

胸科手术单肺通气期间肺保护通气研究进展

王清原 王梦瑞 综述 周 阳* 审校

(北京大学第三医院麻醉科, 北京 100191)

文献标识: A 文章编号: 1009-6604(2025)01-0035-06

doi: 10.3969/j.issn.1009-6604.2025.01.006

胸科手术大多需要进行单肺通气, 单肺通气期间机械通气造成的肺损害可能远远超过手术对非通气侧肺造成的损害^[1]。小潮气量、呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)和肺复张为常用的肺保护通气策略, 可通过改善通气分布均一性, 降低气道压, 预防肺不张, 改善肺顺应性, 降低肺内分流和死腔占比, 在改善氧合的同时最大程度减轻肺损伤。本文对胸科手术(肺和食管手术)侧卧位单肺通气期间的肺保护通气策略的研究进展进行综述, 主要涉及通气模式、吸入氧浓度、小潮气量、肺复张和 PEEP。

1 通气模式

压力控制通气(pressure-controlled ventilation, PCV)模式在吸气过程中采取递减式气流, 有助于降低气道压, 但其输送的潮气量变异较大; 容量控制通气(volume-controlled ventilation, VCV)模式输送的潮气量较固定, 但其吸气气流流速固定, 这造成气道峰压(Ppeak)和平台压(Pplat)变异较大^[2]。目前对于 VCV 和 PCV 哪种方式更优仍存在争议。Kim 等^[3]的 meta 分析包括 6 篇随机对照研究 259 例开胸全肺切除术、肺叶切除术和肺楔形切除术, 结果显示, 与 VCV 相比, PCV 通气期间氧合指数高[加权均数差(WMD) = 11.04 mm Hg, 95% CI: 0.30 ~ 21.77, $P = 0.04$], Ppeak 低(WMD = -4.91 cm H₂O, 95% CI: -7.30 ~ -2.53, $P < 0.0001$), 但 2 种通气模式下 Pplat 和肺顺应性无显著差异。Zhu 等^[4]将 64 例胸腔镜肺叶切除术随机分为 2 组, VCV 组在单

肺通气 15 min、60 min 及恢复双肺通气 Ppeak 均显著高于 PCV 组($P < 0.05$), 但 2 组各时间点的氧合指数和 Pplat 均无显著差异, 且 2 组在拔管转入麻醉后恢复室 30 min 和术后第 1、2 天氧合指数均无显著差异。

压力控制容量补偿(pressure-controlled ventilation-volume guaranteed, PCV-VG)模式兼具 PCV 和 VCV 的优点, 以恒定的压力输出设置好的潮气量。Yao 等^[5]将 60 例胸腔镜肺叶切除术的老年患者随机分为 VCV 组和 PCV-VG 组, 结果显示, 在单肺通气期间, 与 VCV 相比, PCV-VG 模式可降低血清中性粒细胞弹性蛋白酶水平($P = 0.01$), 提高肺动态顺应性(Cdyn) ($P < 0.01$), 但不能改善氧合。Li 等^[6]将 176 例胸腔镜手术随机分为 4 组: PCV + 肺开放策略(open-lung approach, OLA) (45 例, PCV-VG 联合 OLA, OLA 包括在复张动作后应用个体化 PEEP), PCV (44 例, PCV-VG 联合标准肺保护性通气, 固定 PEEP 为 5 cm H₂O), VCV + OLA (45 例, VCV 联合 OLA), VCV (42 例, VCV 联合标准肺保护性通气), 结果显示, PCV + OLA 组和 VCV + OLA 组平均气道压、Cdyn 高于 PCV 组和 VCV 组($P < 0.05$); PCV + OLA 组肺内分流比(Qs/Qt)显著低于 PCV 组和 VCV 组($P < 0.05$); PCV + OLA 组和 VCV-OLA 组死腔分数(V_D/V_T)低于 PCV 组和 VCV 组($P < 0.05$); PCV + OLA 组中性粒细胞弹性蛋白酶水平低于 PCV、VCV + OLA 和 VCV 组($P < 0.05$)。结论为, PCV-VG 模式结合 OLA 策略有利于单肺通气期间的肺力学、氧合参数和炎症反应。

* 通讯作者, E-mail: zhouyang@pku.edu.cn

张建友等^[7]将 59 例胸腔镜肺叶切除术随机分为 PCV-VG 组(29 例)和 VCV 组(30 例),结果显示,术后 3 天 PCV-VG 组氧合指数较高(338.6 ± 24.2 vs. 321.6 ± 29.4 , $P < 0.05$),单肺通气 15 min、30 min 时 PCV-VG 组 Ppeak 和驱动压(ΔP)较低($P < 0.05$),Cdyn 较高($P < 0.05$)。Schick 等^[2]的 meta 分析中,8 项随机对照研究报道胸科手术 357 例单肺通气 20 ~ 60 min 的 Ppeak 和 PaO₂ 结果,包括 PCV-VG 178 例,VCV 179 例,与 VCV 相比,PCV-VG 模式 Ppeak 较低($MD = -4.97$, 95% $CI: -6.25 \sim -3.69$, $P < 0.000\ 01$), PaO₂ 较高($MD = 31.38$, 95% $CI: 6.08 \sim 56.68$, $P = 0.02$)。

综上,PCV-VG 在减轻单肺通气相关炎症反应、提高 Cdyn 等方面比 VCV 和 PCV 更具优势。PCV-VG 联合开放性肺保护通气策略比单纯采用 PCV-VG 模式和单纯采用开放性肺保护通气策略更具优势。

2 吸入氧浓度

较高的吸入氧浓度有可能引起高氧血症。虽然高氧血症的危害并不明确,但其有可能增强氧化应激,导致外周血管和冠状动脉收缩,降低心输出量,加剧吸收性肺不张,增加术后肺部并发症的发生率^[8]。2020 年《围术期肺保护性通气策略临床应用专家共识》^[9]建议,若 SpO₂ 不低于 92%,则尽可能选取较低的吸入氧浓度,不低于 0.4;当 SpO₂ 低于 92% 时,则以 0.1 为阶梯将吸入氧浓度逐步上调。但单肺通气期间为防止低氧血症的出现往往需要采取较高的吸入氧浓度^[9]。

3 小潮气量

传统的通气方式是在单肺通气期间采用大潮气量防止肺不张的发生^[10],但这样会加剧肺内炎性浸润和增加急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)的风险^[11]。目前多建议在单肺通气期间采用 5 ~ 6 ml/kg 理想体重的小潮气量通气。但是小潮气量可能促进肺不张的形成,因而在采取小潮气量通气时需要应用 PEEP 和肺复张来预防肺不张形成。

较多研究表明,与大潮气量相比,单肺通气期间小潮气量通气有助于改善氧合,降低气道压,减轻肺

部炎症反应,减少术后肺部并发症。Jiang 等^[12]的 meta 分析包括 12 篇比较小潮气量(3 ~ 6 ml/kg)和大潮气量(8 ~ 10 ml/kg)的随机对照研究共 876 例单肺通气胸部手术,结果显示,小潮气量组血 IL-6 低($MD = -35.51$ pg/ml, 95% $CI: -66.47 \sim -4.54$ pg/ml, $P = 0.02$), ΔP 低($MD = -6.02$ cm H₂O, 95% $CI: -8.32 \sim -3.72$ cm H₂O, $P < 0.0001$), Ppeak 低($MD = -2.88$ cm H₂O, 95% $CI: -4.60 \sim -1.16$ cm H₂O, $P = 0.001$),急性肺损伤风险显著下降($RR = 0.50$, 95% $CI: 0.28 \sim 0.88$, $P = 0.02$),而且肺不张风险没有增加($RR = 0.79$, 95% $CI: 0.53 \sim 1.17$, $P = 0.24$)。Shen 等^[13]的随机对照研究纳入 101 例胸腔镜食管切除术左肺通气,结果显示,与大潮气量(8 ml/kg)不加 PEEP($n = 48$)相比,小潮气量(5 ml/kg)联合低水平(5 cm H₂O) PEEP($n = 53$)可改善氧合(326.35 ± 34.43 vs. 292.85 ± 28.74 , $P = 0.046$),降低通气侧肺肺泡灌洗液中的炎症因子 IL-1 β 、IL-6 和 IL-8 水平(均 $P < 0.05$),降低术后肺部并发症的发生率[9.43% (5/53) vs. 27.08% (13/48), $P = 0.021$]。Peel 等^[14]的 meta 分析纳入 16 篇研究,其中 11 篇为随机对照研究,结果显示,采用肺复张和小潮气量(< 7 ml/kg)者无论是否加用 PEEP, PaO₂ 均无改善,而大潮气量(> 7 ml/kg)且不行肺复张者加 PEEP 可提高 PaO₂ ($MD = 49.9$ mm Hg, 95% $CI: 29.0 \sim 70.8$ mm Hg, $P < 0.000\ 01$)。El Tahan 等^[15]的 meta 分析包括 17 项随机对照研究共 1463 例,其中 751 例小潮气量通气(4 ~ 7 ml/kg), 712 例大潮气量通气(8 ~ 15 ml/kg),结果显示,小潮气量组单肺通气 15 min 和手术结束时氧合指数高于大潮气量组($MD = 33.7$ mm Hg, $P = 0.02$; $MD = 18.59$ mm Hg, $P < 0.001$),且单肺通气 15 min、60 min 后 Pplat 较低($MD = 2.88$ cm H₂O, $P < 0.001$; $MD = 1$ cm H₂O, $P = 0.003$), Ppeak 也较低($MD = 3.13$ cm H₂O, $P = 0.04$; $MD = 4.47$ cm H₂O, $P = 0.01$),术后肺部并发症较少[23% (128/548) vs. 36% (189/528), $OR = 0.50$, $P < 0.001$],新发心律失常也较少[17% (55/328) vs. 24% (84/355), $OR = 0.58$, $P = 0.009$]。

上述研究中的小潮气量组大多加用 PEEP,并且多数联合肺复张,很少有研究只应用小潮气量而不加 PEEP 和肺复张。因此认为,应用 PEEP,加或不

加肺复张的情况下,小潮气量通气比大潮气量通气更有助于肺保护。

4 肺复张

由于防止气道塌陷所需的气道内压低于使塌陷的肺泡重新张开所需的压力,所以对已经出现肺不张的患者,采用肺复张能更好地改善通气,单纯使用 PEEP 则达不到这一效果^[16]。

Shi 等^[17]将 36 例胸腔镜肺叶切除术的肥胖患者(BMI 30~40)随机分为 C 组(18 例,VCV 模式,不行肺复张,不加 PEEP)和 P 组(18 例,PCV-VG 模式,肺复张,7 mm Hg PEEP),结果显示,与 C 组相比,单肺通气 30 min 和恢复双肺通气 5 min 后 P 组 Pplat 较低[(24.2 ± 1.4) vs. (28.8 ± 2.3) cm H₂O, $P=0.000$; (22.1 ± 1.9) vs. (24.5 ± 2.9) cm H₂O, $P=0.010$], Ppeak 也较低[(25.5 ± 2.1) vs. (29.9 ± 2.6) cm H₂O, $P=0.000$; (23.0 ± 2.3) vs. (25.8 ± 1.9) cm H₂O, $P=0.001$], Qs/Qt 较低[(15.8 ± 3.4)% vs. (22.3 ± 3.2)%, $P=0.000$; (14.9 ± 3.4)% vs. (15.8 ± 3.4)%, $P=0.001$], 2 组 Cdyn 和临床肺感染评分(clinical pulmonary infection score, CPIS)差异无显著性($P>0.05$)。Peel 等^[14]的 meta 分析显示,与不行肺复张相比,肺复张可使 PaO₂ 提高($MD=82$ mm Hg, 95% $CI:20\sim144$ mm Hg, $P=0.01$), V_D/V_T 下降($MD=-5.9\%$, 95% $CI:-8.0\%\sim-3.8\%$, $P<0.001$)。王海东等^[18]将 60 例胸腔镜肺叶切除术的老年患者随机分为对照组(C 组)、控制性肺膨胀肺复张组(SI 组)及阶梯式肺复张组(SW 组)各 20 例,SI 组和 SW 组均在麻醉诱导后单肺通气前行肺复张,SI 组手控通气模式下 Ppeak 30 cm H₂O,持续 30~40 s,继而 PCV-VG 模式,PEEP 3~5 cm H₂O;SW 组将 PEEP 每 30 s 增加 5 cm H₂O 直到 15 cm H₂O,同时控制 Ppeak ≤ 30 cm H₂O,后将 PEEP 每 30 s 降低 5 cm H₂O 直至 Ppeak 恢复至肺复张前水平,继而 PCV-VG 模式,PEEP 3~5 cm H₂O。结果显示,与 C 组相比,SI 组氧合指数在肺复张 30 min(T3)和肺复张 2 h(T4)均较高($P<0.05$),Cdyn 在肺复张 15 min(T2)、T3、T4 均较高($P<0.05$);与 SI 组相比,SW 组氧合指数在 T2 时较高($P<0.05$),Cdyn 在 T2、T3、T4 时均较高($P<0.05$);与 C 组相比,SI 组和 SW 组肺不张发生

率均较低(7 例 vs. 1 例 vs. 0 例),SW 组肺炎发生率较低(7 例 vs. 6 例 vs. 0 例)。

肺复张的目标是尽可能采取最小的压力,持续最短的时间,并最大限度消除肺不张。目前对于肺复张所需的压力、持续时间和策略均无定论。大多数研究肺复张方式的选择都很随意,缺乏对肺复张效果的评估,尽管大多数研究都显示肺复张有益,但不能证实肺复张的效果是最佳的。Miura 等^[19]的研究纳入 42 例肺肿瘤肺切除术并需要单肺通气至少 1 h 的患者,单肺通气 20 min(基线)开始肺复张,但肺复张 15 min 时只有 50%(21 例)呼气末肺容量较基线水平上升 ≥ 20%,说明相同的肺复张方式并不一定适用于所有患者。

肺超声可以在床旁实时评估肺不张情况和肺复张的效果。当原先采取的肺复张方式不足以消除肺不张时,重复进行肺复张,采用上调肺复张压力、延长肺复张持续时间等方式进一步消除肺不张,从而可以将肺复张的次数、压力和持续时间控制在消除肺不张的最低水平,在改善通气和氧合的同时使肺复张的副作用最小化。Wu 等^[20]将 60 例胸腔镜肺癌切除术随机分为 2 组:传统肺复张组(30 例)采取手法肺复张,肺复张期间气道压维持在 30 cm H₂O,持续 10~15 s;超声引导肺复张组(30 例)肺复张方式与传统肺复张组相同,但每次肺复张后均通过肺部超声进行评估,若超声提示有残存肺不张存在,则重复进行肺复张,直至超声检查不能发现肺不张为止。结果显示,手术结束时超声引导肺复张组由超声检测到的肺不张发生率显著低于传统肺复张组(7% vs. 53%, $P<0.01$),入麻醉后恢复室 30 min 的 SpO₂ 也显著高于传统肺复张组(中位数 95% vs. 93%, $P=0.04$)。

综上,肺部超声指导的肺复张可以实时评估肺不张的程度,在出现显著肺不张时进行肺复张,并评估肺复张的效果,从而可以在适宜的时机行肺复张,并以最小的压力和最短的持续时间达到充分消除肺不张的效果,是最优化肺复张效果并最小化副作用的方式。缺点是对超声技能要求较高。在不具备肺部超声检查条件时,其他肺复张方式从总体上来说优于不行肺复张。从理论上讲,阶梯性上调 PEEP 的肺复张方式有助于降低肺复张期间的 ΔP 和循环波动,但需要更多的研究证实。

5 PEEP 滴定策略

PEEP 过高会加剧肺过度膨胀,过低则不能预防肺不张,某一固定水平的 PEEP 并不适用于所有患者,因而目前多主张进行 PEEP 滴定,以个体化选择 PEEP。

PEEP 滴定方法包括:①压力-容积(P-V)曲线低位拐点(low inflection point, LIP)法,是目前临床最常用的方法,选取的 PEEP 是 P-V 曲线低位拐点对应的压力加 2 cm H₂O。②最佳肺顺应性法,即选取使肺顺应性最大的 PEEP,包括最佳 C_{dyn} 法和最佳肺静态顺应性(C_{stat})法。C_{stat} 不受胸内压和呼吸顺应性的影响,仅受肺弹性的影响,最佳 C_{stat} 法选定的 PEEP 可通过降低 ΔP 而有助于肺保护。③选取使氧合指数最高的 PEEP。④选取使 ΔP 最低的 PEEP。

目前哪种 PEEP 滴定策略最具优势尚无定论。Xu 等^[21]将 75 例肺切除或食管切除术随机分为 5 组:P_{LIP2} 组 PEEP 为 P-V 曲线 LIP 对应压力加 2 cm H₂O;P_{LIPS} 组以 LIP 对应压力作为 PEEP 初始值,递增滴定至 C_{stat} 最大;P_{STAT} 组和 P_{DYN} 组 PEEP 从 4 cm H₂O 开始递增滴定至 C_{stat} 或 C_{dyn} 最大;P₀ 组 PEEP 为 0。结果显示,各组单肺通气期间氧合指数、P_{peak}、Q_s/Q_t 差异无显著性,P_{DYN} 组单肺通气 15、30、45 和 60 min 的 ΔP 均显著低于 P₀ 组($P < 0.05$),P_{LIP2}、P_{LIPS}、P_{STAT}、P_{DYN} 组单肺通气 15、30、45 和 60 min 的 C_{dyn} 均显著高于 P₀ 组($P < 0.05$),认为根据 C_{dyn} 滴定 PEEP 可以改善呼吸力学,更适宜胸科手术。Zhang 等^[22]将胸腔镜肺叶切除术 58 例随机分为 2 组,A 组肺复张后 PEEP 从 15 cm H₂O 开始以 2 cm H₂O 为阶梯逐步下调至 C_{stat} 最大,B 组肺复张后 PEEP 维持在 5 cm H₂O,结果显示,2 组各时点 P_{peak} 和 P_{plat} 均无显著差异($P > 0.05$),与 B 组相比,A 组 C_{stat} 在应用最适 PEEP 20 min(T₃)、单肺通气结束(T₄)和手术结束(T₅)时均较高($P < 0.05$),ΔP 在 T₃ 和 T₄ 时均较低($P < 0.01$),PaO₂ 在 T₄ 时较高[(310.6 ± 43.6) vs. (237.8 ± 40.4) mm Hg, $P < 0.01$]。Yao 等^[23]将 50 例 65~78 岁胸腔镜单侧肺叶切除术随机分为 2 组,O 组采用使氧合指数最高的 PEEP,C 组采用 C_{dyn} 最高的 PEEP,结果显示,与 C 组相比,O 组 PEEP 滴

定结束 4 min(T₂) ΔP、P_{peak} 和 PEEP 均较高(均 $P = 0.01$),C_{dyn} 较低($P = 0.01$),PaO₂ 较高[(202.28 ± 59.66) vs. (112.23 ± 8.74) mm Hg, $P < 0.05$],T₂ 和恢复双肺通气 10 min(T₃) V_D/V_T 均较低(0.07 ± 0.02 vs. 0.09 ± 0.03; 0.11 ± 0.04 vs. 0.13 ± 0.04)。Park 等^[24]的双盲随机对照研究将肺切除或食管切除 292 例随机分为肺保护通气组(147 例,单肺通气期间潮气量 6 ml/kg,肺复张,PEEP 设为 5 cm H₂O),ΔP 组(145 例,潮气量和肺复张与肺保护通气组相同,以 ΔP 最低为目标滴定 PEEP),结果显示,术后 3 天内 ΔP 组肺部并发症(墨尔本小组量表 ≥ 4 分)少[5.5% (8/145) vs. 12.2% (18/147), $P = 0.047$],ARDS 少(0/145 vs. 5/147, $P = 0.025$),ARDS 和肺炎的总数也较少[6.9% (10/145) vs. 15% (22/147), $P = 0.028$]。

上述 PEEP 滴定策略都是通过全肺整体的通气或氧合来选取 PEEP,由于重力的影响,下侧肺组织易发生肺不张,上侧肺组织易发生过度膨胀,肺整体的通气参数会混淆过度膨胀和肺不张两种病理状态。电阻抗断层成像(electrical impedance tomography, EIT)介导的 PEEP 滴定的优势在于可评估 PEEP 对局灶性通气状况的影响。Liu 等^[25]将 100 例 65 岁以上胸腔镜肺手术随机分为 2 组,PEEP_s 组单肺通气期间 PEEP 设置为 5 cm H₂O,PEEP_{EIT} 组单肺通气期间 EIT 指导个体化 PEEP 滴定,结果显示:EIT 滴定的个体化 PEEP 为 9~13 (10.8 ± 1.8) cm H₂O,显著高于 PEEP_s 组的 5 cm H₂O ($P < 0.01$);与 PEEP_s 组相比,PEEP_{EIT} 组氧合指数单肺通气 30 min 高 47 mm Hg ($P = 0.021$),单肺通气 1 h 高 93 mm Hg ($P < 0.001$),手术结束时高 107 mm Hg ($P < 0.001$),ΔP 单肺通气 30 min 低 3.7 cm H₂O ($P < 0.001$),单肺通气 1 h 低 4.9 cm H₂O ($P < 0.001$),C_{dyn} 单肺通气 30 min 高 4.3 ml/cm H₂O ($P < 0.001$),单肺通气 1 h 高 4.4 ml/cm H₂O ($P = 0.001$)。

EIT 有助于评估 PEEP 对肺内局灶通气情况的影响,选取的 PEEP 有助于改善肺内通气分布均一性,在减轻肺损伤的同时改善氧合,比其他策略更有优势。但 EIT 设备昂贵,限制了其普及。若发生低氧血症,可在肺复张后以改善氧合为目标滴定 PEEP;但若单肺通气期间氧合正常,则最佳 C_{stat} 法滴定的 PEEP 最有助于肺保护。

6 PEEP 滴定方向

PEEP 滴定的目的在于选取一个既可预防肺不张又不显著加剧肺过度膨胀的 PEEP 水平。由于使塌陷的肺泡复张所需的压力远远高于防止肺泡塌陷所需的压力,所以若进行递增式 PEEP 滴定,则肺不张通常会在 PEEP 上升至足以预防肺不张的水平之前出现,进而降低 PEEP 的益处。Chiumello 等^[26]观察到,在递减式 PEEP 滴定的过程中,每次下调 PEEP 后维持 5 min 就足以使 PaO_2 、氧合指数、静脉血掺杂和氧饱和度达到平衡;反之,递增式滴定 PEEP 的过程中,每次上调 PEEP 后需保持 60 min 才能使上述参数达到平衡。

有 2 项随机对照研究对比递减式 PEEP 滴定与递增式 PEEP 滴定。Spadaro 等^[27]的研究显示,与递增式 PEEP 滴定相比,递减式 PEEP 滴定的 ΔP 更低(8 cm H_2O vs. 10 cm H_2O , $P=0.03$),递减式 PEEP 滴定组氧合指数由 140 升高到 186($P<0.001$)。Li 等^[28]的研究显示,与递增式 PEEP 滴定相比,递减式 PEEP 滴定组在单肺通气 10 min 和恢复双肺通气 10 min P_{peak} 较低(20 vs. 19 cm H_2O , $P<0.001$; 19 vs. 18 cm H_2O , $P<0.001$),恢复双肺通气 10 min 时 C_{dyn} 较高(44.43 vs. 47.32 ml/cm H_2O , $P<0.001$);单肺通气 10 min 时,递减式 PEEP 滴定组的氧合指数(174.47)和递增式 PEEP 滴定组的氧合指数(163.42)均显著高于只加固定 5 cm H_2O PEEP 组(133.49, $P=0.006$)。

总之,递减式 PEEP 滴定比递增式 PEEP 滴定更具有优势。

7 小结

胸科手术单肺通气期间的肺保护通气策略重点包括以下几点:①单肺通气期间采取 5~6 ml/kg 理想体重的小潮气量通气可减轻肺损伤。②单纯的小潮气量通气可引起肺不张,肺复张后加用足够大小的 PEEP 可减轻肺不张,因此,小潮气量联合肺复张和 PEEP 更有助于肺保护。③与单纯采用 PCV-VG 和 PCV 模式相比,这两种通气模式联合小潮气量、肺复张和 PEEP 可能更具优势。④目前研究中采取的肺复张大多是经验性的,没有个体化,且哪一种肺复张策略最优还没有定论。超声引导肺复张可以在

床旁实时评估肺复张期间肺容量的变化,进而以最小的压力和最短的持续时间达到最佳的肺复张效果,最有应用前景。⑤已经证实通过滴定获取的个体化 PEEP 优于某一固定水平的 PEEP,但目前还不确定哪种滴定方法最佳。EIT 可以观察不同水平 PEEP 下的肺局灶通气情况,EIT 指导下滴定 PEEP 能够在减轻肺不张和降低肺组织过度膨胀中取得平衡,最具优势。⑥递减式 PEEP 滴定也许比递增式 PEEP 滴定更具优势。

参考文献

- 1 Tusman G, Böhm SH, Suarez-Sipmann F. Dead space during one-lung ventilation. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2015, 28(1): 10–17.
- 2 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.
- 3 Kim KN, Kim DW, Jeong MA, et al. Comparison of pressure-controlled ventilation with volume-controlled ventilation during one-lung ventilation: a systematic review and meta-analysis. *BMC Anesthesiol*, 2016, 16(1): 72.
- 4 Zhu YQ, Fang F, Ling XM, et al. Pressure-controlled versus volume-controlled ventilation during one-lung ventilation for video-assisted thoracoscopic lobectomy. *J Thorac Dis*, 2017, 9(5): 1303–1309.
- 5 Yao W, Yang M, Cheng Q, et al. Effect of pressure-controlled ventilation-volume guaranteed on one-lung ventilation in elderly patients undergoing thoracotomy. *Med Sci Monit*, 2020, 26: e921417.
- 6 Li J, Cai B, Yu D, et al. Pressure-controlled ventilation-volume guaranteed mode combined with an open-lung approach improves lung mechanics, oxygenation parameters, and the inflammatory response during one-lung ventilation: a randomized controlled trial. *Biomed Res Int*, 2020, 2020: 1403053.
- 7 张建友, 郭宁, 杨大威, 等. 压力控制容量保证通气对胸腔镜肺叶切除术患者围术期肺功能的影响. *临床麻醉学杂志*, 2024, 40(8): 820–824.
- 8 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.
- 9 中华医学会麻醉学分会“围术期肺保护性通气策略临床应用专家共识”工作小组. 围术期肺保护性通气策略临床应用专家共识. *中华麻醉学杂志*, 2020, 40(5): 513–519.
- 10 Kim HJ, Seo JH, Park KU, et al. Effect of combining a recruitment maneuver with protective ventilation on inflammatory responses in video-assisted thoracoscopic lobectomy: a randomized controlled

trial. Surg Endosc, 2019, 33(5):1403 – 1411.

11 Campos JH, Feider A. Hypoxia during one-lung ventilation; a review and update. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2018, 32(5):2330 – 2338.

12 Jiang J, Xia F, Lu Z, et al. Effects of tidal volume on physiology and clinical outcomes in patients with one lung ventilation undergoing surgery: a meta analysis of randomized controlled trials. Biomed Rep, 2024, 20(5):73.

13 Shen Y, Zhong M, Wu W, et al. The impact of tidal volume on pulmonary complications following minimally invasive esophagectomy: a randomized and controlled study. J Thorac Cardiovasc Surg, 2013, 146(5):1267 – 1273.

14 Peel JK, Funk DJ, Slinger P, et al. Positive end-expiratory pressure and recruitment maneuvers during one-lung ventilation; a systematic review and meta-analysis. J Thorac Cardiovasc Surg, 2020, 160(4):1112 – 1122. e3.

15 El Tahan MR, Samara E, Marczin N, et al. Impact of lower tidal volumes during one-lung ventilation; a 2022 update of the meta-analysis of randomized controlled trials. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2023, 37(10):1983 – 1992.

16 Ortiz VE, Vidal-Melo MF, Walsh JL. Strategies for managing oxygenation in obese patients undergoing laparoscopic surgery. Surg Obes Relat Dis, 2015, 11(3):721 – 728.

17 Shi ZG, Geng WM, Gao GK, et al. Application of alveolar recruitment strategy and positive end-expiratory pressure combined with autoflow in the one-lung ventilation during thoracic surgery in obese patients. J Thorac Dis, 2019, 11(2):488 – 494.

18 王海东, 许亚梅, 牛 荣, 等. 阶梯式肺复张对老年胸腔镜肺叶切除术单肺通气患者心肺功能的保护作用观察. 山东医药, 2022, 62(29):10 – 14.

19 Miura Y, Ishikawa S, Nakazawa K, et al. Effects of alveolar recruitment maneuver on end-expiratory lung volume during one-lung ventilation. J Anesth, 2020, 34(2):224 – 231.

20 Wu L, Yang L, Yang Y, et al. Ultrasound-guided versus conventional lung recruitment manoeuvres in thoracic surgery: a randomised controlled study. J Clin Monit Comput, 2024, 38(3):731 – 739.

21 Xu D, Wei W, Chen L, et al. Effects of different positive end-expiratory pressure titrating strategies on oxygenation and respiratory mechanics during one-lung ventilation; a randomized controlled trial. Ann Palliat Med, 2021, 10(2):1133 – 1144.

22 Zhang Y, Zhang M, Wang X, et al. Individualized positive end-expiratory pressure in patients undergoing thoracoscopic lobectomy: a randomized controlled trial. Braz J Anesthesiol, 2021, 71(5):565 – 571.

23 Yao W, Yang B, Wang W, et al. Effect of positive end-expiratory pressure (PEEP) titration in elderly patients undergoing lobectomy. Med Sci Monit, 2022, 28:e938225.

24 Park M, Ahn HJ, Kim JA, et al. Driving pressure during thoracic surgery: a randomized clinical trial. Anesthesiology, 2019, 130(3):385 – 393.

25 Liu K, Huang C, Xu M, et al. PEEP guided by electrical impedance tomography during one-lung ventilation in elderly patients undergoing thoracoscopic surgery. Ann Transl Med, 2019, 7(23):757.

26 Chiumello D, Coppola S, Froio S, et al. Time to reach a new steady state after changes of positive end expiratory pressure. Intensive Care Med, 2013, 39(8):1377 – 1385.

27 Spadaro S, Grasso S, Karbing DS, et al. Physiological effects of two driving pressure-based methods to set positive end-expiratory pressure during one lung ventilation. J Clin Monit Comput, 2021, 35(5):1149 – 1157.

28 Li G, Ma S, Shu Q, et al. PCV-VG combined individualized PEEP determination in one-lung ventilated patients with PEEP step change direction; a randomized controlled trial. Clin Respir J, 2024, 18(1):e13696.

(收稿日期: 2024 – 07 – 03)
(修回日期: 2024 – 10 – 10)
(责任编辑: 王惠群)