

肺萎陷技术在胸外科手术中的研究进展

陈刘月¹, 王婕妤¹, 贾绍茂², 刘丹², 王晓斌¹, 张莉^{1*}

¹西南医科大学附属医院麻醉科, 四川 泸州

²广元市第一人民医院麻醉科, 四川 广元

收稿日期: 2026年4月28日; 录用日期: 2026年5月22日; 发布日期: 2026年5月29日

摘要

在加速康复外科(Enhanced Recovery after Surgery, ERAS)理念的指导下, 围术期管理策略正推动胸外科手术的创新。与传统的开胸手术相比, 胸腔镜因其手术切口更小, 出血量更少, 术后康复更快, 患者舒适度更高等特点受到广泛应用。胸腔镜手术对视野的范围和清晰度要求较高, 因此理想的肺萎陷效果至关重要。本文系统梳理了ERAS理念下肺萎陷技术在胸外科手术领域的研究进展, 旨在为进一步提升该技术的临床应用水平提供循证参考。

关键词

加速康复外科, 肺萎陷, 胸腔镜手术, 保留自主呼吸麻醉, 机械通气

Research Progress on Lung Collapse Techniques in Thoracic Surgery

Liuyue Chen¹, Jieyu Wang¹, Shaomao Jia², Dan Liu², Xiaobin Wang¹, Li Zhang^{1*}

¹Department of Anesthesiology, The Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou Sichuan

²Department of Anesthesiology, The First People's Hospital of Guangyuan, Guangyuan Sichuan

Received: April 28, 2026; accepted: May 22, 2026; published: May 29, 2026

Abstract

Under the guidance of the enhanced recovery after surgery (ERAS) concept, perioperative management strategies are driving innovations in thoracic surgery. Compared with traditional thoracotomy, video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) has gained widespread application due to its advantages of smaller surgical incisions, reduced blood loss, faster postoperative recovery, and

*通讯作者。

文章引用: 陈刘月, 王婕妤, 贾绍茂, 刘丹, 王晓斌, 张莉. 肺萎陷技术在胸外科手术中的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(5): 3560-3566. DOI: 10.12677/acm.2026.1652179

improved patient comfort. VATS demands high standards for the extent and clarity of the operative field; therefore, optimal lung collapse is critically essential. This article systematically reviews the research progress of lung collapse techniques in thoracic surgery within the framework of the ERAS concept, aiming to provide evidence-based references for further enhancing the clinical application of this technique.

Keywords

Enhanced Recovery after Surgery (ERAS), Lung Collapse, Video-Assisted Thoracoscopic Surgery, Spontaneous Breathing Anesthesia, 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

1997年丹麦学者 Kehlet 首次系统提出 ERAS 理念[1],其核心是通过优化围术期管理,减轻手术应激反应,加快术后恢复,缩短住院时间,改善患者预后[2]。在胸外科领域,ERAS 理念的融入体现在微创技术普及、胸管处理、肺萎陷技术革新、镇痛方案优化等多个方面[3]。

肺隔离指严格的解剖隔离,避免健侧肺受术侧肺脓液或血液污染;肺分离指让术侧肺萎陷[4],理想的肺萎陷状态能为手术目标区域提供清晰广泛的视野,创造良好的手术空间。传统操作中,通常需要肺隔离来实现最大限度的肺塌陷,因此有效的肺隔离是胸外科手术麻醉成功的关键[5]。但随着 ERAS 理念的深入,肺萎陷已不再单纯依靠肺隔离,胸科手术也不再局限于机械通气模式。Tubeless (无管化)技术在胸外科手术中的兴起是这一转变最集中的体现。本文系统梳理胸科手术肺萎陷技术的研究进展,重点分析从传统机械通气模式向 Tubeless 保留自主呼吸模式的转变过程,探讨这一转变对肺萎陷技术提出的新要求与新挑战,并展望未来发展方向。

2. 肺萎陷的原因及机制

胸科手术中肺萎陷是多种因素共同作用的结果。主要与以下几方面有关:

生理因素:完整密闭的胸膜腔内存在一个低于大气压的负压,即胸膜腔负压。其对抗了肺自身的弹性回缩力,是维持肺充气膨胀状态的关键力量。当打开胸膜进入胸腔时,胸膜腔负压消失,肺固有的弹性回缩力使双侧肺发生一定程度的肺萎陷[6]。肺泡内气体的再吸收程度决定肺萎陷的程度,有研究认为肺泡内的氮气对肺泡有支撑作用,是阻碍肺泡塌陷的重要因素[7]。麻醉诱导过程中面罩给氧去氮的过程可加速氮气洗脱,促进肺泡内气体吸收,从而加深萎陷[8]。

麻醉因素:当患者由站立位变为仰卧位时,由于重力的作用,内脏及呼吸肌等会导致胸膜腔空间被压缩,增加胸腔压力,使麻醉前患者的功能残气量下降[9]。麻醉时,麻醉药物(镇静药、肌松药、吸入麻醉药)会使肌张力减少或丧失,影响呼吸肌和横隔膜的运动,减小静息肺容积,进一步使功能残气量下降,导致肺萎陷[10]。

手术因素:开胸手术中,外科医师可通过手动压缩肺组织帮助肺萎陷,但这种做法在单孔胸腔镜下难以实现。有研究认为手动牵拉挤压肺组织易造成肺损伤,增加围术期肺部并发症风险[11]。

此外,麻醉维持期间,随着手术时间的增加,炎症反应、机械通气、氧气浓度等引起肺泡表面活性物质减少[10]和肺内通气/血流的变化造成进行性肺萎陷[12]。

3. 肺萎陷技术

目前肺萎陷技术按照通气模式分类,可分为机械通气和保留自主呼吸两种。不同的技术适用于不同的类型,有其各自的优势区间。

机械通气模式下主要通过肺隔离技术实现肺萎陷。常使用的肺隔离工具有双腔支气管导管(Double-lumen Tube, DLT)和支气管封堵器(Bronchial Blocker, BB)。

双腔支气管导管(DLT): 双腔支气管导管是由两条不等长的气管导管构成,可通过远端的开关夹对左右肺进行选择通气,必要时也可由单肺通气转化为双肺通气。其难点在于放置方法及放置后位置确认。早期大量使用的 DLT,常采用盲插法和纤维支气管镜(FOB)引导插管法。插管后为了确保位置准确性,需使用听诊器和 FOB 定位,操作复杂且耗费时间。随着光源技术的进步,可视双腔支气管导管(Vivasight DLT, VDLT)应运而生,设计本质是在气管和支气管袖口之间安装一个小型摄像机和光源,能够在插管期间、导管定位期间甚至整个手术过程中实现持续气道可视化,极大提高了插管的效率和准确性[13]。DLT 型号的选择也是此类工具的另一难点。临床上麻醉医生通常根据手术方式选择左侧 DLT 或右侧 DLT,根据患者的性别、身高等特点选择 DLT 的尺寸。在胸科手术中 DLT 的优势十分突出:能够实现左右肺的独立通气,允许术中在单肺与双肺通气模式间自由切换。并且其管腔粗大,有利于气道分泌物的充分吸引,能够提供确切可靠的肺隔离效果,从而显著提升术中呼吸管理的便捷性与安全性。但 DLT 的劣势也不容忽视:由于 DLT 比单腔气管导管粗硬,通常放置困难,若操作不当,极易引起气道的损伤,已有研究报道 VDLT 插管后造成气道破裂[14];术中体位变动易引起导管位置变化;术后患者声带损伤、咽喉疼痛的发生率较高。

支气管封堵器(BB): 支气管封堵器是一种管径小于单腔气管导管,远端带球囊的肺隔离装置。BB 的类型从早期的 Fogarty 导管逐步更新迭代到目前最新的 EZ 封堵器。与以往 BB 不同的是 EZ 封堵管创新性地设计为两根导管和套囊,尖端呈 Y 字型,可“骑跨”于隆突之上,同时封堵左右支气管或选择性封堵一侧支气管[15]。BB 通常与单腔气管导管或喉罩联合使用,有研究表明采用喉罩联合支气管封堵器的患者比采用单腔气管导管联合支气管封堵器的患者术后声音嘶哑、喉头水肿等气道并发症发生率更低[16]。随着微创理念的普及,在特定的临床场景下,相较于 DLT, BB 具有更突出的优势:由于 BB 管径远小于 DLT,因此其置入难度较低,插管的安全性和便捷性更高;在获得类似于 DLT 的单肺通气效果时,减少 DLT 引起的术中血流动力学紊乱及术后咽喉疼痛发生率[17];选择性肺隔离更灵活,例如一些肺功能欠佳,不能维持术中氧合的患者, BB 可实现只堵塞一个肺叶而非整个术侧肺。但某些情况下, DLT 具有 BB 无法替代的优势。比如手术要求严格的肺隔离或某些特定术式,如肺袖状切除术, BB 远端延伸的存在会干扰手术过程或存在卡在缝合线中的风险[18]。此外, BB 也不能像 DLT 一样吸引分泌物,对于分泌物较多的患者,易引起气道堵塞或肺不张。

保留自主呼吸模式下通常不使用肺隔离工具,而是通过肺分离达到较好的术侧肺萎陷效果[19]。使用的工具有喉罩(Laryngeal Mask Airway, LAM)、鼻氧管(Nasal Cannula, NC)、新型鼻咽通气道。

喉罩(LAM): LAM 是目前保留自主呼吸模式的胸科手术中应用最广泛的基础工具。LAM 根据其功能大致可分为经典喉罩(Classic LAM, cLAM)、双管型喉罩(ProSeal LAM, pLAM)和插管型喉罩(Fastrach LAM, fLAM)三类。保留自主呼吸下的胸科手术常采用 pLAM,其是在 cLAM 基础上为解决反流误吸、胃肠减压问题设计的升级款。与 DLT 相比, LAM 优点是对气道黏膜的损伤更小,降低了对患者的侵入性操作,极大地减少术后并发症,缩短了患者术后康复时间。契合当前倡导的 ERAS 理念[20]。LAM 缺点在于:由于胸科手术侧卧位的特殊要求,喉罩很难像仰卧位一样完美贴合喉部,容易发生移位漏气。

鼻氧管(NC): 经鼻高流量湿化氧疗(High-Flow Nasal Cannula Oxygen Therapy, HFNC)作为一种以 NC

为核心的氧合技术,已成为保留自主呼吸胸科手术中继 LAM 后的第二种选择。HFNC 是“完全无管化”麻醉的代表,是一种通过可调控氧浓度和氧流量的鼻塞导管提供高流量吸入气体的氧疗方式[21]。其优点在于:HFNC 是完全的非侵入型技术,NC 能完全避免 DLT、BB、LAM 等侵入型工具对口腔及气道造成的机械性损伤;HFNC 能够有效地提供高流量氧气,冲刷解剖死腔中的二氧化碳,降低吸气阻力,增加有效通气[22]。其缺点是:无法准确有效地检测呼末二氧化碳($P_{ET}CO_2$) [23],只能通过血气分析判断动脉血二氧化碳分压($PaCO_2$),无法实时监测通气状况,这是 HFNC 最大的缺点;经鼻途径效率有限,仅支持自主呼吸,无法进行正压通气,一旦发生严重呼吸抑制或呼吸暂停,必须转换为面罩通气或气管插管等方式;无法解决胃胀气及反流误吸的问题。

新型鼻咽通气道:鼻咽通气道(Nasopharyngeal Airway, NPA)在临床上多用于保留自主呼吸但存在上呼吸道梗阻的患者。新型鼻咽通气道通过增设供氧导管和旁流式 $P_{ET}CO_2$ 监测导管,进而实现对患者呼吸状态及通气效率的动态评估[24]。有研究表明:与喉罩比较,置入新型鼻咽通气道操作更加简单快捷,术后咽喉疼痛发生率大大降低[25]。但新型鼻咽通气道也存在与 NC 相同的缺点:仅支持自主呼吸,应对反流误吸、呼吸抑制等突发情况的处理措施很局限。

胸科手术中机械通气模式和保留自主呼吸模式各有优劣,主要不同点在于气道工具的选择和麻醉方式的用药量不同。

机械通气模式下主要使用侵入气道型工具(DLT, BB),通过只给健侧肺通气,不给术侧肺通气达到肺隔离效果,实现术侧肺萎陷。机械通气模式的优势是:能实现精准肺隔离,防止脓液或分泌物等进入健侧肺。肺萎陷效果更好,手术视野更稳定,气道管理更安全可控。但其劣势是:插管难度较高,对气道损伤较大,术后患者恢复慢,机械通气相关并发症多[26]。有研究表明胸科手术中,机械通气引起的术后肺损伤的发生率约为 4.3% [27]。长时间的机械通气易导致术后膈肌功能障碍、肺不张,严重者甚至引起呼吸衰竭[28]。随着 ERAS 理念的普及,非插管的保留自主呼吸模式应运而生。

保留自主呼吸模式下主要采用声门上通气装置(LAM、NC、新型鼻咽通气道),通过术中施加的医源性人工气胸辅助肺塌陷。有文献表明,塌陷程度较好的一侧肺的气道阻力远高于另外一侧肺,因此辅以人工气胸帮助术侧肺塌陷后,在小潮气量的情况下大多数的气体会优先进入健侧肺,从而在人工气胸撤除后仍然实现持续肺萎陷效果[29]。当术侧肺因萎陷或通气停止而处于缺氧状态时,通过收缩血管,减少流向缺氧/萎陷肺区域的血流,将血液重新分配到通气良好、氧分压正常的健侧肺区域,从而优化整体的通气血流比值,维持全身的氧合[10]。保留自主呼吸模式的优点是:主要依靠神经阻滞镇痛(椎旁神经阻滞 + 前锯肌阻滞 + 迷走神经阻滞 + 肋间神经阻滞)。有研究证明多方案结合的神经阻滞能显著改善术后疼痛管理,减少术中阿片类药物的使用及相关炎症反应[30],降低术后恶心呕吐的发生;不用或极少量肌松药,使患者术后进食时间和术后下床活动时间显著提前,利于伤口愈合[31];避免机械通气相关性肺损伤,减少术后肺部并发症的发生率。其缺点是:在胸科手术中,声门上通气装置难以进行有效的肺隔离,无法应对复杂手术中的突发抢救情况,例如处理复杂肺叶血管大出血时,无法阻止患侧肺的血液经气道流入健侧肺,易造成患者窒息[32];与侵入型气道管理工具相比,声门上通气装置通气效率较低,手术时间过长会使患者术中高碳酸血症和低氧血症的发生率较高。

4. 加快肺萎陷技术

清晰的手术视野离不开良好的肺萎陷效果。尤其是机械通气模式下,肺自然萎陷的时间相对较长,实际临床操作中,常采用加快肺萎陷技术提高肺萎陷的质量和速度。

目前加快肺萎陷技术包括:1) 人工气胸:手术医师通过特定方法向胸腔内充入 CO_2 ,胸腔内压力增加促使肺快速萎陷。但需注意气胸的压力和时间,气胸压力过大易压迫心脏和大血管,引起心率减慢、

回心血量减少, 血压降低, 气道阻力增加[33]; 气胸时间过长, 易造成 CO₂ 蓄积, 引起高碳酸血症和内环境紊乱。2) 提前单肺通气: 传统方法是在开胸时实施单肺通气。有研究显示, 提前单肺通气即至少在开胸前 6 min 实施单肺通气可明显缩短肺萎陷时间[34]; 3) 单肺通气前, 吸入氧化亚氮和氧气的混合气体加速术侧肺萎陷[35]; 4) 单肺通气后吸入纯氧: 纯氧可被完全吸收, 利用纯氧置换出肺泡里的氮气, 使肺泡更快失去支撑作用, 达到肺萎陷目的; 5) 负压吸引: 向术侧肺置入负压吸引管, 以促进术侧肺萎陷。6) 呼吸暂停法: 通过断开呼吸回路提高肺萎陷的速度, 但断开的时机和时长需要严格把控[35]。

不同通气模式下, 加快肺萎陷技术对手术的协同效应不同。机械通气模式下, 人工气胸通常在单肺通气时实施, 此时术侧肺已无通气, 人工气胸主要起外力压缩作用, 辅助术侧肺残余气体排出。提前单肺通气是加速肺萎陷的标准策略, 有研究结果显示, 提前单肺通气在术中早期肺萎陷效果明显优于呼吸暂停法[34]。自主呼吸模式下, 传统意义的单肺通气和呼吸暂停法无法实施, 术侧肺缺乏主动萎陷的动力, 因此人工气胸成为了肺萎陷的核心机制。Chen Li 等人研究证实了人工气胸在双肺通气模式下的可行性与安全性, 且数据表明与单肺通气相比, 双肺通气下人工气胸策略的术后肺部并发症发生率更低[36]。但其挑战在于人工气胸与自主呼吸的对抗, 气胸压力过大或时间过长可能会干扰膈肌的运动, 干扰手术视野。其余加快肺萎陷技术对于不同呼吸模式的效果差异性目前尚无具体的研究报道。

实际临床中, 麻醉医生根据患者的自身情况, 合理联合多种加快肺萎陷技术达到最优的肺萎陷效果。

5. 术中肺萎陷的评定方法

1) 肺萎陷评分(Lung Collapse Scale, LCS): 由一位对麻醉情况不知情的专业外科医生进行评估。按 0~10 分评分, 0 分为无肺萎陷, 10 分为完全萎陷。0~4 分即肺未萎陷或部分萎陷, 影响手术操作, 需术者干预; 5~7 分即肺大部分萎陷, 肺内仍残存有部分气体, 但肺无通气; 8~10 分即肺基本完全萎陷[37]。

2) Campos 肺萎陷分级: 由一位对麻醉情况不知情的专业外科医生进行评估。优, 术侧肺完全萎陷, 手术野完全暴露, 无需术者干预; 良, 术侧肺基本萎陷, 肺内仍残存有部分气体, 但肺无通气, 手术野暴露比较满意; 差, 术侧肺未萎陷或部分萎陷, 影响手术操作, 需术者干预[34]。

3) 视觉量表: 由三名分组盲人观察员(即两名胸外科医生和一名心胸麻醉研究员)对术中视频进行回看, 离线分析。使用三分量表评估: 1 = 无肺塌陷; 2 = 部分肺塌陷; 3 = 完全肺塌陷 [38]。

综上所述, 在 ERAS 理念指导下, 胸科手术在肺萎陷技术方面已取得了显著进展。肺萎陷技术作为胸科麻醉的核心环节, 已由单纯的术野暴露, 发展为追求更清晰广泛稳定的视野条件。DLT 因其确切的隔离效果和良好的安全可控性, 目前仍是胸科手术的金标准, BB 则在困难气道及术后通气管理中展现出独特优势。相比于胸科手术中传统的机械通气模式, 保留自主呼吸模式是基于 ERAS 理念的创新性延伸。如何在充分发挥自主呼吸生理优势的同时, 有效应对可能出现的低氧血症、高碳酸血症及纵隔摆动等风险, 仍是临床推广应用的主要瓶颈。本文发现, 针对不同通气模式及患者个体特征, 人工气胸的压力与时长设定缺乏精准化的研究。未来, 随着更深入的研究, 个体化的通气策略和精准化的肺萎陷技术有望在提升胸科手术安全性与改善患者预后方面发挥更重要的作用。

致 谢

本研究受基金项目喉罩 + 肺萎陷后行单肺通气技术用于 Tubeless VATS 手术麻醉: 一项单中心、前瞻性、三臂、随机对照临床研究(编号: 25CXTD31)资助, 特此致谢。

参考文献

- [1] Kehlet, H. and Mogensen, T. (1999) Hospital Stay of 2 Days after Open Sigmoidectomy with a Multimodal Rehabilitation Programme. *Journal of British Surgery*, **86**, 227-230. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2168.1999.01023.x>

- [2] Gillis, C., Ljungqvist, O. and Carli, F. (2022) Prehabilitation, Enhanced Recovery after Surgery, or Both? A Narrative Review. *British Journal of Anaesthesia*, **128**, 434-448. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2021.12.007>
- [3] Batchelor, T.J.P., Rasburn, N.J., Abdelnour-Berchtold, E., Brunelli, A., Cerfolio, R.J., Gonzalez, M., et al. (2019) Guidelines for Enhanced Recovery after Lung Surgery: Recommendations of the Enhanced Recovery after Surgery (ERAS®) Society and the European Society of Thoracic Surgeons (ESTS). *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **55**, 91-115. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezy301>
- [4] Samara, E., Valauskaite, G. and El Tahan, M.R. (2024) Updates in Lung Isolation Techniques. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, **38**, 4-17. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2024.04.002>
- [5] Li, H., Chu, L., Ye, H., Zhang, Y., Li, M., Hua, Y., et al. (2025) Lung Isolation with a Bronchial Blocker Placed in the Lateral Position for Patients Undergoing Thoracic Surgery: A Multicenter, Randomized Clinical Trial. *Journal of Clinical Anesthesia*, **104**, Article ID: 111869. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2025.111869>
- [6] 张梦, 董有静. 胸腔镜手术中肺萎陷的原因及评定方法的研究进展[J]. 医学综述, 2018, 24(7): 1425-1429.
- [7] Nimmagadda, U., Salem, M.R. and Crystal, G.J. (2017) Preoxygenation: Physiologic Basis, Benefits, and Potential Risks. *Anesthesia & Analgesia*, **124**, 507-517. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000001589>
- [8] Hedenstierna, G. and Rothen, H.U. (2012) Respiratory Function during Anesthesia: Effects on Gas Exchange. *Comprehensive Physiology*, **2**, 69-96. <https://doi.org/10.1002/j.2040-4603.2012.tb00393.x>
- [9] Garland, A. and Hopton, P. (2022) Airway Closure in Anaesthesia and Intensive Care. *BJA Education*, **22**, 126-130. <https://doi.org/10.1016/j.bjae.2021.12.001>
- [10] Zeng, C., Lagier, D., Lee, J. and Vidal Melo, M.F. (2022) Perioperative Pulmonary Atelectasis: Part I. Biology and Mechanisms. *Anesthesiology*, **136**, 181-205. <https://doi.org/10.1097/aln.0000000000003943>
- [11] 杭黎华, 费叶晟, 李玉琳. 加速肺萎陷技术在胸腔镜手术中的应用进展[J]. 临床麻醉学杂志, 2024, 40(1): 97-100.
- [12] Lagier, D., Zeng, C., Fernandez-Bustamante, A. and Vidal Melo, M.F. (2022) Perioperative Pulmonary Atelectasis: Part II. Clinical Implications. *Anesthesiology*, **136**, 206-236. <https://doi.org/10.1097/aln.0000000000004009>
- [13] Heir, J.S., Guo, S., Purugganan, R., Jackson, T.A., Sekhon, A.K., Mirza, K., et al. (2018) A Randomized Controlled Study of the Use of Video Double-Lumen Endobronchial Tubes versus Double-Lumen Endobronchial Tubes in Thoracic Surgery. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, **32**, 267-274. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2017.05.016>
- [14] 赵基鹏, 熊添, 樊宏, 等. 可视双腔支气管导管气管插管后气道破裂 1 例[J]. 麻醉安全与质控, 2024, 6(5): 285-286.
- [15] 陈文楚, 徐颖怡, 郭欣莹, 等. 支气管封堵器在患儿单肺通气中的应用进展[J]. 临床麻醉学杂志, 2025, 41(11): 1203-1208.
- [16] Nakanishi, T., Sento, Y., Kamimura, Y., Nakamura, R., Hashimoto, H., Okuda, K., et al. (2023) Combined Use of the Proseal Laryngeal Mask Airway and a Bronchial Blocker vs. a Double-Lumen Endobronchial Tube in Thoracoscopic Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Clinical Anesthesia*, **88**, Article ID: 111136. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2023.111136>
- [17] 王嘉锋, 赵珍珍, 包睿, 等. 可视喉罩联合支气管封堵器降低胸腔镜肺切除术咽喉疼痛发生率[J]. 上海医学, 2022, 45(3): 175-178.
- [18] Mourisse, J., Liesveld, J., Verhagen, A., van Rooij, G., van der Heide, S., Schuurbiens-Siebers, O., et al. (2013) Efficiency, Efficacy, and Safety of Ez-Blocker Compared with Left-Sided Double-Lumen Tube for One-Lung Ventilation. *Anesthesiology*, **118**, 550-561. <https://doi.org/10.1097/aln.0b013e3182834f2d>
- [19] 王凌飞, 詹岳宁, 王丹, 等. 非插管麻醉的胸腔镜手术中对患者血流动力学及脑氧代谢的变化[J]. 中国医科大学学报, 2024, 53(12): 1111-1117.
- [20] He, J., Liu, J., Zhu, C., Dai, T., Cai, K., Zhang, Z., et al. (2019) Expert Consensus on Tubeless Video-Assisted Thoracoscopic Surgery (Guangzhou). *Journal of Thoracic Disease*, **11**, 4101-4108. <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.10.04>
- [21] Rochweg, B., Einav, S., Chaudhuri, D., Mancebo, J., Mauri, T., Helviz, Y., et al. (2020) The Role for High Flow Nasal Cannula as a Respiratory Support Strategy in Adults: A Clinical Practice Guideline. *Intensive Care Medicine*, **46**, 2226-2237. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06312-y>
- [22] 解东明, 王佳, 邓友明, 等. 经鼻高流量氧疗支持下深肌松免插管麻醉在肺结核患者纤维支气管镜检查中的应用[J]. 临床麻醉学杂志, 2026, 42(1): 10-14.
- [23] Long, B., Liu, Y., Lin, F., Zhang, Y., Peng, G., Yang, C., et al. (2026) Randomized Trial of High-Flow Nasal Cannula vs Double-Lumen Endotracheal Tube or Laryngeal Mask for Thoracoscopic Surgery. *The Annals of Thoracic Surgery*, **121**, 705-714. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2025.11.020>
- [24] 丁耀茂, 陈冠文, 梁万益, 等. 新型旁流 EtCO₂ 鼻咽通气道在宫腔镜手术中的应用[J]. 中国医药科学, 2024,

- 14(23): 181-184+193.
- [25] 孔宪刚, 刘曼曼, 魏育涛, 等. 新型鼻咽通气道与喉罩用于NIVATS患者气道管理效果的比较[J]. 中华麻醉学杂志, 2025, 45(11): 1465-1469.
- [26] Ferrando, C., Vallverdú, J., Zattera, L., Tusman, G. and Suárez-Sipmann, F. (2025) Improving Lung Protective Mechanical Ventilation: The Individualised Intraoperative Open-Lung Approach. *British Journal of Anaesthesia*, **134**, 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2024.10.007>
- [27] Neto, A.S., Hemmes, S.N., Barbas, C.S., Beiderlinden, M., Fernandez-Bustamante, A., Futier, E., *et al.* (2014) Incidence of Mortality and Morbidity Related to Postoperative Lung Injury in Patients Who Have Undergone Abdominal or Thoracic Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Lancet Respiratory Medicine*, **2**, 1007-1015. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(14\)70228-0](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(14)70228-0)
- [28] Powers, S.K. (2024) Ventilator-Induced Diaphragm Dysfunction: Phenomenology and Mechanism(s) of Pathogenesis. *The Journal of Physiology*, **602**, 4729-4752. <https://doi.org/10.1113/jp283860>
- [29] 牛伟, 孔双, 孟宏伟, 等. Tubeless 麻醉技术在胸腔镜下肺癌根治术中的应用效果[J]. 中国当代医药, 2025, 32(25): 84-89+94.
- [30] Shi, Z., Shao, G., Zhang, X., Shi, Y., Rong, G., Xu, D., *et al.* (2025) Effectiveness of Combining Thoracic Paravertebral Nerve Block and Serratus Anterior Plane Block in Non-Intubated Spontaneous-Ventilation Video-Assisted Thoracoscopic Surgery: A Retrospective Case-Control Study. *Journal of Inflammation Research*, **18**, 11125-11137. <https://doi.org/10.2147/jir.s526948>
- [31] Grott, M., Eichhorn, M., Eichhorn, F., Schmidt, W., Kreuter, M. and Winter, H. (2022) Thoracic Surgery in the Non-Intubated Spontaneously Breathing Patient. *Respiratory Research*, **23**, Article No. 379. <https://doi.org/10.1186/s12931-022-02250-z>
- [32] Wang, H., Li, J., Liu, Y., Wang, G., Yu, P. and Liu, H. (2020) Non-Intubated Uniportal Video-Assisted Thoracoscopic Surgery: Lobectomy and Systemic Lymph Node Dissection. *Journal of Thoracic Disease*, **12**, 6039-6041. <https://doi.org/10.21037/jtd-20-1703>
- [33] 汤敏誉, 梁鹏. 胸科手术中单肺通气肺萎陷技术的应用进展[J]. 实用医学杂志, 2024, 40(20): 2813-2818.
- [34] Zhang, H., Xiang, S., Mei, L., Feng, Y., She, H., Hu, Y., *et al.* (2025) Effects of the Disconnection Technique and Preemptive One-Lung Ventilation on Lung Collapse during One-Lung Ventilation in Thoracoscopic Surgery. *BMC Anesthesiology*, **25**, Article No. 55. <https://doi.org/10.1186/s12871-025-02899-1>
- [35] 周义权, 陈文华, 李福源. 不同肺萎陷方法在胸腔镜手术中的应用效果评价[J]. 腹腔镜外科杂志, 2025, 30(5): 325-330.
- [36] Li, C., Shen, J., Yang, L. and Chen, C. (2026) Comparison of Two-Lung Ventilation with CO₂ Artificial Pneumothorax and One-Lung Ventilation during Esophagectomy: A Retrospective Cohort Study. *BMC Anesthesiology*, **26**, Article No. 218. <https://doi.org/10.1186/s12871-026-03726-x>
- [37] Liang, C., Lv, Y., Shi, Y., Cang, J. and Miao, C. (2020) The Fraction of Nitrous Oxide in Oxygen for Facilitating Lung Collapse during One-Lung Ventilation with Double Lumen Tube. *BMC Anesthesiology*, **20**, Article No. 180. <https://doi.org/10.1186/s12871-020-01102-x>
- [38] Bussi eres, J.S., Somma, J., del Castillo, J.L.C., Lemieux, J., Conti, M., Ugalde, P.A., *et al.* (2016) Bronchial Blocker versus Left Double-Lumen Endotracheal Tube in Video-Assisted Thoracoscopic Surgery: A Randomized-Controlled Trial Examining Time and Quality of Lung Deflation. *Canadian Journal of Anesthesia*, **63**, 818-827. <https://doi.org/10.1007/s12630-016-0657-3>