

通过低峰流速通气模式降低心肺复苏患者人机不良反应的临床分析

瞿超骏 吴桂琼 陈跃群 张李琴 田昕

丽水市中心医院重症医学科,浙江丽水 323000

通信作者:田昕, Email: xqjytx@163.com

【摘要】 目的 探讨在院内心肺复苏(CPR)的高级生命支持阶段,采用呼吸机维持患者呼吸功能时,选择较低的吸气峰流速对患者气道峰压的影响。**方法** 采用前瞻性研究方法,选择2021年9月至2023年12月在丽水市中心医院进行CPR且时间超过20 min的30例患者作为研究对象。采用容量控制通气(VCV)模式,波形为减速波,其他预设参数保持不变。在不同峰流速(55、50、45、40 L/min)下测量患者最高吸气相气道峰压,并分析不同峰流速对气道峰压的影响。**结果** 在CPR期间,患者处于持续胸外按压状态,若按常规呼吸机参数设置,常出现气道高压、低潮气量(VT)和高呼吸频率等报警,影响通气支持效果,不同患者气道峰压值有较大差异,随着峰流速从40 L/min增加到55 L/min,气道峰压逐渐递增,所有患者在下调峰流速过程中,脉搏血氧饱和度(SpO_2)未出现明显变化。40 L/min峰流速患者的气道峰压明显低于50 L/min和55 L/min峰流速患者[cmH_2O ($1\text{ cmH}_2O \approx 0.098\text{ kPa}$): 41.20 ± 9.06 比 47.90 ± 9.04 、 53.70 ± 7.96 , 均 $P < 0.05$],而55 L/min峰流速患者气道峰压明显高于其他各峰流速患者(均 $P < 0.05$)。比较40 L/min与50 L/min,45 L/min与55 L/min的峰流速患者的气道峰压,每增加10 L/min的吸气峰流速,患者的平均气道峰压值均明显升高(均 $P < 0.05$),但 SpO_2 随峰流速降低基本保持不变或轻微上升,不同峰流速水平患者 SpO_2 比较差异均无统计学意义。峰流速分别为55、50、45、40 L/min时,分别有100.0%、83.3%、63.3%、53.3%的患者气道峰压 $>40\text{ cmH}_2O$,66.7%、40.0%、16.6%、16.6%的患者气道峰压 $>50\text{ cmH}_2O$ 。随着峰流速的降低,气道峰压 $>40\text{ cmH}_2O$ 的患者比例逐渐减少,若将峰流速设置在45 L/min及以下,CPR期间出现气道峰压 $>50\text{ cmH}_2O$ 的患者例数小于总例数的50.0%。**结论** 在CPR期间进行机械通气时,选择VCV模式和减速波通气,若峰流速设置不当,容易频繁触发气道高压报警及并发低VT,导致人机不协调。相较于55 L/min及以上的峰流速,选择40 L/min的吸气峰流速,并将高压报警设置在 50 cmH_2O 水平,适合大多数患者的机械通气需求,且不影响氧合水平,是较为合适的选择。

【关键词】 心肺复苏; 胸外心脏按压; 机械通气; 峰流速; 气道峰压

基金项目: 浙江省卫生健康科技计划项目(2022PY107)

临床试验注册: 中国临床试验注册中心, ChiCTR 2500103772

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2025.04.005

Clinical analysis of reducing adverse ventilator-related events during cardiopulmonary resuscitation with low-peak flow ventilation

Qu Chaojun, Wu Guiqiong, Chen Yuequn, Zhang Liqin, Tian Xin

Department of Critical Care Medicine, Lishui Municipal Central Hospital, Lishui 323000, Zhejiang, China

Corresponding author: Tian Xin, Email: xqjytx@163.com

【Abstract】 Objective To investigate the impact of lower inspiratory peak flow rates on airway peak pressure when using a ventilator to maintain respiratory function during the advanced life support phase of in-hospital cardiopulmonary resuscitation (CPR). **Methods** A prospective study was conducted, 30 patients who underwent CPR for more than 20 minutes admitted to Lishui Municipal Central Hospital between September 2021 and December 2023 were enrolled as the study subjects. Volume controlled ventilation (VCV) with a descending flow waveform was used, while other preset parameters remained unchanged. Airway peak pressure was measured at different peak flow rates (55, 50, 45, and 40 L/min). The influence of varying flow rates on peak pressure was analyzed. **Results** During CPR, patients were in a continuous state of chest compressions. When the ventilator parameters were set conventionally, alarms for high airway pressure, low tidal volume (VT), and high respiratory rate often occurred, which affected the effectiveness of ventilatory support. There was a significant variation in airway peak pressure among different patients. As the peak flow rate increased from 40 L/min to 55 L/min, the airway peak pressure gradually increased. During the process of reducing the peak flow rate, the pulse oxygen saturation (SpO_2) of all patients remained stable without significant changes. The 40 L/min group had significantly lower peak pressures than the 50 and 55 L/min groups, whereas the 55 L/min group had significantly higher pressures than all others [cmH_2O ($1\text{ cmH}_2O \approx 0.098\text{ kPa}$): 41.20 ± 9.06 vs. 47.90 ± 9.04 and 53.70 ± 7.96 , all $P < 0.05$]. When comparing patients with peak flow rates of 40 L/min and 50 L/min, as well as 45 L/min and 55 L/min, the average airway peak pressure increased significantly with each 10 L/min increment in inspiratory peak flow rate. However, the SpO_2 remained essentially unchanged or slightly increased as the peak flow rate decreased. There were no statistically significant differences in SpO_2 among patients at different peak flow rate levels. When the peak flow rate was set at 55, 50, 45, and 40 L/min, the proportions of patients with airway peak pressure $>40\text{ cmH}_2O$ were 100.0%, 83.3%, 63.3%, and 53.3%, respectively. Among them, the proportions of patients with airway peak pressure $>$

50 cmH₂O 分别为 66.7%, 40.0%, 16.6%, 和 16.6%, 分别。随着峰流速的降低, 气道峰压 > 40 cmH₂O 的患者比例逐渐降低。若将峰流速设置为 45 L/min 或更低, 气道峰压 > 50 cmH₂O 的患者比例将低于总病例数的 50.0%。 **结论** 在机械通气 CPR 过程中, 使用容量控制通气 (VCV) 模式配合减速波形, 不当的峰流速设置容易引发气道高压报警, 并导致低潮气量 (VT), 造成呼吸机与患者不同步。与峰流速 55 L/min 及以上相比, 选择 40 L/min 的峰流速并设置高压报警在 50 cmH₂O 左右, 更符合大多数患者的机械通气需求, 且不影响氧合水平。这是更为合适的选择。

【关键词】 心肺复苏; 胸外心脏按压; 机械通气; 峰流速; 气道峰压

基金项目: 浙江省卫生健康科技项目 (2022PY107)

临床注册: 中国临床试验注册中心, ChiCTR2500103772

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2025.04.005

在院内心肺复苏 (cardiopulmonary resuscitation, CPR) 的高级生命支持阶段, 有效的人工呼吸支持与高质量的胸外心脏按压同样关键, 它们是患者恢复自主循环的基础。尽管正压通气被认为是 CPR 的重要组成部分^[1], 但最佳的机械通气策略仍在探索中^[2]。既往有研究表明, 选择较高的吸气峰流速可能会显著影响患者的机械通气效果^[3], 而相对较低的峰流速可能更有利于保持良好的人机交互^[4]。然而, 理想的峰流速水平及其对机械通气的具体影响目前尚不明确。因此, 本研究旨在探讨 CPR 期间呼吸机的峰流速设置参数, 特别是在常规使用范围 (通常吸气峰流速设置在 40 ~ 100 L/min, 平均 60 L/min^[5]) 中较低的吸气峰流速水平 (< 60 L/min) 对机械通气效果的影响, 并评估这一参数范围是否更适合 CPR 时的机械通气需求, 以期为临床提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象: 采用前瞻性研究方法, 选择 2021 年 9 月至 2023 年 12 月在本院进行 CPR 且时间超过 20 min 的 30 例患者作为研究对象。

1.1.1 纳入标准: 年龄 18 ~ 75 岁。

1.1.2 排除标准: ① 有胸部创伤; ② 有胸廓畸形; ③ 无法监测脉搏血氧饱和度 (pulse oxygen saturation, SpO₂); ④ 孕妇; ⑤ 明确是由哮喘或窒息导致的猝死。

1.1.3 剔除标准: ① 在实施 CPR 过程中改变峰流速后 SpO₂ 下降超过 5%; ② 在 CPR 过程中发生多处 (3 根及以上) 肋骨骨折或肺水肿。

1.1.4 伦理学: 本研究符合医学伦理学标准, 经本院伦理委员会批准 (审批号: 2021-206), 对患者采取的治疗和检测均获得患者或家属知情同意, 并在中国临床试验注册中心注册 (注册号: ChiCTR2500103772)。

1.2 研究方法: 在 CPR 初期, 完成气管插管后, 初步采用储氧复苏球囊进行人工呼吸。当 CPR 时间

超过 20 min, 患者仍需继续胸外心脏按压且用药相对固定时, 开始使用呼吸机维持患者通气状态。所有患者均按照 2020 年《美国心脏协会心肺复苏和心血管急救指南》^[6] 原则进行救治。呼吸机的选择和基础参数设置遵循指南要求, 使用伟康 Easpirit 呼吸机, 吸入氧浓度 (fractional of inspired oxygen, FiO₂) 设为 1.00, 潮气量 (tidal volume, VT) 设为 7 mL/kg^[7], 呼吸频率设为 10 次/min^[8], 其他参数根据前期临床研究结果设置: 容量控制通气 (volume controlled ventilation, VCV) 模式、减速波形^[4], 报警上限调整至 60 cmH₂O (1 cmH₂O ≈ 0.098 kPa)^[9], 压力触发水平调整至 20 cmH₂O^[3], 呼气末正压 (positive end-expiratory pressure, PEEP) 设为 3 cmH₂O。

1.2.1 气道峰压值的测量: 患者接入呼吸机后, 首先设置峰流速为 55 L/min, 在同一医护人员的按压期内, 随机冻结图形后, 测量并记录下一个呼吸周期内呼吸机送气间期产生的气道压震荡波的最高峰值。随后逐步下调峰流速 (分别为 50、45、40 L/min), 以同样方式获得相应数据。如果气道压力超过 60 cmH₂O 触发高压报警, 或患者 SpO₂ 下降超过 5%, 则终止进一步调节。

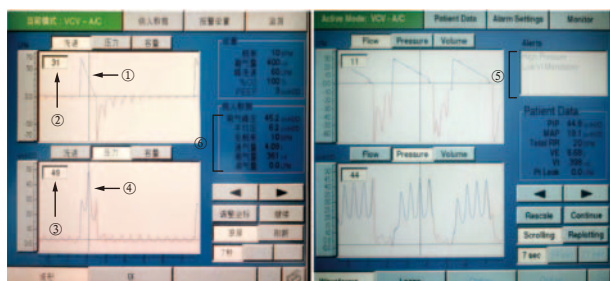
1.2.2 SpO₂ 变化值的测量: 在记录气道峰压值的同时, 记录患者 SpO₂。每次改变流速后, 以同样的方式获取 SpO₂, 并计算差值进行对比分析。

1.3 统计学方法: 使用 SPSS 17.0 统计软件分析数据。符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用单因素方差分析。P < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者 CPR 期间的呼吸机波型情况: 在 CPR 期间, 患者处于持续胸外按压状态, 若按常规呼吸机参数设置, 常出现气道高压、低 VT 和高呼吸频率等报警, 影响通气支持效果 (图 1)。不同患者气道峰压

值有较大差异(图 2)。随着峰流速从 40 L/min 增加到 55 L/min,气道峰压递增(图 3)。所有患者在下调峰流速过程中,SpO₂ 未出现明显变化。



注:①为测量标杆;②为标杆所在位置的实际流速(31 L/min);③为标杆所在位置的气道压力(本次通气的气道峰压为 49 cmH₂O);④为因胸外按压导致吸气相中出现连续起伏的几个气道压;⑤为呼吸机报警记录(提示最近有气道高压、低 VT 和高呼吸频率报警,若无报警记录则在显示呼吸机部分设置参数);⑥为当时呼吸机实际监测数值

图 1 常规设置呼吸机参数时流量时间曲线和压力时间曲线冻结图

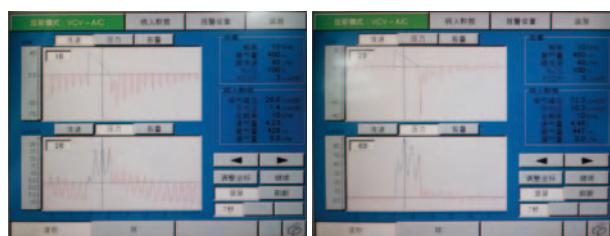
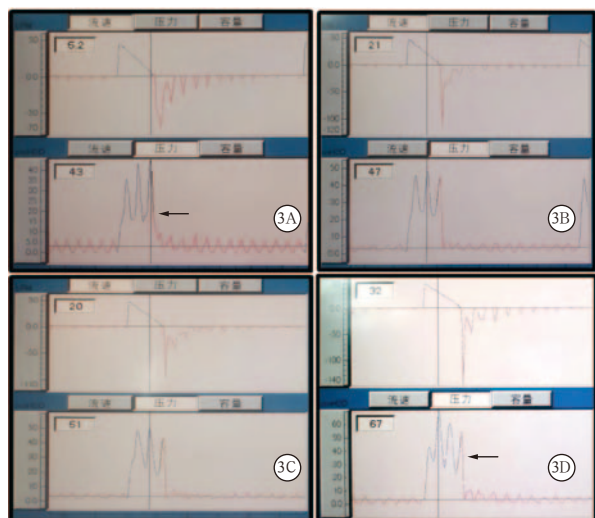


图 2 肺顺应性良好(左)和肺顺应性不佳(右)患者的呼吸机按压波形



注:A 为峰流速为 40 L/min 时,气道峰压为 43 cmH₂O;B 为峰流速为 45 L/min 时,气道峰压为 47 cmH₂O;C 为峰流速为 50 L/min 时,气道峰压为 51 cmH₂O;D 为峰流速为 55 L/min 时,气道峰压为 58 cmH₂O;箭头为没有胸外按压患者的气道压水平

图 3 同一患者在不同峰流速状态下的呼吸机按压波形

2.2 不同峰流速组气道峰压和 SpO₂ 差值的比较(表 1):40 L/min 峰流速组的气道峰压明显低于 50 L/min 和 55 L/min 峰流速组,而 55 L/min 组气道

峰压明显高于其他组(均 $P < 0.05$)。且比较 40 L/min 与 50 L/min,45 L/min 与 55 L/min 峰流速,每增加 10 L/min 的吸气峰流速,患者的平均气道峰压值均明显升高(均 $P < 0.05$)。SpO₂ 随峰流速降低基本保持不变或轻微上升,不同峰流速间 SpO₂ 比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。

表 1 不同峰流速水平患者平均气道峰压及 SpO₂ 差值的比较($\bar{x} \pm s$)

不同峰流速	例数(例)	气道峰压(cmH ₂ O)	SpO ₂ 差值
55 L/min	30	53.70 ± 7.96	
50 L/min	30	47.90 ± 9.04 ^a	+0.30 ± 0.03
45 L/min	30	43.90 ± 9.24 ^{ab}	+0.60 ± 0.02
40 L/min	30	41.20 ± 9.06 ^{ab}	+1.20 ± 0.06

注:与 55 L/min 峰流速比较,^a $P < 0.05$;与 50 L/min 峰流速比较,^b $P < 0.05$;空白代表无此项

2.3 不同峰流速下气道峰压高值在不同区间发生率的比较(表 2):峰流速分别为 55、50、45、40 L/min 时,分别有 100.0%、83.3%、63.3%、53.3% 的患者气道峰压 >40 cmH₂O,66.7%、40.0%、16.6%、16.6% 的患者气道峰压 >50 cmH₂O。随着峰流速的降低,气道峰压 >40 cmH₂O 的患者比例逐渐减少,若将峰流速设置在 45 L/min 及以下,CPR 期间出现气道峰压 >50 cmH₂O 的患者例数小于总例数的 50.0%。

表 2 不同峰流速下气道峰压高值在不同区间发生率的比较

不同峰流速	例数(例)	气道峰压高值所在区间[例(%)]			
		<40 cmH ₂ O	40~49 cmH ₂ O	50~59 cmH ₂ O	>60 cmH ₂ O
55 L/min	30	0(0.0)	10(33.3)	15(50.0)	5(16.7)
50 L/min	30	5(16.7)	13(43.3)	9(30.0)	3(10.0)
45 L/min	30	11(36.7)	14(46.7)	2(6.6)	3(10.0)
40 L/min	30	14(46.7)	11(36.7)	3(10.0)	2(6.6)

3 讨论

在 CPR 的背景下,压力控制通气模式并未广泛运用于试验或临床实践^[2],且被认为可能对 CPR 过程产生不利影响^[10]。因此,VCV 模式成为临床实践中的首选^[10]。在 VCV 模式中,吸气峰流速是一个关键的调节参数,通常在成人中设置为 40~100 L/min,平均约 60 L/min^[5]。尽管较高的吸气峰流速可能减少呼吸功并改善人机协调,但这也可能导致气道峰压和胸内压升高,增加气压伤的风险^[5, 11-12]。既往研究表明,在 CPR 期间使用较高峰流速的机械通气可能不利于患者的复苏^[13]。然而,关于适当降低峰流速的具体适宜水平尚缺乏明确指导。因此,本

研究聚焦于 40~55 L/min 峰流速区间,旨在精确评估不同吸气流速对 CPR 期间机械通气效果的影响。

本研究显示,在持续胸外按压情况下,不同患者的典型时间-压力曲线和时间-流量曲线与未进行胸外按压的患者显著不同,揭示了在 CPR 期间使用标准呼吸机参数设置可能引发的常见报警情况。在无胸外按压影响的情况下,患者的气道峰压基线约为 20~25 cmH₂O,即便在峰流速从 40 L/min 增至 55 L/min 的情况下,气道峰压的变化并不显著。然而,在胸外按压的状态下,当峰流速为 40 L/min 时,气道峰压的高峰值可达 43 cmH₂O,比基线高出 23 cmH₂O。在该次吸气周期内的 3 次按压中,有 2 次超过了设定的 40 cmH₂O 的气道高压报警阈值,并且随着峰流速的增加,气道峰压的上升更为显著,容易触发高压报警并导致低 VT 报警。这些发现强调了胸外按压持续存在时,峰流速对 CPR 期间机械通气效果的重要影响,并指出了对峰流速进行合理调整的必要性,以满足不同 CPR 患者机械通气过程中人机协调的需求。

临床上进行机械通气时,为了减少气压伤,高压报警设定上限一般不建议超过 40 cmH₂O^[14]。但按照这个标准,根据本研究结果,即使设置峰流速为 40 L/min,也有 53.3% (16/30) 的患者发生气道峰压>40 cmH₂O 的情况,而该情况会触发呼吸机高压报警,并在呼吸机送气的早期就导致呼吸阀开放,进而导致低 VT 报警和通气不足。如此高的发生率可解释 CPR 时机械通气使用常规设置的参数频繁发生各种报警的现象。由于按压的持续存在,导致上述情况反复发生,严重时显著影响患者的呼吸支持效果。因此,在 CPR 中选择呼吸机给予患者呼吸支持,使用 VCV 及减速波模式,峰流速设置选择 40~55 L/min 时,临床应适当上调呼吸机报警的高压水平,否则大多数情况下呼吸机无法正常工作。

本研究显示,在 CPR 过程中,当机械通气的峰流速设定为 55 L/min,气道高压报警阈值设定为 40 cmH₂O 时,所有患者均会触发高压报警。而当高压报警阈值提升至 50 cmH₂O 时,仍有 66.7% (20/30) 的患者会触发报警。此外,在 55 L/min 的峰流速下,患者平均气道峰压高达 (53.70±7.96) cmH₂O,这一数值与其他组比较差异有统计学意义。因此,可以得出结论,55 L/min 或更高的峰流速不适合用于 CPR 期间的机械通气,同样,50 L/min 的峰流速也并非最佳选择。

尽管有研究者指出,在 CPR 期间将高压报警阈值提高至 60 cmH₂O 不会增加气压伤的风险^[10],但将报警阈值设定在 50 cmH₂O 可能是更为合理的选择^[3]。根据本研究的结果,如果选择 40~45 L/min 的峰流速,并配合 50 cmH₂O 的高压报警阈值,触发报警的概率仅为 16.7% (5/30)。这意味着在大多数情况下,呼吸机能正常运行,同时患者的氧合水平也不会因为峰流速的降低而受到影响,这样的设置在临床上是可以接受的。

在 CPR 期间,选择 VCV 模式和减速波通气时,峰流速的大小是影响人机协调工作的重要因素。在 40~55 L/min 的峰流速范围内,50 L/min 及以上的峰流速不适合大多数患者的机械通气需求,而 40 L/min 的峰流速是一个更合适的选择。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 李湘民,叶锦杏,莫晓叶.心肺复苏的氧疗策略:从气道建立到呼吸机支持[J].临床急诊杂志,2024,25(11):553-560. DOI: 10.13201/j.issn.1009-5918.2024.11.001.
- [2] 文才,余涛,王立祥.心肺复苏过程中机械通气策略研究进展[J].中华危重病急救医学,2017,29(9):853-856. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.09.018.
- [3] 田昕,吴建荣,金肖.较高的吸气峰流速对心肺复苏期间机械通气的影响[J].中国急救复苏与灾害医学杂志,2019,14(11):1029-1032. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6966.2019.11.003.
- [4] 田昕,方伟钧,吴建荣.心肺复苏机械通气时选择不同流速模式对气道峰压的影响[J].中华危重病急救医学,2014,26(10):722-725. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2014.10.009.
- [5] 俞森洋.机械通气临床实践[M].北京:人民军医出版社,2008:184.
- [6] Panchal AR, Bartos JA, Cabañas JC, et al. Part 3: adult basic and advanced life support: 2020 American Heart Association Guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care [J]. Circulation, 2020, 142 (16_suppl_2): S366-S468. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000916.
- [7] Berg RA, Hemphill R, Abella BS, et al. Part 5: adult basic life support: 2010 American Heart Association Guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care [J]. Circulation, 2010, 122 (18 Suppl 3): S685-S705. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.970939.
- [8] Neumar RW, Otto CW, Link MS, et al. Part 8: adult advanced cardiovascular life support: 2010 American Heart Association Guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care [J]. Circulation, 2010, 122 (18 Suppl 3): S729-S767. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.970988.
- [9] 马雪,周世辉.呼吸机潮气量和高压报警值参数设置在心肺复苏中的应用[J].中国医学物理学杂志,2021,38(8):1001-1004. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2021.08.016.
- [10] 王立祥,俞森洋.合理应用现代通气机心肺复苏[J].中国危重病急救医学,2002,14(10):582-583. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2002.10.002.
- [11] 朱蕾.机械通气[M].3版.上海:上海科学技术出版社,2012:123.
- [12] 张波.机械通气过程中人-机不同步的原因判断与处理[J].中华结核和呼吸杂志,2010,33(3):167-168. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2010.03.005.
- [13] 田昕,方伟钧,王家燕.胸外按压状态下不同峰流量设置对机械通气的影响[J].中国呼吸与危重监护杂志,2014,13(4):357-359. DOI: 10.7507/1671-6205.2014087.
- [14] 王辰.呼吸治疗教程[M].北京:人民卫生出版社,2010:177.

(收稿日期:2025-02-05)

(责任编辑:邸美仙)