

压力控制容量保证通气模式在围术期肺保护中的研究进展

任彦彰¹, 曾力行²

¹吉首大学医学院, 湖南 吉首

²湖南医药学院总医院麻醉科, 湖南 怀化

收稿日期: 2026年2月3日; 录用日期: 2026年2月26日; 发布日期: 2026年3月4日

摘要

围术期肺损伤与术后肺部并发症(PPCs)的发生率和死亡率密切相关, 优化机械通气策略是降低相关风险的关键环节。压力控制-容量保证通气(PCV-VG)作为一种结合压力控制通气(PCV)与容量控制通气(VCV)特点的混合模式, 旨在实现最低气道压力下的精准潮气量输送。本综述系统评价与比较了PCV-VG与传统通气模式在围术期肺保护中的应用价值。现有证据表明, PCV-VG在改善术中呼吸力学方面展现出明确的技术优势, 包括降低气道峰值压力、提高肺动态顺应性、提供比PCV更稳定的潮气量。然而, 这些优势并未明确转化为患者核心临床结局的显著改善。指出了PCV-VG是一种有价值的精细化通气管理工具, 尤其适用于呼吸力学状态复杂多变的场景, 但其临床应用应基于对其技术优势与临床结局改善有限性的全面认识, 并融入个体化的肺保护性通气策略之中。

关键词

压力控制容量保证模式, 围术期肺保护, 机械通气

Research Progress of Pressure-Controlled Volume-Guaranteed Ventilation in Perioperative Lung Protection

Yanzhang Ren¹, Lixing Zeng²

¹Medical College of Jishou University, Jishou Hunan

²Department of Anaesthesiology, General Hospital of Hunan University of Medicine, Huaihua Hunan

Received: February 3, 2026; accepted: February 26, 2026; published: March 4, 2026

Abstract

Perioperative lung injury is closely associated with the incidence and mortality of postoperative

pulmonary complications (PPCs), and optimizing mechanical ventilation strategies is a key measure to reduce related risks. Pressure-controlled ventilation-volume guaranteed (PCV-VG), a hybrid mode combining the characteristics of pressure-controlled ventilation (PCV) and volume-controlled ventilation (VCV), is designed to deliver precise tidal volume at the lowest airway pressure. This review systematically evaluates and compares the value of PCV-VG versus conventional ventilation modes in perioperative lung protection. Current evidence demonstrates that PCV-VG presents distinct technical advantages in improving intraoperative respiratory mechanics, including reducing peak airway pressure, enhancing dynamic lung compliance, and providing more stable tidal volume compared with PCV. However, these advantages have not been clearly translated into significant improvements in patients' core clinical outcomes. PCV-VG is recognized as a valuable tool for refined ventilation management, especially suitable for scenarios with complex and variable respiratory mechanics. Nevertheless, its clinical application should be based on a comprehensive understanding of its technical benefits and the limited improvement in clinical outcomes, and integrated into individualized lung-protective ventilation strategies.

Keywords

Pressure-Controlled Ventilation Volume Guaranteed (PCV-VG) Mode, Perioperative Lung Protection, Mechanical Ventilation

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

围术期肺损伤是外科手术患者面临的重要临床问题, 其发生率与死亡率显著相关。术后肺部并发症(如肺不张、急性呼吸窘迫综合征等)在非胸科手术患者中的发生率为 10%, 且发生肺部并发症者的 28 天住院死亡率显著高于未发生并发症者[1]。重大手术患者中, 术后肺部并发症风险尤为突出, 而机械通气策略的优化是降低此类风险的关键环节[2] [3]。现有研究强调, 肺保护性通气策略通过减少呼吸机所致肺损伤(VILD)风险, 对改善患者预后具有重要价值, 尤其对心血管重症患者的心肺交互作用具有特殊临床意义[3]。

传统机械通气模式历经从容量控制通气(VCV)到压力控制通气(PCV)的演变。早期容量控制通气(VCV)通过固定潮气量保障分钟通气量, 但可能因高气道压力增加肺损伤风险[4]。压力控制通气(PCV)通过限定吸气压力降低气压损伤风险, 但其潮气量易受肺顺应性影响而波动[5]。随着技术进步, 压力控制-容量保证通气(PCV-VG)模式应运而生, 旨在整合两种模式的优点。

压力控制-容量保证通气(PCV-VG)结合了 PCV 的压力限制特性与 VCV 的潮气量保障功能。其核心机制为: 在预设目标潮气量基础上, 通过自动调节吸气压力水平, 实现最低气道压力下的精确潮气量输送[6] [7]。本文旨在研究 PCV-VG 在目前围术期肺保护中的应用研究进展, 对比传统通气模式的优势, 明确其应用背景及技术优势, 为围术期肺保护策略添砖加瓦。

2. 不同通气模式的生理学基础与机制研究

2.1. 容量控制通气(VCV)

容量控制通气(VCV)通过预设恒定潮气量(VT)和恒定吸气流量实现通气支持[8]。该模式下, 气道压力随肺顺应性和气道阻力动态变化, 易在肺力学特性恶化(如肺顺应性降低或气道阻力升高)时产生高气

道峰压(Ppeak)和平台压(Pplat), 增加气压伤风险[9]。在单肺通气胸外科手术中, VCV 虽能维持稳定潮气量, 但未显著改善氧合或呼吸力学参数, 且与压力控制模式相比术后肺部并发症发生率无差异[10]。其核心局限性在于无法主动限制气道压力, 尤其在肥胖患者中, 固定潮气量可能导致区域性肺泡过度膨胀[11]。

2.2. 压力控制通气(PCV)

压力控制通气(PCV)以预设吸气压力和吸气时间为调控核心。该模式下, 吸气初期气体流速呈减速波形, 使气道压迅速达到目标值并维持恒定, 潮气量则随肺顺应性和阻力波动[12]。减速气流特性可改善通气分布均一性, 降低气道峰压, 尤其适用于气道阻力增高或肺顺应性不均的患者。在机器人辅助手术中, PCV 较 VCV 显著降低气道峰压, 提高肺顺应性和二氧化碳清除率[9]。然而, PCV 的潮气量不稳定性是其主要缺陷: 在肺力学状态动态变化时(如腹腔镜手术气腹形成), 潮气量可能不足或过量, 需频繁调整参数以维持肺保护目标[11]。

2.3. 压力控制容量保证通气(PCV-VG)

压力控制-容积保障通气(PCV-VG)整合了 PCV 与 VCV 的双重特性: 以预设潮气量为目标, 通过自动调节吸气压力实现压力控制下的容量保证[10][13]。其技术核心为呼吸机实时监测肺顺应性, 在每次呼吸周期内动态优化吸气压力, 既维持减速气流改善气体分布的优势, 又确保潮气量精确达标[13]。在腹部手术中, PCV-VG 可稳定提供目标潮气量(如 6~8 mL/kg 预测体重), 避免传统 PCV 的潮气量波动问题[13]。相较于 VCV, PCV-VG 通过限制吸气压力可能降低机械功率(Mechanical Power)——一项反映呼吸机相关肺损伤风险的复合指标。尽管该模式有理论上技术优势, 但仍有随机对照试验表明其与传统通气模式无显著差异, 比如部分研究表明, PCV-VG 在降低术后肺部并发症复合终点(如肺不张、急性肺损伤)方面, 与 VCV 或 PCV 均无统计学差[10][13]。其技术优势主要体现在优化呼吸力学参数(如降低气道峰压、提高顺应性)和减少呼吸机参数手动调整频次, 但尚未转化为显著的临床结局改善[10][11][13]。

3. 气道动力学参数比较

3.1. 峰值气道压力的控制效果

压力控制容量保证通气(PCV-VG)在控制峰值气道压力(Ppeak)方面展现出技术优势。在需要进行单肺通气的新生儿食管闭锁的胸腔镜修复术中, 与容量控制通气(VCV)相比, 压力控制容量保证通气模式(PCV-VG)可显著降低气道峰压, 同时提高肺顺应性并改善二氧化碳清除率[14]。此外, Bao 等研究显示, 在择期行脊髓松解手术的患儿术中, PCV-VG 这种通气模式可能更为理想, 因为它能够有效降低气道峰压及肺顺应性, 同时还能保持通气量(VT)的稳定[15]。但是也有学者发现, 对于肥胖患者, PCV-VG 模式与 PCV 模式在术中气道峰值方面, 并没有显著差异[16]。在气道峰压控制方面, 越来越多的最新研究指向, 相比于 VCV 模式, PCV-VG 模式具有一定技术优势, 优势程度也许与 PCV 模式持平。

3.2. 平台压与驱动压的动态变化

平台压(Pplat)与驱动压(ΔP)是评估肺应力损伤的核心指标。在急性呼吸窘迫综合征(ARDS)患者中, 驱动压与肺上皮/内皮功能障碍、炎症及凝血障碍显著相关, 且该关联独立于潮气量或呼气末正压(PEEP)调整[17]。部分研究表明, 对于接受腹腔镜手术的患者而言, 与 VCV 方式相比, PCV-VG 呼吸模式能够限制吸气峰值压力、降低驱动压力并增加动态顺应性[18][19]。同时有学者观察到, 在气腹期间, PCV-VG、VCV 组间的驱动压和平台压无显著统计学差异[20]。平台压和驱动压方面, 较少被列入通气模式前瞻性研究的比较指标, 不同通气模式在此方面的差异性仍需进一步研究。

3.3. 潮气量精确调控的临床意义

潮气量(V_t)的精准管理是肺保护性通气的关键。儿科 ARDS 研究发现, 压力控制通气模式与潮气量非依从性风险显著相关(调整后 $OR = 1.87$), 且 62% 的严重病例潮气量 ≥ 7 mL/kg, 提示该模式易导致潮气量超标[21]。Bao 等研究显示, 在择期行脊髓松解手术的患儿术中, PCV-VG 与 VCV 模式比 PCV 模式提供了更稳定的潮气量, 这对于患儿的肺保护是有益的[15]。

4. 氧合功能与呼吸力学改善

4.1. 动脉血氧分压(PaO_2)的比较分析

现有研究显示, 压力控制容量保证通气(PCV-VG)与传统容量控制通气(VCV)或压力控制通气(PCV)在围术期动脉血氧分压(PaO_2)的改善方面未表现出显著差异。在腹部手术患者中, 一项注册随机对照试验比较了 VCV、PCV 和 PCV-VG 三种模式, 三组术后 7 天内肺部并发症发生率无显著差异(21.8%、22.1%、22.5%, $P = 0.865$), 且未报告 PaO_2 的显著差别[13]。类似地, 在接受单肺通气的肺切除术患者中, 另一项多中心随机对照试验也发现 VCV、PCV 和 PCV-VG 对术后肺部并发症的影响无统计学差异(21%、22%、23%, $P = 0.831$) [10]。值得注意的是, 有综述指出 PCV-VG 可能改善氧合及呼吸力学参数[22], 但直接比较 PaO_2 的高质量证据仍有限。

4.2. 氧合指数(PaO_2/FiO_2)的改善程度

关于氧合指数(PaO_2/FiO_2)的改善, 现有证据对 PCV-VG 的作用尚不一致。有综述提出, 在围术期肺保护中, 采用 PCV-VG 相较于常规通气模式可能改善氧合功能[22], 但这一结论缺乏大规模随机对照试验的直接验证。同时, Liu 等学者在最新的综述 META 分析中表示, 对比 VCV 模式、PCV 模式、PCC-VG 三种模式, 并没有发现在改善氧合指数方面有显著差异[23]。说明 PCV-VG 的益处可能是场景特异性的, 尤其在手术时间长、肺功能挑战大(如头颈手术、长时间单肺通气)的手术中, 仍需要进一步研究不同通气模式在不同类型手术中, 氧合指数方面改善的差异性。

4.3. 肺顺应性与呼吸功能的变化特征

Yao 等研究表明, 在老年患者胸科手术中, PCV-VG 比 VCV 提供更高的肺动态顺应性, 同时降低气道压力[24]。同时, 在儿科腹腔镜手术中, PCV-VG 也比 VCV 可以提供更高的肺动态顺应性[25]。大部分研究表明, 在改善术中患者肺顺应方面, 相比传统容量控制通气模式, PCV-VG 具有一定优势。

5. 术后肺部并发症预防效果

术后肺部并发症(Postoperative Pulmonary Complications, PPCs)是影响手术患者预后的关键因素。在全身麻醉诱导时, 呼吸系统就会立即发生变化: 呼吸驱动和肌肉功能会发生改变, 肺容量会减少, 超过 75% 接受神经肌肉阻滞药物治疗的患者会出现肺不张。全身麻醉进行重大手术后的 6 周内, 呼吸系统可能无法恢复到术前状态[26]。包括急性肺损伤/急性呼吸窘迫综合征(ALI/ARDS)发生率、肺不张风险及机械通气与 ICU 停留时间等在其范畴之中[27]。

现有随机临床试验显示, PCV-VG 在降低术后并发症发生率方面与传统通气模式无显著差异, 一项针对中高风险腹部手术患者的随机试验表明, PCV-VG 组、VCV 组和 PCV 组术后 7 天内复合肺部并发症(含 ALI)发生率分别为 21.8%、22.1% 和 22.5% ($P = 0.865$), 无显著差异[13]。同样, 在肺切除术伴单肺通气的成人患者中, 多中心随机对照试验发现 VCV、PCV 与 PCV-VG 三组术后 7 天内复合肺部并发症(含 ALI)发生率分别为 21%、22% 和 23% ($P = 0.831$), 无显著差异[10], 其中包括了急性呼吸窘迫综合征

(ALI/ARDS)、肺不张风险、以及机械通气 ICU 停留时间。但过往研究中, KIM 等学者发现, PCV-VG 对比 VCV 在一定程度上可以减少术后肺部感染的发生率[28], 同时在单肺手术中, 优化吸气流速的 PCV-VG 模式可以显著降低术后肺部并发症, 其中可能包含优化吸气流速及采用 PCV-VG 模式双重影响下的结果[29]。因为术后肺部并发症受到包括手术, 术后康复等多重影响, 从而影响患者预后表现, 对于 PCV-VG 模式对于术后肺部并发症的预防效果还需要进一步研究。

6. 特殊人群的应用价值

6.1. PCV-VG 在单肺通气手术中的应用

单肺通气期间因肺萎陷、通气血流比例失调、缺血再灌注等复杂机制, 易导致急性肺损伤, 使术后肺部并发症发生率高达 16%~30%, 说明在该类手术中对于通气模式有更高要求[30]。Wang 等研究发现, 在单肺通气的胸腔手术患儿中, 对比 VCV 模式, PCV-VG 具有改善氧合(提高 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, 降低肺内分流), 降低气道压等优势[31]。同时在成人单肺通气术中, Sun 等表示, 优化吸气流速的 PCV-VG 能进一步改善肺动态顺应性和氧合, 并显著降低术后肺部并发症[29]。在单肺通气手术中, 很多研究支持 PCV-VG 相比传统通气模式具有一定优势, 但是仍需高质量证据进一步论证。

6.2. PCV-VG 在肥胖患者手术中的应用

肥胖患者通气管管理的核心困难源于其异常的呼吸生理, 包括肺与胸壁顺应性显著降低, 功能残气量锐减, 肺不张风险高, 气道阻力增加, 更易发生围术期呼吸机相关肺损伤[32]。部分研究表明, PCV-VG 模式显著降低了术中气道峰值压力, 有助于实现更平稳的血流动力学, 并能调节肥胖患者在妇科腹腔镜手术中的腹腔内压力和体位[33]。但也有过往研究表明, 体重超重的成人腹部手术中, PCV-VG 与氧合指数改善并没有直接关联[34]。

6.3. PCV-VG 在老年患者手术中的应用

老年患者肺泡壁变薄、弹性纤维减少、肺泡孔增大, 导致肺泡融合、有效气体交换面积减少, 低容量状态下(如麻醉后)小气道易提前闭合, 引起通气/血流比例失调和肺不张[28]。Kim 等研究发现, 通过使用肺部超声评分(LUS)来评估 PCV-VG 与 VCV 在老年手术患者中, PCV-VG 组的具有更高的肺顺应性值, 体现了 PCV-VG 模式在老年患者中的技术优势[28]。刘祥峻等研究发现, 对于接受胸腔镜肺段、肺叶切除的老年患者, PCV-VG 可改善术后早期咳嗽及呼吸困难症状, 并降低早期轻度 PPC 的发生率[35]。

7. 呼吸力学改善未能转化成 PPCs 降低的思考

尽管 PCV-VG 相较于传统通气模式, 有呼吸力学方面的改善, 但对于 PPCs 的降低仍缺乏高质量证据[23]。Li 等在计划接受体外循环心脏手术的患者中, 对比 PCV、VCV, PCV-VG 三种模式, 在 7 天内肺部并发症的严重程度等级、术后通气时间、重症监护病房停留时间、术后住院时间或 30 天术后死亡率均无显著差异[36]。Liu 等纳入了 240 例接受口腔颌面手术的发生 PPCs 中高危患者, 对比 VCV 组的患者 PPCs (34.2%), 平均住院时间(9 天), PCV-VG 组的 PPCs (26.7%), 平均住院时间(8 天)有所改善, 但 P 值 = 0.051, 仍没有统计学意义[37]。可以观察到尽管主要结局的 P 值为 0.051, 但 7.5% 的绝对风险降低对临床具有一定意义, 是值得关注的, 可能仍然反映了 PCV-VG 在降低 PPCs 的潜在优势。

是否可以考虑相较于普通患者, 在发生 PPCs 中高危的患者中, PCV-VG 对比传统通气模式会体现更具差异性的优势, 其优势会更加显著地转化为临床预后的改善。同时也有学者认为, 患者自身条件, 手术时间等因素, 也会一定程度影响 PPCs 的发生[38]。

8. 总结

PCV-VG (压力控制容量保证通气)与传统通气模式相比,其价值呈现出,它在优化“过程性”呼吸力学指标上具有明确优势,但在改善“终局性”临床预后方面证据有限。

从技术原理上看,PCV-VG整合了压力控制与容量保证,旨在以最低压力实现精准潮气量输送。这一设计使其在多数研究中(尤其是与传统容量控制通气相比)展现出显著的技术优势,包括降低气道峰压、提高肺动态顺应性、提供比传统压力控制通气更稳定的潮气量。这些优势使其在生理挑战大、呼吸力学易波动的场景中受到关注,例如在单肺通气、肥胖或老年患者的手术中,研究普遍支持PCV-VG能带来更好的术中呼吸力学参数。

然而,我们可以进一步发现,这种技术优势并未明确转化为患者术后结局的普遍改善。大型多中心随机对照试验和系统评价一致表明,无论是对于广泛的腹部手术患者,还是接受肺切除手术的患者,PCV-VG在降低术后肺部并发症(包括急性肺损伤/急性呼吸窘迫综合征)发生率、改善动脉血氧分压或氧合指数等方面,与传统的容量控制通气或压力控制通气相比,均未显示出统计学上的显著差异,对于不同通气模式的患者长期预后结果,仍存在研究空白。

综上所述,关于PCV-VG通气模式相较于传统VCV的临床优势,学界尚未形成明确共识,相关讨论仍存较多争议。同时,将其与经典PCV模式进行一对一比较的高质量研究仍相对有限,这限制了对不同通气模式细微差别的深入理解。目前该领域的研究仍处于积累证据、细化认知的“发展”阶段。PCV-VG应被视作一项有价值的精细化通气管理工具,展望未来,随着术中呼吸机技术的日益精进与通气策略的创新,临床实践需更系统性地审视机械通气与患者远期预后之间的复杂关系。这也对麻醉医师提出了更高要求,需要其不断更新知识体系,以便于更好地服务患者,切实降低围术期并发症风险。

参考文献

- [1] Simonis, F.D., Einav, S., Serpa Neto, A., Hemmes, S.N., Pelosi, P., Gama de Abreu, M., *et al.* (2022) Epidemiology, Ventilation Management and Outcome in Patients Receiving Intensive Care after Non-Thoracic Surgery—Insights from the Las Vegas Study. *Pulmonology*, **28**, 90-98. <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2021.10.004>
- [2] Pensier, J., Guerrero, M.A., Berger-Estilita, J., Borgstedt, L., Zaher, A.M.S., Jaber, S., *et al.* (2025) Perioperative Ventilation Support, What Clinicians and Searchers Must Know. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*, **44**, Article 101554. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2025.101554>
- [3] Rali, A.S., Tran, L., Balakrishna, A., Senussi, M., Kapur, N.K., Metkus, T., *et al.* (2024) Guide to Lung-Protective Ventilation in Cardiac Patients. *Journal of Cardiac Failure*, **30**, 829-837. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2024.01.018>
- [4] Park, K.J. (2025) Lung-Protective Ventilation Strategy in Acute Respiratory Distress Syndrome: A Critical Reappraisal of Current Practice. *Critical Care*, **29**, Article No. 444. <https://doi.org/10.1186/s13054-025-05675-2>
- [5] Richard, J.M., Beloncle, F.M., Béduneau, G., Mortaza, S., Ehrmann, S., Diehl, J., *et al.* (2024) Pressure Control Plus Spontaneous Ventilation versus Volume Assist-Control Ventilation in Acute Respiratory Distress Syndrome. A Randomised Clinical Trial. *Intensive Care Medicine*, **50**, 1647-1656. <https://doi.org/10.1007/s00134-024-07612-3>
- [6] Needham, M., Smith, R. and Bauchmuller, K. (2019) Pressure-Regulated Volume Control Ventilation as a Means of Improving Lung-Protective Ventilation. *Journal of the Intensive Care Society*, **20**, NP6-NP7. <https://doi.org/10.1177/1751143718798586>
- [7] Soliman, A.M., Taha, S.S., El Agamy, A.E.S., El Seidy, M.I. and Youssef, A.M. (2025) Comparative Study of the Effects of Volume-Controlled Ventilation vs. Pressure-Controlled Volume Guaranteed Ventilation in Patients with Obesity during Laparoscopic Surgery. *Anaesthesia, Pain & Intensive Care*, **29**, 318-324. <https://doi.org/10.35975/apic.v29i2.2722>
- [8] Apfelbaum, J.L., Hagberg, C.A., Connis, R.T., Abdelmalak, B.B., Agarkar, M., Dutton, R.P., *et al.* (2022) 2022 American Society of Anesthesiologists Practice Guidelines for Management of the Difficult Airway. *Anesthesiology*, **136**, 31-81. <https://doi.org/10.1097/aln.0000000000004002>
- [9] Chiumello, D., Coppola, S., Fratti, I., Leone, M. and Pastene, B. (2023) Ventilation Strategy during Urological and Gynaecological Robotic-Assisted Surgery: A Narrative Review. *British Journal of Anaesthesia*, **131**, 764-774. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2023.06.066>

- [10] Li, X.-F., Jin, L., Yang, J.-M., Luo, Q.-S., Liu, H.-M. and Yu, H. (2022) Effect of Ventilation Mode on Postoperative Pulmonary Complications Following Lung Resection Surgery: A Randomised Controlled Trial. *Anaesthesia*, **77**, 1219-1227. <https://doi.org/10.1111/anae.15848>
- [11] Wang, J., Zeng, J., Zhang, C., Zheng, W., Huang, X., Zhao, N., *et al.* (2022) Optimized Ventilation Strategy for Surgery on Patients with Obesity from the Perspective of Lung Protection: A Network Meta-Analysis. *Frontiers in Immunology*, **13**, Article ID: 1032783. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1032783>
- [12] Suntrawanichakul, S., Ngamjarus, C., Sawanyawisuth, K. and Khamsai, S. (2025) Pressure-Controlled Ventilation versus Volume-Controlled Ventilation for Adult Patients with Acute Respiratory Failure: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicine*, **104**, e43774. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000043774>
- [13] Li, X., Xu, Y., Wang, Z., Wang, W., Luo, Q., Yi, Q., *et al.* (2024) Effect of Ventilation Mode on Postoperative Pulmonary Complications among Intermediate- to High-Risk Patients Undergoing Abdominal Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*, **43**, Article 101423. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2024.101423>
- [14] Kaimin, L., Bijun, L., Cheng, L. and Xiaoxia, W. (2025) Pressure Controlled Ventilation with Volume Guarantee Improves Outcomes in Neonatal Thoracoscopic Esophageal Atresia Surgery. *Frontiers in Pediatrics*, **13**, Article ID: 1524883. <https://doi.org/10.3389/fped.2025.1524883>
- [15] Bao, C., Cao, H., Shen, Z., Hu, Y., Huang, J., Shu, Q., *et al.* (2024) Comparison of Volume-Controlled Ventilation, Pressure-Controlled Ventilation and Pressure-Controlled Ventilation-Volume Guaranteed in Infants and Young Children in the Prone Position: A Prospective Randomized Study. *Journal of Clinical Anesthesia*, **95**, Article 111440. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2024.111440>
- [16] Mahmoud, A.A., El-Ramely, M. and Abdelhaq, M. (2015) The Dual Mode of Ventilation ‘Pressure-Controlled Ventilation-Volume Guaranteed’ Does Not Provide Anymore Benefit in Obese Anesthetized Patients. *The Egyptian Journal of Cardiothoracic Anesthesia*, **9**, Article 39. <https://doi.org/10.4103/1687-9090.172749>
- [17] Barbata, E., Ferrando, C., López-Aladid, R., Motos, A., Bueno-Freire, L., Fernández-Barat, L., *et al.* (2025) Association between Driving Pressure, Systemic Inflammation and Non-Pulmonary Organ Dysfunction in Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome, a Prospective Pathophysiological Study. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*, **44**, Article 101458. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2024.101458>
- [18] Toker, M.K., Altıparmak, B., Uysal, A.İ. and Demirebilek, S.G. (2019) Comparison of Pressure-Controlled Volume-Guaranteed Ventilation and Volume-Controlled Ventilation in Obese Patients during Gynecologic Laparoscopic Surgery in the Trendelenburg Position. *Brazilian Journal of Anesthesiology (English Edition)*, **69**, 553-560. <https://doi.org/10.1016/j.bjane.2019.10.002>
- [19] Li, Z., Wu, Y., Yu, Y., Liu, K., Tian, H., Yao, J., *et al.* (2025) Evaluation of Mechanical Ventilation Modes in the Laparoscopic Perioperative Period with Electrical Impedance Tomography. *PLOS ONE*, **20**, e0331194. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0331194>
- [20] Sencan, A., Dundar, N., Gunel, B. and Yuksek, A. (2025) The Effect of Flow-Controlled Ventilation on Mechanical Power in Laparoscopic Surgeries: A Comparative Analysis with Pressure Controlled Volume Guaranteed and Volume Controlled Ventilation. *Medeniyet Medical Journal*, **40**, 269-277. <https://doi.org/10.4274/mmj.galenos.2025.66664>
- [21] Bhalla, A.K., Klein, M.J., Emeriaud, G., Lopez-Fernandez, Y.M., Napolitano, N., Fernandez, A., *et al.* (2021) Adherence to Lung-Protective Ventilation Principles in Pediatric Acute Respiratory Distress Syndrome: A Pediatric Acute Respiratory Distress Syndrome Incidence and Epidemiology Study. *Critical Care Medicine*, **49**, 1779-1789. <https://doi.org/10.1097/ccm.0000000000005060>
- [22] 张建友, 郭宁, 杨大威, 王溢鑫, 唐苏红, 段鲜宁. 压力控制容量保证通气对胸腔镜肺叶切除术患者围术期肺功能的影响[J]. 临床麻醉学杂志, 2024, 40(8): 820-824.
- [23] Liu, Z., Liu, W., Zhao, P., Ma, Z. and Li, Y. (2025) Effect of Pressure-Controlled Ventilation-Volume Guaranteed Mode on Intraoperative Respiratory Mechanics, Oxygenation and Postoperative Pulmonary Complications: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Annals of Medicine*, **57**, Article 2579790. <https://doi.org/10.1080/07853890.2025.2579790>
- [24] Yao, W., Yang, M., Cheng, Q., Shan, S., Yang, B., Han, Q., *et al.* (2020) Effect of Pressure-Controlled Ventilation-Volume Guaranteed on One-Lung Ventilation in Elderly Patients Undergoing Thoracotomy. *Medical Science Monitor*, **26**, e921417. <https://doi.org/10.12659/msm.921417>
- [25] Liu, H., Cao, Y., Zhang, L., Liu, X. and Gu, E. (2021) Pressure-Controlled Volume-Guaranteed Ventilation Improves Respiratory Dynamics in Pediatric Patients during Laparoscopic Surgery: A Prospective Randomized Controlled Trial. *International Journal of General Medicine*, **14**, 2721-2728. <https://doi.org/10.2147/ijgm.s318008>
- [26] Miskovic, A. and Lumb, A.B. (2017) Postoperative Pulmonary Complications. *British Journal of Anaesthesia*, **118**, 317-334. <https://doi.org/10.1093/bja/aex002>
- [27] Young, C.C., Harris, E.M., Vacchiano, C., Bodnar, S., Bukowy, B., Elliott, R.R.D., *et al.* (2019) Lung-Protective Ventilation

- for the Surgical Patient: International Expert Panel-Based Consensus Recommendations. *British Journal of Anaesthesia*, **123**, 898-913. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.08.017>
- [28] Kim, Y.S., Won, Y.J., Lee, D.K., Lim, B.G., Kim, H., Lee, I.O., *et al.* (2019) Lung Ultrasound Score-Based Perioperative Assessment of Pressure-Controlled Ventilation-Volume Guaranteed or Volume-Controlled Ventilation in Geriatrics: A Prospective Randomized Controlled Trial. *Clinical Interventions in Aging*, **14**, 1319-1329. <https://doi.org/10.2147/cia.s212334>
- [29] Sun, T.T., Chen, K.X., Tao, Y., Zhang, G.W., Zeng, L., Lin, M., *et al.* (2024) Effect of Flow-Optimized Pressure Control Ventilation-Volume Guaranteed (PCV-VG) on Postoperative Pulmonary Complications: A Consort Study. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, **19**, Article No. 425. <https://doi.org/10.1186/s13019-024-02881-x>
- [30] Sha, Y., Xu, R., Shao, S., Yang, J., Tang, B., Liang, Q., *et al.* (2025) Tailored Single-Lung Ventilation Approaches and Postoperative Pulmonary Outcomes in Thoracic Surgery. *Journal of Thoracic Disease*, **17**, 5371-5387. <https://doi.org/10.21037/jtd-2025-314>
- [31] Wang, L., Zhu, Y., Zhu, S., Yan, L., Du, Z., Xiao, T., *et al.* (2025) Effects of Pressure-Controlled Ventilation-Volume Guaranteed on Children Undergoing Thoracic Surgery: A Prospective, Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Medicine*, **12**, Article ID: 1647682. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1647682>
- [32] Elbehairy, M.S., Eid, G.M., Elzeftawy, A.E., Elsheikh, N.A. and Messbah, W.E. (2025) Driving Pressure Guided Ventilation versus Conventional Lung Protective Strategy in Morbid Obese Patients Undergoing Laparoscopic Bariatric Surgery: A Prospective Randomized Controlled Study. *BMC Anesthesiology*, **25**, Article No. 577. <https://doi.org/10.1186/s12871-025-03431-1>
- [33] Zhou, Z., Fei, G., Zhang, Q. and Ru, Y. (2025) Clinical Application of a Ventilation Strategy Based on the P-V Curve in Obese Patients Undergoing Gynaecological Laparoscopic Surgery. *Journal of the Pakistan Medical Association*, **75**, 743-747. <https://doi.org/10.47391/jpma.20946>
- [34] Aldenkortt, M., Lysakowski, C., Elia, N., Brochard, L. and Tramèr, M.R. (2012) Ventilation Strategies in Obese Patients Undergoing Surgery: A Quantitative Systematic Review and Meta-Analysis. *British Journal of Anaesthesia*, **109**, 493-502. <https://doi.org/10.1093/bja/aes338>
- [35] 刘祥峻, 徐蔚, 高甜甜, 李明樾, 赵文静. 压力控制容量保证通气对老年患者胸腔镜肺部分切除术后肺部并发症的影响[J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2023, 44(6): 599-604.
- [36] Li, X., Mao, W., Jiang, R., Yu, H., Zhang, M. and Yu, H. (2024) Effect of Mechanical Ventilation Mode Type on Postoperative Pulmonary Complications after Cardiac Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, **38**, 437-444. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2023.11.024>
- [37] Liu, Y., Gao, L., Lyv, X., Zhang, X., Zhou, D., Xiong, G., *et al.* (2025) The Effects of Pressure-Controlled Volume-Guaranteed Ventilation (PCV-VG) on Postoperative Pulmonary Complications (PPCs) of Oral and Maxillofacial Patients Undergoing Free Flap Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. *BMC Surgery*, **25**, Article No. 571. <https://doi.org/10.1186/s12893-025-03318-5>
- [38] 王键龙, 郭浩源, 宫哲轩, 等. 压力控制容量保证通气模式的临床应用进展[J]. 医学研究与教育, 2023, 40(6): 28-33.