

基于临床指征分析人工气道分泌物聚集

黄宁, 毛富巍, 蔡开琳*

华中科技大学同济医学院附属协和医院胃肠外科, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年9月14日; 录用日期: 2025年10月8日; 发布日期: 2025年10月15日

摘要

目的: 有创机械通气的重症肺炎患者是围手术期呼吸道管理的重点关注人群。此类患者气道分泌物清除时机尚缺乏统一的判断标准。针对此问题, 本研究旨在分析气道峰压、血氧饱和度、呼吸音特征与气道分泌物聚集量的相关性, 明确气道清除时机的最佳判断指标。方法: 本研究在武汉协和医院综合ICU开展单中心前瞻性研究, 纳入10例因重症肺炎接受有创机械通气且需要频繁吸痰的患者作为研究对象。记录每次吸痰操作前的呼吸音类型、气道峰压升高差值、血氧饱和度降低差值以及实际吸出痰液量, 并采用皮尔逊或斯皮尔曼相关分析及限制性立方样条评估各临床指征与痰液量的相关性。结果: 本研究共收集50次气道吸痰事件的数据。单次吸出痰液量范围为1.10~8.90 g, 中位数3.35 g (IQR 2.60 g), 平均值 $3.71 \text{ g} \pm 1.84 \text{ g}$ 。呼吸音特征与痰液量呈显著高度正相关($r = 0.840, P < 0.0001$), 不同类型的异常呼吸音能够直观反映气道分泌物的聚集程度。气道峰压升高差值与痰液量亦呈显著较强的正相关($r = 0.774, P < 0.0001$), 但两者之间存在显著的非线性关系。血氧饱和度降低差值与痰液量的相关性相对较弱($r = 0.423, P = 0.0022$)。结论: 呼吸音特征可作为判断人工气道分泌物清除时机的重要指征。通过实时监测呼吸音变化, 有望实现对痰液清除时机的及时预警。

关键词

人工气道管理, 机械通气, 呼吸音特征, 痰液量, 气道峰压, 血氧饱和度

Clinical-Indicator-Based Assessment of Secretion Accumulation in Artificial Airways

Ning Huang, Fuwei Mao, Kailin Cai*

Department of Gastrointestinal Surgery, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei

Received: September 14, 2025; accepted: October 8, 2025; published: October 15, 2025

*通讯作者。

文章引用: 黄宁, 毛富巍, 蔡开琳. 基于临床指征分析人工气道分泌物聚集[J]. 临床医学进展, 2025, 15(10): 1495-1503.
DOI: 10.12677/acm.2025.15102912

Abstract

Objective: Patients with severe pneumonia receiving invasive mechanical ventilation are a priority population for perioperative respiratory management. Standardized criteria for determining the optimal timing of airway secretion clearance are lacking. This study evaluated the associations of peak inspiratory pressure (PIP), peripheral oxygen saturation (SpO₂), and breath-sound characteristics with sputum mass, aiming to identify practical indicators for suction timing. **Methods:** A prospective observational study was conducted, including 10 patients with severe pneumonia who were on invasive mechanical ventilation. The type of respiratory sounds, the increase in airway peak pressure, the decrease in blood oxygen saturation, and the amount of sputum were recorded before each suctioning procedure. Pearson/Spearman correlation analysis and restricted cubic spline plots were used to evaluate the associations between each indicator and sputum mass. **Results:** Data from 50 suctioning events were analyzed. Sputum mass per event ranged from 1.10 to 8.90 g (median 3.35 g; IQR 2.60 g; mean 3.71 ± 1.84 g). Breath-sound characteristics showed the strongest positive correlation with sputum mass ($r = 0.840$, $P < 0.0001$), with abnormal breath sounds reflecting greater secretion burden. Δ PIP was also strongly and positively correlated with sputum mass ($r = 0.774$, $P < 0.0001$) and demonstrated a significant nonlinear relationship. By contrast, Δ SpO₂ exhibited a weaker correlation ($r = 0.423$, $P = 0.0022$). **Conclusion:** Respiratory sound characteristics are good indicators for determining the optimal timing of artificial airway secretion clearance. By real-time monitoring of changes in respiratory sound characteristics, it is possible to achieve precise early warning of the optimal timing for airway secretion clearance.

Keywords

Artificial Airway Management, Mechanical Ventilation, Breath-Sound Characteristics, Sputum Mass, Peak Inspiratory Pressure (PIP), Oxygen Saturation (SpO₂)

Copyright © 2025 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. 引言

有创机械通气是重症肺炎患者生命支持的重要手段，可有效纠正低氧血症和二氧化碳潴留并维持血流动力学稳定[1][2]。然而，人工气道的建立会干扰正常的黏液纤毛清除与咳嗽反射机制，同时削弱呼吸道的加温湿化功能，致使患者难以自主排出气道分泌物[3]。因此，必须依赖医护人员经人工气道吸痰来清除潴留的分泌物。如果气道分泌物未能及时清除，患者短时间内即可出现呼吸困难。有创机械通气的重症肺炎患者是围手术期呼吸道管理的重点关注人群。医护人员必须 24 小时严密监测此类患者的呼吸状况，在必要时及时清除气道分泌物以确保气道通畅。尽管及时清除分泌物十分必要，但吸痰操作可能引发低氧血症、心律失常或气管黏膜损伤等并发症[4]-[6]，因此必须准确把握吸痰时机，仅在确有指征时实施。

美国呼吸治疗协会制定的指南[7]中建议，在出现以下指征时应及时清除气道分泌物：听诊主气管内有明显的粗湿罗音和(或)流量-容积环上的锯齿波形改变；容量控制模式时气道峰压增加或压力控制模式时潮气量减少；血氧饱和度和(或)动脉血气值恶化；气道内可见明显分泌物等。然而，这些推荐所依据的既往研究普遍缺乏高质量的循证医学证据，目前关于人工气道分泌物清除的最佳指征尚无定论。有研

究建议应结合多指征进行综合评估[8]，但重症监护室的高负荷环境下，医护人员往往依赖最易获取的指标来决定吸痰时机，比如设备报警声、闻及痰鸣音等，而非综合多维度数据进行精确判断。此外，尽管多项研究表明按需吸痰优于定时吸痰[7][9]，但在实际工作中对吸痰时机进行精准评估会明显增加决策负担。为了避免因判断失误造成分泌物滞留，临床上常采取预防性的定时吸痰策略以降低漏吸风险。综上，目前缺乏简便有效的客观评估指标，临床实践中更多依赖经验性的主观判断。这种经验驱动的决策方式可能导致吸痰不及时或过度吸痰[10]，进而影响患者的预后和呼吸道管理的精准性。

既往研究更多聚焦于医护人员如何选择气道清除指征[10]-[12]，而较少探讨不同指征与气道分泌物实际聚集程度之间的关联性，这导致了各临床指征的预测效能缺乏直接证据支持。为此，本研究在每次吸痰操作前系统收集了多项临床指征的变化数据，包括呼吸音特征、血氧饱和度和气道峰压等，并分析这些指标与吸出痰液量之间的相关性，以评估各指征在精确判断吸痰时机方面的临床价值，从而为优化重症患者的呼吸道管理策略提供临床依据。

2. 材料和方法

在武汉协和医院综合 ICU 开展前瞻性研究，纳入因重症肺炎接受有创机械通气的危重症患者作为观察对象。通过系统采集吸痰操作前的临床数据(包括呼吸音特征、呼吸机参数及痰液量)，并统计分析不同气道分泌物清除指征与气道分泌物积聚程度的关联性。

2.1. 研究对象的纳入与排除标准

本部分收集 2023 年 12 月至 2024 年 1 月，于我院综合 ICU 进行有创机械通气的患者资料。

患者纳入标准如下：

- (1) 符合美国感染病学会与美国胸科学会联合制定的重症肺炎诊断标准，且正在行有创机械通气(气管插管/气管切开)；
- (2) 年龄大于 18 岁；
- (3) 预计有创机械通气时间大于 48 小时，每日吸痰频率大于 10 次。

患者排除标准如下：

- (1) 存在活动性气道出血、气胸、严重支气管胸膜瘘等吸痰禁忌症；
- (2) 患者生命体征极不稳定，随时需要抢救治疗或预计生存时间小于 48 小时；
- (3) 使用高频振荡通气(HFOV)等特殊呼吸支持模式；
- (4) 计划转入其他医疗机构。

护士纳入标准：

- (1) ICU 工作经验大于 2 年，具有独立吸痰操作经验。

护士排除标准：

- (1) 实习期护士或临时支援护士。

2.2. 资料收集与整理

按照纳入和排除标准选定患者，首先查阅患者的病历资料收集患者的一般人口学信息，查看呼吸机界面记录有创机械通气的模式、吸氧浓度。嘱管床护士自主判断气道清除时机并记录相关气道清除指征数据变化。首先，通过床旁监护仪与呼吸机记录非吸痰时段内的随机数据以及每次吸痰前 1 分钟的数据，包括血氧饱和度(SpO₂)、气道峰压(Peak Inspiratory Pressure, PIP)。另外，需将听诊器置于患者胸骨上切迹处记录吸痰前的喉部呼吸音，按呼吸音特征进行分类：I 类、无异常呼吸音；II 类、偶发湿罗音(吸气相或

呼气相); III类、持续湿罗音伴或不伴痰鸣音; IV类、广泛痰鸣音伴或不伴气管振动; 可见明显气管内痰液喷出。最后, 对每次吸出的痰液量进行评估。在本工作中, 我们参考之前的相关研究[13], 最终选择痰液重量作为评估痰液量的指标。测量前, 均需使用统一吸痰系统进行操作, 并将吸痰负压设置为 -120 mmHg, 单次抽吸时间 ≤ 15 秒。操作流程需依次完成 3 次独立的抽吸动作以确保尽可能吸净痰液。待操作全部完成后, 立即将收集装置(含吸痰管和容器)于室温下, 在精密电子天平上称重。测量时应扣除吸痰管、容器的重量, 最终所得数值便是痰液净重, 精确至 0.1 g。整个过程注意无菌操作, 预防交叉感染。

本部分为单中心探索性研究, 基于可行性原则初步纳入 10 例患者, 每例患者完成 5 次吸痰操作的观察记录, 最终纳入总样本量为 50 次的吸痰事件。由于研究对象为危重症患者, 所以在观察期间, 不干涉任何原计划的治疗性操作。本研究在华中科技大学同济医学院附属协和医院伦理委员会的批准程序下进行(批件号: [2022]伦审字(0724-01)号)。

2.3. 统计学方法

本研究所有统计分析均使用 SPSS 29.0、SAS 和 R 语言完成。连续变量以均值 \pm 标准差和中位数(四分位间距)表示, 分类变量以百分比表示。皮尔逊相关系数(r)和斯皮尔曼相关系数(ρ)用于评估两个变量之间的线性相关性。相关系数(r)的取值范围为 -1 到 1 。 r 或 $\rho > 0$ 表示正相关, r 或 $\rho < 0$ 表示负相关, r 或 $\rho = 0$ 表示无相关性。相关系数的绝对值越大, 表示相关性越强。限制性立方样条分析用于评估变量间的非线性关系。所有统计检验均为双侧检验, $P < 0.05$ 被认为有统计学差异。

3. 结果

3.1. 气道分泌物清除临床指征数据分布及病例基本特征

研究共纳入 10 例在综合 ICU 内行有创机械通气的重症肺炎患者, 男性 6 人, 女性 4 人, 平均年龄 63.6 岁, 最大年龄 81 岁, 最小年龄 49 岁。其中行容量同步间歇指令通气有 8 人, 行压力同步间歇指令通气 2 人。经口气管插管 8 人, 气管切开 2 人。吸氧浓度均在 35%至 50%之间, 平均吸氧浓度为 40%。每个患者记录 5 次吸痰事件, 最终总共收集了 50 次吸痰事件。在这 50 次吸痰事件中, 单次吸出痰液量最大值为 8.90 g, 单次吸出痰液量最小值为 1.10 g, 中位值为 3.35 g, 平均值为 3.71 g, 四分位间距(IQR)为 2.60 g, 标准差为 1.84。非吸痰时段血氧饱和度范围为 95%至 100%。吸痰前血氧饱和度范围为 93%至 100%。吸痰前血氧饱和度降低差值(吸痰前 - 非吸痰时段)最大值为 3.00, 最小值为 -1.00 , 中位值为 0.00, 平均值为 0.60, 四分位间距(IQR)为 1.00, 标准差为 0.81。非吸痰时段气道峰压范围为 18 至 23 cmH₂O。吸痰前气道峰压范围为 19 至 33 cmH₂O。吸痰前气道峰压升高差值(吸痰前 - 非吸痰时段)最大值为 11 cmH₂O, 最小值为 0.00 cmH₂O, 中位值 1.50 cmH₂O, 平均值为 2.28 cmH₂O, 标准差 2.58。在所有呼吸音特征中, II类有 9 个, 占比 18%; III类有 31 个, 占比 62%; IV类有 10 个, 占比 20%, 如表 1 所示。

3.2. 气道峰压、血氧饱和度、呼吸音特征与痰液量的相关性

吸痰前气道峰压升高的差值与痰液量之间的皮尔逊相关系数为 0.774 ($P < 0.0001$), 表明两者之间存在显著且较强的正向相关性, 如图 1(a)。然而, 进一步的限制性立方样条分析显示, 吸痰前气道峰压升高的差值与痰液量之间存在显著的非线性关系($P < 0.05$), 如图 1(b), 这表明气道峰压的变化并不能直接、线性地反映痰液积聚的程度。所以, 气道峰压并不是指导清除气道分泌物时机的理想指标。在临床实践中, 气道峰压的升高可能受到多种因素的影响, 因此单纯依赖气道峰压的变化来判断气道分泌物积聚程度可能会导致误判。

Table 1. Distribution characteristics of clinical indicators for airway secretion clearance**表 1.** 不同气道分泌物清除临床指标的分布特征

	最大值	最小值	中位值	平均值	IQR	标准差	百分比
痰液量(g)	8.90	1.10	3.35	3.71	2.60	1.84	-
PIP 差值(cmH ₂ O)	11.00	0.00	1.50	2.28	2.00	2.58	-
SpO ₂ 差值(%)	3.00	-1.00	0.00	0.60	1.00	0.81	-
呼吸音类型							
II 类	-	-	-	-	-	-	18%
III 类	-	-	-	-	-	-	62%
IV 类	-	-	-	-	-	-	20%

吸痰前 SpO₂ 降低的差值与痰液量之间的皮尔逊相关系数为 0.423 ($P = 0.0022$), 表明两者之间的正向相关性显著, 如图 1(c) 所示。同时限制性立方样条显示, 二者之间不存在非线性关系 ($P > 0.05$), 如图 1(d), 这表明吸痰前 SpO₂ 降低的差值可以较为直接地反映气道内痰液量的积聚。然而, 由于其相关性强度相对较弱, 仅依靠 SpO₂ 降低差值可能无法准确判断痰液量的聚集程度。因此, 虽然 SpO₂ 降低差值可以作为参考指标之一, 但单独使用时可能不够敏感, 需要结合其他指标进行综合评估。

呼吸音特征与痰液量之间的斯皮尔曼相关系数为 0.840 ($P < 0.0001$), 表明两者之间存在显著且程度较高的正向相关性, 如图 1(e) 所示。不同类型的呼吸音特征能够直观地反映气道分泌物的聚集程度。此外, 呼吸音特征的评估相对简单且易于操作, 适合在临床实践中快速应用。因此, 呼吸音特征在评估痰液聚集程度时具有较大的临床价值。

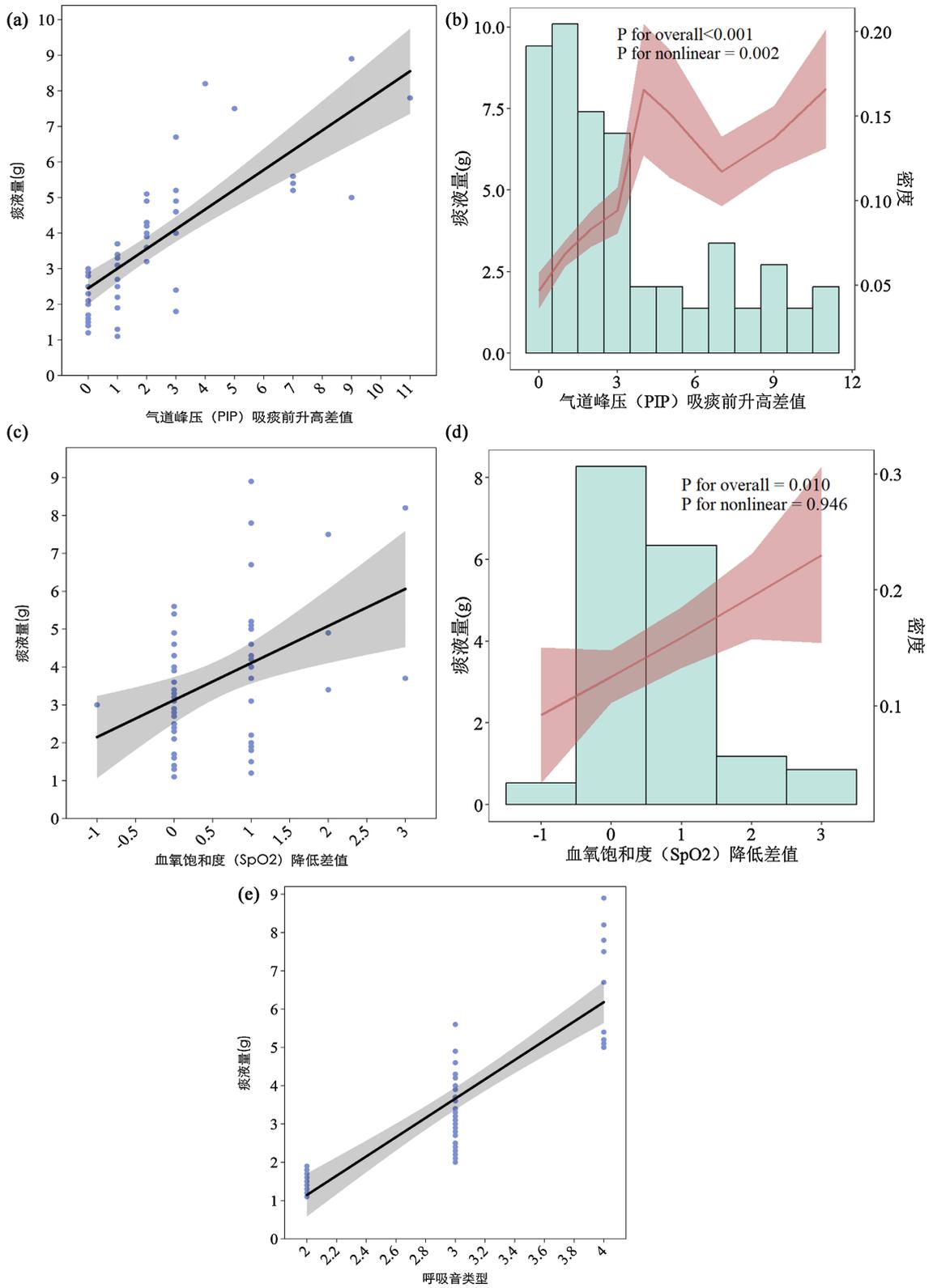
综上所述, 气道峰压、血氧饱和度和呼吸音特征均与痰液量存在一定的相关性, 但它们各自的特点和局限性决定了它们在临床应用中的价值。如表 2 所示, 气道峰压虽然与痰液量相关性强, 但其非线性关系表明其不能直接反映痰液积聚程度; 血氧饱和度降低差值虽然关系简单直接, 但相关性强度较弱, 敏感性不足; 而呼吸音特征则具有最强的相关性 ($\rho = 0.840$) 和高度统计学显著性 ($P < 0.0001$), 且其分类性质使其在临床实践中易于评估和应用。因此, 本研究认为呼吸音特征可以较好地反映气道分泌物的聚集情况, 其有助于更准确地指导气道分泌物清除的时机。

4. 讨论

本研究前瞻性观察了 10 位重症肺炎患者有创机械通气期间, 共 50 次的气道清除事件, 并收集了每次气道清除前的气道峰压、血氧饱和度及呼吸音特征等临床指征的变化, 分析了它们与气道分泌物积聚程度的相关性。研究结果初步表明, 相较于气道峰压和血氧饱和度, 呼吸音特征与痰液量的相关性最强, 且其可以较直接线性地反映气道分泌物的聚集程度。这一发现可以提示呼吸音特征在判断气道分泌物清除时机中具有较大临床价值。

对于有创机械通气的危重患者, 人工气道分泌物的有效清除是保持气道通畅、预防肺不张及减少肺部感染的重要方法[7]。这一操作在临床上十分常见且需要医护人员频繁执行, 其准确性和及时性直接影响了患者的预后及并发症风险。因此, 明确气道分泌物清除指征并选择合适的清除时机至关重要。

呼吸机参数是既往研究中提到较多的气道分泌物清除指征[8] [12] [13], 其主要包括气道峰压和流量-容积环上的锯齿波形。气道峰压是机械通气过程中监测到的气道最高压, 其是气道阻力和肺顺应性的总和。流量-容积环上的锯齿波形通常由气道阻力异常引起。当气流通过受阻部位时, 因湍流等原因导致的压力与流速的周期性波动, 进而在呼吸机波形上表现的锯齿状。本研究发现吸痰前气道峰压升高



(a) (b) 吸痰前 PIP 升高差值; (c) (d) 吸痰前 SpO₂ 降低差值; (e) 呼吸音类型与痰液量的相关性。

Figure 1. Association of sputum volume with PIP, SpO₂, and breath sound characteristics

图 1. 痰液量与气道峰压、血氧饱和度及呼吸音特征的关联性分析

Table 2. Correlation of airway secretion clearance indicators with sputum volume
表 2. 气道分泌物清除相关指标与痰液量的相关性分析

预测因子	结果指标	相关系数	P 值
PIP 差值	痰液量(g)	0.774	<0.0001
SpO ₂ 差值	痰液量(g)	0.423	0.0022
呼吸音类型	痰液量(g)	0.840	<0.0001

差值与痰液量间存在显著且较强的正向相关性。然而,进一步的限制性立方样条分析显示,吸痰前气道峰压升高的差值与痰液量之间存在显著的非线性关系,即气道峰压在痰液量较低时,即使痰液量有一定程度增加,其也不会明显升高。这或许是因为在痰液量较少时,气道的狭窄程度尚未对气流产生明显阻力。然而,当痰液量达到一定程度后,气道峰压会明显升高,这表明痰液量对气道峰压的影响存在一个“临界点”,超过该点后,气道峰压的变化才会变得更加敏感,这提示气道峰压或许并不能早期提示气道分泌物的存在。Kawati 等人[14]在动物实验中也得到了相似的结论,即只有痰液量聚集到影响通气后,它才会出现陡然升高,具有滞后性。所以,如果仅通过气道峰压判断气道清除时机,或许会出现痰液量较少时,气道峰压升高不明显,从而导致医护人员低估痰液的积聚程度,而气道峰压明显升高时,可能患者已经出现了严重的通气障碍,此时需要立即解除气道阻塞,从而错过早期干预时机。另外,气道峰压的变化不仅受气道内痰液量的影响,还可能受到其他多种因素的干扰,比如患者的肺顺应性、人机对抗、容量或压力控制的通气模式[15][16]等。这些因素的综合作用使得气道峰压与气道内痰液量的关系更加复杂。医护人员需要结合气道平台压,并排除气道痉挛、肺顺应性改变,呼吸机管路扭曲或气囊压迫气道等原因后,才能做出最终判断,这对于初级医护人员很不友好。所以,仅使用气道峰压并不能及时准确地评估气道分泌物清除的时机。

1994 年, Jubran 等人[12]首次报道了在有创机械通气的患者中,流量-容积环上的锯齿波形对提示存在气道分泌物具有较高的敏感性和特异性。美国呼吸治疗协会(AARC)制定的指南中也推荐将流量-容积环上的锯齿波形作为气道清除的指征之一。但临床实际中,却很少有医护人员将其作为指征。在一项研究中[17]指出,只有 14%的医护人员会将呼吸机上的锯齿波形视为气道清除的指征。另外一项研究[8]也指出,虽然流速-容积环上的锯齿状波形更敏感,但临床实际中较常使用流速-时间环,而只有 33%的流速-时间环上出现了锯齿波形。另外,除了气道分泌物聚集,通气管路位置异常、通气管路内积水等也是锯齿状波形出现的常见原因[18]。综上所述,由于锯齿波形在临床实践中具有一定的识别难度,且其出现可能受到多种因素的影响,导致其在实际应用中并非一个广泛使用的指标。因此,本研究未对呼吸机波形上的锯齿波形与气道分泌物积聚程度之间的相关性进行分析。

血氧饱和度是指血液中氧合血红蛋白占总血红蛋白的比例,通常以百分比表示。它是评估人体氧合状态的重要指标,反映了血液携带和输送氧气的的能力。重症监护室内,血氧饱和度一般通过床旁生命体征监护仪测得。如果人工气道分泌物持续积聚,会阻碍患者正常的通气过程,最终可能导致血氧饱和度的变化。本研究发现吸痰前 SpO₂降低的差值与气道分泌物聚集量之间的正向相关性显著。同时限制性立方样条显示,二者之间不存在非线性关系,这表明吸痰前 SpO₂降低的差值可以较为直接地反映气道内痰液量的积聚。然而,其相关性强度相对较弱($r = 0.423, P = 0.0022$),这或许是因为有创机械通气的大部分患者接受了较高浓度吸氧,使得 SpO₂维持在较高水平,即使人工气道内存在一定程度的气道分泌物积聚,其也不会明显下降。另外,SpO₂反映的是当前血液中的氧合情况,在气道分泌物积聚的早期阶段,可能仅有一侧肺受到影响,此时引起的气道阻塞还不足以导致整个肺部出现通气障碍。在这种情况下,机体可通过代偿机制(如呼吸频率加快)暂时维持 SpO₂,直到代偿不足时 SpO₂才会下降[19]。因此,仅依靠 SpO₂

降低差值可能无法准确判断痰液量的聚集程度。

闻及气道内粗湿罗音是 AARC 指南中推荐的证据等级最高的气道清除指征。当气道分泌物增多时,气流通过狭窄或者含液体的气道时会产生湍流或振动,形成特征性的异常呼吸音。在本研究中,有 9 次气道清除操作对应的呼吸音特征为少量湿罗音,有 30 次对应的呼吸音特征是广泛湿罗音伴或不伴痰鸣音,有 11 次对应的呼吸音特征是广泛痰鸣音伴或不伴气管振动。这侧面说明了医护人员在基于呼吸音特征选择气道清除时机时存在一定的主观差异。Lucchini 等人[10]的研究中也发现了同样的问题,他们认为这反映了医护人员在清除气道分泌物时,存在过早清除和清除不及时的问题。但即使存在这种差异,本研究仍发现,不同类型的呼吸音特征与痰液量间存在显著且较强的正向相关性。II 类呼吸音的痰液量中位值为 1.5 g, III 类的中位值为 3.25 g, IV 类的中位值为 6.7 g。这说明随着呼吸音特征分类等级的增加,痰液量也呈现递增趋势。这种呼吸音特征随痰液量增加而变化的规律,可为医护人员提供一种动态监测气道分泌物聚集程度的依据。

尽管本研究在一定程度上分析了不同气道清除指征与气道分泌物积聚程度的相关性,并发现了呼吸音特征在气道分泌物积聚程度评估中的临床价值,但仍存在一些局限性。首先,本研究为单中心研究且样本获取难度较大,样本量相对较小,可能限制了研究结果的普适性。未来需要在多中心、大样本的条件下,进一步优化实验方案。其次,本研究中呼吸音特征的分类主要基于人工听诊,可能存在主观性差异,应考虑使用更客观的电子呼吸音监测设备,以提高评估的准确性。

5. 结论

本研究通过分析不同指征与气道分泌物实际聚集程度之间的关联性,发现了呼吸音特征在判断气道分泌物聚集程度中的临床价值。相较于其他指标如气道峰压和血氧饱和度,呼吸音特征与痰液量的相关性最强,且其能够直观反映气道分泌物的动态聚集过程。这一发现为优化重症肺炎患者的呼吸道管理提供了循证医学证据,尤其为开发基于呼吸音持续监测的智能化设备提供了关键支持。另外,该结果强调了呼吸音评估在重症监护中的实用性,为促进有创机械通气患者精准动态化管理策略提供了新思路。通过实时捕捉呼吸音特征变化,有望实现气道分泌物清除时机的及时预警,从而做到早期识别早期干预。

参考文献

- [1] Telias, I., Brochard, L.J., Gattarello, S., Wunsch, H., Junhasavasdikul, D., Bosma, K.J., *et al.* (2022) The Physiological Underpinnings of Life-Saving Respiratory Support. *Intensive Care Medicine*, **48**, 1274-1286. <https://doi.org/10.1007/s00134-022-06749-3>
- [2] Walter, K. (2021) Mechanical Ventilation. *JAMA*, **326**, Article 1452. <https://doi.org/10.1001/jama.2021.13084>
- [3] Morrow, B.M. and Argent, A.C. (2008) A Comprehensive Review of Pediatric Endotracheal Suctioning: Effects, Indications, and Clinical Practice. *Pediatric Critical Care Medicine*, **9**, 465-477. <https://doi.org/10.1097/pcc.0b013e31818499cc>
- [4] Maggiore, S.M., Lellouche, F., Pignataro, C., Girou, E., Maitre, B., Richard, J.M., *et al.* (2013) Decreasing the Adverse Effects of Endotracheal Suctioning during Mechanical Ventilation by Changing Practice. *Respiratory Care*, **58**, 1588-1597. <https://doi.org/10.4187/respcare.02265>
- [5] Dexter, A.M. and Scott, J.B. (2019) Airway Management and Ventilator-Associated Events. *Respiratory Care*, **64**, 986-993. <https://doi.org/10.4187/respcare.07107>
- [6] Seymour, C.W., Cross, B.J., Cooke, C.R., *et al.* (2009) Physiologic Impact of Closed-System Endotracheal Suctioning in Spontaneously Breathing Patients Receiving Mechanical Ventilation. *Respiratory Care*, **54**, 367-374.
- [7] Blakeman, T.C., Scott, J.B., Yoder, M.A., Capellari, E. and Strickland, S.L. (2022) AARC Clinical Practice Guidelines: Artificial Airway Suctioning. *Respiratory Care*, **67**, 258-271. <https://doi.org/10.4187/respcare.09548>
- [8] 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>
- [9] Sontakke, N.G., Sontakke, M.G. and Rai, N.K. (2023) Artificial Airway Suctioning: A Systematic Review. *Cureus*, **15**,

- e42579. <https://doi.org/10.7759/cureus.42579>
- [10] Lucchini, A., Zanella, A., Bellani, G., Gariboldi, R., Foti, G., Pesenti, A., *et al.* (2011) Tracheal Secretion Management in the Mechanically Ventilated Patient: Comparison of Standard Assessment and an Acoustic Secretion Detector. *Respiratory Care*, **56**, 596-603. <https://doi.org/10.4187/respcare.00909>
- [11] Guglielminotti, J., Alzieu, M., Maury, E., Guidet, B. and Offenstadt, G. (2000) Bedside Detection of Retained Tracheo-bronchial Secretions in Patients Receiving Mechanical Ventilation. *Chest*, **118**, 1095-1099. <https://doi.org/10.1378/chest.118.4.1095>
- [12] Jubran, A. and Tobin, M.J. (1994) Use of Flow-Volume Curves in Detecting Secretions in Ventilator-Dependent Patients. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **150**, 766-769. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.150.3.8087350>
- [13] Seyedhejazi, M., Sheikhzade, D., Aliakbari Sharabiani, B., Abri, R. and Sadeghian, M. (2019) Evaluating the Effects of Post-Intubation Endotracheal Suctioning before Surgery on Respiratory Parameters in Children with Airway Secretion. *Anesthesiology and Pain Medicine*, **9**, e86486. <https://doi.org/10.5812/aapm.86486>
- [14] Kawati, R., Lattuada, M., Sjöstrand, U., Guttman, J., Hedenstierna, G., Helmer, A., *et al.* (2005) Peak Airway Pressure Increase Is a Late Warning Sign of Partial Endotracheal Tube Obstruction Whereas Change in Expiratory Flow Is an Early Warning Sign. *Anesthesia & Analgesia*, **100**, 889-893. <https://doi.org/10.1213/01.ane.0000160011.19863.9b>
- [15] Salihoglu, T., Salihoglu, Z., Zengin, A.K., Taskin, M., Colakoglu, N. and Babazade, R. (2013) The Impacts of Super Obesity versus Morbid Obesity on Respiratory Mechanics and Simple Hemodynamic Parameters during Bariatric Surgery. *Obesity Surgery*, **23**, 379-383. <https://doi.org/10.1007/s11695-012-0783-0>
- [16] Buratti, C.R., Piva, J. and Jouvet, P. (2022) Peak Inspiratory Pressure to Estimate Plateau Pressure in Pressure Controlled Modes: Be Aware of Age and Disease. *Pediatric Critical Care Medicine*, **23**, 225-226. <https://doi.org/10.1097/pcc.0000000000002896>
- [17] Sole, M.L. and Bennett, M. (2014) Comparison of Airway Management Practices between Registered Nurses and Respiratory Care Practitioners. *American Journal of Critical Care*, **23**, 191-200. <https://doi.org/10.4037/ajcc2014424>
- [18] Evers, J.M., Minton, L.A., Webb, C., Taylor, R.M. and York, N.L. (2024) Care of the Patient with an Artificial Airway. *Dimensions of Critical Care Nursing*, **43**, 202-211. <https://doi.org/10.1097/dcc.0000000000000648>
- [19] Falsaperla, R., Giacchi, V., Saporito, M.A.N., Pavone, P., Puglisi, F. and Ruggieri, M. (2021) Pulse Oximetry Saturation (SpO₂) Monitoring in the Neonatal Intensive Care Unit (NICU): The Challenge for Providers: A Systematic Review. *Advances in Neonatal Care*, **22**, 231-238. <https://doi.org/10.1097/anc.0000000000000914>