospective Cohort Study. *Indian Journal of Critical Care Medicine*, **25**, 62-66. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-23508>
- [6] Brekka, A.K., Vollsæter, M., Ntoumenopoulos, G., et al. (2022) Adjustments of Non-Invasive Ventilation and Mechanically Assisted Cough by Combining Ultrasound Imaging of the Larynx with Transnasal Fibre-Optic Laryngoscopy: A Protocol for an Experimental Study. *BMJ Open*, **12**, e59234. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-059234>
- [7] Bach, J.R., Gimenez, G.C. and Chiou, M. (2019) Mechanical In-Exsufflation-Expiratory Flows as Indication for Tracheostomy Tube Decannulation: Case Studies. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, **98**, e18-e20. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000999>
- [8] Chatwin, M., Toussaint, M., Gonçalves, M.R., et al. (2018) Airway Clearance Techniques in Neuromuscular Disorders: A State of the Art Review. *Respiratory Medicine*, **136**, 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2018.01.012>
- [9] Auger, C., Hernando, V. and Galmiche, H. (2017) Use of Mechanical Insufflation-Exsufflation Devices for Airway Clearance in Subjects with Neuromuscular Disease. *Respiratory Care*, **62**, 236-245. <https://doi.org/10.4187/respcare.04877>
- [10] Sánchez-García, M., Santos, P., Rodríguez-Trigo, G., et al. (2018) Preliminary Experience on the Safety and Tolerability of Mechanical “Insufflation-Exsufflation” in Subjects with Artificial Airway. *Intensive Care Medicine Experimental*, **6**, Article No. 8. <https://doi.org/10.1186/s40635-018-0173-6>
- [11] Volpe, M.S., Naves, J.M., Ribeiro, G.G., et al. (2018) Airway Clearance with an Optimized Mechanical Insufflation-Exsufflation Maneuver. *Respiratory Care*, **63**, 1214-1222. <https://doi.org/10.4187/respcare.05965>
- [12] Gobert, F., Yonis, H., Tapponnier, R., et al. (2017) Predicting Extubation Outcome by Cough Peak Flow Measured Using a Built-In Ventilator Flow Meter. *Respiratory Care*, **62**, 1505-1519. <https://doi.org/10.4187/respcare.05460>
- [13] Swingwood, E., Tume, L. and Cramp, F. (2020) A Survey Examining the Use of Mechanical Insufflation-Exsufflation on Adult Intensive Care Units across the UK. *Journal of the Intensive Care Society*, **21**, 283-289. <https://doi.org/10.1177/1751143719870121>
- [14] Dale, C.M., et al. (2022) Education Experiences of Adult Subjects and Caregivers for Mechanical Insufflation-Exsufflation at Home. *Respiratory Care*, **65**, 1889-1896.
- [15] Garstang, S.V., Kirshblum, S.C. and Wood, K.E. (2016) Patient Preference for In-Exsufflation for Secretion Management with Spinal Cord Injury. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, **23**, 80-85. <https://doi.org/10.1080/10790268.2000.11753511>
- [16] Martínez-Alejos, R., Martí, J., Li, B.G., et al. (2021) Effects of Mechanical Insufflation-Exsufflation on Sputum Volume in Mechanically Ventilated Critically Ill Subjects. *Respiratory Care*, **66**, 1371-1379. <https://doi.org/10.4187/respcare.08641>
- [17] Nunes, L.D.C., Rizzetti, D.A., Neves, D., et al. (2019) Mechanical Insufflation/Exsufflation Improves Respiratory Mechanics in Critical Care: Randomized Crossover Trial. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, **266**, 115-120. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2019.05.008>
- [18] Goncalves, M.R., Honrado, T., Winck, J.C., et al. (2012) Effects of Mechanical Insufflation-Exsufflation in Preventing

-
- Respiratory Failure after Extubation: A Randomized Controlled Trial. *Critical Care*, **16**, R48.
<https://doi.org/10.1186/cc11249>
- [19] Giménez, G.C., Müller-Thies, M., Prado, F.J., *et al.* (2021) Proposed Decannulation Criteria for COVID-19 Patients. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, **100**, 730-732.
<https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001788>
- [20] Apps, C., *et al.* (2022) Use of Mechanical Insufflation Exsufflation and Manual Techniques in an Intubated Adult with COVID-19 Positioned in Prone—A Case Study. *Physiotherapy Research International*, **27**, e1961.
<https://doi.org/10.1002/pri.1961>
- [21] Henzel, M.K., Shultz, J.M., *et al.* (2020) Initial Assessment and Management of Respiratory Infections in Persons with Spinal Cord Injuries and Disorders in the COVID-19 Era. *Journal of the American College of Emergency Physicians Open*, **1**, 1404-1412. <https://doi.org/10.1002/emp2.12282>
- [22] De Camillis, M.L.F., Savi, A., Goulart, R.R., *et al.* (2018) Effects of Mechanical Insufflation-Exsufflation on Airway Mucus Clearance among Mechanically Ventilated ICU Subjects. *Respiratory Care*, **63**, 1471-1477.
<https://doi.org/10.4187/respcare.06253>