

气管内导管气囊压力管理模式的自身对照研究

刘彦鑫 高艳红 赵杏丽 李洪霞 孙宝君 方向群 张智健

解放军总医院第二医学中心呼吸与危重症医学科, 北京 100089

通信作者: 张智健, Email: zhangzj301@163.com

【摘要】 目的 探讨不同气囊压力管理模式下气囊密闭效果及其对气管壁造成压力的影响。方法 采用前瞻性自身对照研究方法, 选择 2020 年 10 月 1 日至 2022 年 4 月 1 日在解放军总医院第二医学中心使用了自动气道管理系统 (AGs) 的 11 例气管插管机械通气患者作为研究对象。患者建立人工气道机械通气 24 h 内, 将自动气囊压力管理模式 [模式 I: 气囊压力安全范围设定为 20~35 cmH₂O (1 cmH₂O ≈ 0.098 kPa), AGs 每隔 5 min 自动检测气管内导管气囊上方 CO₂ 分压, 判定气囊密闭状态, 自动调节气囊压力]、恒定气囊压力 (25 cmH₂O) 管理模式 (模式 II: AGs 通过气压传感器监测气囊压力, 通过气压泵维持气囊压力为 25 cmH₂O)、恒定气囊压力 (30 cmH₂O) 管理模式 (模式 III: AGs 通过气压传感器监测气囊压力, 通过气压泵维持气囊压力为 30 cmH₂O)、人工气囊压力管理模式 (模式 IV: 护理人员使用气囊测压表每隔 6~8 h 手动测量气囊压力, 将充气后气囊压力维持在 25~30 cmH₂O) 按随机顺序分别应用于同一患者, 每种模式持续 24 h。通过记录气管内导管气囊上方 CO₂ 分压 (以 60 min 为间隔周期) 和气囊压力变化 (以 50 ms 为间隔周期), 对比模式 I~IV 气囊漏气情况 [CO₂ 分压 = 0 为不漏气, 0 < CO₂ 分压 < 2 mmHg (1 mmHg ≈ 0.133 kPa) 为小漏气, CO₂ 分压 ≥ 2 mmHg 为大漏气] 和气囊压力的差异。结果 11 例患者在模式 I~IV 下分别进行了 24 次气囊上方 CO₂ 分压检测, 故每种模式下进行了 264 例次检测。在气囊漏气方面, 模式 I 总体漏气及大漏气情况均较模式 II~IV 显著减少 [总体漏气: 30 例次 (11.36%) 比 81 例次 (30.68%)、70 例次 (26.52%)、103 例次 (39.02%), 大漏气: 15 例次 (5.68%) 比 50 例次 (18.94%)、48 例次 (18.18%)、66 例次 (25.00%)], 均 $P < 0.05$ 。模式 II 与模式 III 气囊漏气情况差异无统计学意义, 模式 IV 气囊漏气情况最严重。在气囊压力方面, 由于模式 IV 需将气囊管路与 AGs 管路阻断, 此时 AGs 气囊压力管理模块并未真正工作, 因此气囊压力无法实时监测, 故仅分析模式 I~III 的气囊压力变化。11 例患者在模式 I~III 下分别进行了 24 h 气囊压力监测, 每种模式下进行了 19 008 000 例次监测。模式 I 气囊压力介于模式 II 与模式 III 之间 [cmH₂O: 27.09 (26.10, 28.14) 比 26.60 (25.92, 27.47)、31.01 (30.33, 31.88)], 均 $P < 0.01$ 。且模式 I 出现气囊压力 > 50 cmH₂O 极端值的情况较模式 II 和模式 III 显著减少 [19 900 例次 (0.105%) 比 22 297 例次 (0.117%)、27 618 例次 (0.145%)], 均 $P < 0.05$ 。结论 通过动态监测气囊上方 CO₂ 分压指导气管内导管气囊压力调节, 可以实现以相对较低的气囊压力负荷达到较好的气囊密闭效果。

【关键词】 人工气道; 气囊压力; 自动气道管理系统; 气道损伤

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2020YFC2005402); 解放军总医院第二医学中心保健课题 (ZXFH2004)

临床试验注册: 中国临床试验注册中心, ChiCTR 2100050342

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240313-00228

A self-controlled study on endotracheal tube cuff pressure management modes

Liu Yanxin, Gao Yanhong, Zhao Xingli, Li Hongxia, Sun Baojun, Fang Xiangqun, Zhang Zhijian

Department of Respiratory and Critical Care Medicine, the Second Medical Centre, Chinese People's Liberation Army General Hospital, Beijing 100089, China

Corresponding author: Zhang Zhijian, Email: zhangzj301@163.com

【Abstract】 Objective To explore the effects of different endotracheal tube cuff pressure management modes on cuff sealing and the pressure exerted on the tracheal wall. **Methods** A prospective self-controlled study was conducted. Eleven patients undergoing endotracheal intubation and mechanical ventilation with an automatic airway management system (AGs) admitted to the Second Medical Centre of the Chinese People's Liberation Army General Hospital from October 1, 2020, to April 1, 2022, were enrolled as the study subjects. Within 24 hours after the establishment of artificial airway and mechanical ventilation, four cuff pressure management modes were randomly applied to each patient for 24 hours in sequence: automatic cuff pressure management mode [mode I: the safe range of cuff pressure was set at 20–35 cmH₂O (1 cmH₂O ≈ 0.098 kPa), and the CO₂ pressure above the endotracheal tube cuff was automatically detected by AGs every 5 minutes to determine the cuff sealing status, and the cuff pressure was automatically adjusted], constant cuff pressure (25 cmH₂O) management mode (mode II: the cuff pressure was monitored by AGs through a pressure sensor, and the cuff pressure was maintained at 25 cmH₂O via a pressure pump), constant cuff pressure (30 cmH₂O) management mode (mode III: the cuff pressure was monitored by AGs through a pressure sensor, and the

cuff pressure was maintained at 30 cmH₂O via a pressure pump), and manual cuff pressure management mode (mode IV: the cuff pressure was manually measured by nurses every 6–8 hours using a cuff pressure gauge to keep the cuff pressure at 25–30 cmH₂O after inflation). The CO₂ pressure above the endotracheal tube cuff (at 60-minute intervals) and the cuff pressure changes (at 50-ms intervals) were recorded to compare the differences in number of cuff leaks [no leak was defined as CO₂ pressure = 0, small leak as 0 < CO₂ pressure < 2 mmHg (1 mmHg ≈ 0.133 kPa), and large leak as CO₂ pressure ≥ 2 mmHg] and cuff pressure among modes I–IV. **Results** A total of 24 CO₂ pressure measurements were taken per patient across the four modes, resulting in a total of 264 detections for each mode. Regarding the cuff leak, the total number of leak and large leak in mode I was significantly lower than that in modes II–IV [total leak: 30 cases (11.36%) vs. 81 cases (30.68%), 70 cases (26.52%), 103 cases (39.02%); large leak: 15 cases (5.68%) vs. 50 cases (18.94%), 48 cases (18.18%), 66 cases (25.00%), all *P* < 0.05]. There was no significant difference in the number of cuff leak between modes II and III, and mode IV had the most severe cuff leak. In terms of cuff pressure, since mode IV required blocking the cuff tube from the AGs tube and the AGs cuff pressure management module did not actually work, real-time monitoring of cuff pressure was not possible. Therefore, cuff pressure changes were only analyzed in modes I–III. Each of the 11 patients underwent 24-hour cuff pressure monitoring under modes I–III, with 19 008 000 monitoring times for each mode. The cuff pressure in mode I was between that in modes II and III [cmH₂O: 27.09 (26.10, 28.14) vs. 26.60 (25.92, 27.47), 31.01 (30.33, 31.88), both *P* < 0.01]. Moreover, the number of extreme values of cuff pressure > 50 cmH₂O in mode I was significantly lower than that in modes II and III [19 900 cases (0.105%) vs. 22 297 cases (0.117%), 27 618 cases (0.145%), both *P* < 0.05]. **Conclusion** Dynamically monitoring the CO₂ pressure above the cuff to guide the adjustment of endotracheal tube cuff pressure can achieve better cuff sealing with a relatively lower cuff pressure load.

[Key words] Artificial airway; Cuff pressure; Automatic airway management system; Tracheal injury

Fund program: National Key Research and Development Program of China (2020YFC2005402); Health Care Project of the Second Medical Centre of the Chinese People's Liberation Army General Hospital (ZXFH2004)

Trial registration: Chinese Clinical Trial Registry, ChiCTR 2100050342

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240313-00228

使用气管内导管(endotracheal tube, ETT)建立人工气道是救治危重患者的常用手段,但会限制吞咽功能,口腔分泌物及胃食管反流物易受导管气囊阻隔,滞留于气囊上方,形成气囊上滞留物。大量研究证实,气囊上滞留物误吸流入下呼吸道,是发生呼吸机相关性肺炎(ventilator-associated pneumonia, VAP)造成不良预后的主要原因^[1-5]。因此,做好ETT气囊密闭性管理是一项十分重要的临床护理工作。

通过优化气囊压力管理实现气囊的有效密闭性,对于预防VAP具有基础且重要的作用^[6-8]。气囊压力过低容易造成密闭性不佳,气囊压力过高会造成气道局部组织缺血损伤^[9-12]。此外,患者的个体差异性、日常体位变化、通气压力变化、医疗操作干扰、大气压变化等诸多因素,使ETT气囊压力的需求呈动态变化^[13-17]。因此,通过动态ETT气囊压力管理,以最小压力负荷实现气囊和气管壁的有效贴合,是理想的气囊压力管理目标。

自动气道管理系统(AnapnoGuard 100 System, AGs)可通过监测ETT气囊上方CO₂分压判定气囊是否漏气,从而指导动态调节气囊压力^[18-21]。目前临床普遍采用人工气囊压力管理模式。本研究旨在探讨自动气囊压力管理模式、恒定气囊压力管理模式和人工气囊压力管理模式下气囊的有效密闭性及对气管壁造成压力负荷的影响。

1 对象与方法

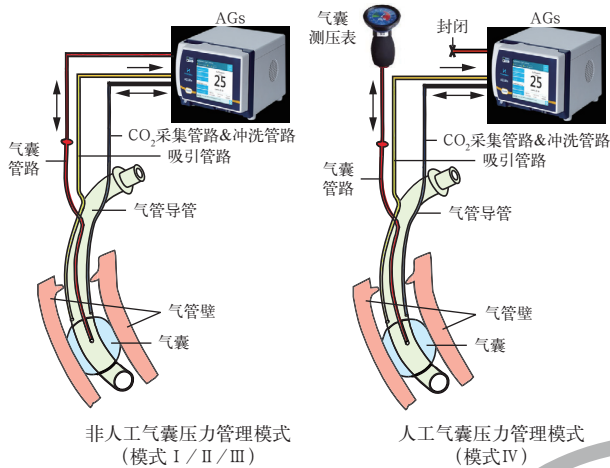
1.1 研究对象:采用前瞻性自身对照研究方法,选择2020年10月1日至2022年4月1日在本院住院期间接受气管插管机械通气并使用了AGs的患者。

1.1.1 纳入标准:①因呼吸衰竭接受纤维支气管镜引导下经鼻气管插管机械通气;②使用AGs专用气管导管建立人工气道;③气管插管前无气道狭窄、气道软化、颌面部损伤等病变;④有创机械通气持续时间≥7d;⑤患者或监护人愿意参与本研究。

1.1.2 排除标准:①3个月内接受过气管插管;②气管插管7d内进行脱机训练、气管切开或死亡;③合并头颈部、纵隔占位性病变;④肿瘤终末期;⑤数据不完整;⑥合并气道软化或气管瘘。

1.2 AGs装置连接(图1):①在非人工气囊压力管理模式,将气囊管路与AGs正常连接;②在人工气囊压力管理模式,将气囊管路与AGs断开,间断使用气囊测压表进行气囊压力监测和管理。

1.3 气囊压力管理模式设置:①自动气囊压力管理模式(模式I):将气囊压力的安全范围设定为20~35 cmH₂O (1 cmH₂O ≈ 0.098 kPa), AGs每隔5 min自动检测ETT气囊上方CO₂分压,以此判定气囊密闭状态,进而自动调节(增加或降低)气囊压力;②恒定气囊压力(25 cmH₂O)管理模式(模式II):AGs通过气压传感器监测气囊压力,通过气压泵维持气囊



注：模式 I 为自动气囊压力管理模式，模式 II 为恒定气囊压力（25 cmH₂O）管理模式，模式 III 为恒定气囊压力（30 cmH₂O）管理模式，模式 IV 为人工气囊压力管理模式；AGs 为自动气道管理系统；1 cmH₂O ≈ 0.098 kPa

图 1 气管插管机械通气患者不同气囊压力管理模式下气囊压力监测装置连接示意图

压力为 25 cmH₂O；③ 恒定气囊压力（30 cmH₂O）管理模式（模式 III）：AGs 通过气压传感器监测气囊压力，通过气压泵维持气囊压力为 30 cmH₂O；④ 人工气囊压力管理模式（模式 IV）：将 ETT 气囊管路与 AGs 气囊管路断开，此时 AGs 气囊压力管理模块并未真正工作，而是采用传统的人工气囊压力管理模式，即护理人员使用气囊测压表每隔 6 ~ 8 h 手动测量气囊压力，并将充气后的气囊压力维持在 25 ~ 30 cmH₂O。

1.4 气囊压力管理模式实施：建立人工气道机械通气 24 h 内，将模式 I ~ IV 按随机顺序分别应用于同一患者，每种模式持续 24 h。

1.5 数据采集：① 通过电子病历系统登记患者人口学特征和临床资料；② 研究开始阶段对患者进行格拉斯哥昏迷评分（Glasgow coma scale, GCS），判定意识状态；③ AGs 气压传感器模块以 50 ms 为间隔周期，自动记录气囊压力数据；④ 以 60 min 为间隔周期，人工操作 AGs 检测气囊上方 CO₂ 分压；⑤ 从 AGs 主机系统导出电子记录数据。

1.6 结果判定：① 气囊上方 CO₂ 分压为 0 时可判定气囊密闭性良好（不漏气）；② 气囊上方 CO₂ 分压 > 0 时可判定气囊密闭性不佳（漏气），其中 0 < 气囊上方 CO₂ 分压 < 2 mmHg（1 mmHg ≈ 0.133 kPa）判定为小漏气，≥ 2 mmHg 判定为大漏气；③ AGs 气压传感器记录到气囊压力 < 20 cmH₂O 或 > 50 cmH₂O 时认为出现压力极端值。

1.7 质量控制：由本研究负责人编写研究操作流程指导，并对参与本研究的医护人员进行培训。设置

研究质量监督员 2 名，对研究操作记录和导出数据进行校对审查，以及机器异常报警的排除。

1.8 伦理审批：本研究符合医学伦理学标准，并通过了解放军总医院医学伦理委员会的审批（审批号：S2020-256-01），并在中国临床试验注册中心完成注册（注册号：ChiCTR 2100050342）。

1.9 统计学处理：应用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。定量数据呈非正态分布，以中位数（四分位数）[M(Q_L, Q_U)] 描述，组间整体比较采用 Friedman 秩和检验，如差异有统计学意义则采用 Kruskal-Wallis H 检验进行组间多重比较；定性数据和有序数据以频数（百分比）描述，组间整体比较采用 χ² 检验，如差异有统计学意义则采用 Bonferroni 法进行组间多重比较。P < 0.05 为差异有统计学意义。

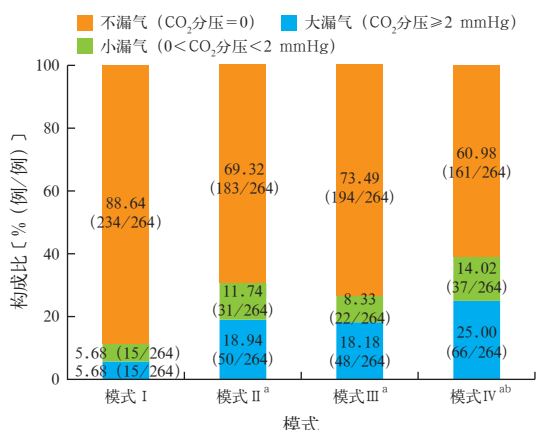
2 结果

2.1 基线资料：最终纳入 11 例患者，其中男性 8 例，女性 3 例；年龄 74 ~ 101 岁，平均（87.9 ± 8.6）岁。11 例患者均因呼吸衰竭行经鼻气管插管机械通气。呼吸衰竭原因：重症肺炎 6 例，慢性阻塞性肺疾病急性加重 2 例，急性呼吸窘迫综合征 1 例，急性心力衰竭 2 例。患者气管插管后呼吸机通气模式：容量控制模式 4 例，压力控制模式 3 例，压力调节容量控制模式 4 例。患者机械通气时经 GCS 评分判定的意识状态：清醒 5 例，轻度意识障碍 3 例，中度意识障碍 1 例，昏迷 2 例。4 例患者气管插管后需要使用镇静剂以保证良好的人机协调性。

2.2 气囊漏气情况（图 2）：11 例患者在模式 I ~ IV 下分别进行了 24 次气囊上方 CO₂ 分压检测，故每种模式下进行了 264 例次检测。4 种模式气囊漏气情况差异有统计学意义（P < 0.01）；其中，模式 I 气囊密闭效果显著优于其他 3 种模式（均 P < 0.01）；模式 II 与模式 III 气囊密闭效果差异无统计学意义（P > 0.05）；模式 IV 气囊密闭效果最差。

2.2.1 总体漏气情况（表 1）：4 种模式总体漏气情况差异有统计学意义（P < 0.01）；模式 I 总体漏气情况较其他 3 种模式显著减少（均 P < 0.05），模式 II 与模式 III 总体漏气情况差异无统计学意义（P > 0.05），模式 IV 总体漏气情况最严重。

2.2.2 大漏气情况（表 2）：4 种模式大漏气情况差异有统计学意义（P < 0.01）；模式 I 大漏气情况较其他 3 种模式显著减少（均 P < 0.05），模式 II 与模式 III 大漏气情况差异无统计学意义（P > 0.05），模式 IV 大漏气情况最严重。



注：模式 I 为自动气囊压力管理模式，模式 II 为恒定气囊压力 (25 cmH₂O) 管理模式，模式 III 为恒定气囊压力 (30 cmH₂O) 管理模式，模式 IV 为人工气囊压力管理模式；以气囊上方 CO₂ 分压反映气囊漏气情况；1 cmH₂O ≈ 0.098 kPa，1 mmHg ≈ 0.133 kPa；与模式 I 比较，^aP<0.01；与模式 III 比较，^bP<0.05

图 2 气管插管机械通气患者不同气囊压力管理模式下气囊漏气情况构成比

表 1 气管插管机械通气患者不同气囊压力管理模式下气囊总体漏气情况比较

| 模式 | 气囊上方 CO ₂ 分压检测次数 (例次) | 总体漏气情况 [例次 (%)] | |
|--------|----------------------------------|-----------------|---------------------------|
| | | 不漏气 | 漏气 |
| 模式 I | 264 | 234 (88.64) | 30 (11.36) |
| 模式 II | 264 | 183 (69.32) | 81 (30.68) ^a |
| 模式 III | 264 | 194 (73.48) | 70 (26.52) ^a |
| 模式 IV | 264 | 161 (60.98) | 103 (39.02) ^{ab} |

注：模式 I 为自动气囊压力管理模式，模式 II 为恒定气囊压力 (25 cmH₂O) 管理模式，模式 III 为恒定气囊压力 (30 cmH₂O) 管理模式，模式 IV 为人工气囊压力管理模式；以气囊上方 CO₂ 分压反映气囊漏气情况 (CO₂ 分压=0 为不漏气，CO₂ 分压>0 为漏气)；1 cmH₂O ≈ 0.098 kPa；与模式 I 比较，^aP<0.05；与模式 III 比较，^bP<0.05

表 2 气管插管机械通气患者不同气囊压力管理模式下气囊大漏气情况比较

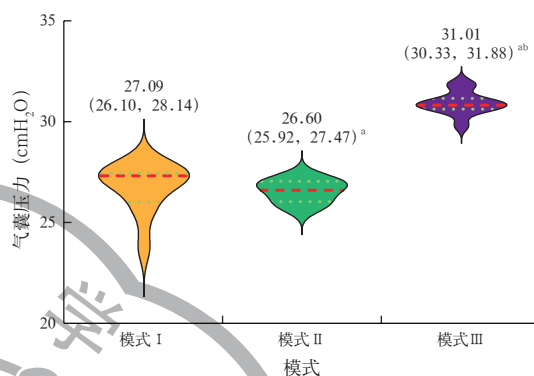
| 模式 | 气囊上方 CO ₂ 分压检测次数 (例次) | 漏气情况 [例次 (%)] | |
|--------|----------------------------------|---------------|---------------------------|
| | | 不漏气 / 小漏气 | 大漏气 |
| 模式 I | 264 | 249 (94.32) | 15 (5.68) |
| 模式 II | 264 | 214 (81.06) | 50 (18.94) ^a |
| 模式 III | 264 | 216 (81.82) | 48 (18.18) ^a |
| 模式 IV | 264 | 198 (75.00) | 66 (25.00) ^{abc} |

注：模式 I 为自动气囊压力管理模式，模式 II 为恒定气囊压力 (25 cmH₂O) 管理模式，模式 III 为恒定气囊压力 (30 cmH₂O) 管理模式，模式 IV 为人工气囊压力管理模式；以气囊上方 CO₂ 分压反映气囊漏气情况 (CO₂ 分压=0 为不漏气，0<CO₂ 分压<2 mmHg 为小漏气，CO₂ 分压≥2 mmHg 为大漏气)；1 cmH₂O ≈ 0.098 kPa，1 mmHg ≈ 0.133 kPa；与模式 I 比较，^aP<0.05；与模式 II 比较，^bP<0.05；与模式 III 比较，^cP<0.05

2.3 气囊压力监测情况：模式 IV 需使用输液三通阀将气囊管路与 AGs 管路阻断，此时 AGs 气囊压力管理模块未真正工作，因此气囊压力无法实时监测，故本研究仅分析模式 I ~ III 气囊压力。在模式 I ~ III 下分别对患者进行了 24 h 气囊压力监测 (以 50 ms 为

间隔，24 h 共进行了 1 728 000 次监测)，故 11 例患者在每种模式下进行了 19 008 000 例次监测。

2.3.1 气囊压力 (图 3)：3 种模式气囊压力差异有统计学意义 (P<0.01)；模式 I 气囊压力介于模式 II 与模式 III 之间，模式 II 气囊压力最低，两两比较差异均有统计学意义 (均 P<0.01)。



注：模式 I 为自动气囊压力管理模式，模式 II 为恒定气囊压力 (25 cmH₂O) 管理模式，模式 III 为恒定气囊压力 (30 cmH₂O) 管理模式；1 cmH₂O ≈ 0.098 kPa；与模式 I 比较，^aP<0.01；与模式 II 比较，^bP<0.01

图 3 气管插管机械通气患者不同气囊压力管理模式下气囊压力比较

2.3.2 出现极端压力情况 (表 3)：3 种模式出现气囊压力 > 50 cmH₂O 情况差异有统计学意义 (P<0.01)；模式 I 出现气囊压力 > 50 cmH₂O 的情况较其他 2 种模式显著减少 (均 P<0.05)，模式 III 出现气囊压力 > 50 cmH₂O 的情况最多。

表 3 气管插管机械通气患者不同气囊压力管理模式下出现极端气囊压力情况比较

| 模式 | 气囊压力监测次数 (例次) | 出现极端气囊压力情况 [例次 (%)] | | |
|--------|---------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| | | <20 cmH ₂ O | 20 ~ 50 cmH ₂ O | >50 cmH ₂ O |
| 模式 I | 19 008 000 | 18 (0.947 × 10 ⁻⁴) | 18 988 082 (99.895) | 19 900 (0.105) |
| 模式 II | 19 008 000 | 50 (2.630 × 10 ⁻⁴) | 18 985 653 (99.882) | 22 297 (0.117) ^a |
| 模式 III | 19 008 000 | 20 (1.052 × 10 ⁻⁴) | 18 980 362 (99.855) | 27 618 (0.145) ^{ab} |

注：模式 I 为自动气囊压力管理模式，模式 II 为恒定气囊压力 (25 cmH₂O) 管理模式，模式 III 为恒定气囊压力 (30 cmH₂O) 管理模式；1 cmH₂O ≈ 0.098 kPa；与模式 I 比较，^aP<0.05；与模式 II 比较，^bP<0.05

2.4 严重不良事件：11 例患者均未发生重大 AGs 相关不良事件，如气管黏膜缺血坏死、气管软化、食管瘘。

3 讨论

有创机械通气是抢救危重患者的重要手段，但并发 VAP 可导致预后不良^[5,22]。优化的人工气道管理措施可降低 VAP 发生率，而 ETT 气囊压力管理是气道管理的重要环节^[5-7]。本研究表明，通过检测气囊上方 CO₂ 分压判定气囊密闭效果，指导气囊压力动态调整，或许是更优化的气囊压力管理策略。

国外关于 ETT 气囊压力管理的研究提示,气囊压力应维持在 20~30 cmH₂O^[6,23];我国推荐将气囊压力维持在 25~30 cmH₂O,且每隔 6~8 h 监测气囊压力,以保证气囊密闭性,降低 VAP 发生率^[8,24-25]。不推荐采用指触法根据经验给予气囊充气,因为这往往不能准确控制气囊压力^[26]。

临床上即使通过压力计进行手动气囊压力管理也仍很难保持气囊压力稳定在目标范围,因此气囊漏气现象比较普遍^[14,27]。Nseir 等^[28]对 101 例患者使用压力计评估气囊压力管理情况,发现有 54% 的患者出现过气囊压力不足,73% 的患者出现过气囊充气过度,44% 的患者既出现过气囊压力不足也出现过气囊充气过度,而且监测到 33% 的患者出现了超过 30 min 的气囊充气不足或过度充气。本研究中通过间断定量监测气囊上方 CO₂ 分压,对接受人工气囊压力管理的 11 例患者气囊密闭性进行研究,发现气囊漏气发生率为 39.02%(103/264),其中小漏气发生率为 14.02%(37/264),大漏气发生率为 25.00%(66/264),与既往研究结果类似。

有研究表明,与人工使用压力计进行气囊压力管理相比,使用持续气囊压力管理设备更容易获得稳定的目标气囊压力,并减少气囊漏气的发生^[29]。Nseir 等^[24]通过一项前瞻性随机对照研究证明,在危重症患者中使用持续气囊压力管理设备可显著减少误吸,降低 VAP 发生率。本研究显示,与人工气囊压力管理模式相比,25 cmH₂O 恒定气囊压力管理模式在减少气囊大漏气方面具有明显优势,但在减少气囊总体漏气方面并没有显著优势;通过提高恒定气囊压力设置(从 25 cmH₂O 调整至 30 cmH₂O),可显著减少气囊大漏气和总体漏气的发生,进一步证明了既往研究的结论。然而,与 25 cmH₂O 恒定气囊压力管理模式相比,30 cmH₂O 恒定气囊压力管理模式在减少气囊大漏气和总体漏气方面均有优势,但差异无统计学意义,这可能与本研究样本量偏少有关。

实际上,患者对气囊压力的需求是动态变化的,不同患者个体差异、同一患者不同病理生理阶段、外界环境气压变化等因素均会对气囊压力的需求造成影响,所以需要实施更精准的个体化气囊压力管理策略^[4,7,19,27]。近年来研究表明,AGs 可通过监测 ETT 气囊上方 CO₂ 分压判定气囊密闭情况,指导动态调节气囊压力,以满足患者需求^[18-20,30-31]。本研究显示,在改善气囊漏气方面,自动气囊压力管理模式较其他 3 种模式均有显著优势。

通常认为,气囊压力 < 20 cmH₂O 更容易导致气囊漏气^[6,32]。研究显示,当气囊压力 < 20 cmH₂O 时,VAP 发生风险升高 4 倍^[33]。AGs 可实时记录气囊压力,本研究显示,自动气囊压力管理模式、25 cmH₂O 和 30 cmH₂O 恒定气囊压力管理模式下出现气囊压力 < 20 cmH₂O 的情况极少,且均为极短暂(<1 s)发生,说明使用充气泵可以维持稳定的气囊压力,并且能够避免出现气囊压力过低的情况。也有研究报道,虽然使用持续气囊压力管理设备可以显著改善气囊压力 < 20 cmH₂O 的情况,但并未发现可减少 VAP 的发生^[29]。结合本研究结果,自动气囊压力管理模式、25 cmH₂O 和 30 cmH₂O 恒定气囊压力管理模式几乎没有出现气囊压力 < 20 cmH₂O 的情况,但仍检测到气囊的实际漏气,这可能是由于本研究中设定的气囊压力与个体真实需求未能完全匹配。

气囊压力过高时存在气道局部组织缺血损伤的风险^[9,32]。研究表明,当气囊压力 > 30 cmH₂O 时,黏膜毛细血管血流量减少;当气囊压力 > 50 cmH₂O 时,气道黏膜血流完全被阻断,导致气道黏膜缺血性损伤甚至坏死,严重时可能造成气管食管瘘^[9]。动物实验表明,动态气囊压力管理可降低气管壁的压力负荷,减少黏膜缺血损伤风险^[34]。本研究显示,自动气囊压力管理模式、25 cmH₂O 和 30 cmH₂O 恒定气囊压力管理模式的气囊压力差异有统计学意义,可能说明自动气囊压力管理模式给气管壁造成的压力负荷介于 25 cmH₂O 与 30 cmH₂O 恒定气囊压力管理模式之间。同时,因为 AGs 具有以气囊上方 CO₂ 分压为指导滴定调节气囊压力的功能,因此自动气囊压力管理模式的压力分布区间更宽,压力调节和个体化适应能力更好。在开展本研究期间,虽然 11 例患者均未发生气道损伤,但自动气囊压力管理模式出现极高压力(>50 cmH₂O)的情况最少,30 cmH₂O 恒定气囊压力管理模式最多,25 cmH₂O 恒定气囊压力管理模式介于二者之间,可能说明自动气囊压力管理模式具有更低的气道黏膜缺血损伤风险。

目前的证据支持使用持续气囊压力管理设备可以更好地维持气囊密闭性^[29],但如何设定持续的气囊压力水平尚缺乏明确的指导。基于本研究中 11 例患者在自动气囊压力管理模式下滴定的压力水平,建议应用持续气囊压力管理设备时,将气囊压力设置为 27.09 cmH₂O,但需广泛开展研究加以验证。

综上,对于使用 ETT 建立人工气道进行机械通气的患者,通过动态监测气囊上方 CO₂ 分压指导 ETT

气囊压力自动调节,可达到更好的气囊密闭效果。做好 ETT 气囊压力管理的重要性毋庸置疑,但单从这方面着手能否对控制 VAP 发生达到预期效果仍有争议。AGs 除在气囊压力管理方面显示出一定优势外,还可自动冲洗和吸引气囊上方滞留物,降低 VAP 发生率^[21,30],需开展更大规模的多中心研究证实。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- VAP Outcomes Scientific Advisory Group. Epidemiology and outcomes of ventilator-associated pneumonia in a large US database [J]. *Chest*, 2002, 122 (6): 2115–2121. DOI: 10.1378/chest.122.6.2115.
- Pozuelo-Carrascosa DP, Herráiz-Adillo Á, Alvarez-Bueno C, et al. Subglottic secretion drainage for preventing ventilator-associated pneumonia: an overview of systematic reviews and an updated meta-analysis [J]. *Eur Respir Rev*, 2020, 29 (155): 190107. DOI: 10.1183/16000617.0107-2019. Erratum in: *Eur Respir Rev*, 2022, 31 (163): 220013. DOI: 10.1183/16000617.0013-2022. Erratum in: *Eur Respir Rev*, 2022, 31 (163): 195107. DOI: 10.1183/16000617.5107-2019.
- Muscudere J, Rewa O, McKechnie K, et al. Subglottic secretion drainage for the prevention of ventilator-associated pneumonia: a systematic review and meta-analysis [J]. *Crit Care Med*, 2011, 39 (8): 1985–1991. DOI: 10.1097/CCM.0b013e318218a4d9.
- Efrati S, Deutsch I, Gurman GM. Endotracheal tube cuff: small important part of a big issue [J]. *J Clin Monit Comput*, 2012, 26 (1): 53–60. DOI: 10.1007/s10877-011-9333-x.
- 中华医学会呼吸病学分会感染学组. 中国成人医院获得性肺炎与呼吸机相关性肺炎诊断和治疗指南(2018 年版)[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2018, 41 (4): 255–280. DOI: 10.3760/ema.j.issn.1001-0939.2018.04.006.
- Álvarez Lerma F, Sánchez García M, Lorente L, et al. Guidelines for the prevention of ventilator-associated pneumonia and their implementation. The Spanish "Zero-VAP" bundle [J]. *Med Intensiva*, 2014, 38 (4): 226–236. DOI: 10.1016/j.medint.2013.12.007.
- Efrati S, Deutsch I, Antonelli M, et al. Ventilator-associated pneumonia: current status and future recommendations [J]. *J Clin Monit Comput*, 2010, 24 (2): 161–168. DOI: 10.1007/s10877-010-9228-2. Erratum in: *J Clin Monit Comput*, 2012, 26 (6): 493.
- 中华医学会呼吸病学分会感染学组. 人工气道气囊的管理专家共识(草案)[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2014, 37 (4): 816–819. DOI: 10.3760/ema.j.issn.1001-0939.2014.11.006.
- Seegobin RD, van Hasselt GL. Endotracheal cuff pressure and tracheal mucosal blood flow: endoscopic study of effects of four large volume cuffs [J]. *Br Med J (Clin Res Ed)*, 1984, 288 (6422): 965–968. DOI: 10.1136/bmj.288.6422.965.
- Beydon L, Gourgues M, Talec P. Endotracheal tube cuff and nitrous oxide: bench evaluation and assessment of clinical practice [J]. *Ann Fr Anesth Reanim*, 2011, 30 (9): 679–684. DOI: 10.1016/j.annfar.2011.03.017.
- Liu JH, Zhang XQ, Gong W, et al. Correlations between controlled endotracheal tube cuff pressure and postprocedural complications: a multicenter study [J]. *Anesth Analg*, 2010, 111 (5): 1133–1137. DOI: 10.1213/ANE.0b013e3181f2ecc7.
- 汪明灯, 王元元, 黄建安, 等. 人工气道气囊的临床应用及研究进展 [J]. *中华危重病急救医学*, 2016, 28 (11): 1053–1056. DOI: 10.3760/ema.j.issn.2095-4352.2016.11.025.
- Choi E, Park Y, Jeon Y. Comparison of the cuff pressure of a TaperGuard endotracheal tube and a cylindrical endotracheal tube after lateral rotation of head during middle ear surgery: a single-blind, randomized clinical consort study [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96 (10): e6257. DOI: 10.1097/MD.0000000000006257.
- Dave MH, Frotzler A, Weiss M. Closed tracheal suction and fluid aspiration past the tracheal tube. Impact of tube cuff and airway pressure [J]. *Minerva Anesthesiol*, 2011, 77 (2): 166–171. DOI: 10.4414/smw.2010.13113.
- Okgun Alcan A, Yavuz van Giersbergen M, Dincarslan G, et al. Effect of patient position on endotracheal cuff pressure in mechanically ventilated critically ill patients [J]. *Aust Crit Care*, 2017, 30 (5): 267–272. DOI: 10.1016/j.aucc.2016.11.006.
- Delorenzo AJ, Shepherd M, Jennings PA. Endotracheal cuff pressure changes during helicopter transport: a systematic review [J]. *Air Med J*, 2017, 36 (2): 81–84. DOI: 10.1016/j.amj.2017.01.003.
- Xiang LJ, Cao M, Wang Y, et al. Could clinical nursing procedures lead to tracheal cuff pressure drop? A prospective observational study [J]. *J Clin Nurs*, 2022, 31 (5–6): 623–632. DOI: 10.1111/jocn.15920.
- Efrati S, Bolotin G, Levi L, et al. Optimization of endotracheal tube cuff pressure by monitoring CO₂ levels in the subglottic space in mechanically ventilated patients: a randomized controlled trial [J]. *Anesth Analg*, 2017, 125 (4): 1309–1315. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002358.
- De Pascale G, Pennisi MA, Vallecocchia MS, et al. CO₂ driven endotracheal tube cuff control in critically ill patients: a randomized controlled study [J]. *PLoS One*, 2017, 12 (5): e0175476. DOI: 10.1371/journal.pone.0175476.
- Efrati S, Deutsch I, Weksler N, et al. Detection of endobronchial intubation by monitoring the CO₂ level above the endotracheal cuff [J]. *J Clin Monit Comput*, 2015, 29 (1): 19–23. DOI: 10.1007/s10877-014-9583-5.
- 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/ema.j.cn112147-20230531-00280.
- Kalil AC, Metersky ML, Klompas M, et al. Management of adults with hospital-acquired and ventilator-associated pneumonia: 2016 clinical practice guidelines by the Infectious Diseases Society of America and the American Thoracic Society [J]. *Clin Infect Dis*, 2016, 63 (5): e61–e111. DOI: 10.1093/cid/ciw353. Erratum in: *Clin Infect Dis*, 2017, 64 (9): 1298. DOI: 10.1093/cid/ciw799. Erratum in: *Clin Infect Dis*, 2017, 65 (8): 1435. DOI: 10.1093/cid/cix587. Erratum in: *Clin Infect Dis*, 2017, 65 (12): 2161. DOI: 10.1093/cid/cix759.
- Blot SI, Poelaert J, Kollef M. How to avoid microaspiration? A key element for the prevention of ventilator-associated pneumonia in intubated ICU patients [J]. *BMC Infect Dis*, 2014, 14: 119. DOI: 10.1186/1471-2334-14-119.
- Nseir S, Zerimech F, Fournier C, et al. Continuous control of tracheal cuff pressure and microaspiration of gastric contents in critically ill patients [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2011, 184 (9): 1041–1047. DOI: 10.1164/rccm.201104-0630OC.
- Shi Y, Huang Y, Zhang TT, et al. Chinese guidelines for the diagnosis and treatment of hospital-acquired pneumonia and ventilator-associated pneumonia in adults (2018 edition) [J]. *J Thorac Dis*, 2019, 11 (6): 2581–2616. DOI: 10.21037/jtd.2019.06.09.
- Ileczak T, Cwiertnia M, Bialoń P, et al. Endotracheal tube cuff pressure—comparison of the two filling methods—simulated test [J]. *Prehosp Disaster Med*, 2021, 36 (4): 421–425. DOI: 10.1017/S1049023X21000406.
- Sole ML, Su XG, Talbert S, et al. Evaluation of an intervention to maintain endotracheal tube cuff pressure within therapeutic range [J]. *Am J Crit Care*, 2011, 20 (2): 109–117; quiz 118. DOI: 10.4037/ajcc2011661.
- Nseir S, Brisson H, Marquette CH, et al. Variations in endotracheal cuff pressure in intubated critically ill patients: prevalence and risk factors [J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2009, 26 (3): 229–234. DOI: 10.1097/eja.0b013e318328322b6e.
- Valencia M, Ferrer M, Farre R, et al. Automatic control of tracheal tube cuff pressure in ventilated patients in semirecumbent position: a randomized trial [J]. *Crit Care Med*, 2007, 35 (6): 1543–1549. DOI: 10.1097/01.CCM.00000266686.95843.7D.
- Tanzarella ES, Lombardi G, Baroni S, et al. Use of an innovative cuff pressure control and subglottic secretions drainage system in COVID-19 ARDS patients undergoing pronation [J]. *Crit Care*, 2022, 26 (1): 338. DOI: 10.1186/s13054-022-04225-4.
- Hernandez-Torres V, Ratzlaff R, Thomas M, et al. The use of a novel endotracheal tube and airway management system to prevent complications in lung transplantation [J]. *Cureus*, 2019, 11 (7): e5170. DOI: 10.7759/cureus.5170.
- Sultan P, Carvalho B, Rose BO, et al. Endotracheal tube cuff pressure monitoring: a review of the evidence [J]. *J Perioper Pract*, 2011, 21 (11): 379–386. DOI: 10.1177/175045891102101103.
- Rello J, Soñora R, Jubert P, et al. Pneumonia in intubated patients: role of respiratory airway care [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 1996, 154 (1): 111–115. DOI: 10.1164/ajrccm.154.1.8680665.
- Chadha NK, Gordin A, Luginbuehl I, et al. Automated cuff pressure modulation: a novel device to reduce endotracheal tube injury [J]. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 2011, 137 (1): 30–34. DOI: 10.1001/archoto.2010.228.

(收稿日期: 2024-03-13)
(责任编辑: 孙茜 李银平)