

华西医学
West China Medical Journal
ISSN 1002-0179, CN 51-1356/R

《华西医学》网络首发论文

题目：成人非心胸手术围手术期机械通气专家共识
作者：孙琪荣, 李雪霏, 崔宇
收稿日期：2024-10-08
网络首发日期：2024-11-21
引用格式：孙琪荣, 李雪霏, 崔宇. 成人非心胸手术围手术期机械通气专家共识[J/OL]. 华西医学. <https://link.cnki.net/urlid/51.1356.R.20241121.1129.010>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

成人非心胸手术围手术期机械通气专家共识



成都医学会麻醉专业委员会，重庆市医学会麻醉专科分会

【摘要】 围手术期机械通气与肺损伤和术后肺部并发症风险增加相关，但目前就如何在手术患者机械通气期间提供最佳肺保护这一关键临床问题尚缺乏共识，有必要制定适合我国麻醉医生应用的围手术期机械通气专家共识以更好地指导临床实践。四川大学华西医院组织成都医学会麻醉专业委员会和重庆市医学会麻醉专科分会专家提出关于围手术期机械通气的若干问题，对现有文献进行回顾并征求专家意见，最后采用改良德尔菲法建立了该专家共识，制定出 28 条具有中-高级证据质量的推荐。

【关键词】 围手术期；机械通气；肺损伤；肺部并发症；肺保护性通气；专家共识

Perioperative mechanical ventilation for adult non-cardiothoracic surgical patients: a Delphi consensus

Anesthesia Committee of Chengdu Medical Association, Chongqing Medical Association Anesthesiology Branch

Corresponding authors: YU Hai, Email: yuhai@scu.edu.cn; LI Hong, Email: lh78553@126.com

【Abstract】 Perioperative mechanical ventilation plays a role in lung injury and postoperative pulmonary complications, yet a consensus in the literature concerning the key clinical question of how to best provide lung protection during mechanical ventilation in surgical patients is lacking. It is necessary to develop an expert consensus on perioperative mechanical ventilation suitable for Chinese anesthesiologists to better guide clinical practice. The experts from the Anesthesia Committee of Chengdu Medical Association and the Chongqing Medical Association Anesthesiology Branch were organized by West China Hospital of Sichuan University to propose the question regarding the perioperative mechanical ventilation, and the current literature was then reviewed, and expert opinions were solicited to provide evidence-based guidance. Subsequently, the expert panel reached a consensus and formulated 28 recommendations with evidence of moderate to high quality using the modified Delphi method.

【Key words】 Perioperative period; mechanical ventilation; lung injury; pulmonary complications; lung-protective ventilation; expert consensus

我国每年手术近 0.8 亿人次^[1]，其中绝大多数须在术中接受全身麻醉下的机械通气支持。围手术期机械通气可能造成通气和气体交换机制受损、局部和全身炎症反应等而增加术中肺损伤和术后肺部并发症（postoperative pulmonary complication, PPC）风险^[2-3]。研究报道，在接受非心胸手术患者中，肺部感染、肺不张、低氧血症和呼吸衰竭等 PPC 发生率为 11%~59%^[4-5]。围手术期肺保护性通气策略已被证实是降低 PPC 的有效措施，相关国际专家共识于 2019 年发布^[6]。然而，国内调查性研究显示，我国麻醉医生对肺保护性通气策略的理论

认识与临床实践存在差异^[7-8]。随着近年来新的临床证据不断涌现，有必要制定适合我国麻醉医生应用的围手术期机械通气专家共识，以更好地指导临床实践。本专家共识基于当前临床证据，为成人非心胸手术提供围手术期机械通气的临床实践推荐。

1 共识制定过程

本共识制定采用改良德尔菲调查法。第 1 步：由四川大学华西医院余海教授牵头组建工作小组，该小组包含 3 名主任医师和 2 名主治医师，他们来自知名三级甲等医院心胸麻醉和普外麻醉专业，并且都有超过 10 年的临床麻醉经验。工作小组起草了围手术期机械通气领域需要达成专家共识的临床问题，并由 8 名来自成渝地区知名麻醉学教授/主任医师组成的核心专家团队进行开放式讨论，最终

DOI: 10.7507/1002-0179.202410028

基金项目：四川省科学技术厅重点研发项目（2024YFFK0255）

通信作者：余海，Email: yuhai@scu.edu.cn；李洪，Email: lh78553@126.com



筛选出 18 个拟纳入共识的临床问题。第 2 步：工作小组依据 PICO[研究对象 (Participants)、干预措施 (Interventions)、对照 (Comparisons) 和结局 (Outcomes)] 原则，对每一个问题进行系统的研究证据检索和总结，形成共识初稿。第 3 步：成都医学会麻醉专业委员会和重庆市医学会麻醉专科分会遴选推举 20 名成员组成专家委员会，推举标准：在围手术期机械通气/麻醉学领域具有丰富经验以及权威性的专家学者。由专家委员会对共识初稿进行匿名投票并反馈。共识投票方法：参考 Likert 9 级量表，不同意为 1~3 分，不确定为 4~6 分，同意为 7~9 分（1~6 分需给出理由或建议）。证据分级和推荐：按照 GRADE 评分进行总结和评估^[9]。根据质量等级，证据被标注为高、中、低和极低，随后予以推荐强度分级。第 4 步：经过 2 轮匿名反馈调查，每条共识投票同意率 >70% 即可纳入共识。第 5 步：通过 1 轮专家组集体讨论后形成终版共识。具体流程见图 1。

2 共识内容

本共识共形成 28 条关于成人非心胸手术围手术期机械通气的共识意见（表 1）。

2.1 围手术期机械通气相关肺损伤的风险评估

围手术期机械通气相关肺损伤主要包括容积伤、气压伤、萎陷伤、生物伤和剪切伤，其临床特征为 PPC 风险增加^[10-11]：① 容积伤：机械通气诱发的

容积伤来源于高潮气量通气，导致肺泡破裂和严重气体外漏（如纵隔气肿和皮下气肿）；② 气压伤：机械通气导致的气压伤来源于肺泡压或跨肺压而非气道压，高气道压力本身并不会导致机械通气相关肺损伤；③ 萎陷伤：肺泡周期性的塌陷所造成的损伤；④ 生物伤：指局部或广泛的生物反应，如激活促炎和促损伤的细胞因子级联反应；⑤ 剪切伤：由于肺泡通气不均匀产生的区域力学差异诱发了额外的机械应力产生的肺损伤。

2.1.1 危险因素 全面的病史和体格检查是评估 PPC 风险的关键，建议已经建立电子信息化系统的医疗单位将 PPC 危险因素评估量表嵌入术前访视电子信息化系统。

机械通气相关肺损伤危险因素包括^[6,12-15]：① 一般状况：年龄 >50 岁，吸烟，美国麻醉医师协会分级 > II 级，体质量指数 >40 kg/m²；② 合并症：睡眠呼吸暂停综合征，呼吸系统感染，慢性阻塞性肺疾病（慢阻肺），间质性肺疾病，控制不良的支气管哮喘，肺高压，充血性心力衰竭，低白蛋白血症（血白蛋白 <30 g/L），贫血（血红蛋白 <100 g/L），血清尿素氮 >300 g/L，以及术前脉搏血氧饱和度（pulse oxygen saturation, SpO₂）≤95%；③ 手术因素：手术部位（大血管、上腹部、头颈及神经外科手术），预计手术时长 >2 h 和急诊手术。

2.1.2 个体化的优化策略 基于术前 PPC 危险因素评估的优化策略包括^[13]：① 改善心肺功能状态；

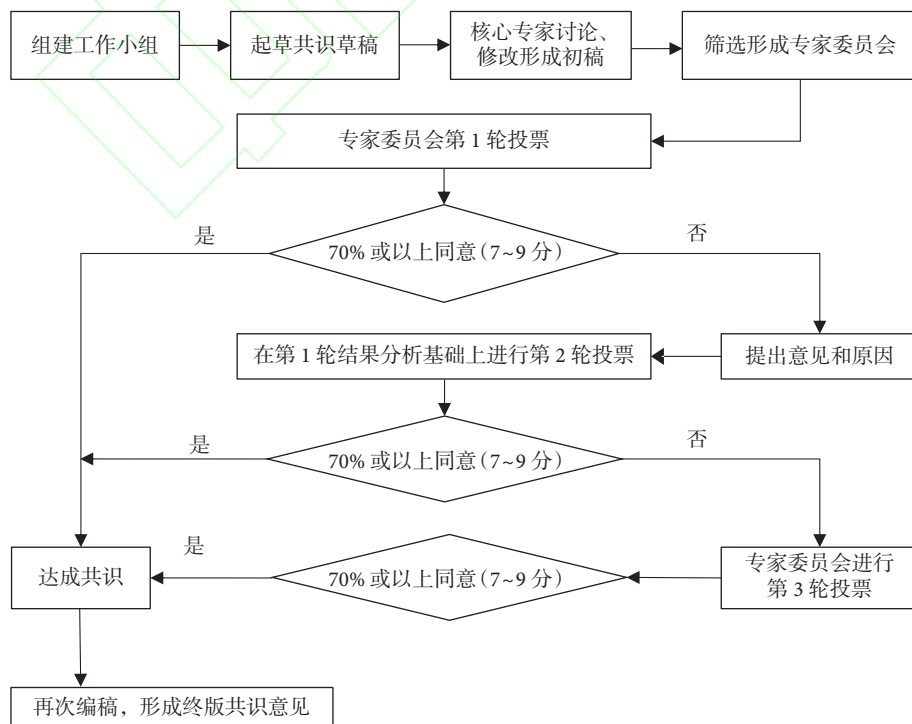


图 1 专家共识制定流程

表 1 成人围手术期机械通气管理策略

序号	共识意见	共识率 (%)	证据级别	推荐强度
1	术前评估机械通气肺损伤的危险因素：年龄、吸烟、美国麻醉医师协会分级、体质量指数、合并心肺疾病、低白蛋白血症、高血清尿素氮、低 SpO ₂ 、手术部位、手术时长和急诊手术	95	高	强
2	全面评估病史和体格检查，并将评估量表放入术前访视电子信息化系统	100	中	强
3	基于术前危险因素进行优化	100	中	强
4	麻醉诱导期间建议头高位或斜坡位	95	高	强
5	诱导期间预充氧：高 FiO ₂ 和新鲜气流量 5 ~ 10 L/min	90	中	强
6	诱导期可采用面罩正压通气，必要时联合经鼻高流量吸氧。维持气道峰压 < 15 cm H ₂ O	95	中	强
7	围手术期肺保护性通气策略推荐联合小潮气量、适当的 PEEP、肺复张和低压平台压	100	高	强
8	术中机械通气模式可选择容量控制通气、压力控制通气或压力控制-容量保证通气模式	100	高	强
9	应用 6 ~ 8 mL/kg (预测体重) 潮气量维持通气。预测体重计算公式：0.91 × (身高 - 152.4) + 50/45.5 (男/女)	85	中	强
10	应用 5 ~ 8 cm H ₂ O 的 PEEP，并动态、个体化滴定调整	100	高	强
11	滴定 PEEP 水平方法包括最低驱动压、最高顺应性、最好氧合和最少肺不张。可在肺超声或 EIT 监测下进行	100	中	强
12	PEEP 滴定或高水平 PEEP 维持期间需关注其对循环的负面影响	100	中	强
13	机控模式下进行阶梯肺复张，持续正压达到 30 ~ 40 cm H ₂ O，肥胖患者须达到 40 ~ 45 cm H ₂ O。至少在气管插管后、气管拔管前各进行一次肺复张。肺复张的同时应密切关注循环波动	100	中	强
14	吸呼比设置为 1 : 2，在特殊手术人群中可适当延长吸气时间；呼吸频率设置为 8 ~ 12 次/min，并调整以维持呼气末二氧化碳在正常范围	100	中	强
15	推荐在没有出现低氧血症的情况下，术中 FiO ₂ 维持 ≤ 40%	90	中	强
16	常规监测潮气量、气道峰压、平台压等，有条件可进行平均气道压、压力-容量曲线监测	100	中	强
17	常规监测呼气末二氧化碳、FiO ₂ ，必要下行氧合指数监测	100	中	强
18	建议行床旁肺超声监测；如有条件，可行 EIT 监测	90	低	弱
19	如有条件，建议麻醉苏醒阶段采用同步间歇指令通气模式和压力支持通气模式，否则仍继续机控通气。气管拔管前应避免中断机械通气	100	中	强
20	限制气管拔管前的 FiO ₂ ，推荐应用 30% ~ 40% FiO ₂	100	中	强
21	拔除气管导管后，保持 30° 头高位。通过鼻导管吸入低流量氧气 (2 ~ 3 L/min, FiO ₂ ≤ 40%) 行常规氧疗维持 SpO ₂ ≥ 95%	100	中	强
22	对低氧血症高风险患者和肥胖患者，麻醉苏醒期机控通气时给予 PEEP，气管拔管后给予持续气道正压通气装置和高流量鼻导管给氧	95	中	强
23	肥胖患者推荐应用 6 ~ 8 mL/kg (预测体重) 的潮气量，个体化设置 PEEP，必要时应用肺复张	100	中	强
24	合并支气管哮喘患者建议提供足够长的呼气时间，并首选容量控制通气模式	95	低	弱
25	合并慢性阻塞性肺疾病患者建议采用压力控制-容量保证通气模式，联合小潮气量 (6 ~ 8 mL/kg) 和 PEEP，并允许适当的高碳酸血症	100	低	弱
26	合并急性肺损伤/急性呼吸窘迫综合征患者建议采用肺保护性通气，应早期给予小潮气量 (6 mL/kg)、PEEP > 5 cm H ₂ O 并维持平台压 < 30 cm H ₂ O，有条件的情况下应个体化设置 PEEP	100	中	强
27	俯卧位患者建议给予肺保护性通气 (潮气量 6 mL/kg、5 cm H ₂ O PEEP 和肺复张)	100	中	强
28	头低足高位患者建议采用肺保护性通气策略，可以考虑稍高水平 PEEP (> 10 cm H ₂ O)	100	中	强

SpO₂：脉搏血氧饱和度；FiO₂：吸入氧浓度；1 cm H₂O = 0.098 kPa；PEEP：呼气末正压；EIT：胸电阻抗成像技术

② 营养支持，纠正贫血、低蛋白血症；③ 术前教育，包括戒烟 4 周和呼吸功能锻炼；④ 多学科讨论。

2.2 麻醉诱导阶段的通气方法建议

2.2.1 患者体位 麻醉诱导时仰卧位可导致腹部脏器向头侧移位，从而迫使膈肌上移。与仰卧位相比，头高位可提高给氧去氮的效能，延长呼吸暂停的安全时间^[16-17]。尤其是对于肥胖患者，30° 头高位与仰卧位相比可有效减少功能残气量的降低^[18]。

2.2.2 诱导期间预充氧 在麻醉诱导时进行预充氧可增加氧储备。维持呼气末氧浓度 > 90% 的高效预充氧是气管插管过程中预防低氧血症的关键^[19]。肺活量呼吸法在至少 10 L/min 的新鲜气流量下可实现快速预充氧^[20]。Nimmagadda 等^[21] 研究显示，采用 100% 吸入氧浓度 (fraction of inspiratory oxygen, FiO₂)

进行预充氧时，在 10 L/min 新鲜气流量下进行 1 min 8 次肺活量呼吸和在 5 L/min 新鲜气流量下进行 3 min 正常潮气量呼吸同样有效。预充氧最重要的潜在并发症是吸收性肺不张，麻醉诱导后肺不张发生率高达 90%^[19]。麻醉诱导以 80% FiO₂ 预充氧可减少肺不张^[22]，但会缩短呼吸暂停的安全时间。临床医生必须权衡肺不张与呼吸暂停的安全时间缩短的相对风险。对于肥胖患者，与常规面罩预充氧相比，高流量鼻导管吸氧可延长呼吸暂停的安全时间^[23]。

2.2.3 诱导期间通气 麻醉诱导期间可采用手动或机械控制行面罩正压通气，必要时可采用双人正压通气。在面罩通气期间联合呼气末正压 (positive end-expiratory pressure, PEEP) 可延长呼吸暂停的安全时间，改善氧合^[24]。然而，PEEP 的应用或气道

峰压 (peak pressure, P_{peak}) $>15 \text{ cm H}_2\text{O}$ ($1 \text{ cm H}_2\text{O}=0.098 \text{ kPa}$) 可能会增加胃进气风险^[25-26]。与单独使用面罩相比, 头高位高流量鼻导管 (high-flow nasal cannula, HFNC) 可有效延长呼吸暂停的安全时间^[27]。该技术可改善二氧化碳清除和增强氧合, 但存在胃进气的风险^[28-29]。HFNC 适用于头颈手术中面罩通气受限的患者等^[30]。诱导期间可根据气道通畅度置入鼻或口咽通气装置来缓解上气道梗阻, 但如果患者存在以下情况则禁忌使用: ① 口腔及上下颌骨创伤、咽部气道占位性病变、喉头水肿、哮喘、门齿有折断或脱落危险、频繁呕吐; ② 鼻息肉、鼻出血倾向、鼻外伤、鼻腔畸形、鼻腔炎症、明显的鼻中隔偏曲、凝血功能异常、颅底骨折、脑脊液耳鼻漏等。

2.3 术中机械通气策略

2.3.1 常用的肺保护性通气策略 针对机械通气诱导肺损伤的一系列通气设置优化措施称为肺保护性通气策略。肺保护性通气策略是改善全身麻醉后肺部结局的有效措施, 相比于传统的通气方式可减少机械通气相关肺损伤、改善肺功能、降低 PPC 发生率和死亡率^[31]。

① 经典的肺保护性通气策略主要包含小潮气量、适当的 PEEP、肺复张和低平台压等 (详见 2.3.3 ~ 2.3.5 节描述)。

② 肺开放通气策略^[32]: 肺开放通气是一种结合了小潮气量、肺复张和个体化 PEEP 滴定的联合策略。该策略强调尽可能打开塌陷的肺泡和维持其复张。

③ 驱动压导向通气策略^[33]: 驱动压是促使肺泡开放的压力, 代表肺实质在整个吸气过程中受到的压力。驱动压是气道平台压 (plateau pressure, P_{plat}) 与 PEEP 的差值 ($P_{\text{plat}}-\text{PEEP}$), $<13 \text{ cm H}_2\text{O}$ 可降低 PPC 发生风险。

④ 机械功率导向通气策略: 机械功率是呼吸机维持通气所做的功, 是传递给呼吸系统和肺的能量总和。机械功率 (J/min) 计算为 $0.098 \times \text{RR} \times V_T \times [\text{PEEP} + (P_{\text{plat}} - \text{PEEP})/2 + (P_{\text{peak}} - P_{\text{plat}})]$, 其中 RR 表示呼吸频率, V_T 表示潮气量。较高的机械功率与患者术后呼吸衰竭发生率、死亡率有关, 但目前暂缺乏机械功率最佳值的证据^[34]。

2.3.2 术中机械通气的通气模式 目前常用的术中机械通气模式包括容量控制通气 (volume-controlled ventilation, VCV)、压力控制通气 (pressure-controlled ventilation, PCV)、压力控制-容量保证通气 (pressure-control with volume guaranteed ventilation, PCV-VG)。VCV 也称容量

限制通气或容量循环通气, 呼吸机以恒定流量传送潮气量。在 PCV 模式下, 呼吸机可在吸气相维持恒定压力, 同时流量逐渐降低。PCV-VG 具有 PCV 的优势, 同时根据患者肺顺应性的变化保障设置的最低潮气量。虽然研究发现 PCV 和 PCV-VG 模式下 P_{peak} 更低、肺顺应性更好, 但由于临床结局的相似性, 实现肺保护性通气的最佳通气模式选择尚无定论^[35-36]。近期的研究发现, 在接受腹部手术和心胸手术的患者中, 通气方式的选择并未降低 PPC 风险^[37-38]。常用的通气模式特点见图 2。

2.3.3 术中机械通气的潮气量 术中以小潮气量 ($6 \sim 8 \text{ mL/kg}$) 通气是肺保护性通气策略的重要组成部分。多项高质量研究证实, 设定小潮气量通气可减少肺扩张伤和肺部感染等 PPC^[39-40]。但需要注意的是, 在小潮气量通气期间, 应联合 PEEP 和肺复张来改善肺顺应性和防止肺不张^[11]。

肺容积主要由性别和身高决定, 建议以患者的预测体重来确定潮气量^[41]。推荐的预测体重公式为男性: $50.0 + 0.905 \times (\text{身高} - 152.4)$, 女性: $45.5 + 0.905 \times (\text{身高} - 152.4)$ ^[42]。为方便应用, 可将公式简化为 $0.91 \times (\text{身高} - 152.4) + 50/45.5$ 。

2.3.4 术中机械通气的 PEEP PEEP 是指在机械通气呼气末时维持一定水平的正压, 使肺泡压高于大气压。PEEP 可通过增加肺再通气、促塌陷肺区域开放、增加气体交换面积和减少肺内分流从而提高氧合。

多项研究表明 $5 \sim 10 \text{ cm H}_2\text{O}$ 水平的 PEEP 可以优化通气生理、改善肺功能和降低肺不张风险^[31, 39], 过低 ($\leq 2 \text{ cm H}_2\text{O}$) 或过高 ($\geq 12 \text{ cm H}_2\text{O}$) 的 PEEP 则无益^[43-44], 但其最佳水平没有定论。推荐个体化的 PEEP 滴定, 即根据驱动压、动脉氧分压、氧合指数、 SpO_2 、肺顺应性和/或肺超声来调整^[45]。滴定个体化 PEEP 水平采用递增法, 从 $2 \text{ cm H}_2\text{O}$ 开始, 每次呼吸周期递增 $2 \text{ cm H}_2\text{O}$, 在观测到最低驱动压、最佳氧合、最高顺应性或最少肺不张时获得个体化 PEEP 水平, 如有条件, 可在床旁肺超声或胸电阻抗成像技术 (electrical impedance tomography, EIT) 监测下进行^[46-50]。个体化 PEEP 滴定受限于各医学中心设备和麻醉医生掌握程度。以驱动压为导向的 PEEP 滴定法提示大部分手术患者的最佳 PEEP 范围为 $5 \sim 8 \text{ cm H}_2\text{O}$ 。基于现有的临床证据, 建议可应用 $5 \sim 8 \text{ cm H}_2\text{O}$ PEEP, 且应在低氧、氧合指数下降或肺顺应性降低时予以个体化滴定调整。PEEP 滴定或高水平 PEEP 维持期间需关注其对循环的负面影响, 通常表现为低血压。

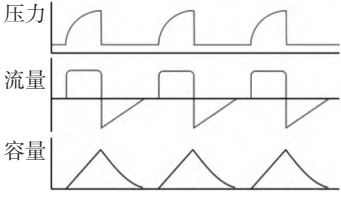
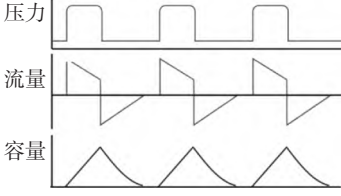
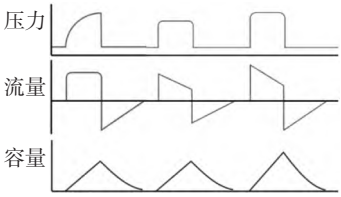
模式	通气波形特征	优点	缺点	注意事项
VCV		较稳定潮气量; 较低平台压	气压伤	设置吸气暂停时间(占整个呼吸周期的 15%~25%); 监测气道峰压、肺顺应性和平台压
PCV		较低气道峰压; 肺泡通气均匀分布; 较好的通气/血流比例	通气不足或过度通气	根据肺顺应性、潮气量适时调整吸气压力大小
PCV-VG		有效地结合了 VCV 和 PCV 两者的优点; 降低高气道压导致的潜在气道和肺泡损伤; 保证肺泡有效通气和换气	缺乏对潮气量的精确控制; 由于不限流量, 可能产生高潮气量从而导致肺损伤	推荐应用于肺顺应性低的患者, 如重度肥胖患者、慢性阻塞性肺疾病、急性呼吸窘迫综合征等基础肺病患者、肺顺应性可能发生改变的手术, 如腔镜手术

图 2 常用的通气模式特点

VCV: 容量控制通气; PCV: 压力控制通气; PCV-VG: 压力控制-容量保证通气

2.3.5 术中机械通气的肺复张策略 肺复张指对于接受机械通气的患者应用持续增加或维持较高的短暂正压通气使塌陷肺泡扩张, 从而改善局部通气、促进肺泡再灌注和增大有效通气区域, 达到逆转肺不张和提高氧合的目的。

现有证据表明, 对于非肥胖患者, 肺复张的持续正压应达到 30 ~ 40 cm H₂O, 对于肥胖患者须达到 40 ~ 45 cm H₂O^[51-53]。在实施肺复张时, 应保持能维持 SpO₂ ≥ 90% 的最低 FiO₂ 即可。肺复张可通过手控或机控两种方法完成, 更推荐机控通气下的肺复张以达到均匀扩张肺泡和降低血流动力学紊乱风险的目的。手控肺复张指在麻醉机手控状态下调节逸气阀到 30 ~ 40 cm H₂O 后, 持续挤压储气囊维持 15 ~ 30 s。机控肺复张包括 VCV 和 PCV 模式下的操作, 需先设置吸呼比为 1 : 1、呼吸频率 6 ~ 8 次/min 和峰压限制为 45 cm H₂O。VCV 模式下, PEEP 设置 10 ~ 12 cm H₂O, 潮气量从 6 ~ 8 mL/kg 开始, 每 3 ~ 6 次呼吸增加 4 mL/kg, 直至达到平台压 30 ~ 40 cm H₂O, 维持 3 ~ 6 次呼吸后完成肺复张, 如潮气量达到麻醉机上限仍无法实现目标平台压, 则增加 PEEP。PCV 模式下, 吸气压力从 15 ~ 20 cm H₂O 开始, 每 3 ~ 6 次呼吸 PEEP 增加 5 cm H₂O, 直至达到平台压 30 ~ 40 cm H₂O, 维持 3 ~ 6 次呼吸后完成肺复张^[44, 53-54]。

肺复张的实施节点和频率目前没有定论, 研究发现每小时进行肺复张并不降低 PPC 风险^[44]。推

荐至少在气管插管后和气管拔管前各进行 1 次。如术中出现氧合下降, 应在排除通气不足、分泌物阻塞等原因后进行 1 ~ 2 次肺复张, 以排除和治疗肺不张引起的低氧血症。

肺复张策略对于肺泡再灌注的效果可通过压力-容量曲线、氧合指数、床旁肺超声或/和 EIT 监测^[55-56]。在肺复张结束后应立即恢复小潮气量和 PEEP 设置。肺复张可导致静脉回流受阻、右心房压升高和心排出量下降, 特别是在机体容量欠缺的时候。因此在进行肺复张时, 应密切关注血压的波动, 在血压明显降低时应暂停操作^[57]。

2.3.6 术中机械通气的吸呼比、呼吸频率和呼气末二氧化碳分压 (end-tidal carbon dioxide, ETCO₂)

吸呼比推荐常规设置为 1 : 2, 这与正常呼吸生理相似。有数项研究表明, 延长吸气时间的等比通气 (吸呼比 1 : 1) 可改善腔镜手术中的氧合、减少生理性呼吸死腔、降低气道峰压和平台压^[58-61]。其潜在机制是吸气时间延长可升高平均气道力, 吸气流量减慢致气体在肺内分布改善, 以及由于呼气时间短而产生内源性 PEEP。因此, 在腔镜手术等特殊手术人群, 可以根据情况适当延长吸气时间。Meta 分析显示, 反比通气 [吸呼比 (1 ~ 4) : 1] 可降低 P_{peak} 和改善动态顺应性^[62], 但应根据临床情况采用。

机械通气中呼吸频率推荐常规设置为 8 ~ 12 次/min, 并调整以维持正常的 ETCO₂ 水平。在联合小潮气量通气的腔镜手术中, 为避免 ETCO₂ 过

高,可能需要较快的呼吸频率(12~18次/min)。为避免快呼吸频率导致的呼吸叠加和内源性 PEEP 过高,不建议呼吸频率超过 18~20 次/min。

2.3.7 术中机械通气的 FiO_2 和新鲜气流量 术中超出生理范围的过量氧供应不仅对肺有直接毒性作用,还会促心肺脑血管收缩、炎症反应和氧化应激^[63-65]。高 FiO_2 与肺不张等 PPC 风险增高相关,并可能增高术后死亡率^[66-67]。30%~50% FiO_2 可降低手术患者术后肺不张风险^[68-70]。推荐在没有低氧血症的情况下,维持术中 $\text{FiO}_2 \leq 40\%$ 。

常规新鲜气流量为 1~2 L/min,在部分吸入麻醉和小儿麻醉中可能用到低新鲜气流量(1 L/min),不建议常规应用高新鲜气流量(≥ 3 L/min)。

2.3.8 术中通气相关的监测建议 ①呼吸动力学监测:良好的呼吸动力学监测可以改善患者肺顺应性和氧合。建议术中持续监测重要呼吸参数,包括潮气量、 P_{peak} 、 P_{plat} 、吸呼比和肺顺应性,如有条件可监测平均气道压、压力-容量曲线等。

②呼气末二氧化碳的监测:建议术中连续监测 ETCO_2 的数值和波形,不仅可判断气管导管的位置,还反映肺通气和肺血流,其正常值为 35~45 mm Hg (1 mm Hg=0.133 kPa)。

③ FiO_2 监测:全身麻醉期间应常规监测 FiO_2 ,具体见 2.3.7。

④氧合指数监测:术中监测 SpO_2 的同时,对某些患者还需要进行氧合指数的监测,正常值应 ≥ 300 mm Hg。如果术中出现低于 300 mm Hg 的状况,应快速进行病因分析和对症处理。由于氧合指数受温度、贫血、内环境等影响,需要综合考虑分析。

⑤床旁肺超声:围手术期肺不张病变范围和程度较轻,胸部 X 线片不易诊断,而诊断肺不张的金标准胸部 CT 依赖于特定的场所和设备,在手术中难以实现。肺超声对围手术期肺不张的诊断准确率与 CT 相似度约为 90%^[71],能够在术中实时监测肺不张、胸腔积液、气胸等重要征象^[72],可在减少射线暴露的情况下指导机械通气。建议在有条件的医疗单位,麻醉医师应接受肺超声技术系统培训。

⑥ EIT: EIT 是一种床旁、无创、无辐射的肺通气监测技术,主要原理是根据肺组织的生物导电性因含气量不同而存在差异的原理,通过局部电极感应呼吸过程中胸腔生物电阻抗变化,再利用相应的成像算法监测肺不同区域内通气功能的状态。EIT 还可用于指导实时肺复张、个体化 PEEP 设定和确立最佳通气策略^[46,73]。

⑦ 通气血流比(ventilation/perfusion ratio,

V/Q)监测:术中 V/Q 失调可能会增加非心脏大手术的患者术后 PPC 风险,但是由于床旁评估 V/Q 的自动肺参数估计技术依赖特殊设备,临床应用尚存在一定困难^[74]。

2.4 麻醉苏醒期通气相关建议

麻醉苏醒期指从手术结束时停止使用麻醉药和辅助药物后,意识呼吸逐渐恢复的时期。气管拔管前患者需经历从机械通气到自主呼吸的转换,这过程中通气模式的选择有间歇手控辅助通气、机控通气、同步间歇指令通气(synchronized intermittent mandatory ventilation, SIMV)和压力支持通气(pressure support ventilation, PSV)模式等。对于全身麻醉患者的苏醒期气管拔管前机械通气模式,目前尚无定论。SIMV 模式在机控呼吸与自主呼吸同步的基础上提供设定的呼吸频率和潮气量,可与 PCV、PSV 模式同时应用。PSV 模式可单独应用于已有自主呼吸的患者来提供压力辅助通气。SIMV 和 PSV 均可减少呼吸功、抵消麻醉药物的呼吸抑制作用,以及在撤机前进行支持通气。为促进带管顺应和减少不均匀通气导致的肺不张等,我们建议如有条件,应在苏醒阶段采用 SIMV(无论有无自主呼吸)或 PSV(有自主呼吸)^[75-76],否则仍继续机控通气。气管拔管前应避免通过中断通气让二氧化碳蓄积刺激自主呼吸恢复,因为呼吸暂停与肺泡塌陷相关,可能引起肺不张。

建议麻醉苏醒阶段气管拔管前进行辅助给氧,以预防气管拔管后低氧。但是,气管拔管前即使短暂地给予高 FiO_2 也可能产生吸收性肺不张^[77]。因此,根据目前的证据,我们建议避免在气管拔管前应用高 FiO_2 ,30%~40% FiO_2 即能在提供保证氧合的同时减少肺不张^[68,77-78]。

拔管时维持 30° 头高位可显著降低上腹部手术患者术后低氧血症的发生^[79]。推荐常规通过鼻导管吸入低流量氧气(2~3 L/min, $\text{FiO}_2 \leq 40\%$)行常规氧疗维持 $\text{SpO}_2 \geq 95\%$ 。

对低氧血症高风险患者和肥胖患者,建议苏醒期机控通气时常规给予 PEEP,气管拔管后给予持续气道正压通气和 HFNC 氧疗以改善氧合和降低低氧血症风险^[80-84]。有研究建议对 PPC 高风险患者实施无创间歇正压通气,但该技术并未降低 PPC 发生率^[85],此结论尚存在争议^[86]。

近年,有研究提出采用无创的 $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$ 比作为低氧血症筛查的评估。 $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$ 和氧合指数具有良好的相关性,当 $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2 < 370$ 可能需要转入重症监护病房; $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$ 在 370~450 需要进一步

的临床评估和动脉血气检查； $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2 > 450$ 时，可转入普通病房^[87]。需要注意的是，术后苏醒期不同的吸氧装置可达的氧浓度不同，具体参照表 2^[88]。

2.5 特殊患者通气建议

2.5.1 肥胖患者的通气建议 肥胖患者的呼吸系统顺应性降低、膈肌升高、肺活量下降、肺容量减少伴肺不张增加、小气道闭合、阻力增加，并存在较高的腹内压导致限制性通气障碍，因此是 PPC 发病的高危人群。研究证实肺保护性通气策略可减少肥胖患者的通气相关肺损伤^[89]。研究指出术中维持 $\geq 10 \text{ cm H}_2\text{O}$ 的 PEEP 可以显著降低肥胖患者 PPC 的发生率^[90]，但最佳 PEEP 值尚无定论，设置 PEEP 可能需要个体化，并根据患者和手术情况进行调整^[44, 91]。肥胖患者还应该适当提高呼吸频率，因为肥胖患者的二氧化碳产生过多，会继发于高耗氧量，引起呼吸功增加^[92]。

2.5.2 合并常见呼吸系统疾病患者的通气建议 ① 支气管哮喘/支气管痉挛。支气管哮喘患者在围手术期发生支气管痉挛的风险高达 4.2%^[93]。研究表明，手术前近 3 个月内未控制的哮喘患者术后死亡率是健康患者的 2 倍，术后肺炎发生率为健康患者的 3 倍^[94]。建议对合并哮喘患者的呼吸功能和哮喘控制情况进行准确的临床评估，并根据患者哮喘控制情况、手术紧急程度、术前干预方案等评估哮喘患者在全身麻醉中发生支气管痉挛的危险程度，以制定相应的麻醉计划。术中一旦发生支气管痉挛，应立即消除刺激因素、加深麻醉、给予 β_2 受体激动剂等。机械通气中应注意提供足够长的呼气时间以避免内源性 PEEP，这可以通过使用比平时更小的潮气量来实现^[95]。此外，目前尚无证据支持任一通气模式在哮喘患者中的应用，但应用 VCV 模式时可直接监测 P_{peak} 和 P_{plat} ^[96]，必要时手控通气以克服气道阻力所致的通气不足。

② 慢阻肺。慢阻肺是一种以持续性气流受限为病理特征的呼吸系统疾病，是 PPC 的独立危险因素。对于慢阻肺患者需综合手术紧急程度和患者病情制定麻醉方案，尽可能避免气管插管的全身麻醉，必要时可进行多学科讨论。此类患者术中最优通气模式的选择尚无定论，目前认为 PCV-VG 模式可降低肺气压伤风险、有利于术后肺功能恢复^[97-98]。术中通气推荐如下：A. 推荐慢阻肺患者采用小潮气量（6 ~ 8 mL/kg 预测体重）通气以减少机械通气相关肺损伤和预防过度通气^[99]。B. 在机械通气过程中，允许充分的呼气，建议选择较低的呼吸频率，如 6 ~ 10 次/min。C. 在血液动力学稳定的人

表 2 不同吸氧装置与氧浓度

吸氧装置	氧流量 (L/min)	预计可达的 FiO_2 (%)
普通鼻导管	1	24
	2	28
	3	32
	4	36
	5	40
	6	44
面罩	5	40
	6 ~ 7	50
	7 ~ 8	60
带储气囊的面罩	6	60
	7	70
	8	80
	9	90
	10	95

FiO_2 : 吸入氧浓度

群中，允许适当的高碳酸血症。在降低呼吸频率、允许性高碳酸血症、调节吸呼比等更基本的干预措施仍无法改善患者氧合时，可在有丰富经验的上级医师指导下适当提高吸气峰压^[100]。D. 对慢阻肺患者应用 PEEP 可在呼气末保持小气道开放，改善与呼吸肌的相互作用和减少呼吸做功。E. 建议对于慢阻肺患者，外源性 PEEP 应接近 80% ~ 85% 或等于可测得的内源性 PEEP 值^[100]。但在临床工作中，内源性 PEEP 值的测定存在困难，建议采用个体化 PEEP 设定。有条件的单位可以采用 EIT 指导确定 PEEP 水平。

③ 急性肺损伤 (acute lung injury, ALI) / 急性呼吸窘迫综合征 (acute respiratory distress syndrome, ARDS)。ALI/ARDS 是由多种因素诱导全身系统炎症性疾病的肺部表现。肺保护性通气是治疗 ARDS 的有效手段，应早期给予小潮气量（6 mL/kg）、 $\text{PEEP} > 5 \text{ cm H}_2\text{O}$ 并维持平台压 $< 30 \text{ cm H}_2\text{O}$ ，有条件的情况下应个体化设置 PEEP。肺复张操作应谨慎使用，注意其对循环的影响^[101]。对于 ALI/ARDS 患者术中机械通气的设定，证据有限，建议参照 ARDS 管理指南的推荐^[101]。

2.5.3 俯卧位患者的通气建议 俯卧位患者的胸腔压力分布更均匀，重度依赖区肺泡更容易张开，且俯卧位减少纵隔和心脏对背侧组织的压力，利于肺复张。对于俯卧位患者，建议给予肺保护性通气（小潮气量、5 cm H_2O PEEP 和肺复张）可降低气压伤风险、减少肺部炎症和改善术后氧合的同时不增加心血管事件^[102-103]。此外，有研究表明 PCV 模式更有利于降低短期术后白细胞介素-6 和 C 反应蛋白水平及术后 PPC 的发生率^[104]，可能提供更理想的通气参数^[105]。

2.5.4 头低足高位患者的通气建议 头低足高位(Trendelenburg)手术时,患者的腹腔脏器向头端移动造成腹内压增高,导致膈肌上移、胸内压升高、肺泡扩张受限和气道阻力增大等。推荐采用肺保护性通气策略以改善术中氧合和减少机械通气相关肺损伤^[106]。另外可以考虑稍高水平 PEEP (>10 cm H₂O)有利于减少肺不张^[107],但须保持循环稳定。

3 小结

围手术期肺保护性通气策略可降低 PPC 风险,改善患者预后。本专家共识共形成 28 条关于成人非心胸手术围手术期机械通气的具有中-高级证据质量和专家强烈支持的推荐和声明,是针对这一领域临床证据的更新。本专家共识总结并评价了最新围手术期机械通气管理策略,对成人非心胸手术患者围手术期机械通气临床实践极具参考价值。

执笔人:孙琪荣(四川大学华西医院),李雪霏(四川大学华西医院),崔宇(电子科技大学附属成都市妇女儿童中心医院)

专家名单(按姓氏汉语拼音排序):

成都医学会麻醉专业委员会专家名单:陈峰(都江堰市人民医院),陈军(彭州市人民医院),邓婉欣(成都市龙泉驿区第一人民医院),丁孝东(四川天府新区人民医院),董蜀华(成都医学院),杜智(成都市新津区人民医院),范丹(四川省人民医院),付强(成都市第三人民医院),郭浪涛(成都市妇女儿童中心医院),何斌(成都大学附属医院),何崎(成都体育学院附属体育医院),吉阳(四川大学华西口腔医院),贾飞(成都市锦江区妇幼保健院),姜春玲(四川大学华西医院),亢平(成都市公共卫生临床医疗中心),李德远(金堂县第一人民医院),李佳(成都市中西医结合医院),李军祥(成都市郫都区人民医院),李俊芳(蒲江县人民医院),李茜(四川大学华西医院),李祥奎(四川省人民医院),李晓强(四川大学华西医院),李永荣(四川华美紫馨医学美容医院),刘建波(大邑县人民医院),刘琉(成都中医药大学附属医院),刘永峰(邛崃市医疗中心医院),罗东(四川大学华西第二医院),罗化全(崇州市中医医院),罗小伟(成都市新都区中医医院),欧珊(成都市中西医结合医院),齐鹏亮(成都市第六人民医院),舒家云(成都新都区人民医院),孙燕(成都市第二人民医院),孙阳阳(中国人民解放军西部战区总医院),唐东(西藏自治区人民政府驻成都办事处医院),唐勇(四川锦欣妇女儿童医院),陶勇(成都市双流区第一人民医院),王丽(成都医学院第一附属医院),王雄(成都大学附属医院),王

宇(三六三医院),魏新川(四川大学华西第二医院),温开兰(四川省人民医院),肖胜(成都市武侯区人民医院),谢先丰(成都市第二人民医院),杨岸(简阳市人民医院),姚富(四川省骨科医院),易明亮(成都市第五人民医院),余海(四川大学华西医院),袁川(成都市双流区中医医院),张涵(崇州市人民医院),张科(核工业四一六医院),赵泽宇(四川省八一康复中心),钟惠(成都市第七人民医院),周激(成都新丽美医疗美容医院),邹江(四川省肿瘤医院)

重庆市医学会麻醉专科分会专家名单:白福海(陆军军医大学第二附属医院),曹俊(重庆医科大学附属第一医院),陈朝华(重庆市铜梁区人民医院),陈理红(重庆市第九人民医院),陈力勇(陆军特色医学中心),程璐(重庆市秀山土家族苗族自治县人民医院),程鹏(重庆市涪陵中心医院),杜权(重庆医科大学附属第二医院),杜耘(重庆市人民医院),杜智勇(陆军军医大学第二附属医院),方平(重庆市沙坪坝区人民医院),傅洪(重庆市急救医疗中心),顾健腾(陆军军医大学第一附属医院),黄河(重庆医科大学附属第二医院),江春秀(重庆市人民医院),雷晓峰(重庆市妇幼保健院),李皓(重庆市云阳县人民医院),李洪(陆军军医大学第二附属医院),李剑(重庆市合川区人民医院),李明(重庆市长寿区人民医院),李月(重庆市黔江中心医院),刘红亮(重庆大学附属肿瘤医院),刘娟(重庆市奉节县人民医院),鲁开智(陆军军医大学第一附属医院),栾国会(重庆市綦江区人民医院),闵苏(重庆医科大学附属第一医院),甯交琳(陆军军医大学第一附属医院),彭明清(重庆医科大学附属永川医院),冉兴(重庆市潼南区人民医院),饶传华(重庆市江津区中心医院),阮定红(重庆市大足区人民医院),邵青(重庆市红十字会医院(江北区人民医院)),石先伦(重庆市巴南区人民医院),王艳冰(重庆市璧山区人民医院),王震(陆军特色医学中心),魏珂(重庆医科大学附属第一医院),先见(重庆市垫江县人民医院),谢冕(重庆市中医院),徐颖(重庆医科大学附属儿童医院),许月明(陆军第九五八医院),闫红(陆军特色医学中心),杨仕超(重庆市南川区人民医院),杨天德(陆军军医大学第二附属医院),杨廷军(重庆市石柱土家族自治县人民医院),叶茂(重庆医科大学附属儿童医院),易斌(陆军军医大学第一附属医院),余云明(重庆大学附属三峡医院),郁葱(重庆医科大学附属口腔医院),张雪飞(重庆市第五人民医院),赵敏(重庆市武隆区人民医院),赵卫兵(重庆市公共卫生医疗救治中心),郑彬武(重庆市荣昌区人民医院),郑晓铸(重庆市渝北区人民医院),钟河江(重庆市西区医院),朱长江(重庆市九龙坡区人民医院)

利益冲突: 所有作者声明不存在利益冲突。

参考文献

- 1 国家卫生健康委员会. 2022 中国卫生健康统计年鉴. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2022.
- 2 Miskovic A, Lumb AB. Postoperative pulmonary complications. *Br J Anaesth*, 2017, 118(3): 317-334.
- 3 Mills GH. Respiratory complications of anaesthesia. *Anaesthesia*, 2018, 73(Suppl 1): 25-33.
- 4 Fernandez-Bustamante A, Frenzl G, Sprung J, *et al*. Postoperative pulmonary complications, early mortality, and hospital stay following noncardiothoracic surgery: a multicenter study by the Perioperative Research Network Investigators. *JAMA Surg*, 2017, 152(2): 157-166.
- 5 LAS VEGAS investigators. Epidemiology, practice of ventilation and outcome for patients at increased risk of postoperative pulmonary complications: LAS VEGAS - an observational study in 29 countries. *Eur J Anaesthesiol*, 2017, 34(8): 492-507.
- 6 Young CC, Harris EM, Vacchiano C, *et al*. Lung-protective ventilation for the surgical patient: international expert panel-based consensus recommendations. *Br J Anaesth*, 2019, 123(6): 898-913.
- 7 饶倩倩, 玉红, 王思洋, 等. 成年人非心胸手术中通气管理的临床实践: 一项全国问卷调查研究. *国际麻醉学与复苏杂志*, 2024, 45(2): 168-173.
- 8 饶倩倩, 玉红, 余海. 非心胸手术成年患者术中通气管理的临床实践: 一项区域问卷调查研究. *中华麻醉学杂志*, 2021, 41(7): 852-857.
- 9 Atkins D, Eccles M, Flottorp S, *et al*. Systems for grading the quality of evidence and the strength of recommendations I: critical appraisal of existing approaches The GRADE Working Group. *BMC Health Serv Res*, 2004, 4(1): 38.
- 10 Beitler JR, Malhotra A, Thompson BT. Ventilator-induced lung injury. *Clin Chest Med*, 2016, 37(4): 633-646.
- 11 Slutsky AS, Ranieri VM. Ventilator-induced lung injury. *N Engl J Med*, 2013, 369(22): 2126-2136.
- 12 Sameed M, Choi H, Auron M, *et al*. Preoperative pulmonary risk assessment. *Respir Care*, 2021, 66(7): 1150-1166.
- 13 Qaseem A, Snow V, Fitterman N, *et al*. Risk assessment for and strategies to reduce perioperative pulmonary complications for patients undergoing noncardiothoracic surgery: a guideline from the American College of Physicians. *Ann Intern Med*, 2006, 144(8): 575-580.
- 14 Canet J, Gallart L, Gomar C, *et al*. Prediction of postoperative pulmonary complications in a population-based surgical cohort. *Anesthesiology*, 2010, 113(6): 1338-1350.
- 15 Junaidi B, Hawrylak A, Kaw R. Evaluation and management of perioperative pulmonary complications. *Med Clin North Am*, 2024, 108(6): 1087-1100.
- 16 Lane S, Saunders D, Schofield A, *et al*. A prospective, randomised controlled trial comparing the efficacy of pre-oxygenation in the 20 degrees head-up vs supine position. *Anaesthesia*, 2005, 60(11): 1064-1067.
- 17 Ramkumar V, Umesh G, Philip FA. Preoxygenation with 20° head-up tilt provides longer duration of non-hypoxic apnea than conventional preoxygenation in non-obese healthy adults. *J Anesth*, 2011, 25(2): 189-194.
- 18 Couture EJ, Provencher S, Somma J, *et al*. Effect of position and positive pressure ventilation on functional residual capacity in morbidly obese patients: a randomized trial. *Can J Anaesth*, 2018, 65(5): 522-528.
- 19 Nimmagadda U, Salem MR, Crystal GJ. Preoxygenation: physiologic basis, benefits, and potential risks. *Anesth Analg*, 2017, 124(2): 507-517.
- 20 Mathew G, Manjuladevi M, Joachim N, *et al*. Effect of high fresh gas flow and pattern of breathing on rapid preoxygenation. *Indian J Anaesth*, 2022, 66(3): 213-219.
- 21 Nimmagadda U, Chiravuri SD, Salem MR, *et al*. Preoxygenation with tidal volume and deep breathing techniques: the impact of duration of breathing and fresh gas flow. *Anesth Analg*, 2001, 92(5): 1337-1341.
- 22 Edmark L, Kostova-Aherdan K, Enlund M, *et al*. Optimal oxygen concentration during induction of general anesthesia. *Anesthesiology*, 2003, 98(1): 28-33.
- 23 Wong DT, Dallaire A, Singh KP, *et al*. High-flow nasal oxygen improves safe apnea time in morbidly obese patients undergoing general anesthesia: a randomized controlled trial. *Anesth Analg*, 2019, 129(4): 1130-1136.
- 24 Hao C, Ma X, Piao X, *et al*. Effects of positive end-expiratory pressure and oxygen concentration on non-hypoxemic apnea time during face mask ventilation of anesthesia induction: a randomized controlled trial. *Front Physiol*, 2023, 13: 1090612.
- 25 Cajander P, Edmark L, Ahlstrand R, *et al*. Effect of positive end-expiratory pressure on gastric insufflation during induction of anaesthesia when using pressure-controlled ventilation via a face mask: a randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol*, 2019, 36(9): 625-632.
- 26 Bouvet L, Albert ML, Augris C, *et al*. Real-time detection of gastric insufflation related to facemask pressure-controlled ventilation using ultrasonography of the antrum and epigastric auscultation in nonparalyzed patients: a prospective, randomized, double-blind study. *Anesthesiology*, 2014, 120(2): 326-334.
- 27 Cristian de Carvalho C, Iliff HA, Santos Neto JM, *et al*. Effectiveness of preoxygenation strategies: a systematic review and network meta-analysis. *Br J Anaesth*, 2024, 133(1): 152-163.
- 28 Li J, Liu B, Zhou QH, *et al*. Pre-oxygenation with high-flow oxygen through the nasopharyngeal airway compared to facemask on carbon dioxide clearance in emergency adults: a prospective randomized non-blinded clinical trial. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2024, 50(3): 1051-1061.
- 29 Lee S, Choi JW, Chung IS, *et al*. Comparison of high-flow nasal cannula and conventional nasal cannula during deep sedation for endoscopic submucosal dissection: a randomized controlled trial. *J Anesth*, 2024, 38(5): 591-599.
- 30 Jo JY, Yoon J, Jang H, *et al*. Comparison of preoxygenation with a high-flow nasal cannula and a simple face mask before intubation in Korean patients with head and neck cancer. *Acute Crit Care*, 2024, 39(1): 61-69.
- 31 Ladha K, Vidal Melo MF, McLean DJ, *et al*. Intraoperative protective mechanical ventilation and risk of postoperative respiratory complications: hospital based registry study. *BMJ*, 2015, 351: h3646.
- 32 Ferrando C, Soro M, Unzueta C, *et al*. Individualised perioperative open-lung approach versus standard protective ventilation in abdominal surgery (iPROVE): a randomised

- controlled trial. *Lancet Respir Med*, 2018, 6(3): 193-203.
- 33 Neto AS, Hemmes SN, Barbas CS, *et al.* Association between driving pressure and development of postoperative pulmonary complications in patients undergoing mechanical ventilation for general anaesthesia: a meta-analysis of individual patient data. *Lancet Respir Med*, 2016, 4(4): 272-280.
 - 34 Santer P, Wachtendorf LJ, Suleiman A, *et al.* Mechanical power during general anesthesia and postoperative respiratory failure: a multicenter retrospective cohort study. *Anesthesiology*, 2022, 137(1): 41-54.
 - 35 Schick V, Dusse F, Eckardt R, *et al.* Comparison of volume-guaranteed or -targeted, pressure-controlled ventilation with volume-controlled ventilation during elective surgery: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*, 2021, 10(6): 1276.
 - 36 Li XF, Jin L, Yang JM, *et al.* Effect of ventilation mode on postoperative pulmonary complications following lung resection surgery: a randomised controlled trial. *Anaesthesia*, 2022, 77(11): 1219-1227.
 - 37 Li X, Xu Y, Wang Z, *et al.* Effect of ventilation mode on postoperative pulmonary complications among intermediate- to high-risk patients undergoing abdominal surgery: a randomized controlled trial. *Anaesth Crit Care Pain Med*, 2024: 101423.
 - 38 Li XF, Mao WJ, Jiang RJ, *et al.* Effect of mechanical ventilation mode type on postoperative pulmonary complications after cardiac surgery: a randomized controlled trial. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2024, 38(2): 437-444.
 - 39 Serpa Neto A, Hemmes SN, Barbas CS, *et al.* Protective *versus* conventional ventilation for surgery: a systematic review and individual patient data meta-analysis. *Anesthesiology*, 2015, 123(1): 66-78.
 - 40 Deng QW, Tan WC, Zhao BC, *et al.* Intraoperative ventilation strategies to prevent postoperative pulmonary complications: a network meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Anaesth*, 2020, 124(3): 324-335.
 - 41 Martin DC, Richards GN. Predicted body weight relationships for protective ventilation - unisex proposals from pre-term through to adult. *BMC Pulm Med*, 2017, 17(1): 85.
 - 42 Linares-Perdomo O, East TD, Brower R, *et al.* Standardizing predicted body weight equations for mechanical ventilation tidal volume settings. *Chest*, 2015, 148(1): 73-78.
 - 43 PROVE Network Investigators for the Clinical Trial Network of the European Society of Anaesthesiology, Hemmes SN, Gama de Abreu M, *et al.* High *versus* low positive end-expiratory pressure during general anaesthesia for open abdominal surgery (PROVHILO trial): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet*, 2014, 384(9942): 495-503.
 - 44 Bluth T, Serpa Neto A, Schultz MJ, *et al.* Effect of intraoperative high positive end-expiratory pressure (PEEP) with recruitment maneuvers *vs* low PEEP on postoperative pulmonary complications in obese patients: a randomized clinical trial. *JAMA*, 2019, 321(23): 2292-2305.
 - 45 Sahetya SK. Searching for the optimal positive end-expiratory pressure for lung protective ventilation. *Curr Opin Crit Care*, 2020, 26(1): 53-58.
 - 46 Pereira SM, Tucci MR, Morais CCA, *et al.* Individual positive end-expiratory pressure settings optimize intraoperative mechanical ventilation and reduce postoperative atelectasis. *Anesthesiology*, 2018, 129(6): 1070-1081.
 - 47 Gırbach F, Petroff D, Schulz S, *et al.* Individualised positive end-expiratory pressure guided by electrical impedance tomography for robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: a prospective, randomised controlled clinical trial. *Br J Anaesth*, 2020, 125(3): 373-382.
 - 48 Park M, Yoon S, Nam JS, *et al.* Driving pressure-guided ventilation and postoperative pulmonary complications in thoracic surgery: a multicentre randomised clinical trial. *Br J Anaesth*, 2023, 130(1): e106-e118.
 - 49 Ma X, Fu Y, Piao X, *et al.* Individualised positive end-expiratory pressure titrated intra-operatively by electrical impedance tomography optimises pulmonary mechanics and reduces postoperative atelectasis: a randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol*, 2023, 40(11): 805-816.
 - 50 Li Y, Xu W, Cui Y, *et al.* Effects of driving pressure-guided ventilation by individualized positive end-expiratory pressure on oxygenation undergoing robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: a randomized controlled clinical trial. *J Anesth*, 2023, 37(6): 896-904.
 - 51 D'Antini D, Huhle R, Herrmann J, *et al.* Respiratory system mechanics during low *versus* high positive end-expiratory pressure in open abdominal surgery: a substudy of PROVHILO randomized controlled trial. *Anesth Analg*, 2018, 126(1): 143-149.
 - 52 Futier E, Constantin JM, Pelosi P, *et al.* Intraoperative recruitment maneuver reverses detrimental pneumoperitoneum-induced respiratory effects in healthy weight and obese patients undergoing laparoscopy. *Anesthesiology*, 2010, 113(6): 1310-1319.
 - 53 Costa Leme A, Hajjar LA, Volpe MS, *et al.* Effect of intensive *vs* moderate alveolar recruitment strategies added to lung-protective ventilation on postoperative pulmonary complications: a randomized clinical trial. *JAMA*, 2017, 317(14): 1422-1432.
 - 54 Güldner A, Kiss T, Serpa Neto A, *et al.* Intraoperative protective mechanical ventilation for prevention of postoperative pulmonary complications: a comprehensive review of the role of tidal volume, positive end-expiratory pressure, and lung recruitment maneuvers. *Anesthesiology*, 2015, 123(3): 692-713.
 - 55 Godet T, Constantin JM, Jaber S, *et al.* How to monitor a recruitment maneuver at the bedside. *Curr Opin Crit Care*, 2015, 21(3): 253-258.
 - 56 Liu T, Huang J, Wang X, *et al.* Effect of recruitment manoeuvres under lung ultrasound-guidance and positive end-expiratory pressure on postoperative atelectasis and hypoxemia in major open upper abdominal surgery: a randomized controlled trial. *Heliyon*, 2023, 9(2): e13348.
 - 57 Lim SC, Adams AB, Simonson DA, *et al.* Transient hemodynamic effects of recruitment maneuvers in three experimental models of acute lung injury. *Crit Care Med*, 2004, 32(12): 2378-2384.
 - 58 Park JH, Lee JS, Lee JH, *et al.* Effect of the prolonged inspiratory to expiratory ratio on oxygenation and respiratory mechanics during surgical procedures. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(13): e3269.
 - 59 Kim MS, Kim NY, Lee KY, *et al.* The impact of two different inspiratory to expiratory ratios (1: 1 and 1: 2) on respiratory mechanics and oxygenation during volume-controlled ventilation in robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy:

- a randomized controlled trial. *Can J Anaesth*, 2015, 62(9): 979-987.
- 60 Hirabayashi G, Ogihara Y, Tsukakoshi S, *et al.* Effect of pressure-controlled inverse ratio ventilation on dead space during robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: a randomised crossover study of three different ventilator modes. *Eur J Anaesthesiol*, 2018, 35(4): 307-314.
- 61 Tuncali B, Erol V, Zeyneloğlu P. Effects of volume-controlled equal ratio ventilation with recruitment maneuver and positive end-expiratory pressure in laparoscopic sleeve gastrectomy: a prospective, randomized, controlled trial. *Turk J Med Sci*, 2018, 48(4): 768-776.
- 62 Jinghua W, Xiong N, Min L. The effect of inverse ratio ventilation on cardiopulmonary function in obese laparoscopic surgery patients: a systematic review and meta-analysis. *Saudi J Anaesth*, 2024, 18(1): 77-85.
- 63 O'Driscoll BR, Howard LS, Earis J, *et al.* BTS guideline for oxygen use in adults in healthcare and emergency settings. *Thorax*, 2017, 72(Suppl 1): ii1-ii90.
- 64 Anderson KJ, Harten JM, Booth MG, *et al.* The cardiovascular effects of inspired oxygen fraction in anaesthetized patients. *Eur J Anaesthesiol*, 2005, 22(6): 420-425.
- 65 Oldman AH, Martin DS, Feelisch M, *et al.* Effects of perioperative oxygen concentration on oxidative stress in adult surgical patients: a systematic review. *Br J Anaesth*, 2021, 126(3): 622-632.
- 66 Staehr-Rye AK, Meyhoff CS, Scheffenbichler FT, *et al.* High intraoperative inspiratory oxygen fraction and risk of major respiratory complications. *Br J Anaesth*, 2017, 119(1): 140-149.
- 67 Wetterslev J, Meyhoff CS, Jørgensen LN, *et al.* The effects of high perioperative inspiratory oxygen fraction for adult surgical patients. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015, 2015(6): Cd008884.
- 68 Park M, Jung K, Sim WS, *et al.* Perioperative high inspired oxygen fraction induces atelectasis in patients undergoing abdominal surgery: a randomized controlled trial. *J Clin Anesth*, 2021, 72: 110285.
- 69 Lim CH, Han JY, Cha SH, *et al.* Effects of high *versus* low inspiratory oxygen fraction on postoperative clinical outcomes in patients undergoing surgery under general anesthesia: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Clin Anesth*, 2021, 75: 110461.
- 70 Li XF, Jiang D, Jiang YL, *et al.* Comparison of low and high inspiratory oxygen fraction added to lung-protective ventilation on postoperative pulmonary complications after abdominal surgery: a randomized controlled trial. *J Clin Anesth*, 2020, 67: 110009.
- 71 Yu X, Zhai Z, Zhao Y, *et al.* Performance of lung ultrasound in detecting peri-operative atelectasis after general anesthesia. *Ultrasound Med Biol*, 2016, 42(12): 2775-2784.
- 72 费菲, 庄惠嘉, 石薇, 等. 肺部超声对成年患者术后肺不张、胸腔积液和气胸诊断价值的 meta 分析. *中华麻醉学杂志*, 2023, 43(7): 802-808.
- 73 Weber J, Gutjahr J, Schmidt J, *et al.* Effect of individualized PEEP titration guided by intratidal compliance profile analysis on regional ventilation assessed by electrical impedance tomography - a randomized controlled trial. *BMC Anesthesiol*, 2020, 20(1): 42.
- 74 Scaramuzzo G, Karbing DS, Ball L, *et al.* Intraoperative ventilation/perfusion mismatch and postoperative pulmonary complications after major noncardiac surgery: a prospective cohort study. *Anesthesiology*, 2024, 141(4): 693-706.
- 75 Jeong H, Tanatporn P, Ahn HJ, *et al.* Pressure support *versus* spontaneous ventilation during anesthetic emergence-effect on postoperative atelectasis: a randomized controlled trial. *Anesthesiology*, 2021, 135(6): 1004-1014.
- 76 Blackwood B, Burns KE, Cardwell CR, *et al.* Protocolized *versus* non-protocolized weaning for reducing the duration of mechanical ventilation in critically ill adult patients. *Cochrane Database Syst Rev*, 2014, 2014(11): Cd006904.
- 77 Benoit Z, Wicky S, Fischer JF, *et al.* The effect of increased FIO₂ before tracheal extubation on postoperative atelectasis. *Anesth Analg*, 2002, 95(6): 1777-1781.
- 78 Kleinsasser AT, Pircher I, Truebsbach S, *et al.* Pulmonary function after emergence on 100% oxygen in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized, controlled trial. *Anesthesiology*, 2014, 120(5): 1146-1151.
- 79 Wang X, Guo K, Sun J, *et al.* Semirecumbent positioning during anesthesia recovery and postoperative hypoxemia: a randomized clinical trial. *JAMA Netw Open*, 2024, 7(6): e2416797.
- 80 Ireland CJ, Chapman TM, Mathew SF, *et al.* Continuous positive airway pressure (CPAP) during the postoperative period for prevention of postoperative morbidity and mortality following major abdominal surgery. *Cochrane Database Syst Rev*, 2014, 2014(8): Cd008930.
- 81 Guimarães J, Pinho D, Nunes CS, *et al.* Effect of Boussignac continuous positive airway pressure ventilation on Pao₂ and Pao₂/Fio₂ ratio immediately after extubation in morbidly obese patients undergoing bariatric surgery: a randomized controlled trial. *J Clin Anesth*, 2016, 34: 562-570.
- 82 Chaudhuri D, Granton D, Wang DX, *et al.* High-flow nasal cannula in the immediate postoperative period: a systematic review and meta-analysis. *Chest*, 2020, 158(5): 1934-1946.
- 83 Xiang GL, Wu QH, Xie L, *et al.* High flow nasal cannula *versus* conventional oxygen therapy in postoperative patients at high risk for pulmonary complications: a systematic review and meta-analysis. *Int J Clin Pract*, 2021, 75(3): e13828.
- 84 Östberg E, Thorisson A, Enlund M, *et al.* Positive end-expiratory pressure and postoperative atelectasis: a randomized controlled trial. *Anesthesiology*, 2019, 131(4): 809-817.
- 85 Abrard S, Rineau E, Seegers V, *et al.* Postoperative prophylactic intermittent noninvasive ventilation *versus* usual postoperative care for patients at high risk of pulmonary complications: a multicentre randomised trial. *Br J Anaesth*, 2023, 130(1): e160-e168.
- 86 Pettenuzzo T, Boscolo A, Pistollato E, *et al.* Effects of non-invasive respiratory support in post-operative patients: a systematic review and network meta-analysis. *Crit Care*, 2024, 28(1): 152.
- 87 Catoire P, Tellier E, de la Rivière C, *et al.* Assessment of the SpO₂/FiO₂ ratio as a tool for hypoxemia screening in the emergency department. *Am J Emerg Med*, 2021, 44: 116-120.
- 88 Schmidt M, Rössler J, Brooker J, *et al.* Postoperative oxygenation assessed by SpO₂/FiO₂ ratio and respiratory complications after reversal of neuromuscular block with Sugammadex or neostigmine: a retrospective cohort study. *J Clin Anesth*, 2023, 88: 111138.
- 89 Wang J, Zeng J, Zhang C, *et al.* Optimized ventilation strategy for surgery on patients with obesity from the perspective of lung

- protection: a network meta-analysis. *Front Immunol*, 2022, 13: 1032783.
- 90 Chen C, Shang P, Yao Y, *et al*. Positive end-expiratory pressure and postoperative pulmonary complications in laparoscopic bariatric surgery: systematic review and meta-analysis. *BMC Anesthesiol*, 2024, 24(1): 282.
 - 91 Grieco DL, Anzellotti GM, Russo A, *et al*. Airway closure during surgical pneumoperitoneum in obese patients. *Anesthesiology*, 2019, 131(1): 58-73.
 - 92 De Jong A, Rollé A, Souche FR, *et al*. How can I manage anaesthesia in obese patients?. *Anaesth Crit Care Pain Med*, 2020, 39(2): 229-238.
 - 93 Hepner DL, Castells MC. Anaphylaxis during the perioperative period. *Anesth Analg*, 2003, 97(5): 1381-1395.
 - 94 Lin CS, Chang CC, Yeh CC, *et al*. Postoperative adverse outcomes in patients with asthma: a nationwide population-based cohort study. *Medicine (Baltim)*, 2016, 95(3): e2548.
 - 95 Bayable SD, Melesse DY, Lema GF, *et al*. Perioperative management of patients with asthma during elective surgery: a systematic review. *Ann Med Surg (Lond)*, 2021, 70: 102874.
 - 96 Laher AE, Buchanan SK. Mechanically ventilating the severe asthmatic. *J Intensive Care Med*, 2018, 33(9): 491-501.
 - 97 Chang S, Shi J, Fu C, *et al*. A comparison of synchronized intermittent mandatory ventilation and pressure-regulated volume control ventilation in elderly patients with acute exacerbations of COPD and respiratory failure. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2016, 11: 1023-1029.
 - 98 吴江东, 杜学柯, 陈丽妮, 等. 不同机械通气模式对合并轻中度慢性阻塞性肺疾病老年患者腹腔镜下胆囊切除术后肺氧合功能的影响. *广西医学*, 2022, 44: 717-723.
 - 99 Park S, Oh EJ, Han S, *et al*. Intraoperative anesthetic management of patients with chronic obstructive pulmonary disease to decrease the risk of postoperative pulmonary complications after abdominal surgery. *J Clin Med*, 2020, 9(1): 150.
 - 100 Mosier JM, Hypes CD. Mechanical ventilation strategies for the patient with severe obstructive lung disease. *Emerg Med Clin North Am*, 2019, 37(3): 445-458.
 - 101 Papazian L, Aubron C, Brochard L, *et al*. Formal guidelines: management of acute respiratory distress syndrome. *Ann Intensive Care*, 2019, 9(1): 69.
 - 102 熊伟, 陈萍, 高进, 等. 肺保护性通气在中老年脊柱俯卧位手术中的应用: 随机对照试验. *南方医科大学学报*, 2016, 36(2): 215-219.
 - 103 Wang J, Zhu L, Li Y, *et al*. The potential role of lung-protective ventilation in preventing postoperative delirium in elderly patients undergoing prone spinal surgery: a preliminary study. *Med Sci Monit*, 2020, 26: e926526.
 - 104 Tao Y, Ma G, Sun T, *et al*. Effect of target-controlled pressure-controlled ventilation on percutaneous nephrolithotripsy patients under general anesthesia: a retrospective study. *Transl Androl Urol*, 2023, 12(5): 727-735.
 - 105 Han J, Hu Y, Liu S, *et al*. Volume-controlled ventilation *versus* pressure-controlled ventilation during spine surgery in the prone position: a meta-analysis. *Ann Med Surg (Lond)*, 2022, 78: 103878.
 - 106 Grieco DL, Russo A, Anzellotti GM, *et al*. Lung-protective ventilation during Trendelenburg pneumoperitoneum surgery: a randomized clinical trial. *J Clin Anesth*, 2023, 85: 111037.
 - 107 De Meyer GRA, Morrison SG, Saldien V, *et al*. Minimizing lung injury during laparoscopy in head-down tilt: a physiological cohort study. *Anesth Analg*, 2023, 137(4): 841-849.

收稿日期: 2024-10-08 修回日期: 2024-11-05

本文编辑: 孙艳梅