

单肺通气期间低氧血症的病理生理机制与管理策略

马 消, 陈玉培*

重庆医科大学附属第二医院麻醉科, 重庆

收稿日期: 2025年4月6日; 录用日期: 2025年4月28日; 发布日期: 2025年5月8日

摘 要

单肺通气(one-lung ventilation, OLV)是胸外科手术中常用的通气技术,但其导致低氧血症是临床常见的并发症。本文综述了单肺通气期间低氧血症的病理生理机制、风险因素及防治策略,为临床预防单肺通气期间低氧血症提供理论依据。单肺通气(one-lung ventilation, OLV)涉及选择性地仅对患者的一侧肺进行通气。单肺通气可以充分暴露患侧肺的视野,为外科操作提供空间,同时还可以避免健侧肺被污染。单肺通气的出现极大地促进了胸科手术的发展。但单肺通气会造成强制性肺内分流,这可能导致低氧血症。实际上,低氧血症是麻醉医师在OLV期间遇到的最常见问题之一,影响约5%的病例。尽管低氧血症没有一致的定义,但一般认为,吸入氧浓度(FIO₂)为100%时,动脉血氧饱和度SPO₂ < 90%是普遍接受的标准。本文系统综述了OLV期间低氧血症的病理生理机制、风险因素及防治策略,为临床实践提供循证依据。本文中大多数讨论涉及接受开胸手术、胸腔镜手术的患者。

关键词

单肺通气, 低氧血症, 胸科手术, 预防, 病理生理机制

Pathophysiological Mechanism and Management Strategy of Hypoxemia during One-Lung Ventilation

Xiao Ma, Yupei Chen*

Department of Anesthesiology, Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: Apr. 6th, 2025; accepted: Apr. 28th, 2025; published: May 8th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 马消, 陈玉培. 单肺通气期间低氧血症的病理生理机制与管理策略[J]. 临床医学进展, 2025, 15(5): 125-132.
DOI: 10.12677/acm.2025.1551350

Abstract

One-lung ventilation (OLV) is a commonly used ventilation technique in thoracic surgery, but its hypoxemia is a common clinical complication. This paper reviews the pathophysiological mechanism, risk factors and prevention strategies of hypoxemia during one-lung ventilation, and provides the theoretical basis for clinical prevention of hypoxemia during one-lung ventilation. One-lung ventilation (OLV) involves selectively ventilating only one lung of a patient. One-lung ventilation can fully expose the vision of the affected lung, provide space for surgical operation, and at the same time avoid the pollution of the healthy lung. The emergence of one-lung ventilation has greatly promoted the development of thoracic surgery. However, one-lung ventilation will cause forced intrapulmonary shunt, which may lead to hypoxemia. In fact, hypoxemia is one of the most common problems encountered by anesthesiologists during OLV, affecting about 5% of cases. Although there is no consistent definition of hypoxemia, it is generally believed that when the inhaled oxygen concentration (FIO_2) is 100%, the arterial oxygen saturation $\text{SPO}_2 < 90\%$ is a generally accepted standard. This paper systematically reviews the pathophysiological mechanism, risk factors and prevention strategies of hypoxemia during OLV, so as to provide evidence-based evidence for clinical practice. Most of the discussions in this paper involve patients undergoing thoracotomy and thoracoscopic surgery.

Keywords

One Lung Ventilation, Hypoxemia, Thoracic Surgery, Prevention, Pathophysiological Mechanism

Copyright © 2025 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

单肺通气(one-lung ventilation, OLV)涉及选择性地仅对患者的一侧肺进行通气。单肺通气可以充分暴露患侧肺的视野,为外科操作提供空间,同时还可以避免健侧肺被污染。单肺通气的出现极大地促进了胸科手术的发展。但单肺通气会造成强制性肺内分流,这可能导致低氧血症[1][2]。实际上,低氧血症是麻醉医师在 OLV 期间遇到的最常见问题之一,影响约 5%的病例[3]。尽管低氧血症没有一致的定义,但一般认为,吸入氧浓度(FIO_2)为 100%时,动脉血氧饱和度 $\text{SPO}_2 < 90\%$ 是普遍接受的标准[2]。本文从 OLV 期间低氧血症的适应症、病理生理机制、风险因素及防治策略,为防治单肺通气期间低氧血症通过临床证据。

单肺通气 OLV 的适应症

肺隔离和 OLV 的适应症可分为绝对适应症或相对适应症(见表 1)。表 1 中列出的大多数适应症与胸外科手术相关。有时,也需要肺隔离和 OLV 来管理受伤(例如支气管破裂)或合并有疾病(例如大咯血)的患者。

Table 1. Indications of one-lung ventilation

表 1. 单肺通气的适应症

绝对适应症	相对适应症
电视胸腔镜手术	高度优先手术, 相对优先手术

续表

保护健康的肺	肺上叶切除术, 中下肺叶手术
感染	胸膜手术, 食管手术
大出血	微创心脏手术, 纵隔肿块切除术
肺泡灌洗	胸主动脉瘤, 双侧交感神经切除术
控制性单肺通气	肺切除术
单侧囊肿或肺大疱	肺减容术
支气管胸膜瘘	
严重支气管破裂或创伤	

2. 病理生理机制

2.1. 通气 - 灌注(Ventilation-Perfusion, V/Q)比例失调

OLV 期间低氧血症的主要病理生理机制是肺内通气 - 灌注(V/Q)比例失调, 特别是 V/Q 比值低区域的形成。低 V/Q 值相当于肺内分流, 发生在通气与灌注相对不足时。除 OLV 本身外, V/Q 匹配还受患者体位、麻醉、心输出量、通气方式、肺前存在疾病和影响低氧性肺血管收缩(hypoxic pulmonary vasoconstriction, HPV)的因素的影响。OLV 期间低氧血症的最佳管理需要彻底了解背后的机制和原因。

手术不同阶段的 V/Q 比值

(1) 麻醉前

在清醒的自主呼吸患者中, 通气和灌注相对均匀匹配。在直立、抬头和侧卧位中, 对相关区域的通气和灌注成比例地更多, 这主要是因为重力对流体静力学(血流)和经颅压(通气)的影响。依赖性区域的跨肺压降低意味着依赖性肺组织在呼气末扩张较少, 并且位于顺应性曲线的较陡部分, 从而导致与非依赖性区域相比潮汐通气相对增加。在仰卧位, 依赖和非依赖之间的流体静压差是最小的。因此, 重力引起的通气和灌注分布差异相对较小[4]。

仰卧位时由于腹部内容物向头侧移位, 相对于头高位时功能残气量(functional residual capacity, FRC)降低[5]。因此, 在诱导麻醉前, 头高位预氧合患者的安全呼吸暂停时间比仰卧位短。

(2) 麻醉和正压通气

全身麻醉和神经肌肉阻滞会降低 FRC, 这是由于呼吸肌张力降低和胸壁力学改变[5]。FRC 降低可能会影响闭合能力(小气道闭合时的肺体积), 导致通气期间气道闭合, 特别是老年患者闭合能力随年龄线性增加。气道闭合在肺的依赖性区域中更明显, 导致非依赖性区域的优先通气。部分或全部呼吸循环的气道关闭导致低 V/Q 比区域(即肺内分流)。

既往研究表明呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)的应用可能会减少肺不张, 减少肺内分流, 并改善单肺麻醉期间的氧合[6]。通过启动正压通气进一步增加对非依赖性区域的通气。

因此, 麻醉和正压通气的联合作用导致对非依赖性肺区域的相对过度通气和依赖性肺区域的相对过量灌注, 加剧了 V/Q 比例失调。PEEP 的应用增加了 FRC, 并有助于重新扩张塌陷或关闭的小气道, 可能改善依赖区域的通气并减少 V/Q 比例失调。在仰卧位, 肺的依赖和非依赖区域之间的垂直高度很小。因此, 麻醉和正压通气对 V/Q 比值的影响相对较小。

(3) 体位的影响

在侧卧位, 血流优先灌注到依赖性肺, 其接收的心输出量比仰卧位多约 10%。在仰卧位, 较大的右肺接收约 55%的心输出量, 较小的左肺接收约 45%的心输出量。因此, 在侧卧位时, 依赖性右肺接收约

65%的心输出量, 依赖性左肺接收约 35%~40%的心输出量。

在清醒的自主呼吸患者中, 依赖性肺的通气量也增加, 这意味着 V/Q 比值没有重大变化。然而, 麻醉、神经肌肉麻痹和正压通气的作用会降低依赖性肺的顺应性, 导致优先向非依赖性肺通气。在处于侧卧位的麻醉患者中, 非依赖性肺接受约 60%的通气量[7], 但仅接受约 35%~45%的心输出量, 这取决于哪一个肺是依赖性的[5]-[7]。鉴于左肺较小, 当左肺是依赖性的时, V/Q 匹配的变化更明显[7]。

(4) 开胸的影响

如果双肺在侧卧位通气, 打开非依赖性肺一侧的胸部会导致纵膈向上移动, 朝向依赖性肺, 进一步降低其顺应性[7], 使通气和灌注严重不匹配。

(5) 单肺通气

在侧卧位, 通过启动 OLV 部分重建了通气和灌注的比例。通气完全靠依赖性肺。非依赖性肺的肺血管收缩进一步将血流导向依赖性肺[8]。如果 HPV 是活跃的, 在侧卧位的 OLV 期间, 流向非依赖性肺的血流量仅为正常的 40%~50% [7]-[9]。尽管 HPV 具有有益作用, 但 OLV 导致强制性的右向左肺内分流, 具有显著的低氧血症可能性。

在大多数情况下, OLV 在侧卧位完成。但是, 有些手术需要仰卧位 OLV。仰卧位单肺通气的耐受性通常低于侧卧位。没有重力效应意味着通气肺的优先灌注不如侧卧位明显。因此, 通过非通气肺的分流相对较大, 导致氧合较差。

(6) 心输出量和 V/Q 比值

血液中的氧的转运主要是血红蛋白(hemoglobin, Hgb)浓度、血红蛋白饱和度(oxygen saturation of hemoglobin, SaO₂)和心输出量(cardiac output, CO)的函数[10]。任何这些的减少都会减少氧输送(oxygen delivery, DO₂), 并可能导致靶器官功能障碍。微血管张力、组织水肿和溶解氧含量(arterial oxygen tension, PaO₂)也是影响氧输送是否能够到达靶器官线粒体的变量, 但影响程度要小得多[11]。虽然上述都有助于氧运输, 但在检查 DO₂ 方程时, 很明显心输出量特别重要。在肺内分流的情况下, 低心输出量会降低动脉血氧分压(PaO₂)。如果低心输出量导致静脉血氧饱和度(SvO₂)降低, 则分流血液的氧含量降低, 一旦分流血液和未分流血液在左心中混合, 这又会降低 PaO₂。因此, 对于给定的分流分数, 低心输出量会降低 PaO₂。然而, 低心输出量倾向于减少分流分数, 而高心输出量倾向于增加分流分数, 这有助于最大限度地减少 SvO₂ 变化对 PaO₂ 的影响。

$$DO_2 = CO \times \{(1.31 \times Hgb \times SaO_2 \times 0.01) + (0.0225 \times PaO_2)\}$$

心输出量对分流分数的影响可能是心输出量诱导的 HPV 变化所致。此外, SvO₂ 不仅受心输出量变化的影响, 还受耗氧量、血红蛋白浓度等因素的影响, 如体循环血流量的区域分布。

尽管 OLV 期间心输出量对 PaO₂ 的影响很复杂, 但一般来说, 当心输出量处于基线时, PaO₂ 趋于最大, 当心输出量增加或减少时, PaO₂ 趋于降低[12]。

(7) 低氧性肺血管收缩

低氧性肺血管收缩(HPV)是指肺血管平滑肌细胞对低肺泡氧分压(PAO₂)和低 SvO₂ 的反应而收缩血管的固有特性[2]。HPV 有助于维持肺内局部 V/Q 比值, 减轻肺内分流的严重程度。HPV 的反应强度是 OLV 期间 PaO₂ 的重要决定因素。HPV 通常在 85~90 mmHg 或 11.3~2.0 kPa 的 PaO₂ 阈值时发生, 并在 65~70 mmHg (8.7~9.3 kPa)时达到最大值[13]。HPV 的发作是双相的。最初的反应在几秒钟后开始, 并在 20~30 分钟后达到稳定。如果低氧血症持续, 第二个更强的阶段开始于约 40 分钟, 2 小时后达到稳定。一旦第二个阶段形成, HPV 的偏移被延迟[2]。

肺血管收缩功能减退也受到肺血管阻力(pulmonary vascular resistance, PVR)的影响。一般来说, 增加

心输出量和导致 PVR 非特异性降低的因素往往会抑制 HPV。围手术期使用的各种药物直接或通过改变心输出量或 PVR 影响肺血管收缩功能减退。

动物研究的证据表明, HPV 可被低温抑制, 并被高温增强[14]。然而, 这些数据不足以得出临床管理的结论。HPV 反应可能受到各种因素的影响, 如慢性阻塞性肺疾病(COPD)、肝硬化、败血症、女性、运动、代谢和呼吸衰竭、低碳酸血症、体温过低、血液稀释、一氧化二氮可抑制 HPV 反应, 即阻止纠正 V/Q 失调, 从而在 OLV 期间造成更多缺氧[15] [16]。此外, 对于依赖 HPV 维持 PaO₂ 的慢性肺病患者, 与肺正常患者相比, HPV 抑制可能会导致 PaO₂ 更大程度的降低。

(8) 麻醉药物

静脉注射麻醉药物(包括丙泊酚、阿片类药物、右美托咪定、巴比妥类药物和氯胺酮)可保持 HPV 的功能, 而吸入麻醉剂可剂量依赖性抑制 HPV 的功能。现代吸入麻醉剂(如七氟烷)对 HPV 的抑制作用低于较老的麻醉剂[17]。证据表明, 现代吸入麻醉剂对 HPV 的抑制作用在临床相关剂量下不会发生, 胸段硬膜外麻醉保留了 HPV 反应[15]。

(9) 心血管药物

心血管药物对 HPV 的影响很大程度上取决于其对心输出量和 PVR 的影响。一般而言, 具有 β 2-肾上腺素能作用的药物(例如肾上腺素、多巴酚丁胺)倾向于抑制 HPV, 而具有 α 1-肾上腺素能作用的药物(例如苯肾上腺素、去甲肾上腺素)倾向于增加 HPV [2]。然而, 对于对心输出量和 PVR 具有剂量依赖性作用的药物(例如肾上腺素), 对 HPV 的总体作用取决于药物剂量以及患者的基础心输出量和 PVR。磷酸二酯酶抑制剂(例如米力农)和静脉血管扩张剂(硝化甘油、硝普钠)抑制 HPV [2] [17]。

(10) 患者因素

肺血管阻力和心输出量受患者代谢状态的影响。酸中毒和高碳酸血症引起肺血管收缩, 而碳酸过多(碱中毒)和低碳酸血症引起肺血管舒张。酸中毒诱导的血管收缩对 V/Q 比值几乎没有影响, 因为血管收缩会影响通气和非通气肺段, 导致血流不重新分布[2]。相反, 酸中毒诱导的血管舒张会导致非通气肺段内的血管舒张, 而通气肺段通常已经最大程度地血管舒张[2]。因此, 在 OLV 期间应避免肺水肿和低碳酸血症。此外, 如果过度换气导致高舒张压, 则流向依赖性肺的血流可能转向非依赖性肺, 进一步恶化 V/Q 比值。

(11) 手术影响

手术牵拉可能通过增加手术侧肺的 PVR 来增加 HPV。然而, 操纵肺组织也可能通过血管活性物质的释放来抑制 HPV [15], 夹闭或结扎手术侧的肺动脉或其分支可以减少流向非通气肺的血流量并改善 PaO₂。

3. OLV 期间低氧血症的危险因素(见表 2)

Table 2. Risk factors of hypoxemia during OLV
表 2. OLV 期间低氧血症的危险因素

危险因素	注释
患者因素	
慢性阻塞性肺疾病	V/Q 比值失调, 依赖性缺氧性肺血管收缩
肥胖	功能残气量(FRC)减少, 伴随限制性肺生理
年龄增长	闭合容量增加, 且随年龄增长 HPV 受抑制
术前或单肺通气前氧合不良	提示静息状态下存在气体交换障碍
手术与麻醉因素	
依赖侧肺既往手术史	依赖侧肺灌注减少, 非依赖侧肺灌注相对增加
右侧肺手术	单肺通气期间非依赖侧肺灌注比例更高

续表

仰卧位单肺通气 交替单肺通气 使用血管扩张剂或高剂量挥发性麻醉药	抑制缺氧性肺血管收缩
--	------------

4. OLV 期间低氧血症的防治措施

4.1. 优化 V/Q 比值的通气策略

根据肺容量和 PVR 之间的关系可知, FRC 时肺血管阻力最低。肺血管阻力随着肺容量向总肺容量增加或向残余肺容量减少而增加[12]。因此, 通过在 OLV 期间, 通过使用小潮气呼吸和避免高 PEEP 使通气尽可能接近 FRC, 从而优化依赖性肺的血流。此外, 避免大潮气量呼吸和高 PEEP 也有助于维持心输出量。

4.2. 肺保护性通气

肺切除术与术后急性肺损伤(Acute lung injury, ALI)相关, 发生率为 4%~10%, 相关死亡率为 50%~70% [18][19]。肺切除术后, ALI 的发生率随切除程度而变化, 约为 10%。术后 ALI 的机制包括手术肺塌陷和手术器械以及呼吸机相关肺损伤(Ventilation-induced lung injury, VILI)。VILI 的机制包括肺泡过度扩张(体积创伤)、肺泡高压(气压创伤)和肺泡反复打开和关闭产生的剪切应力(肺不张)。

肺保护性通气有助于预防 ALI, 并可能改善胸外科手术的结局[20][21]。肺保护性通气策略包括[22]-[24]:

(1) 通气模式。与容量控制模式(恒定流模式)相比, 压力控制模式(减速流模式)可降低气道压力, 并改善对依赖性肺的灌注。

(2) 通气变量。OLV 期间通常推荐的潮气量为 5~6 mL/kg。有研究建议 OLV 期间目标潮气量为预测体重的 4~5 mL/kg。理想情况下, 气道峰压应<25 cmH₂O。低潮时通气引起的呼吸性酸中毒通常耐受良好 [24]。但是, 合并有肺动脉高压、心律失常或颅内压升高的患者术中均应避免重度高碳酸血症。以 15~20 次呼吸进行依赖性肺通气有助于减轻小潮气量呼吸的影响。

(3) 吸入氧气浓度。越来越多的证据表明, 高氧会导致肺部和全身毒性[25]。谨慎的方法是使用 FIO₂ 为 260%。在低氧血症的情况下, 研究建议使用维持 SaO₂ > 90%所需的最低 FIO₂ [5]。

(4) PEEP 和肺复张。低 PEEP (3~5 cmH₂O)是大多数患者的合理起点[26]。最近的研究表明, 与固定 PEEP 相比, 个体化 PEEP 减少了术后肺部并发症, 并与更好的围手术期氧合相关[27]。研究建议在 OLV 开始时和整个手术过程中根据需要进行肺复张操作(吸气保持在 30~40 cmH₂O, 持续 10~25 s), 以改善氧合。

4.3. 预防

在 OLV 期间预防低氧血症的几种技术来自于前面的讨论。心输出量应保持在正常范围内。应避免导致 S_vO₂ 降低的严重贫血。还应避免过量液体, 因为它可能会增加心输出量和血管外肺水。小潮气量、适度 PEEP 和高呼吸频率通气有助于维持 V/Q 比值。高气道压力(>25 cmH₂O)和 PEEP (>8~10 cmH₂O)可降低心输出量, V/Q 比值失调, 易导致低氧血症。如果可能, 应避免使用非特异性血管扩张剂(如硝酸甘油、硝普钠)。明智地使用短效阿片类药物治疗全身性高血压可能优于使用血管扩张剂。避免高剂量的挥发性麻醉剂可能对选定的患者有益。

依赖性肺的肺不张和非依赖性肺的不完全萎陷会对 V/Q 比值产生不利影响。在支气管镜引导下抽吸气道有助于解决这两个问题。在开始 OLV 后进行复张操作有助于预防依赖性肺的肺不张。肺隔离装置的仔细定位有助于最大程度地减少非依赖性肺的意外通气或依赖性肺的不完全通气的机会。在 FIO₂ 为 100%

时, 对非依赖性肺应用 2~5 cmH₂O 的持续气道正压通气(continuous positive airway pressure, CPAP)通常可改善 PaO₂。

5. 结论

OLV 期间低氧血症的管理需基于多学科协作, 通过优化通气策略、精准循环调控及个体化干预, 最大限度平衡术野暴露与氧合需求。未来研究需进一步探索 HPV 调控靶点及新型肺保护技术。

参考文献

- [1] Campos, J.H. and Feider, A. (2018) Hypoxia during One-Lung Ventilation—A Review and Update. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, **32**, 2330-2338. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2017.12.026>
- [2] Lumb, A.B. and Slinger, P. (2015) Hypoxic Pulmonary Vasoconstriction: Physiology and Anesthetic Implications. *Anesthesiology*, **122**, 932-946. <https://doi.org/10.1097/aln.0000000000000569>
- [3] Karzai, W. and Schwarzkopf, K. (2009) Hypoxemia during One-lung Ventilation: Prediction, Prevention, and Treatment. *Anesthesiology*, **110**, 1402-1411. <https://doi.org/10.1097/aln.0b013e31819fb15d>
- [4] Petersson, J., Rohdin, M., Sánchez-Crespo, A., Nyrén, S., Jacobsson, H., Larsson, S.A., *et al.* (2007) Posture Primarily Affects Lung Tissue Distribution with Minor Effect on Blood Flow and Ventilation. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, **156**, 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2006.11.001>
- [5] Das Pradhan, A., Glynn, R.J., Fruchart, J., MacFadyen, J.G., Zaharris, E.S., Everett, B.M., *et al.* (2022) Triglyceride Lowering with Pemafibrate to Reduce Cardiovascular Risk. *New England Journal of Medicine*, **387**, 1923-1934. <https://doi.org/10.1056/nejmoa2210645>
- [6] Michelet, P., Roch, A., Brousse, D., D'Journo, X., Bregeon, F., Lambert, D., *et al.* (2005) Effects of PEEP on Oxygenation and Respiratory Mechanics during One-Lung Ventilation. *British Journal of Anaesthesia*, **95**, 267-273. <https://doi.org/10.1093/bja/aei178>
- [7] Payne, J.L. and Maguire, J. (2019) Pathophysiological Mechanisms Implicated in Postpartum Depression. *Frontiers in Neuroendocrinology*, **52**, 165-180. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2018.12.001>
- [8] Shum, S., Huang, A. and Slinger, P. (2023) Hypoxaemia during One Lung Ventilation. *BJA Education*, **23**, 328-336. <https://doi.org/10.1016/j.bjae.2023.05.006>
- [9] Lohser, J. (2012) Managing Hypoxemia during Minimally Invasive Thoracic Surgery. *Anesthesiology Clinics*, **30**, 683-697. <https://doi.org/10.1016/j.anclin.2012.08.006>
- [10] Marcos-Contreras, O.A., Smith, S.M., Bellinger, D.A., Raymer, R.A., Merricks, E., Faella, A., *et al.* (2016) Sustained Correction of FVII Deficiency in Dogs Using AAV-Mediated Expression of Zymogen FVII. *Blood*, **127**, 565-571. <https://doi.org/10.1182/blood-2015-09-671420>
- [11] Nakane, M. (2020) Biological Effects of the Oxygen Molecule in Critically Ill Patients. *Journal of Intensive Care*, **8**, Article No. 95. <https://doi.org/10.1186/s40560-020-00505-9>
- [12] Davis, J.J., Foster, S.W. and Grinias, J.P. (2021) Low-Cost and Open-Source Strategies for Chemical Separations. *Journal of Chromatography A*, **1638**, Article ID: 461820. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2020.461820>
- [13] Sylvester, J.T., Shimoda, L.A., Aaronson, P.I. and Ward, J.P.T. (2012) Hypoxic Pulmonary Vasoconstriction. *Physiological Reviews*, **92**, 367-520. <https://doi.org/10.1152/physrev.00041.2010>
- [14] Benumof, J.L. and Wahrenbrock, E.A. (1977) Dependency of Hypoxic Pulmonary Vasoconstriction on Temperature. *Journal of Applied Physiology*, **42**, 56-58. <https://doi.org/10.1152/jappl.1977.42.1.56>
- [15] Drake, M.G. (2018) High-flow Nasal Cannula Oxygen in Adults: An Evidence-Based Assessment. *Annals of the American Thoracic Society*, **15**, 145-155. <https://doi.org/10.1513/annalsats.201707-548fr>
- [16] Purohit, A., Bhargava, S., Mangal, V. and Parashar, V. (2015) Lung Isolation, One-Lung Ventilation and Hypoxaemia during Lung Isolation. *Indian Journal of Anaesthesia*, **59**, 606. <https://doi.org/10.4103/0019-5049.165855>
- [17] Licker, M., Hagerman, A., Jeleff, A., Schorer, R. and Ellenberger, C. (2021) The Hypoxic Pulmonary Vasoconstriction: From Physiology to Clinical Application in Thoracic Surgery. *Saudi Journal of Anaesthesia*, **15**, 250-263. https://doi.org/10.4103/sja.sja_1216_20
- [18] Lohser, J. and Slinger, P. (2015) Lung Injury after One-Lung Ventilation: A Review of the Pathophysiologic Mechanisms Affecting the Ventilated and the Collapsed Lung. *Anesthesia & Analgesia*, **121**, 302-318. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000000808>
- [19] Shapiro, M., Swanson, S.J., Wright, C.D., Chin, C., Sheng, S., Wisnivesky, J., *et al.* (2010) Predictors of Major Morbidity

- and Mortality after Pneumonectomy Utilizing the Society for Thoracic Surgeons General Thoracic Surgery Database. *The Annals of Thoracic Surgery*, **90**, 927-935. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2010.05.041>
- [20] Yang, M., Ahn, H.J., Kim, K., Kim, J.A., Yi, C.A., Kim, M.J., *et al.* (2011) Does a Protective Ventilation Strategy Reduce the Risk of Pulmonary Complications after Lung Cancer Surgery? A Randomized Controlled Trial. *Chest*, **139**, 530-537. <https://doi.org/10.1378/chest.09-2293>
- [21] Marret, E., Cinotti, R., Berard, L., Piriou, V., Jobard, J., Barrucand, B., *et al.* (2018) Protective Ventilation during Anaesthesia Reduces Major Postoperative Complications after Lung Cancer Surgery: A Double-Blind Randomised Controlled Trial. *European Journal of Anaesthesiology*, **35**, 727-735. <https://doi.org/10.1097/eja.0000000000000804>
- [22] Brassard, C.L., Lohser, J., Donati, F. and Bussi eres, J.S. (2014) Step-by-Step Clinical Management of One-Lung Ventilation: Continuing Professional Development. *Canadian Journal of Anesthesia/Journal canadien d'anesth sie*, **61**, 1103-1121. <https://doi.org/10.1007/s12630-014-0246-2>
- [23] Knezevic, N.N., Candido, K.D., Vlaeyen, J.W.S., Van Zundert, J. and Cohen, S.P. (2021) Low Back Pain. *The Lancet*, **398**, 78-92. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(21\)00733-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(21)00733-9)
- [24] Della Rocca, G. and Coccia, C. (2013) Acute Lung Injury in Thoracic Surgery. *Current Opinion in Anaesthesiology*, **26**, 40-46. <https://doi.org/10.1097/aco.0b013e32835c4ea2>
- [25] Horncastle, E. and Lumb, A.B. (2019) Hyperoxia in Anaesthesia and Intensive Care. *BJA Education*, **19**, 176-182. <https://doi.org/10.1016/j.bjae.2019.02.005>
- [26] Saraiva, A., Carrascosa, C., Ramos, F., Raheem, D., Lopes, M. and Raposo, A. (2022) Maple Syrup: Chemical Analysis and Nutritional Profile, Health Impacts, Safety and Quality Control, and Food Industry Applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, Article 13684. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013684>
- [27] Li, P., Kang, X., Miao, M. and Zhang, J. (2021) Individualized Positive End-Expiratory Pressure (PEEP) during One-Lung Ventilation for Prevention of Postoperative Pulmonary Complications in Patients Undergoing Thoracic Surgery: A Meta-Analysis. *Medicine*, **100**, e26638. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000026638>