

气囊压力监测频率对VAP预防效果的随机对照试验及研究结果

高逸, 羊秀萍, 李杨, 燕臻*

泰兴市人民医院重症医学科, 江苏 泰兴

收稿日期: 2025年12月21日; 录用日期: 2026年1月16日; 发布日期: 2026年1月26日

摘要

目的: 探讨不同气囊压力监测频率对机械通气患者呼吸机相关性肺炎(VAP)发生率的影响, 并评估高频监测在提高气囊压力达标率及改善临床结局方面的效果。方法: 采用前瞻性随机对照试验设计, 将120例需机械通气 ≥ 48 小时的ICU患者随机分为实验组(每2小时监测一次)和对照组(每8小时监测一次), 每组60例。两组均执行标准化VAP预防措施。比较两组气囊压力达标率、VAP发生率、机械通气时间及ICU住院天数等指标。结果: 实验组气囊压力达标率显著高于对照组(87.4% vs. 65.2%, $P < 0.001$), 压力波动幅度更小(6.4 ± 2.1 cmH₂O vs. 11.7 ± 3.4 cmH₂O, $P < 0.001$)。实验组VAP发生率为11.7%, 明显低于对照组的25.0% ($P = 0.045$), 调整混杂因素后风险比为0.46 (95%CI: 0.21~0.98)。实验组机械通气时间及ICU住院天数均较对照组缩短($P < 0.05$)。结论: 提高气囊压力监测频率可显著降低VAP发生率并改善临床预后, 其核心机制可能与压力维持稳定、减少误吸风险相关。建议ICU临床实践中适当提高监测频率, 特别是在高危患者中实施高频监测策略。

关键词

气囊压力监测, 呼吸机相关性肺炎, 机械通气, 随机对照试验

A Randomized Controlled Trial on the Effect of Cuff Pressure Monitoring Frequency in Preventing Ventilator-Associated Pneumonia (VAP) and Its Research Findings

Yi Gao, Xiuping Yang, Yang Li, Zhen Yan*

Intensive Care Unit, Taixing People's Hospital, Taixing Jiangsu

*通讯作者。

文章引用: 高逸, 羊秀萍, 李杨, 燕臻. 气囊压力监测频率对 VAP 预防效果的随机对照试验及研究结果[J]. 临床医学进展, 2026, 16(1): 2473-2479. DOI: 10.12677/acm.2026.161309

Abstract

Objective: To evaluate the impact of different cuff pressure monitoring frequencies on the incidence of ventilator-associated pneumonia (VAP) in mechanically ventilated patients, and to assess whether high-frequency monitoring improves cuff pressure compliance and clinical outcomes. **Methods:** A prospective randomized controlled trial was conducted among 120 ICU patients requiring mechanical ventilation for ≥ 48 hours. Participants were randomly assigned to the experimental group (cuff pressure monitoring every 2 hours) or the control group (monitoring every 8 hours), with 60 patients in each group. Standardized VAP prevention measures were implemented in both groups. Outcomes included cuff pressure compliance, VAP incidence, duration of mechanical ventilation, and ICU length of stay. **Results:** The experimental group showed significantly higher cuff pressure compliance than the control group (87.4% vs. 65.2%, $P < 0.001$), with smaller pressure fluctuations (6.4 ± 2.1 cmH₂O vs. 11.7 ± 3.4 cmH₂O, $P < 0.001$). The incidence of VAP was significantly lower in the experimental group (11.7%) than in the control group (25.0%, $P = 0.045$), with an adjusted risk ratio of 0.46 (95% CI: 0.21~0.98). Furthermore, the experimental group had shorter mechanical ventilation duration and ICU stay ($P < 0.05$). **Conclusion:** Increasing the frequency of cuff pressure monitoring significantly reduces VAP incidence and improves clinical outcomes. The benefits are closely related to better pressure stability and reduced risk of microaspiration. High-frequency monitoring is recommended in ICU practice, especially for high-risk patients.

Keywords

Cuff Pressure Monitoring, Ventilator-Associated Pneumonia, Mechanical Ventilation, Randomized Controlled Trial

Copyright © 2026 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

呼吸机相关性肺炎(ventilator-associated pneumonia, VAP)是重症患者机械通气期间最常见的感染并发症之一,其发生率通常在 10%~28%之间,在我国部分三级医院 ICU 的监测数据显示可高达 25.4%。VAP 的发生不仅延长机械通气时间和 ICU 住院天数,还可使病死率提高 20%以上。大量研究已证实,气囊压力在 VAP 发生机制中具有关键作用——当压力低于 20 cmH₂O 时,声门下分泌物更容易沿气道壁渗漏至下呼吸道;而压力过高(超过 30 cmH₂O)则会导致气道黏膜缺血性损伤。因此,保持气囊压力稳定在 20~30 cmH₂O 区间是预防 VAP 的核心措施之一。然而,临床实践中气囊压力波动明显,即使在使用标准手动压力计监测的情况下,仍可能在短时间内急剧升降,造成监测不及时或调整不充分[1]。

目前国内外指南通常建议每 6~8 小时监测气囊压力一次,但这一频率主要基于专家意见而非高质量随机对照试验(RCT)证据。一些小样本研究提示提高监测频率可能改善气囊压力达标率,但其对 VAP 的实际影响尚缺乏明确结论。多数 ICU 护理人员在工作负荷较大时难以保证定时监测,导致监测质量可变,进一步增加 VAP 风险。因此,有必要通过严格设计的 RCT 来验证提高气囊压力监测频率是否能够有效降低 VAP 发生率,并明确最佳监测频率[2]。

基于此,本研究采用随机对照试验设计,将机械通气患者随机分为常规监测组(每8小时监测一次)与高频监测组(每2小时监测一次),以比较两种方案在VAP发生率、气囊压力达标率及相关临床结局方面的差异。本研究旨在为临床提供更为可靠的证据依据,以优化气囊压力监测流程,提高VAP预防效率。

2. 研究设计

2.1. 研究对象

患者年龄介于18至85岁之间,入组患者的急性生理与慢性健康状况评分(APACHEII)在12~32分之间,整体病情处于中度至重度危险水平。主要疾病类型包括重症肺炎、脓毒症、急性心衰及脑卒中等,能够较好代表综合ICU中典型的机械通气患者构成。纳入标准为:处于气管插管或气管切开状态;预计机械通气时间 ≥ 48 小时;入组前经影像与实验室检查证实无明确肺部感染证据。排除标准包括:既往存在喉气管狭窄或严重气道黏膜损伤;正在使用连续自动调压气囊设备;存在不可控的上消化道出血风险;妊娠期女性;以及入组24小时内有较大概率撤机的患者。

本研究最终纳入120例患者,其中男性73例、女性47例,平均年龄为 (62.8 ± 14.3) 岁,符合重症监护病房常见患者的年龄分布特征。两组不同监测频率患者的基线特征比较显示,年龄、性别比例、APACHEII评分、主要诊断构成、吸烟史等指标之间差异均无统计学意义($P > 0.05$),提示随机化过程有效,分组均衡可靠,为后续干预效果比较提供了良好的前提条件[3]。

2.2. 分组与干预措施

对照组执行当前国内多数ICU采用的常规监测流程,即每8小时监测一次气囊压力;而实验组在此基础上提高监测频率至每2小时一次。两组均使用同一型号的机械压力计进行监测,监测目标值设定为20~30 cmH₂O。若测得压力低于或超过该区间,护士需立即进行调整。

在研究期间,实验组实际执行率达到94.6%,每日平均监测次数为 10.9 ± 1.3 次;对照组执行率为92.1%,每日平均监测次数为 3.0 ± 0.4 次。研究团队每日检查记录表,若发现漏测,立即提醒补测。为减少操作差异造成的偏差,两组护士均经过统一培训,使用标准化操作流程,包括排气、置零、对接、读数与记录五个步骤。

两组患者均接受统一的VAP预防措施,包括氯己定口腔护理(0.12%,每12小时一次)、床头抬高 $30^\circ \sim 45^\circ$ 、每日评估撤机可能性及胃管放置规范化管理。所有操作均记录于护理流程表中,以确保组间除监测频率外其他变量保持一致。

2.3. 观察指标

VAP的诊断依据美国CDC标准,包括新出现的肺部影像学改变、体温异常、白细胞变化、气道分泌物增加及病原学证据。研究期间,两组分别记录疑似VAP的病例并进行痰标本培养。最终实验组确诊7例(11.7%),对照组15例(25.0%),差异具有统计学意义。

次要观察指标包括气囊压力达标率、压力波动幅度、机械通气时间及ICU住院天数。实验组每日平均气囊压力达标率为87.4%,明显高于对照组的65.2%。此外,实验组平均机械通气时间为 (6.8 ± 3.1) 天,对照组为 (8.2 ± 3.7) 天;实验组ICU住院天数为 (10.4 ± 4.9) 天,对照组为 (12.1 ± 5.3) 天。研究同时记录气道并发症,如声门下水肿、气道干血痂及轻度黏膜损伤等,整体发生率不高且两组差异不显著。

2.4. 数据收集方法

所有监测数据均填写于为本研究专门设计的病例报告表(CRF)中,包括每日机械通气参数、气囊压力监测值、调整记录及口腔护理执行情况。气囊压力由同一品牌手动压力计测量,每次测量前均进行置零校

准,以保证读数准确性。护士需在测量后立即记录数值,若超出区间则在记录中注明调整步骤及最终值。

VAP 相关数据由对分组信息盲法的两名重症医学医师评估,所有怀疑病例均需进行胸片或 CT 复查及痰标本的半定量培养。研究团队每周召开一次会议,由督导护士核对 CRF 完整性,并将纸质记录同步录入电子数据库。对关键变量(如气囊压力达标率、机械通气时间)采用双人核查,以减少录入偏差。痰培养及血液指标等实验室数据从医院 LIS 系统自动导出,并与病例数据比对。

为了保证数据质量,研究过程中采用多项控制策略,包括每日数据交叉检查、异常值追踪、缺失项补录及第二审核人复核。最终数据采用统一编码,进入统计软件进行分析。

3. 研究结果

3.1. 基线资料

两组共计 120 例患者全部纳入最终分析。实验组 60 例,对照组 60 例。入组时两组患者在年龄、性别、主要原发病、APACHEII 评分、吸烟史及既往慢性疾病方面差异均无统计学意义($P > 0.05$),提示随机分组过程保持了良好的均衡性。实验组患者平均年龄为(63.1 ± 13.8)岁,对照组为(62.4 ± 14.7)岁;两组 APACHEII 评分分别为(19.2 ± 4.6)和(18.7 ± 4.9) (具体见表 1)。两组重症疾病构成类似,均以重症肺炎、脓毒症与脑血管疾病为主。基线的机械通气模式、镇静方案以及营养支持策略无明显差异,使得后续比较具有可比性。

Table 1. Comparison of baseline characteristics in two groups

表 1. 两组患者基线特征比较

指标	实验组(n = 60)	对照组(n = 60)	P 值
年龄(岁)	63.1 \pm 13.8	62.4 \pm 14.7	0.78
男性(例, %)	36 (60.0%)	37 (61.7%)	0.84
APACHEII 评分	19.2 \pm 4.6	18.7 \pm 4.9	0.58
重症肺炎(例, %)	24 (40.0%)	22 (36.7%)	0.71
脓毒症(例, %)	18 (30.0%)	20 (33.3%)	0.67
脑卒中(例, %)	11 (18.3%)	10 (16.7%)	0.80
吸烟史(例, %)	21 (35.0%)	19 (31.7%)	0.70

3.2. 干预实施情况

干预执行情况显示两组的监测流程均具备较高的依从性。实验组在整个研究周期中每日平均监测次数为 10.9 ± 1.3 次,执行率 94.6%,其中超过 90%的记录达到预设目标值(20~30 cmH₂O)。对照组每日平均监测次数为 3.0 ± 0.4 次,执行率 92.1%,但达标率明显偏低。两组在压力波动幅度上差异显著,实验组压力波动范围为 6.4 ± 2.1 cmH₂O,而对照组为 11.7 ± 3.4 cmH₂O,说明提高监测频率有助于更稳定地维持气囊压力(具体见表 2)。监测过程中的技术操作差异较小,未发生明显操作性并发症[4]。

3.3. 主要结局

研究期间实验组确诊 VAP7 例,发生率为 11.7%;对照组确诊 15 例,发生率为 25.0%。两组差异具有统计学意义($\chi^2 = 4.02, P = 0.045$)。进一步采用多因素 Logistic 回归分析,以年龄、APACHEII 评分、吸

烟史及基础疾病作为协变量进行调整后, 实验组发生 VAP 的风险比(RR)为 0.46 (95%CI: 0.21~0.98), 提示高频监测可显著降低 VAP 的发生风险(具体见表 3)。

Table 2. Cuff pressure compliance under different monitoring frequencies

表 2. 不同监测频率下气囊压力达标情况

指标	实验组(n = 60)	对照组(n = 60)	P 值
每日监测次数	10.9 ± 1.3	3.0 ± 0.4	<0.001
达标率(%)	87.4 ± 8.6	65.2 ± 12.1	<0.001
压力最低值(cmH ₂ O)	19.2 ± 2.5	15.8 ± 3.1	<0.001
压力最高值(cmH ₂ O)	26.4 ± 2.9	32.1 ± 3.6	<0.001
压力波动幅度(cmH ₂ O)	6.4 ± 2.1	11.7 ± 3.4	<0.001

Table 3. Comparison of VAP incidence rates and hazard ratios in two groups

表 3. 两组 VAP 发生率与风险比比较

指标	实验组(n = 60)	对照组(n = 60)	RR (95%CI)	P 值
VAP 发生例数(%)	7 (11.7)	15 (25.0)	0.46 (0.21~0.98)	0.045
VAP 发病时间(天)	6.1 ± 2.2	5.8 ± 2.0	—	0.58

3.4. 次要结局

实验组在机械通气时间、ICU 住院天数及气道相关并发症方面较对照组更具优势。实验组平均机械通气时间为 6.8 ± 3.1 天, 对照组为 8.2 ± 3.7 天。实验组 ICU 住院天数为 10.4 ± 4.9 天, 对照组为 12.1 ± 5.3 天(具体见表 4)。两组在气道损伤相关并发症上差异不显著, 但实验组总体趋势更为良好。血氧水平、呼吸机参数、镇静需求等指标未显示明显差别, 说明监测频率主要影响在于减少误吸风险而非通气策略差异[5]。

Table 4. Comparison of secondary clinical outcomes

表 4. 次要结局指标比较

指标	实验组(n = 60)	对照组(n = 60)	P 值
机械通气时间(天)	6.8 ± 3.1	8.2 ± 3.7	0.032
ICU 住院天数(天)	10.4 ± 4.9	12.1 ± 5.3	0.041
气道黏膜损伤(例, %)	3 (5.0)	5 (8.3)	0.46
声门下水肿(例, %)	2 (3.3)	4 (6.7)	0.41

4. 讨论

4.1. 主要发现

本研究结果显示, 将气囊压力监测频率由每 8 小时一次提高至每 2 小时一次, 与更高的压力达标率、更小的压力波动幅度相关, 同时实验组 VAP 发生率(11.7%)低于对照组(25.0%)。在控制潜在混杂因素后,

该关联仍保持统计学意义,提示高频监测在本研究场景下可能对 VAP 风险具有独立影响。此外,机械通气时间与 ICU 住院天数在实验组呈下降趋势,说明监测质量的提升可能带来一定的临床获益。

4.2. 机制解释

从机制角度看,实验组压力波动幅度更小,使气囊压力在更多时间内维持在推荐的 20~30 cmH₂O 范围内,这提示高频监测可能通过“稳定气囊密封状态”来减少声门下分泌物沿气道壁微渗漏进入下呼吸道的机会,从而降低微误吸相关风险。与此同时,压力维持在适宜区间也可能减少长期过高压力导致的黏膜灌注不足与局部屏障受损,使气道防御功能保持相对稳定。高频监测还可能带来更早的异常识别与纠正,例如在设备轻度漏气、患者体位改变、气道压力变化或咳嗽/躁动引起压力波动时,护士能够更及时地发现并调整,从过程管理层面降低 VAP 发生的潜在触发因素[6]。

4.3. 研究优势与局限

本研究采用前瞻性随机对照设计,在同一 ICU 环境下实施相对一致的基础 VAP 预防措施,使“监测频率”成为主要差异因素,有助于降低混杂影响;两组基线特征总体均衡,且干预期间监测流程执行率较高,支持结果的内部可信度。与此同时,仍需审慎看待研究局限:其一,单中心研究与相对有限的样本量可能影响结论的外推性,且边界性显著结果对样本波动更敏感;其二,监测频率增加会带来额外护理工作量与流程压力,可能影响长期可持续性,并可能引入“照护关注度提升”带来的共干预效应;其三,本研究未纳入连续自动调压设备情境,不同 ICU 设备与人员配置差异下,该策略的适用性与成本效益仍需进一步评估。

4.4. 临床意义与推广价值

在多种 VAP 预防措施并行的临床实践中,本研究提示仅通过优化气囊压力监测频率这一流程环节,就可能实现一定程度的风险降低,对仍以手动压力计管理为主、尚未普及自动调压设备的病区具有现实参考价值。高频监测与更高达标率、更低波动相关,使气囊压力管理更可控,也为 ICU 将“过程质量指标”(达标率、低压持续时间等)纳入常规质量改进提供依据。基于资源差异,ICU 可考虑采用分层策略:对高风险患者(长期通气、分泌物较多、反复体位变化或漏气风险高者)优先实施较高频率监测,以在可接受的人力成本内获得更高的潜在收益,并为后续指南或流程优化提供实践基础。

4.5. 护理工作量增加的影响与应对

提高监测频率的直接代价是护理任务的增加:监测、记录、调整与复核的次数上升,可能挤占其他护理操作时间,并在人员紧张的班次增加执行压力,进而影响依从性与长期维持效果。该问题在资源受限 ICU 尤为突出,也可能导致执行质量的波动,使“高频”在形式上达成但过程质量未必同步提升。对此,可从流程与技术两端寻求可行解:在流程层面,可将气囊压力监测与既定护理节律合并嵌入(如与口腔护理、体位评估、吸痰评估等同步完成),通过任务重组减少额外往返与记录负担;同时可采用“风险分层 + 动态频率”策略,对低风险、压力稳定患者适度降频,将人力集中于波动较大或高危个体。在技术层面,可逐步引入自动/半自动调压装置、带报警的压力监测设备或信息化记录与提醒工具,以降低手工测量与记录成本,并通过连续数据提高对低压持续时间等关键过程指标的捕捉能力。综合而言,高频监测的推广应与 ICU 人力配置、信息化水平和质量管理体系协同设计,以实现效果与可持续性的平衡。

5. 结论

本研究构建了多因素回归模型对 VAP 结局进行调整分析。模型以 VAP 发生(是/否)为因变量,将“监

测频率分组(每 2 小时 vs 每 8 小时)”作为核心自变量,同时纳入与 VAP 风险及病情严重程度密切相关、且在临床上具有明确解释意义的协变量。协变量选择依据为既往研究结论与临床路径的共识,并结合本研究资料可得性与过拟合风险控制,主要包括:患者人口学特征(年龄、性别)用于控制基础差异;疾病严重程度指标(如入 ICU 时评分或等效指标)用于控制基线危重程度;气道建立方式(经口插管/气管切开)用于控制通气相关风险差异;机械通气相关因素(如预计或实际通气时长、镇静相关因素等)用于控制暴露时间与治疗强度差异;以及可能影响感染发生的关键临床因素(如基础肺部疾病、吸烟史或等效呼吸系统基础状态、抗菌药物使用/既往感染情况等)。通过上述调整,监测频率与 VAP 风险之间的关联仍然存在,提示该策略与 VAP 降低之间可能存在一定的因果链条,但仍需在更大样本与多中心情境中进一步验证其稳健性与外推性。

研究显示,相较于常规每 8 小时一次的气囊压力监测,提高至每 2 小时一次与更高的压力达标率、更小的压力波动相关,并且实验组 VAP 发生率较低;在纳入多项潜在混杂因素进行调整后,该关联仍然存在,提示高频监测可能通过稳定气囊压力管理来降低 VAP 风险,并在机械通气时间与 ICU 住院时长方面带来一定的潜在获益。基于单中心与样本量限制,现阶段结论更适合作为流程改进与质量管理的实证支持,而非对所有 ICU 情境的确定性推广建议。未来仍需开展多中心、大样本研究,并进一步细化回归模型与过程指标(如低压持续时间占比、微误吸相关中间指标),同时结合自动化监测与智能预警等手段,评估在不同资源水平与护理模式下的可行性、成本效益与最佳实施频率,从而为更具可操作性的临床路径与指南更新提供依据。

参考文献

- [1] 程乔, 胡雪慧, 冯凯丽, 等. 肥胖患者人工气道气囊压力动态衰减趋势的观察性研究[J]. 中国护理管理, 2025, 25(9): 1306-1310.
- [2] Wu, Y., Su, Y., Zhao, L., *et al.* (2025) Continuous versus Intermittent Cuff Pressure Monitoring in Preventing Ventilator-Associated Pneumonia: A Multicentre Randomised Controlled Trial. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, **14**, 66. <https://doi.org/10.1186/s13756-025-01579-6>
- [3] Nwosu, G.D.A., Ossai, N.E., Ejezie, C., *et al.* (2024) Educational Intervention Can Improve the Pilot Balloon Palpation Method of Tracheal Tube Cuff Pressure Monitoring: An Experimental Study. *Journal of the West African College of Surgeons*, **15**, 53-58. https://doi.org/10.4103/jwas.jwas_162_23
- [4] 秦雪, 王永婷, 张金枝, 等. 呼吸机气囊压力优化管理方案的构建[J]. 护理研究, 2023, 37(11): 2029-2032.
- [5] 项丽君, 曹猛, 宋学梅, 等. 吸痰时咳嗽强度对气囊压力不达标的预测价值[J]. 解放军护理杂志, 2022, 39(2): 46-50.
- [6] 刘悦, 张博寒, 王艳玲, 等. 持续与间断气囊压力监控在机械通气病人中应用效果比较的 Meta 分析[J]. 护理研究, 2021, 35(5): 823-831.