

儿童肺隔离和单肺通气技术临床应用专家共识(2025 版)

儿童肺隔离和单肺通气技术临床应用专家共识(2025 版)编写组

通信作者:李军,温州医科大学附属第二医院 育英儿童医院麻醉与围术期医学科,温州 325027, Email:lijun0068@163.com;宋兴荣,广州医科大学附属妇女儿童医疗中心麻醉科,广州 510623, Email:sxjess@126.com;俞卫锋,温州医科大学附属第一医院麻醉科,温州 325005, Email:ywf808@yeah.net

【摘要】 儿童胸科手术常采用肺隔离(LST)和单肺通气(OLV)技术进行麻醉管理。对于儿童,尤其是婴幼儿,LST 和 OLV 技术的实施和围手术期麻醉管理远较成人复杂,且医院间、麻醉医师间的技术水平存在较大差异。因此,中华医学会麻醉学分会小儿麻醉学组和中国心胸血管麻醉学会小儿麻醉分会、胸科麻醉分会组织专家制定了《儿童肺隔离和单肺通气技术临床应用专家共识(2025 版)》,通过收集和遴选临床问题、证据检索、专家讨论,形成共识意见,以推动儿童 LST 和 OLV 技术的标准化实施,为我国儿童胸科手术安全和质量保障提供专业支撑与规范指引。

【关键词】 单肺通气; 儿童; 肺隔离; 专家共识

DOI:10.3760/cma.j.cn131073-20250310-00502

Expert consensus on clinical application of lung isolation and one-lung ventilation techniques in children (2025 edition)

Working Group on Expert Consensus on Clinical Application of Lung Isolation and One-Lung Ventilation Techniques in Children (2025 Edition)

Corresponding authors: Li Jun, Department of Anesthesiology and Perioperative Medicine, The Second Affiliated Hospital and Yuying Children's Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou 325027, China, Email: lijun0068@163.com; Song Xingrong, Department of Anesthesiology, Guangzhou Women and Children's Medical Center, Guangzhou Medical University, Guangzhou 510623, China, Email: sxjess@126.com; Yu Weifeng, Department of Anesthesiology, The First Affiliated Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou 325005, China, Email: ywf808@yeah.net

【Abstract】 Lung separation techniques (LST) and one-lung ventilation (OLV) are commonly utilized for anesthesia management. For children, especially infants and neonates, the implementation of LST and OLV, along with perioperative management, is significantly more complex than in adults. Moreover, there is considerable variability in the technical proficiency among different hospitals and anesthesiologists. Therefore, the Pediatric Anesthesia Group of the Chinese Society of Anesthesiology, the Pediatric Anesthesia Group and Thoracic Anesthesia Group of the Chinese Society of Cardiovascular Anesthesiology organized experts to develop the *Expert consensus on clinical application of lung isolation and one-lung ventilation techniques in children (2025 edition)*. This consensus was formed through the collection and selection of clinical issues, evidence retrieval, and expert discussions. It aimed to standardize the implementation of pediatric LST and OLV techniques and provide robust professional support and standardized guidance to enhance the safety and quality of pediatric thoracic surgery in China.

【Key words】 One-lung ventilation; Child; Lung separation; Expert consensus

DOI:10.3760/cma.j.cn131073-20250310-00502

近年来,随着胸科手术种类增多、手术方式的革新以及多样化麻醉器具的研发及普及,肺隔离技术(LST)或单肺通气(OLV)技术的安全性、便捷性以及多样性得到了显著提升。由于儿童气道解剖结构发育的特殊性和围手术期麻醉管理的复杂性,在儿童中实施 LST 或 OLV 技术需依赖更精细化的操作规范与个体化决策支持。目前,国内各级医疗机构在儿童胸科手术麻醉管理水平、技术标准化执行等方面仍存在显著差异与规范化管理缺口。因此,需要制定规范、切实可行的儿童 LST 和 OLV 技术实施和麻醉管理专家共识,为提升我国儿童胸科手术围手术期管理质量提供循证依据与规范化的技术指引。

一、共识制订方法

本共识由中华医学会麻醉学分会小儿麻醉学组、中国心胸血管麻醉学会小儿麻醉分会及胸科麻醉分会联合发起,组织国内在儿童胸科麻醉领域具有丰富临床经验和共识制订经验的专家共同编写。共识编写于 2024 年 3 月启动,2025 年 3 月完成专家审稿,2025 年 5 月正式定稿。本共识适用于为儿童胸科手术实施麻醉与围手术期管理的麻醉医师,目标人群为接受胸科手术的儿童,尤其是婴幼儿人群。

工作组首先提出目前关注的 24 个临床问题,对麻醉学专家(主要为具有儿童胸外科麻醉经验的专家)2 次在线问卷征集,根据投票结果最终确定了 17 个临床问题。工作组系统检索了 PubMed、Medline、Cochrane Library、万方及中国知网等数据库,检索时间为建库至 2025 年 4 月 27 日。采用自由词与主题词相结合的检索策略,中文检索词包括:儿童、新生儿、单肺通气、肺隔离等;英文检索词包括:pediatric、neonatal、one lung ventilation 等。采用推荐分级的评估、制订与评价(GRADE)^[1]评价证据质量和推荐强度,证据水平分为高、中、低和极低 4 个水平(见表 1)。工作组通过线上研讨会、邮件通讯以及线下会议等形式,组织全体专家组成员进行讨论和修订,并根据改良德尔菲法的实践要求,投票形成推荐意见。投票意见分为 5 个等级:1 级,完全赞同;2 级,大部分赞同;3 级,基本赞同;4 级,不赞同;5 级,完全不赞同。推荐意见分为“强推荐”和“弱推荐”,投票为 1 级的占比>75%时被定义为“强推荐”;投票为 1 级、2 级以及 3 级的总和占比>75%时则被定义为“弱推荐”;未能达到“弱推荐”时则进行修改,经过第 2 轮和第 3 轮投票,如仍未>75%者,则被删除。最终形成 17 项推荐意见(见表 2)。

表 1 证据水平分级标准

证据水平	描述
极低	当前评估结果极不可靠,将来的研究极大可能会对其产生颠覆性影响,几乎肯定会改变当前推荐
低	将来的研究很可能对目前的评估结果有重要影响,从而很可能改变当前推荐
中	将来的研究可能对目前的评估结果有重要影响,从而可能改变当前推荐
高	将来的研究几乎不可能改变当前的评估结果

表 2 儿童肺隔离和单肺通气技术临床应用专家推荐意见

推荐意见	证据水平	推荐强度
推荐意见 1:在气管导管外使用支气管封堵器(BB)进行肺隔离(LST)时,建议使用带套囊气管导管以降低漏气可能。	中	强
推荐意见 2:建议依据胸片、胸部 CT、MRI 或 3D 重建等影像学资料评估呼吸道参数和形态,选择合适方案进行 LST。	高	强
推荐意见 3:婴幼儿机械通气参数选择较成人严格,可优先考虑压力通气模式;长时间机械通气或危重儿童,根据血气分析结果动态调整参数。	中	强
推荐意见 4:在低体质量新生儿、紧急气道出血及张力性气胸等情况下,单腔气管导管置入支气管仍是一种常用方法。	中	强
推荐意见 5:建议在视频支气管镜/纤维支气管镜直视下,采用最低封堵压力充气且术中间断放气;2 岁以下儿童建议采用气管导管外封堵法。	高	强
推荐意见 6:对于≥6 岁的儿童,结合影像学资料可考虑选择适合型号的 Univent 导管,但一般不作为首选。	高	强
推荐意见 7:对于体型较大的儿童,需根据影像学资料确定适宜型号的双腔支气管导管(DLT);婴幼儿不建议优先考虑 Marraro 儿童 DLT。	高	强
推荐意见 8:对于手术时间较短、术野暴露要求不高、两肺之间无相互污染风险的情况,可让外科医师压迫肺组织或使用二氧化碳气胸的方法来改善术野暴露。	中	弱
推荐意见 9:建议采用肺部超声评估婴幼儿 LST 效果,辅助确定最佳呼气末正压(PEEP)及早期诊断术后肺部并发症。	中	弱
推荐意见 10:对于先天性食管闭锁和气管食管瘘手术,建议使用单腔气管导管或 BB 实施单肺通气(OLV),如因难请外科医师压迫肺组织以实现 OLV;联合使用 5~8 cmH ₂ O PEEP 行机械通气,并监测动脉血气。	高	强
推荐意见 11:对于膈疝手术,麻醉诱导前应插入鼻胃管,防止疝入胸腔内的胃肠道过度充气加重对纵膈的压迫;可采用快速顺序诱导或保留自主呼吸的方法插管,避免单腔气管导管插管前正压通气;一般使用 BB 实施 LST 和 OLV;对于低龄和低体质量儿童,如难以实施 LST,可采取二氧化碳气胸或外科医师压迫肺组织的方法。	高	强
推荐意见 12:对于先天性囊性肺疾病儿童,在实施 OLV 前应尽可能保留自主呼吸,如需正压通气,应尽可能使用较低气道压;支气管囊肿患儿应积极采用 LST,避免囊液污染健侧肺。	中	强
推荐意见 13:对于侧开胸或胸腔镜下心脏直视手术,建议使用 BB 经气管导管内封堵实施 LST 和 OLV。	高	强
推荐意见 14:婴幼儿目标 SpO ₂ 维持在 92% 以上即可。根据氧合情况按 1~2 cmH ₂ O 增幅逐步滴定至合适水平 PEEP,亦可根据最佳顺应性或肺部超声等方法滴定 PEEP 水平。	中	强
推荐意见 15:OLV 期间可采用允许性高碳酸血症;对于并存肺动脉高压的婴幼儿,须平衡呼吸参数致胸内压增加和允许性高碳酸血症致肺动脉压进一步升高的风险,在严密监测下实施 OLV。	中	强
推荐意见 16:为加速肺萎陷,应尽可能减小小肺内气体溢出的阻力;确保潴留在肺泡的气体类型属于易吸收气体(如氧气或氧化亚氮,而非空气)。	高	强
推荐意见 17:虽然缺乏充分的循证依据,但儿童保护性 OLV 策略仍以满足通气所需的小潮气量、适当水平的 PEEP 以及间断肺复张为基础。	高	强

二、基本知识

1.LST、OLV 和差异性肺通气的概念

(1) LST:在气管隆突或支气管水平将两侧肺的通气通路分隔开的技术,主要为了避免患侧肺的脓液、血液或冲洗液进入健侧肺^[2]。

(2) OLV:对一侧肺进行通气,而另一侧肺不通气,以便改善胸腔手术的暴露空间;或实施 LST 以保护健侧肺不被患侧肺污染;或非手术情况下的单侧肺通气^[3]。

(3) 差异性肺通气:对两侧肺分别以不同呼吸模式或通气参数实施机械通气。适用于双侧肺部状况差异明显的临床情况,如额外对手术侧肺行持续气道正压通气,对单侧支气管胸膜瘘或单侧肺移植术后患者两侧肺分别以不同参数机械通气。

2. 儿童呼吸系统的解剖和生理特点

(1) 上呼吸道解剖

婴幼儿头大,颈短,悬雍垂和会厌相对接近,直至 2 岁左右喉部才逐渐下降,会厌呈“U”形,且前移。Eckenhoff 于 1951 年描述儿童喉部呈漏斗状,并指出最狭窄部位在环状软骨水平^[4]。据此,环状软骨水平的内径曾被认为是决定气管导管型号是否合适的因素。但是,Litman 等^[5]基于 MRI 的研究表明,儿童喉部冠状面和矢状面与成人一样均呈圆柱状,且喉部最狭窄的部位位于声门水平。Dalal 等^[6-7]经支气管镜检查也得出同样的结论。尽管存在不同观点,目前仍普遍认同环状软骨水平是儿童喉部最狭窄的功能部位。因此,传统观点建议 8 岁以下儿童使用无套囊气管导管,合适型号 of 无套囊气管导管和环状软骨良好贴合情况下可提供约 20 cmH₂O (1 cmH₂O = 0.098 kPa) 的密封压^[8]。但是 OLV 时,呼吸顺应性下降,气道压往往超过其密封压。另外,如果在气管导管外使用支气管封堵器(BB)进行 LST 时,BB 和气管导管并行后,其横截面并非圆形,环状软骨更加难以提供良好的密封功能。

【推荐意见 1】 在气管导管外使用 BB 进行 LST 时,建议使用带套囊气管导管以降低漏气可能。(强推荐)

(2) 下呼吸道解剖

正常足月新生儿的气管长度约为 2~3 cm,气管分叉位置较成人高,在 T₃₋₄ 水平,右主支气管与气管夹角相对较小,走向较陡直,而左主支气管与气管夹角相对较大^[9],且细长。儿童气管和支气管的内径随年龄增加而增长^[10-12],具体数据参见表 3 和表 4。

表 3 不同年龄段儿童气管内径和推荐气管导管内径^[11]

年龄	气管内径(mm)	气管导管内径(mm)
<1 个月	5	2.5/3.0
1~<6 个月	5~6	3.5
6~<18 个月	6~7	4.0
18 个月~<3 岁	7~8	4.5
3~<6 岁	8~9	5.0
6~<9 岁	9~10	5.5
9~<12 岁	10~13	6.0
12~<14 岁	13	7.0

表 4 不同年龄段儿童左右主支气管近端横径(国外数据)^[12]

部位	年龄	均数±标准差 (mm)	中位数 (mm)	最小值,最大值 (mm)
右主支气管近端	<5 个月	4.54±0.66	4.60	3.6,5.3
	1~<3 岁	5.61±0.72	5.60	4.6,6.6
	3~<5 岁	6.66±0.67	6.64	5.5,7.5
	5~<7 岁	7.18±0.81	7.00	6.0,8.3
	7~<9 岁	8.09±0.64	8.03	7.0,8.9
	9~<11 岁	8.90±0.82	9.00	7.7,9.9
左主支气管近端	<5 个月	3.63±0.58	3.60	3.0,4.3
	1~<3 岁	4.41±0.71	4.20	3.5,5.6
	3~<5 岁	5.46±0.67	5.10	4.9,6.6
	5~<7 岁	5.93±0.92	5.51	5.0,7.3
	7~<9 岁	6.67±0.88	6.30	6.0,8.1
	9~<11 岁	7.31±1.12	6.90	6.0,8.8

胎儿气道结构在妊娠 16 周时已发育完毕,妊娠 16~25 周开始形成腺泡和血管,标志着肺部从仅具备气体交换功能的过渡期进入终末囊泡期。妊娠 25 周至足月,肺部潜在气体容量和表面积逐渐增加,为气体交换提供了必要的解剖基础和出生后生存的基本条件。肺泡约在妊娠 36 周才开始形成,出生时终末肺泡囊结构数量少,仅为肺发育成熟时的 1/10;大多数原始囊状组织在出生 1 年后完成肺泡发育,但肺的形态和生理功能发育成熟需要约 10 年^[13-14]。值得注意的是,某些先天性疾病(如先天性膈疝)可能会阻碍肺的正常发育进程。婴幼儿的肺容量和可行气体交换的肺泡表面积较小、解剖无效腔较大、氧储备能力低,而氧耗量约为成人 2 倍(约 6~8 ml·kg⁻¹·min⁻¹),所以婴幼儿更容易发生缺氧。

(3) 呼吸生理

婴幼儿胸廓大部分由肋软骨构成,肌肉少,胸廓较软;肺组织弹性纤维含量少,肺顺应性相对较高,因此功能残气量较低,甚至接近残气量;全身麻醉或胸廓受压情况下,功能残气量进一步下降;闭合容积大,肺泡更易较早闭合。婴幼儿体型小,侧卧位时双肺静水压力梯度较成人小,下侧肺(非手术侧,即依赖肺)血流量增加不明显;侧卧位双肺通气时潮气量倾向于分布至上侧肺(而成人下侧肺)。因胸廓软、下侧肺承受腹腔内容物挤压,以及纵隔和上侧

肺重力产生的压力导致功能残气量显著减少^[15-16], 婴幼儿 OLV 时更易出现通气/血流比失衡。因此, 应结合儿童特殊呼吸生理详细评估心肺功能和 OLV 时低氧血症的风险, 并据此决策最佳的 OLV 实施策略。

【推荐意见 2】 建议依据胸片、胸部 CT、MRI 或 3D 重建等影像学资料评估呼吸道参数和形态, 选择合适方案进行 LST。(强推荐)

3. LST 和 OLV 基本知识

缺氧性肺血管收缩是 OLV 过程中重要的代偿性生理反应^[17], 指肺血管平滑肌在低氧环境下发生收缩, 从而导致肺血流的重新分布。缺氧性肺血管收缩可显著减轻成人 OLV 时通气/血流比失调, 但在儿童中作用较小, 甚至可能加重婴儿通气/血流比失衡。OLV 时 PaCO₂ 升高和肺血管收缩导致肺动脉压升高, 对并存原发性或继发性肺动脉高压的儿童极为不利, 可致肺循环压力持续升高, 增加心脏负担, 甚至引起右心功能不全。

婴幼儿正常双肺通气所需的潮气量更大, 约为 10~15 ml/kg^[14]。对儿童, 尤其是婴幼儿机械通气而言, 如不能精准输送小潮气量或无准确补偿功能, 应优先使用压力控制通气模式^[18-19]。使用可伸缩的螺纹管呼吸回路时, 须注意其伸缩状态对潮气量监测准确性的影响^[20]。因此, 容量控制通气潜在影响因素较多。

【推荐意见 3】 婴幼儿机械通气参数选择较成人严格, 可优先考虑压力通气模式; 长时间机械通气或危重儿童, 根据血气分析结果动态调整参数。(强推荐)

4. 不同 LST 或 OLV 器具的特点

根据儿童年龄、体质量、手术部位、气道解剖等特点个体化选择 LST 方法。

(1) 单腔气管导管的选择性支气管插管

采用听诊或视频支气管镜/纤维支气管镜引导, 将单腔气管导管置入一侧支气管是可行的。然而, 导管过粗可能难以置入, 而导管过细则可能长度不足。不带套囊的单腔气管导管可因漏气而导致 LST 效果不佳, 带套囊单腔气管导管因套囊体积相对较大而容易阻塞二级支气管开口(尤其右上肺叶支气管开口, 儿童此开口距气管隆突仅 0.5~1.0 cm, 导管侧壁 Murphy 孔可对准右上支气管开口, 行右上肺叶通气)。普通单腔气管导管前端斜面朝向左侧, 因此行左侧支气管插管时, 应将导管旋转 180°, 同时将患儿头向右旋转, 可显著提高左侧支气管插管成功率; 而右侧支气管插管较为容易, 可不作调整,

按常规方法插管即可。优点: 方便快速、易实施、少移位。缺点: 单肺-双肺通气切换不方便, 管径细而易被血液和/或分泌物堵塞, 术侧肺无法抽吸而萎陷不良, 术侧肺无法持续应用低水平气道正压通气或室息氧合通气。对于低体质量新生儿^[21]、紧急气道出血^[22]及张力性气胸^[23]等特殊情况下, 单腔气管导管仍是一种较好的工具。

【推荐意见 4】 在低体质量新生儿、紧急气道出血及张力性气胸等情况下, 单腔气管导管置入支气管仍是一种常用方法。(强推荐)

(2) BB

BB 因定位成功率高、可提供术侧肺有效给氧及分泌物吸引而应用最为广泛^[24]。早期采用动脉取栓用的 Forgarty 导管和肺动脉测压的楔压导管, 目前最常用的是专用支气管封堵器套件。

Cook 封堵器前端无角度, 但有套索。置入支气管时, 可将套索套在视频支气管镜/纤维支气管镜杆上, 引导 BB 滑入目标支气管。Coopdech 封堵器或类似产品前端有固定角度(约 135°)而无套索, 当 BB 靠近气管隆突时, 旋转调整封堵器的方向, 置入目标支气管。目前 BB 的中空管道可用于肺内气体排出和分泌物吸引, 亦可用于术侧肺持续的低水平正压通气或室息氧合通气。

BB 套囊都采用低容高压设计^[25]。相对于 Fogarty 取栓导管或 Univent 管而言, 多数现代 BB 套囊容量更高, 压力更低^[26]。但实际工作中仍需警惕长时间封堵对支气管壁的压迫而引起黏膜缺血。因此, 建议在充气时采用最小封堵压力, 并在手术过程中进行定期放气操作。因是低容套囊, 套囊内压力可能与黏膜所受到的压力不成正比关系, 套囊的压力大部分来自套囊的弹性回缩力。为了降低气道损伤的风险, 应在视频支气管镜/纤维支气管镜直视下进行套囊充气操作。

推荐新生儿采用 2F Forgarty 导管或 3F BB, 10 岁以下采用 5F(含 1 岁以内)BB, 10 岁或以上采用 7F BB^[27]。3F BB 外径约 1.0 mm, 当配合使用 2.0 mm 外径的视频支气管镜/纤维支气管镜时, 两者直径之和正好为 3 mm。然而在实际操作中, 常常难以实现或导致两者相互挤压摩擦, 无法共同通过 3.0 mm 内径的气管导管, 因此, 应选择 3.5 mm 或以上的气管导管。目前建议 2 岁以下儿童采用导管外封堵法(因导管内径小, 而 BB 占据一定空间, 可使气道阻力增加), ≥2 岁儿童建议采用导管内封堵法。采用导管外封堵法时, 需考虑气管导管和 BB 并行对气管黏膜压迫的可能。婴幼儿因支气管小,

术野牵拉易致 BB 移位造成气道梗阻,术中应特别关注。

EZ 封堵器是一种 Y 型设计^[28],远端有两个套囊,可施行双 LST,适用于 6 岁及以上儿童的气管外封堵;得益于前端的 Y 型设计,EZ 封堵器更加稳定不易移位。

【推荐意见 5】 建议在视频支气管镜/纤维支气管镜直视下,采用最低封堵压力充气且术中间断放气;2 岁以下儿童建议采用导管外封堵法。(强推荐)

(3) Univent 管

Univent 管为单腔气管导管和前端带角度的 BB 组合体。目前最小型号内径为 3.5 mm,外径短径为 7.5 mm、长径为 8 mm。由于两者固定组合,其横断面长径较大,因此适用于 ≥ 6 岁的儿童,需视频支气管镜/纤维支气管镜引导置入。优点:易于放置,方便从 OLV 转换为双肺通气。由于 BB 附加在单腔气管导管外,套囊脱出的发生率降低。但目前应用较少,而广泛被 BB 取代。

【推荐意见 6】 对于 ≥ 6 岁的儿童,结合影像学资料可考虑选择适合型号的 Univent 导管,但一般不作为首选方案。(强推荐)

(4) 双腔支气管导管(DLT)

DLT 与 BB 各有优劣。在大咯血、双肺分泌物多、支气管灌洗或实施差异性肺通气技术时,DLT 展现出显著优势。目前普通 DLT 的最小型号为 26F。一般 8 岁左右可使用 26F,9~11 岁可使用 28F,12~14 岁可使用 32F DLT^[29]。Marraro 儿童 DLT 是一特殊 DLT,由 2 个独立、无套囊、不同长度的单腔气管导管构成;型号 2.5/3.0~3.0/3.5 DLT 适用新生儿和婴幼儿^[30],可提供较佳的 OLV 并可实施差异性肺通气,但其外径较大,可能损伤喉部和气管。应根据影像学资料确定合适 DLT 型号^[2]。近年来,基于影像学资料的 3D 打印技术也是用于确定 DLT 型号的方法之一^[31-32],但须注意 3D 打印材料不能完全模拟气管所具有的延展性。目前,关于儿童 DLT 置入深度的指导方案尚不完善,建议在视频支气管镜/纤维支气管镜的辅助下确定最佳位置。

【推荐意见 7】 对于体型较大的儿童,需根据影像学资料确定适宜型号的 DLT;婴幼儿不建议优先考虑 Marraro 儿童 DLT。(强推荐)

(5) 外科医师压迫肺组织或其他方法

当缺乏合适的 LST 器具或 LST 操作失败时,可让外科医师直接压迫肺组织或胸腔充气来优化胸腔镜下的手术视野。在压迫肺组织的过程中,须关注压力传递到纵隔而引起循环波动的可能。由于该方

法无法实现完全 LST,健侧肺可能被患侧分泌物或血液污染。部分胸科手术可采取术中保留自主呼吸的方法来实现一侧肺萎陷。

【推荐意见 8】 对于手术时间较短、术野暴露要求不高、两肺之间无相互污染风险的情况,可让外科医师压迫肺组织或使用二氧化碳气胸的方法来改善术野暴露。(弱推荐)

三、可视化技术在儿童 LST 中应用

1. 视频喉镜

视频喉镜已广泛用于临床,明显降低了气管插管的难度和并发症。可视化通气道包括前端带有摄像头的可视喉罩、气管导管和 DLT;可视喉罩可直接引导 BB 进入声门;可视气管导管与 BB 结合使用,可以实时观察 BB 位置和套囊状态,便于调整。可视喉罩型号最小为 1.0,适合新生儿使用,可辅助气管插管。纤维支气管镜和视频支气管镜使用时,须确保镜外径与 BB 外径之和小于气管导管内径 0.5 mm,并使用水溶性润滑剂以方便操作。

2. 肺部超声

肺部超声技术展现出巨大的应用潜力,对气胸、肺实变、肺不张及肺水肿等有较高的诊断价值^[33],在 OLV 中也发挥着重要作用。鉴于儿童胸腔体积较小和左、右呼吸音易相互传导的生理特点,传统听诊法往往会出现误判。肺超声技术可快速、有效评估 LST 效果^[34],准确评估婴幼儿肺不张,也是确定最佳 PEEP 的有效手段^[35]。

【推荐意见 9】 建议采用肺部超声评估婴幼儿 LST 效果,辅助确定最佳 PEEP 及早期诊断术后肺部并发症。(弱推荐)

四、LST 或 OLV 在儿童特殊胸腔内手术的应用

1. 先天性食管闭锁和气管食管瘘

先天性食管闭锁和气管食管瘘是新生儿期严重消化道畸形,常合并出现,发病率约为 1/3 000,多见于早产儿。参照 Gross 和 Vogt 分型可分为 5 种类型^[36],其中 III b 型(食管闭锁伴远端瘘管)最为常见,占比 86%。因食管近端闭锁使唾液吞咽困难,盲袋内积聚的大量唾液通过会厌流入气管及支气管,引发吸入性肺炎或肺不张;食管远端与气管因瘘管相连使高酸度胃液经瘘管入肺致化学性肺炎;胸腔内充满大量气体使膈肌抬高造成通气受限。高危因素包括:并存先天性心脏病、低体质量(< 2 kg)、肺顺应性差、较大的隆突旁瘘口以及胸腔镜下修补方式^[36]。治疗上通常经右侧开胸或胸腔镜一期修复,两端距离大于 2 cm 者需行分期修复术。

早产儿或新生儿气管食管瘘常在胸腔镜下进行。

气道管理时需着重考虑瘰管位置,旨在插管后能有效隔离瘰管。通常采用选择性左侧单腔气管导管,使导管尖端超过瘰管位置或置于左主支气管;亦可使用 3F BB 封堵。对于隆突周围存在较大瘰管者,可联合 Fogarty 导管封堵瘰口。外科医师通过二氧化碳气胸或压迫肺组织实现 OLV 可改善术野。

儿童围手术期易发生低氧血症。实施 OLV 时需较高的吸入氧浓度(FiO_2)、较高吸呼比(1:1~1.0:1.5)、适当高水平 PEEP(5~8 cmH_2O)和驱动压。呼气末二氧化碳分压($\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$)可能远低于 PaCO_2 ,易出现酸血症或酸中毒。因此,建立有创动脉监测,严密监控血流动力学和血气分析指标变化十分必要。二氧化碳气胸和手术操作致一侧肺萎陷,可能导致不同程度 SpO_2 降低、 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 升高,新生儿(特别是早产儿)高碳酸血症有引起颅内出血的风险。结合既往研究,新生儿允许性高碳酸血症的 PaCO_2 安全范围约为 5~7 kPa(即 37.5~52.5 mmHg)^[37]。

【推荐意见 10】 建议使用单腔气管导管或 BB 实施 OLV,如困难请外科医师压迫肺组织以实现 OLV;联合使用 5~8 cmH_2O PEEP 行机械通气,并监测动脉血气。(强推荐)

2. 先天性膈疝

先天性膈疝发病率约 2.3%^[38],其中后外侧型膈疝构成比约 80%,经 Bochdalek 孔疝出(又称胸腹裂孔疝),多为左侧,疝入物多为胃、小肠、结肠、脾和肝左叶等腹腔脏器;食管裂孔型构成比 15%~20%,通常体积较小,对肺功能影响有限;前侧 Morgagni 裂孔型构成比约 2%。新生儿期膈疝临床常表现为呼吸急促和发绀,哭吵或喂奶时加剧;哭吵时因患侧胸腔负压加大使更多的腹腔脏器纳入胸腔引起呼吸窘迫。部分患儿经积极治疗仍存在肺发育不良,引起持续性缺氧、高碳酸血症、酸中毒和(或)组织灌注不足及肺动脉高压和(或)心脏功能不全,需要体外膜肺氧合治疗。

手术包括经腹或经胸修补术两种方法。在进行面罩正压通气时,须警惕气体可能通过食管进入胃肠,加重疝入胸腔的腹腔组织对纵隔压迫,甚至引发心搏骤停。经胸行膈疝修补术时需实施 OLV 以改善术野暴露。为防止复张性肺水肿,建议缓慢复张或使用 PEEP 递增法复张。

【推荐意见 11】 麻醉诱导前应插入鼻胃管,防止疝入胸腔内的胃肠道过度充气加重对纵隔的压迫;可采用快速顺序诱导或保留自主呼吸的方法插管,避免单腔气管导管插管前正压通气;一般使用

BB 实施 LST 和 OLV;对于低龄和低体质量儿童,如难以实施 LST,可采取二氧化碳气胸或外科医师压迫肺组织的方法。(强推荐)

3. 先天性囊性肺疾病

先天性囊性肺疾病分为先天性肺气道畸形、支气管肺隔离症、先天性肺叶肺气肿以及支气管囊肿^[39],其麻醉管理相对复杂。如病变与支气管连接,正压通气可能会因球阀效应而导致正常肺组织受压、异常肺叶过度扩张,造成肺损伤、纵隔移位、大血管受压及心排量降低。如不能确定有无支气管连接,麻醉诱导和维持期间应尽可能保留自主呼吸。如果采用 OLV,则可在 LST 后再进行正压通气。

先天性肺叶肺气肿患儿应避免使用氧化亚氮。支气管肺隔离症患儿隔离肺组织相对独立,与正常支气管树之间无直接联系,麻醉管理相对简单。支气管囊肿多数为婴幼儿,常为纵隔充满空气、液体或黏液的单房性囊肿,应积极采用 LST,避免囊液污染健侧肺。

【推荐意见 12】 对于先天性囊性肺疾病儿童,在实施 OLV 前应尽可能保留自主呼吸,如需正压通气,应尽可能使用较低气道压;支气管囊肿患儿应积极采用 LST,避免囊液污染健侧肺。(强推荐)

4. 侧开胸或胸腔镜下心脏手术

儿童心脏手术趋向使用侧开胸或胸腔镜,切口小且隐蔽,通常通过右侧胸腔进行。手术中为确保术野清晰,体外循环前后需实施 OLV,而体外循环期间则避免使用机械通气或采用低通气参数。这类手术可根据年龄大小选择合适的 LST 器具或外科医师压迫肺组织法实施 OLV。术后需行机械通气支持的儿童推荐使用 BB 封堵法,该方法较为方便,可在手术结束拔除 BB 而保留气管导管。

【推荐意见 13】 对于侧开胸或胸腔镜下心内直视手术,建议使用 BB 经气管导管内封堵实施 LST 和 OLV。(强推荐)

五、OLV 期间管理

1. 低氧血症的原因及应对策略

OLV 期间易发生低氧血症^[40],高危因素包括右胸腔手术、第 1 秒用力呼气量下降、较多血液分流至术侧肺、平卧位、使用血管扩张药、高浓度吸入性麻醉药和脓毒血症等。并存先天性心脏病的婴幼儿应注意心脏水平分流的影响。应对策略包括提高 FiO_2 、间断双肺通气、术侧肺持续低水平正压气流或窒息氧合通气、高频通气、使用缩血管药、非术侧肺加用 PEEP 通气或肺复张等方法。如使用高浓度吸入性麻醉药(>1 MAC),则降低吸入浓度或改用静

脉麻醉维持。如使用 BB, 可经 BB 内通道实施低水平正压气流或窒息氧合通气。

OLV 氧合管理一般建议如下^[41]: 婴幼儿目标 SpO_2 维持在 92% 以上即可。持续 $\text{SpO}_2 < 90\%$ 超过 2 min 时, 应通知外科医师并暂停手术操作, 进行肺复张, FiO_2 增加到 100%, 增加 1~2 cmH₂O PEEP; 术侧肺 5~10 cmH₂O 的低水平正压气流或窒息氧合通气可能减少分流; 若氧合仍低, 可间歇性恢复双肺通气。

【推荐意见 14】 婴幼儿目标 SpO_2 维持在 92% 以上即可。根据氧合情况按 1~2 cmH₂O 增幅逐步滴定至合适水平 PEEP, 亦可根据最佳顺应性或肺部超声等方法滴定 PEEP 水平。(强推荐)

2. 麻醉管理

常规开放两条静脉通路以应对紧急情况。强化有创动脉血压和呼吸道压力-容量曲线监测, 间断进行动脉血气分析。导管移位较常发生, 而压力-容量曲线环对于监测导管移位有重要价值。除监测呼吸参数和生命体征外, 还应关注手术操作。使用 BB 的婴幼儿, 特别要注意外科医师牵拉肺组织可能导致 BB 移位, 切除肺病变组织时应注意切除位置是否靠近导管尖端。与外科医师保持密切沟通, 必要时暂时后退 DLT、BB 或单腔气管导管。OLV 时, $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 与 PaCO_2 差值增大, 血气分析十分必要。研究表明, OLV 期间允许性高碳酸血症有利于氧合, 且不增加术后肺部并发症的发生^[18]。如前所述, 婴幼儿 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 控制在 52.5 mmHg 或以下较为安全^[37]。

【推荐意见 15】 OLV 期间可采用允许性高碳酸血症; 对于并存肺动脉高压的婴幼儿, 须平衡高呼吸参数致胸内压增加和允许性高碳酸血症致肺动脉压进一步升高的风险, 在严密监测下实施 OLV。(强推荐)

3. 加速肺萎陷方法

肺萎陷分为 2 个阶段, 第 1 阶段为胸膜打开后胸膜腔负压消失, 肺弹性回缩, 直至余气量接近肺闭合容积; 第 2 阶段为肺泡内余气的吸收。阻塞性通气功能障碍患儿肺萎陷较难。肺萎陷速度与使用 DLT 或 BB 无关, 关键在于理解加速方法^[42]。传统观点认为, 由于 DLT 内径相对于 BB 较大, 第 1 阶段的肺内余气可较快排出。如果使用 BB, 胸膜腔打开后暂停机械通气, BB 套囊保持非充气状态, 第 1 阶段的余气通过套囊周围溢出, 此时肺萎陷速度并不比 DLT 慢^[43]。吸入纯氧有助于第 2 阶段肺萎陷^[44-45], 吸入含有氧化亚氮的气体更易吸收则肺更易萎陷^[46], 这对患有阻塞性肺疾病的儿童尤为重要。有研究建议胸膜打开前即开始 OLV^[47], 将第

2 阶段气体吸收过程提前。

为加速并优化阻塞性通气功能障碍儿童的肺萎陷过程, 胸膜腔打开前先吸入高浓度氧或纯氧 5 min, 随后实施 OLV。胸膜腔打开后, 如使用 DLT, 维持 OLV; 如使用 BB, 则将套囊放气, 暂停呼吸, 开放回路维持数分钟让余气经套囊周围快速溢出, 然后套囊充气, 再恢复 OLV。对于肺功能较差的儿童应缩短呼吸暂停时间。肺萎陷后, 夹闭 DLT 非通气侧避免与大气相通或封闭 BB 通道尾端。

【推荐意见 16】 为加速肺萎陷, 应尽可能减小肺内气体溢出的阻力; 确保滞留在肺泡的气体类型属于易吸收气体(如氧气或氧化亚氮, 而非空气)。(强推荐)

4. 保护性通气和肺复张

由于潜在的压力-容积伤、生物剪切力伤、炎症介质释放、氧化应激、肺血管损伤、肺复张性肺水肿等因素, OLV 期间更易发生肺损伤。多项研究表明, 小潮气量联合合适水平 PEEP 和肺复张手法可降低大型手术后肺部并发症的发生风险。目前儿童保护性 OLV 策略缺乏充分的循证依据^[41]。在一项前瞻性研究中, 患儿在双肺通气时接受 8 ml/kg 潮气量联合 6 cmH₂O PEEP 和 10 ml/kg 潮气量无 PEEP, OLV 时分别接受 4 ml/kg 潮气量联合 6 cmH₂O PEEP 和 6 ml/kg 潮气量无 PEEP, 前者术后肺部并发症发生率下降^[48]。另一项类似研究表明, 保护性肺通气可能是 OLV 期间有效的通气策略^[49]。但值得注意的是, 这 2 项研究中对对照组都没有使用 PEEP, 小潮气量的临床应用价值仍需进一步评估。

LST 前应吸入纯氧。这是因为停止吸入纯氧后, 肺泡内残余氧气可被吸收而利于肺萎陷, 并保持足够的氧合。确定 LST 效果良好后, 可降低 FiO_2 以维持 $\text{SpO}_2 > 92\%$ 。但须注意高水平 PEEP 可能增加非术侧肺血液向术侧肺分流, 进一步降低通气/血流比。手术完成后, 以不低于 20 cmH₂O 的气道正压持续膨肺 10~15 s, 促进通气侧肺膨胀, 可在胸腔镜直视下膨肺, 以避免肺复张不全, 而且术后还可以用肺部超声进一步评估。

【推荐意见 17】 虽然缺乏充分的循证依据, 但儿童保护性 OLV 策略仍以满足通气所需的小潮气量、适当水平的 PEEP 以及间断肺复张为基础。(强推荐)

六、总结

儿童呼吸系统解剖结构及生理功能与成人存在显著差异。对于年长儿童, 可参照成人实施 LST 与 OLV。然而, 婴幼儿由于体型小、呼吸道狭窄、肺部

发育尚未成熟以及胸腔内手术或肺部疾病的特殊性,需要个体化治疗策略。在儿童 LST 与 OLV 的实施过程中,必须综合考虑解剖学、生理学、肺部疾病、并存疾病以及手术方式等因素,实施严密监测,以确保手术期安全,快速康复。

儿童肺隔离和单肺通气技术临床应用专家共识(2025 版)工作组名单:

编写组组长:李军(温州医科大学附属第二医院 育英儿童医院)、宋兴荣(广州医科大学附属妇女儿童医疗中心)、俞卫锋(温州医科大学附属第一医院)

执笔人:袁开明(温州医科大学附属第二医院 育英儿童医院)、张莉(南京医科大学附属儿童医院)

秘书组:张宁(温州医科大学附属第二医院 育英儿童医院)、陈刚(温州医科大学附属第二医院 育英儿童医院)

编写组成员(按姓氏拼音排序):胡卫东(山东大学附属儿童医院)、胡瑶琴(浙江大学医学院附属儿童医院)、江来(上海交通大学医学院附属新华医院)、李军(温州医科大学附属第二医院 育英儿童医院)、潘守东(首都医科大学附属首都儿童医学中心)、彭云水[河北医科大学第二医院《中华麻醉学杂志》编辑部]、宋兴荣(广州医科大学附属妇女儿童医疗中心)、孙盈盈(安徽省儿童医院)、王芳(国家儿童医学中心 首都医科大学附属北京儿童医院)、魏嵘(上海交通大学医学院附属儿童医院)、徐颖(重庆医科大学附属儿童医院)、杨丽芳(西安交通大学附属儿童医院)、杨振东(济南市儿童医院)、俞卫锋(温州医科大学附属第一医院)、袁开明(温州医科大学附属第二医院 育英儿童医院)、张莉(南京医科大学附属儿童医院)

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Balshem H, Helfand M, Schunemann HJ, et al. GRADE guidelines: 3. Rating the quality of evidence[J]. *J Clin Epidemiol*, 2011, 64(4):401-406. DOI: 10.1016/j.jclinepi.2010.07.015.
- [2] Samara E, Valauskaite G, El Tahan MR. Updates in lung isolation techniques[J]. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*, 2024, 38(1):4-17. DOI: 10.1016/j.bpa.2024.04.002.
- [3] Mehrotra M, Jain A. Single-lung ventilation [M/OL]. *Treasure Island: StatPearls Publishing*, 2023 [2025-4-27]. <https://www.statpearls.com/articlelibrary/viewarticle/29037>.
- [4] Eckenhoff JE. Some anatomic considerations of the infant larynx influencing endotracheal anesthesia[J]. *Anesthesiology*, 1951, 12(4):401-410. DOI: 10.1097/0000542-195107000-00001.
- [5] Litman RS, Weissend EE, Shibata D, et al. Developmental changes of laryngeal dimensions in unparalyzed, sedated children[J]. *Anesthesiology*, 2003, 98(1):41-45. DOI: 10.1097/0000542-200301000-00010.
- [6] Dalal PG, Murray D, Feng A, et al. Upper airway dimensions in children using rigid video-bronchoscopy and a computer software: description of a measurement technique[J]. *Paediatr Anaesth*, 2008, 18(7):645-653. DOI: 10.1111/j.1460-9592.2008.02533.x.
- [7] Dalal PG, Murray D, Messner AH, et al. Pediatric laryngeal dimensions: an age-based analysis[J]. *Anesth Analg*, 2009, 108(5):1475-1479. DOI: 10.1213/ane.0b013e31819d1d99.
- [8] Kim JH, Ahn JH, Chae YJ. Pediatric application of cuffed endotracheal tube[J]. *West J Emerg Med*, 2023, 24(3):579-587. DOI: 10.5811/westjem.59560.
- [9] 连庆泉, 张马忠. 当代小儿麻醉学[M]. 2 版. 北京: 人民卫生出版社, 2011: 67-80.
- [10] Dave MH, Kemper M, Schmidt AR, et al. Pediatric airway dimensions: a summary and presentation of existing data[J]. *Paediatr Anaesth*, 2019, 29(8):782-789. DOI: 10.1111/pan.13665.
- [11] Cochrane LA, Bailey CM. Surgical aspects of tracheostomy in children[J]. *Paediatr Respir Rev*, 2006, 7(3):169-174. DOI: 10.1016/j.prv.2006.06.005.
- [12] Wani TM, Simion C, Rehman S, et al. Mainstem bronchial diameters and dimensions in infants and children: a systematic review of the literature[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2021, 35(10):3078-3084. DOI: 10.1053/j.jvca.2020.07.002.
- [13] 常立文, 李文斌. 胎儿和新生儿肺发育[J]. *实用儿科临床杂志*, 2011, 26(14):1065-1067. DOI: 10.3969/j.issn.1003-515X.2011.14.001.
- [14] Davis PJ, Cladis FP. *Smith's Anesthesia for Infants and Children* [M]. 9th ed. Amsterdam: Elsevier, 2016: 23-72.
- [15] Licker M, Hagerman A, Jeleff A, et al. The hypoxic pulmonary vasoconstriction: from physiology to clinical application in thoracic surgery[J]. *Saudi J Anaesth*, 2021, 15(3):250-263. DOI: 10.4103/sja.sja_1216_20.
- [16] Heaf DP, Helms P, Gordon I, et al. Postural effects on gas exchange in infants[J]. *N Engl J Med*, 1983, 308(25):1505-1508. DOI: 10.1056/NEJM198306233082505.
- [17] Lumb AB, Slinger P. Hypoxic pulmonary vasoconstriction: physiology and anesthetic implications[J]. *Anesthesiology*, 2015, 122(4):932-946. DOI: 10.1097/ALN.0000000000000569.
- [18] Joe YE, Lee CY, Kim N, et al. Effect of permissive hypercarbia on lung oxygenation during one-lung ventilation and postoperative pulmonary complications in patients undergoing thoracic surgery: a prospective randomised controlled trial[J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2023, 40(9):691-698. DOI: 10.1097/EJA.0000000000001873.
- [19] Bachiller PR, McDonough JM, Feldman JM. Do new anesthesia ventilators deliver small tidal volumes accurately during volume-controlled ventilation? [J]. *Anesth Analg*, 2008, 106(5):1392-1400. DOI: 10.1213/ane.0b013e31816a68c6.
- [20] Glenski TA, Diehl C, Clopton RG, et al. Breathing circuit compliance and accuracy of displayed tidal volume during pressure-controlled ventilation of infants: a quality improvement project[J]. *Paediatr Anaesth*, 2017, 27(9):935-941. DOI: 10.1111/pan.13164.
- [21] Zhang F, Zhou Z, Liu Y, et al. Single-lung ventilation technique in neonates undergoing thoracoscopic repair of esophageal atresia: a single-center retrospective cohort study[J]. *Front Surg*, 2024, 11:1446586. DOI: 10.3389/fsurg.2024.1446586.
- [22] Neerukonda T, Gibson WJ, Abicht T, et al. Pulmonary artery rupture management with a single lumen endotracheal tube: old tricks that should be revisited[J]. *Am J Case Rep*, 2018, 19:342-346. DOI: 10.12659/ajcr.907211.
- [23] Elgendy H, Jilani T. Successful anesthetic management in a child after traumatic rupture of left main bronchus by a single-lumen cuffed-endotracheal tube[J]. *Ann Card Anaesth*, 2014, 17

- (4):292-295.DOI:10.4103/0971-9784.142066.
- [24] Templeton TW, Miller SA, Lee LK, et al. Hypoxemia in young children undergoing one-lung ventilation: a retrospective cohort study [J]. *Anesthesiology*, 2021, 135 (5): 842-853. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003971.
- [25] Zhu C, Zhang S, Zhang M, et al. A novel approach to calculate the required volume of air for bronchial blockers in young children [J]. *Paediatr Anaesth*, 2024, 34(11): 1139-1145. DOI: 10.1111/pan.14964.
- [26] Goetschi M, Kemper M, Kleine-Brueggeney M, et al. Inflation volume-balloon diameter and inflation pressure-balloon diameter characteristics of commonly used bronchial blocker balloons for single-lung ventilation in children [J]. *Paediatr Anaesth*, 2021, 31(4): 474-481. DOI: 10.1111/pan.14123.
- [27] Semmelmann A, Kaltoven H, Loop T. Anesthesia of thoracic surgery in children [J]. *Paediatr Anaesth*, 2018, 28(4): 326-331. DOI: 10.1111/pan.13350.
- [28] Shum S, Moreno Garijo J, Tomlinson G, et al. A clinical comparison of 2 bronchial blockers versus double-lumen tubes for one-lung ventilation [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2023, 37(12): 2577-2583. DOI: 10.1053/j.jvca.2023.08.125.
- [29] 刘国亮, 张建敏. Arndt 支气管内阻断器和双腔支气管导管在小儿单肺通气中的比较 [J]. *首都医科大学学报*, 2017, 38(3): 361-364. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7795.2017.03.007.
- [30] Pawar DK, Marraro GA. One lung ventilation in infants and children: experience with Marraro double lumen tube [J]. *Paediatr Anaesth*, 2005, 15(3): 204-208. DOI: 10.1111/j.1460-9592.2005.01421.x.
- [31] Kloesel B, Juhnke B, Irvine L, et al. Computer-generated three-dimensional airway models as a decision-support tool for preoperative evaluation and procedure-planning in pediatric anesthesiology [J]. *J Med Syst*, 2021, 45(2): 21. DOI: 10.1007/s10916-020-01698-0.
- [32] Li L, Zhu Y, Yin F, et al. Effect of a 3D-printed reconstruction automated matching system for selecting the size of a left double-lumen tube: a study protocol for a prospective randomised controlled trial [J]. *BMJ Open*, 2024, 14(5): e085503. DOI: 10.1136/bmjopen-2024-085503.
- [33] Balk DS, Lee C, Schafer J, et al. Lung ultrasound compared to chest X-ray for diagnosis of pediatric pneumonia: a meta-analysis [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2018, 53(8): 1130-1139. DOI: 10.1002/ppul.24020.
- [34] Moharir A, Yamaguchi Y, Aldrink JH, et al. Point-of-care lung ultrasound to evaluate lung isolation during one-lung ventilation in children: a blinded observational feasibility study [J]. *Anesth Analg*, 2024, 139(6): 1294-1299. DOI: 10.1213/ANE.000000000000007155.
- [35] Camporesi A, Pierucci UM, Paladini G, et al. Lung ultrasound-guided best positive end-expiratory pressure in neonatal anesthesia: a proposed randomized, controlled study [J]. *Pediatr Res*, 2024, 95(1): 393-396. DOI: 10.1038/s41390-023-02730-y.
- [36] Broemling N, Campbell F. Anesthetic management of congenital tracheoesophageal fistula [J]. *Paediatr Anaesth*, 2011, 21(11): 1092-1099. DOI: 10.1111/j.1460-9592.2010.03377.x.
- [37] Wong SK, Chim M, Allen J, et al. Carbon dioxide levels in neonates: what are safe parameters? [J]. *Pediatr Res*, 2022, 91(5): 1049-1056. DOI: 10.1038/s41390-021-01473-y.
- [38] Zani A, Chung WK, Deprest J, et al. Congenital diaphragmatic hernia [J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2022, 8(1): 37. DOI: 10.1038/s41572-022-00362-w.
- [39] Andropoulos DB, Gregory GA. *Gregory's Pediatric Anesthesia* [M]. 6th ed. Hoboken: NJ John Wiley & Sons Ltd., 2020: 607-625.
- [40] Karzai W, Schwarzkopf K. Hypoxemia during one-lung ventilation: prediction, prevention, and treatment [J]. *Anesthesiology*, 2009, 110(6): 1402-1411. DOI: 10.1097/ALN.0b013e31819fb15d.
- [41] Templeton TW, Piccioni F, Chatterjee D. An update on one-lung ventilation in children [J]. *Anesth Analg*, 2021, 132(5): 1389-1399. DOI: 10.1213/ANE.0000000000005077.
- [42] Grocott HP. Optimizing lung collapse with a bronchial blocker: it's not what you use, but how you use it [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2018, 32(4): e93-e94. DOI: 10.1053/j.jvca.2018.03.006.
- [43] Moreault O, Couture EJ, Provencher S, et al. Double-lumen endotracheal tubes and bronchial blockers exhibit similar lung collapse physiology during lung isolation [J]. *Can J Anaesth*, 2021, 68(6): 791-800. DOI: 10.1007/s12630-021-01938-y.
- [44] Pfitzner J. The role of an ambient pressure oxygen source during one-lung ventilation for thoracoscopic surgery [J]. *Anaesth Intensive Care*, 2016, 44(1): 20-27. DOI: 10.1177/0310057X1604400-105.
- [45] Ko R, McRae K, Darling G, et al. The use of air in the inspired gas mixture during two-lung ventilation delays lung collapse during one-lung ventilation [J]. *Anesth Analg*, 2009, 108(4): 1092-1096. DOI: 10.1213/ane.0b013e318195415f.
- [46] Yoshimura T, Ueda K, Kakinuma A, et al. Bronchial blocker lung collapse technique: nitrous oxide for facilitating lung collapse during one-lung ventilation with a bronchial blocker [J]. *Anesth Analg*, 2014, 118(3): 666-670. DOI: 10.1213/ANE.0000000000000106.
- [47] Zhang Y, Yan W, Fan Z, et al. Preemptive one lung ventilation enhances lung collapse during thoracoscopic surgery: a randomized controlled trial [J]. *Thorac Cancer*, 2019, 10(6): 1448-1452. DOI: 10.1111/1759-7714.13091.
- [48] Lee JH, Bae JI, Jang YE, et al. Lung protective ventilation during pulmonary resection in children: a prospective, single-centre, randomised controlled trial [J]. *Br J Anaesth*, 2019, 122(5): 692-701. DOI: 10.1016/j.bja.2019.02.013.
- [49] Liu J, Liao X, Li Y, et al. Effect of low tidal volume with PEEP on respiratory function in infants undergoing one-lung ventilation [J]. *Anaesthesist*, 2017, 66(9): 667-671. DOI: 10.1007/s00101-017-0330-4.

(收稿日期:2025-03-10)

(本文编辑:周晓云)