

肺保护策略在肥胖患者腹腔镜手术中应用的研究进展*

王亚茹 综述 张 蕾** 审校

(新疆医科大学第一附属医院麻醉科, 乌鲁木齐 830011)

文献标识:A

文章编号:1009-6604(2024)12-0828-06

doi:10.3969/j.issn.1009-6604.2024.12.009

在过去的 30 年中,肥胖患者的患病率显著增加,肥胖是身体脂肪组织的病理性增加,与慢性疾病(如糖尿病、心血管疾病及癌症)的患病率增加相关^[1]。微创手术因创伤小、术后疼痛轻和恢复快越来越受欢迎。然而,微创手术中气腹和体位变化可增加肥胖患者的肺损伤;除此之外,不恰当的机械通气也可引起肺损伤。围术期肺损伤是术后肺部并发症和死亡率增加的主要原因。因此,肺保护策略在肥胖患者腹腔镜手术中显得尤为重要,本文对近年来肥胖患者腹腔镜手术的肺保护策略进行文献总结,为临床提供参考。

1 肥胖患者的生理特点及呼吸系统病理生理变化

肥胖患者因胸腹部大量的脂肪堆积使腹内压(intra-abdominal pressure, IAP)增加, IAP 的增加使胸膜腔内压降低,进而导致功能残气量降低、区域性肺不张和肺内分流增加。功能残气量的显著降低和(或)肥胖患者本身存在气道狭窄导致肺阻力升高,使肥胖患者耐受呼吸暂停的能力下降;除此之外,患者的氧合功能随着 BMI 的增加而下降(由于气道的关闭和肺泡的萎陷,肺底部的肺区域灌注好但通气差)^[2]。Dhuria 等^[3]探讨肥胖对成人肺功能影响,与非肥胖者($n=50$)相比,肥胖者($n=50$)呼气流量峰值 $[(5.46 \pm 1.3) \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \text{ vs. } (6.74 \pm 1.8) \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}, P < 0.05]$ 和最大自主通气量 $[(87.7 \pm 17.7) \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \text{ vs. } (98.08 \pm 31.5) \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}, P < 0.05]$ 显著降低,说明肥胖会对肺功能造成影响,这

些影响是由于胸壁和腹腔中多余的脂肪组织压迫胸廓、纵隔以及肺引起的。

2 气腹和体位对肥胖患者肺部的影响

气腹是腹腔镜手术必不可少的一部分, CO_2 因在血液中具有高度的溶解性以及易被组织吸收成为首选。气腹会导致 IAP 急剧升高,非肥胖者的 IAP 为 5 mm Hg 或更低,肥胖患者的 IAP 可达到 9 ~ 10 mm Hg。IAP 升高反过来导致横膈膜向头侧移位,导致气道阻力以及峰压和平台压增加,肥胖患者自身脂肪的堆积使气道压力更高。不同的手术需要不同的体位,随着体位的改变,肺功能发生相应的改变,肺顺应性也发生改变。Nath 等^[4]将 100 例腹腔镜胆囊切除术随机分为肥胖组 BMI > 30 ($n=50$) 与非肥胖组 ($n=50$),与非肥胖组相比,肥胖组气道峰压在气腹后 5 min $[(28.20 \pm 3.65) \text{ cm H}_2\text{O} \text{ vs. } (21.74 \pm 2.85) \text{ cm H}_2\text{O}, P < 0.05]$ 、气腹结束后 3 min $[(21.02 \pm 2.45) \text{ cm H}_2\text{O} \text{ vs. } (18.22 \pm 2.46) \text{ cm H}_2\text{O}, P < 0.05]$ 和拔管前 $[(21.16 \pm 2.82) \text{ cm H}_2\text{O} \text{ vs. } (16.28 \pm 2.15) \text{ cm H}_2\text{O}, P < 0.05]$ 显著升高。Grieco 等^[5]报道 50 例病态肥胖 (BMI ≥ 35) 行妇科手术或机器人手术,11 例 (22%) 在麻醉插管后发生气道完全关闭,气腹使气道开口压力平均增加 15 cm H₂O (95% CI: 11 ~ 18, $P < 0.01$),气腹联合 Trendelenburg 位时,气道压力随着呼气末食管压力和气腹压力的升高而升高。Araujo 等^[6]报道腹腔镜胆囊切除术肥胖组 (BMI ≥ 30 , $n=10$) 的肺顺应性

* 基金项目:国家自然科学基金委员会地区科学基金项目(82060055)

** 通讯作者, E-mail: 772512799@qq.com

(38.3 ± 8.3) ml · cm H₂O⁻¹, 显著低于非肥胖组 [$BMI \leq 25, n = 10, (47.4 \pm 5.7)$ ml · cm H₂O⁻¹, $P = 0.01$]。Gao 等^[7]对行腹腔镜下胃袖状切除术的 15 例病态肥胖患者在插管前、机械通气后、拔管后分别在仰卧位和 30° 头高脚低位进行血气分析, 30° 头高脚低位时肺动脉分流明显低于仰卧位 [$(17.13 \pm 3.10)\%$ vs. $(18.82 \pm 3.60)\%$, $P < 0.01$]; 机械通气时静态肺顺应性明显优于仰卧位 [(36.8 ± 6.7) ml · cm H₂O⁻¹ vs. (33.8 ± 7.3) ml · cm H₂O⁻¹, $P < 0.05$]; 机械通气前后 PaO₂ 和氧指数明显高于仰卧位 ($P < 0.05, P = 0.01$)。陈元朝等^[8]纳入 849 例择期腹腔镜手术, 其中妇科子宫肌瘤、卵巢囊肿手术 340 例, 胆囊切除术 239 例, 疝修补术、精索静脉曲张 270 例, 头高位时, BMI > 30 的患者 ($n = 72$) 气道压力显著高于 $26 < BMI < 30$ 的患者 ($n = 78$) [(30.1 ± 5.2) cm H₂O vs. (26.2 ± 4.0) cm H₂O, $P < 0.05$]; 头低位时, 气腹后气道压力明显增加, BMI > 30 的患者 ($n = 103$) 显著高于 $26 < BMI < 30$ 的患者 ($n = 110$) [(38.2 ± 3.9) cm H₂O vs. (28.8 ± 4.1) cm H₂O, $P < 0.05$]。由此可见, 肥胖患者在腹腔镜手术中因气腹和体位进一步加重呼吸功能的改变, 这些变化使其麻醉管理复杂化, 对麻醉和外科医生提出挑战。

3 术后肺部并发症 (postoperative pulmonary complications, PPCs)

PPCs 是一种复合性结局指标, 通常发生在术后第 1 周, 发生率 1% ~ 23%, 患者因素和手术因素有很大差异^[9]。Ball 等^[10]将 29 个国家 135 家医院全麻手术的 2012 例肥胖患者按 BMI 大小分为 I 组 (BMI 30 ~ 34.9, $n = 1315$)、II 组 (BMI 35 ~ 39.9, $n = 449$) 和 III 组 (BMI $\geq 40, n = 248$), 11.7% (236/2012) 的患者发生一种或多种 PPCs, 且 BMI 越大发生率越高, 分别为 10.3% (135/1315)、12.2% (55/449) 和 18.5% (46/248)。Wang 等^[11]对 96 例腹腔镜结直肠癌根治术的研究显示, 肥胖组患者 PPCs 发生率 50.0% (24/48), 明显高于非肥胖组 20.8% (10/48) ($P < 0.05$)。张小青等^[12]将 80 例腹腔镜下胃袖状切除术根据拔管后在麻醉恢复室 (postanesthesia care unit, PACU) 停留时间分为延长组 ($n = 27$) 和正常组 ($n = 53$), 结果显示 BMI ($OR =$

1.216, 95% CI : 1.079 ~ 1.373, $P = 0.001$) 和拔管后发生低氧血症 ($OR = 6.607$, 95% CI : 1.284 ~ 34.001, $P = 0.002$) 是导致减重手术患者拔管后恢复期延长的独立预后因素。Shariq 等^[13]对 3502 例腹腔镜肾上腺切除术的回顾性分析显示, 与无代谢综合征 ($n = 3107$) 的患者相比, 有代谢综合征患者 ($n = 395$) 肺部并发症发生率明显增加 (4.1% vs. 1.7%, $P < 0.001$)。Emile 等^[14]报道 97 例腹腔镜减重手术, 28.9% (28/97) 的肥胖患者有肺功能障碍, 肺功能障碍患者肺部并发症发生率明显高于肺功能正常患者 ($OR = 9.13$, 95% CI : 1.71 ~ 48.6, $P = 0.009$)。BMI 增加使肥胖患者咽部面积缩小和上气道塌陷, 因此, 术后常存在早期肺功能障碍, 导致围术期低氧血症和呼吸功能障碍的风险增加。

4 术中肺保护性策略

机械通气管理不善可能会导致通气性肺损伤 (ventilator induced lung injury, VILI)^[15], 这种急性肺损伤会引起急性呼吸衰竭 (acute respiratory failure, ARF), ARF 的标志是弥漫性肺泡损伤。机械通气期间较大的潮气量可使肺泡过度膨胀, 肺泡的周期性打开和塌陷 (肺不张损伤) 可触发并加大肺部局部炎症反应 (生物创伤), 可能导致肺泡弥漫性损伤, 表现为肺水肿、炎症细胞的聚集和激活、炎症介质的局部产生以及介质渗透到体循环中。肥胖患者除氧储备功能差以外, 在通气过程中经常出现肺不张, 增加 PPCs 的风险。Futier 等^[16]一项多中心、双盲、平行组试验研究显示, 200 例肺保护性通气中 21 例 (10.5%) 术后 7 d 内发生肺部并发症及其他并发症, 200 例非保护性通气中为 55 例 (27.5%, 55/200) ($RR = 0.04$, 95% CI : 0.24 ~ 0.68, $P = 0.001$)。Sun 等^[17]纳入 23 项临床试验的 meta 分析, 不同呼气末正压 (positive end expiratory pressure, PEEP) + 小潮气量通气对肺部并发症的影响进行亚组分析, PEEP 为 6 cm H₂O 时, $RR = 2.71$, $I^2 = 0\%$, $P = 0.84$, PEEP 为 7 cm H₂O 时, $RR = 2.81$, $I^2 = 0\%$, $P = 0.56$, 2 组文献间不存在异质性, 由此可见, 不同 PEEP + 小潮气量通气可降低腹腔镜手术后肺部并发症的发生率; 23 项研究采用固定效应合并 ($RR = 1.17$, 95% CI : 1.13 ~ 1.22), 差异均有统计学意义 ($Z = 7.95$, $P = 0.00001$), 提示保护性肺通气

应用于腹腔镜手术时发生肺部并发症的可能性低于常规肺通气,保护性肺通气发生并发症的可能性比常规肺通气低 1.17 倍。传统肺保护性通气策略包括小潮气量 ($6 \sim 8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$)、PEEP 和肺复张 (recruitment maneuvers, RM)。目前,尚不确定哪一种通气方式具有最大的肺保护作用,但与较高水平的 PEEP 相比,小潮气量具有更大的肺保护作用,但这是否适用于肥胖患者还有待研究。

4.1 肺保护性通气策略

4.1.1 小潮气量 + PEEP 小潮气量机械通气策略已在临床实践中得到很好地应用。肥胖患者的机械通气策略不能简单等同于正常体重患者的通气策略,应使用理想体重而不是实际体重计算所需要的潮气量,这是因为肥胖患者增加的胸廓外观是由于过多的脂肪堆积于胸部,非实际的肺容量。Nguyen 等^[18]将 62 例腹腔镜手术随机分为肺保护性通气组 ($n = 31$) 和常规通气组 ($n = 31$),肺保护性通气组呼吸参数为潮气量 $7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ 理想体重 (ideal body weight, IBW) + $10 \text{ cm H}_2\text{O}$ PEEP + RM;常规通气组呼吸参数为潮气量 $10 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ IBW 且不设定 PEEP 和 RM,结果显示肺保护性通气组术中 PaO_2 、 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 明显高于常规组 ($P < 0.05$),术中肺泡动脉氧分压差明显低于常规通气组 ($P < 0.05$),术中各时间点动态肺顺应性显著高于常规通气组 ($P < 0.05$)。过去采用高潮气量通气 ($10 \sim 15 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$) 预防低氧血症和肺不张,然而,越来越多的研究表明,高潮气量通气条件下的机械通气可引起肺泡过度膨胀,加重肺损伤,并可引起呼吸机相关性肺损伤。

4.1.2 PEEP 和 RM PEEP 联合 RM 的保护性通气策略已广泛应用于临床中。Elshazly 等^[19]将 40 例腹腔镜减肥手术患者随机分为实验组 (个体化肺超声引导下优化 PEEP, $n = 20$) 和对照组 (固定 $4 \text{ cm H}_2\text{O}$ PEEP, $n = 20$),实验组拔管后 10 min PO_2 显著高于对照组 [$(187.05 \pm 39.24) \text{ mm Hg}$ vs. $(155.55 \pm 25.61) \text{ mm Hg}$, $P < 0.05$],且术后无并发症,对照组术后 24 h 胸片出现肺缺氧、基底塌陷等肺部并发症 5 例 (0% vs. 25% , $P < 0.05$)。Xavier 等^[20]20 例腹腔镜减重手术的研究显示,个体化 PEEP 组 ($n = 10$) 的肺驱动压显著低于固定 PEEP 组 ($n = 10$) [$(13 \pm 2) \text{ cm H}_2\text{O}$ vs. $(22 \pm 4) \text{ cm H}_2\text{O}$, $P <$

0.001],且氧合更高 ($P = 0.029$)。Anđelić 等^[21]对 96 例腹腔镜胆囊切除术的研究显示,肺复张后 BMI > 25 患者 ($n = 63$) 的氧分压 [$(173.19 \pm 39.00) \text{ mm Hg}$ vs. $(212.82 \pm 33.67) \text{ mm Hg}$, $P < 0.00$] 显著低于 BMI < 25 患者 ($n = 33$);气腹关闭后,2 组气道峰压、平台压均较前一个观察点下降,静态肺顺应性值升高,差异有统计学意义 ($P \leq 0.001$),由此可见,RM 可显著增加静态肺顺应性,改善气体交换,麻醉期间预防肺不张应在麻醉诱导后立即开始。Sümer 等^[22]将 60 例腹腔镜胃袖状切除术随机分为实验组 (接受 RM, $n = 30$) 和对照组 (不接受 RM, $n = 30$),实验组拔管后 30 min PO_2 显著高于对照组 [$(177.4 \pm 37.9) \text{ mm Hg}$ vs. $(151.7 \pm 39) \text{ mm Hg}$, $P = 0.017$], PaCO_2 显著低于对照组 [$(39.9 \pm 2.7) \text{ mm Hg}$ vs. $(42.7 \pm 4.2) \text{ mm Hg}$, $P = 0.012$]。Severac 等^[23]将 230 例腹腔镜减肥手术随机分为肺复张组 ($n = 115$) 和对照组 ($n = 115$),肺复张组患者在恢复室 (73% vs. 84% , $P = 0.043$) 和术后第 1 天 (77% vs. 88% , $P = 0.043$) 肺功能障碍发生率显著低于对照组。Wang 等^[24]纳入 23 项随机对照研究 (共 3364 例肥胖患者) 的 meta 分析显示,容量控制通气 (volume control ventilation, VCV) 与个体化 PEEP 联合 RM 在改善术中 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ [累积排名下面积的百分比 (surface under the cumulative ranking curve, SUCRA): 0.963] 和肺顺应性方面 (SUCRA: 0.977) 优于其他通气方式;与 VCV + 低 PEEP 相比,VCV + 高 PEEP + RM 在减少术后肺不张方面更有效 ($RR = 0.56$, $95\% \text{ CI}: 0.39 \sim 0.81$)。可见,肥胖患者腹腔镜手术中采用个体化 PEEP + RM 的保护性肺通气策略可最大限度地减少呼吸机相关肺损伤,但个体化 PEEP 的确定还需进一步研究。

4.1.3 压力控制通气 (pressure controlled ventilation, PCV) 肥胖患者腹腔镜手术麻醉时最佳通气模式并没有明确的指导方针。PCV 以在腹腔镜过程中保持较低的气道压力峰值而闻名,降低容量创伤和气压创伤的风险,并在腹内压力升高的情况下增强氧合。Ghodraty 等^[25]将 66 例腹腔镜减肥手术随机分为 PCV 组 ($n = 33$) 和 VCV 组 ($n = 33$),插管后 30 min 内 PCV 组和 VCV 组肺泡动脉氧分压差均有相似升高,生理无效腔与潮气量之比 (VD/VT) 无显著变化 ($P = 5.724$),说明 PCV 不逊于 VCV,在通气过程中可以交替使用。Movassagi 等^[26]将 70 例肥胖患

者行腹腔镜胆囊切除术 ($30 < \text{BMI} < 40$) 分为 PCV 组 ($n = 35$) 和 VCV 组 ($n = 35$), 在气腹后 35、55 min, VCV 组患者需要更高的潮气量和呼吸频率来维持目标呼气末二氧化碳, 2 组平台压力和平均气道压力差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 但 VCV 组气道峰压在气腹后 35 min [$(25.05 \pm 4.79) \text{ cm H}_2\text{O}$ vs. $(20.22 \pm 4.32) \text{ cm H}_2\text{O}$, $P < 0.05$] 和 55 min [$(24.57 \pm 4.97) \text{ cm H}_2\text{O}$ vs. $(19.74 \pm 4.50) \text{ cm H}_2\text{O}$, $P < 0.05$] 明显高于 PCV 组。Hassan 等^[27] 将 52 例腹腔镜胃袖状切除术随机分 PCV 组 ($n = 26$) 和 VCV 组 ($n = 26$), 2 组在术后即刻、12 h、24 h 肺不张发生率无显著差异 ($P > 0.05$), 在基线、术中和术后 PaCO_2 水平以及基线和术后 SaO_2 和 PaO_2 方面也无显著差异 ($P > 0.05$), 但 PCV 组术中 SaO_2 [$(97.25 \pm 1.37) \%$ vs. $(96.32 \pm 1.85) \%$, $P = 0.027$] 和 PaO_2 [$(225.85 \pm 18.69) \text{ mm Hg}$ vs. $(212.75 \pm 20.13) \text{ mm Hg}$, $P = 0.011$] 明显优于 VCV 组。由此可见, 在肥胖患者腹腔镜手术中 PCV 通气模式在平台压、气道峰压和氧合方面是优于 VCV, 应被广泛应用起来。

4.2 吸入氧浓度

术中吸入氧浓度的选择和不同吸入氧浓度对患者的影响一直是麻醉学研究的重要领域, 且存在很大差异。围术期使用高浓度氧可能导致气道关闭、肺泡塌陷和吸收性肺不张。一项纳入 5056 例的队列研究显示^[28], $\text{FiO}_2 30\%$ 组 ($n = 2486$) 和 80% 组 ($n = 2570$) 术后肺部并发症发生率分别为 16.3% 和 17.6% , 差异无显著性 ($RR = 1.07$, $95\% \text{ CI}: 0.95 \sim 1.21$, $P = 0.25$), 说明术中高氧浓度并没有改变术后氧合指数及肺部并发症的发生率。Akbas 等^[29] 将 52 例腹腔镜胃袖状切除术随机分为低流量组 ($0.75 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 26$) 和正常流量组 ($1.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 26$), 在气腹前 5 min、气腹后 5 min 和头高脚低位时, 低流量组呼气末 CO_2 显著高于正常流量组 ($P = 0.016, 0.001, 0.002$); 麻醉苏醒 15 min 后, 正常流量组右脑区域氧饱和度显著高于低流量组 ($P = 0.018$), 因此, 在腹腔镜胃袖状切除术中, 低流量麻醉可以安全地用于病态肥胖患者中。Min 等^[30] 在 84 例基于肺超声评分 (Lung Ultrasound Score, LUSS) 的吸氧浓度对肥胖患者术后肺不张评估的一项前瞻性、随机对照研究显示, 高 FiO_2 组胸前区 LUSS [$2(0 \sim 3)$ 分 vs. $1(0 \sim 1)$ 分, $P = 0.033$] 和胸

后区 [$2(2 \sim 4)$ 分 vs. $1(0 \sim 2.25)$ 分, $P = 0.014$] 显著高于低 FiO_2 组, LUSS 越低表明通气越好, 提示高 FiO_2 对肥胖患者肺不张发生的影响大于低 FiO_2 。因此, 对于行腹腔镜手术的肥胖患者, 术中机械通气期间可以采用低浓度氧吸入。

4.3 麻醉药物的使用

麻醉药物的合理使用是肥胖患者围术期快速康复的基石。Han 等^[31] 回顾性分析 1232 例腹腔镜胃袖状切除术, 与新斯的明组 ($n = 616$) 比较, sugammadex 组 ($n = 616$) 胸腔积液发生率显著降低 (18% vs. 23.4% , $P = 0.02$)。另一项纳入 57 例腹腔镜胃袖状切除术的随机对照研究^[32] 显示, 新斯的明组 ($n = 25$) PACU 的 SpO_2 [$(95.80 \pm 0.014) \%$ vs. $(96.72 \pm 0.011) \%$, $P < 0.01$] 明显低于 sugammadex 组 ($n = 32$), 在拮抗前, sugammadex 组测量的 4 个成串刺激 (train of four, TOF) 计数较低, 即在给予拮抗剂之前, 该组残余肌松程度更深 [(2.53 ± 0.98) 个 vs. (3.48 ± 0.58) 个, $P < 0.01$]; 此外, 新斯的明组 PACU 的最小 SpO_2 也显著降低 (93% vs. 94% , $P = 0.01$), 由此说明 sugammadex 在肥胖患者腹腔镜手术中可提高 SpO_2 。Wang 等^[33] 在布托啡诺对腹腔镜下胃袖状切除术患者肺功能影响的研究显示, 布托啡诺组 ($n = 30$) 手术开始 1 h、术毕以及苏醒后 1 h 动脉 - 肺泡氧比值显著高于对照组 (68 ± 7 vs. 55 ± 8 , $P < 0.001$; 73 ± 8 vs. 59 ± 7 , $P < 0.001$; 83 ± 9 vs. 70 ± 5 , $P < 0.001$); 对照组 ($n = 30$) 术后 3、6、12、24 h 反映肺损伤的生物标志物水平显著高于布托啡诺组 ($P < 0.001$), 说明布托啡诺可通过改善氧合和减少死腔通气来保护患者的肺功能。Chen 等^[34] 将 60 例肥胖患者全麻下腹腔镜手术分为右美托咪定组 ($n = 30$) 和对照组 ($n = 30$), 与对照组相比, 右美托咪定组在气腹后 30 min 和气腹结束后 10 min 动态肺顺应性较高、氧合指数以及肺泡动脉氧分压差较低 ($P < 0.05$); 与对照组相比, 右美托咪定组在各个时间点 IL-8 水平较低, IL-10 水平较高 ($P < 0.05$), 提示使用右美托咪定可以改善肥胖患者的肺顺应性和氧合指数, 抑制肺部的炎症反应, 对肺功能有一定的保护作用。因此, 在肥胖患者腹腔镜手术中, 术中合理使用麻醉药可减少术后肺部并发症。

5 小结

肥胖患者具有特殊的肺生理和力学特征, 发生

术后肺部并发症的风险增加。术中建议采用低潮气量 + PEEP + RM、低氧浓度以及合理使用麻醉药来改善肥胖患者的预后并减少术后肺部并发症。在探索最适合肥胖患者肺保护策略的过程中出现多种方式,究竟哪种方式在临床工作中最适合还有待进一步研究。

参考文献

1 Global BMI Mortality Collaboration, Di Angelantonio E, Bhupathiraju ShN, et al. Body-mass index and all-cause mortality: individual-participant-data meta-analysis of 239 prospective studies in four continents. *Lancet*,2016,388(10046):776-786.

2 De Jong A, Wrigge H, Hedenstierna G, et al. How to ventilate obese patients in the ICU. *Intensive Care Med*, 2020, 46(12): 2423-2435.

3 Dhuria S, Jain A, Sharma N. To study the effect of obesity on pulmonary functions in adults. *Natl J Physiol Pharm Pharmacol*, 2024,14(7):1312-1315.

4 Nath O, Malik N, Singh S, et al. To assess effects of pneumoperitoneum on ventilatory mechanics and hemodynamics during laparoscopic cholecystectomy in obese and non-obese patients. *IJAR*,2023,11(12):130-140.

5 Grieco DL, Anzellotti GM, Russo A, et al. Airway closure during surgical pneumoperitoneum in obese patients. *Anesthesiology*,2019, 131(1):58-73.

6 Araujo OC, Espada EB, Costa FMA, et al. Impact of Grade I obesity on respiratory mechanics during video laparoscopic surgery: prospective longitudinal study. *Braz J Anesthesiol*,2020,70(2): 90-96.

7 Gao D, Sun L, Wang N, et al. Impact of 30° reserve trendelenburg position on lung function in morbidly obese patients undergoing laparoscopic sleeve gastrectomy. *Front Surg*,2022,9:792697.

8 陈元朝,苗韶华,赵蔚,等.腹腔镜手术中不同体重指数患者气道压力和肺部感染的比较. *临床麻醉学杂志*,2015,31(12): 1202-1204.

9 Miskovic A, Lumb AB. Postoperative pulmonary complications. *Br J Anaesth*,2017,118(3):317-334.

10 Ball L, Hemmes SNT, Serpa Neto A, et al. Intraoperative ventilation settings and their associations with postoperative pulmonary complications in obese patients. *Br J Anaesth*,2018,121(4):899-908.

11 Wang TH, Li HX, Li BL, et al. Impact of obesity on the incidence of postoperative pulmonary complications following laparoscopic colorectal surgery. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 2024, 104(18): 1610-1616.

12 张小青,王洁初,张静,等.腹腔镜胃袖状切除术麻醉恢复期

停留时间延长的相关因素初探. *中国微创外科杂志*,2023,23(2):81-86.

13 Shariq OA, Fruth KM, Hanson KT, et al. Metabolic syndrome is associated with increased postoperative complications and use of hospital resources in patients undergoing laparoscopic adrenalectomy. *Surgery*,2018,163(1):167-175.

14 Emile SH, Elgamel M, Elshobaky A, et al. Identifying patients at high risk of having pulmonary dysfunction before laparoscopic bariatric surgery and its impact on postoperative pulmonary complications. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*,2019,29(11): 1456-1461.

15 Rezoagli E, Laffey JG, Bellani G. Monitoring lung injury severity and ventilation intensity during mechanical ventilation. *Semin Respir Crit Care Med*,2022,43(3):346-368.

16 Futier E, Jaber S. Lung-protective ventilation in abdominal surgery. *Curr Opin Crit Care*,2014,20(4):426-430.

17 Sun M, Jia R, Wang L, et al. Effect of protective lung ventilation on pulmonary complications after laparoscopic surgery: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Med (Lausanne)*, 2023,10:1171760.

18 Nguyen TK, Nguyen VL, Nguyen TG, et al. Lung-protective mechanical ventilation for patients undergoing abdominal laparoscopic surgeries: a randomized controlled trial. *BMC Anesthesiol*,2021,21(1):95.

19 Elshazly M, Khair T, Bassem M, et al. The use of intraoperative bedside lung ultrasound in optimizing positive end expiratory pressure in obese patients undergoing laparoscopic bariatric surgeries. *Surg Obes Relat Dis*,2021,17(2):372-378.

20 Xavier TB, Coelho LV, Ferreira DAL, et al. Individualized positive end-expiratory pressure reduces driving pressure in obese patients during laparoscopic surgery under pneumoperitoneum: a randomized clinical trial. *Front Physiol*,2024,15:1383167.

21 Anđelić N, Uvelin A, Stokić E, et al. The effect of recruitment maneuver on static lung compliance in patients undergoing general anesthesia for laparoscopic cholecystectomy: a single-centre prospective clinical intervention study. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*,2024,60(4):666.

22 Sümer I, Topuz U, Alver S, et al. Effect of the “recruitment” maneuver on respiratory mechanics in laparoscopic sleeve gastrectomy surgery. *Obes Surg*,2020,30(7):2684-2692.

23 Severac M, Chiali W, Severac F, et al. Alveolar recruitment manoeuvre results in improved pulmonary function in obese patients undergoing bariatric surgery: a randomised trial. *Anaesth Crit Care Pain Med*,2021,40(3):100775.

24 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.

- 25 Ghodratty MR, Pournajafian AR, Tavoosian SD, et al. A clinical trial of volume-versus pressure-controlled intraoperative ventilation during laparoscopic bariatric surgeries. *Surg Obes Relat Dis*, 2021, 17(1):81 – 89.
- 26 Movassagi R, Montazer M, Mahmoodpoor A, et al. Comparison of pressure vs. volume controlled ventilation on oxygenation parameters of obese patients undergoing laparoscopic cholecystectomy. *Pak J Med Sci*, 2017, 33(5):1117 – 1122.
- 27 Hassan RM, Mahmoud HO, Abd el Aal WA, et al. Comparative study between volume-controlled ventilation and pressure-controlled ventilation in prevention of postoperative pulmonary atelectasis in morbidly obese patients undergoing laparoscopic gastric sleeve surgery. *AJA*, 2020, 12(1):38.
- 28 Cohen B, Ruetzler K, Kurz A, et al. Intra-operative high inspired oxygen fraction does not increase the risk of postoperative respiratory complications: Alternating intervention clinical trial. *Eur J Anaesthesiol*, 2019, 36(5):320 – 326.
- 29 Akbas S, Ozkan AS. Comparison of effects of low-flow and normal-flow anesthesia on cerebral oxygenation and bispectral index in morbidly obese patients undergoing laparoscopic sleeve gastrectomy: a prospective, randomized clinical trial. *Wideochir Inne Tech Maloinwazyjne*, 2019, 14(1):19 – 26.
- 30 Min WK, Jin S, Choi YJ, et al. Lung ultrasound score-based assessment of postoperative atelectasis in obese patients according to inspired oxygen concentration: A prospective, randomized-controlled study. *Medicine(Baltimore)*, 2023, 102(7):e32990.
- 31 Han J, Ryu JH, Koo BW, et al. Effects of sugammadex on post-operative pulmonary complications in laparoscopic gastrectomy: a retrospective cohort study. *J Clin Med*, 2020, 9(4):1232.
- 32 Evron S, Abelansky Y, Ezri T, et al. Respiratory events with sugammadex vs. neostigmine following laparoscopic sleeve gastrectomy: a prospective pilot study assessing neuromuscular reversal strategies. *Rom J Anaesth Intensive Care*, 2017, 24(2):111 – 114.
- 33 Wang XL, Zeng S, Li XX, et al. The protective effects of butorphanol on pulmonary function of patients with obesity undergoing laparoscopic bariatric surgery: a double-blind randomized controlled trial. *Obes Surg*, 2020, 30(10):3919 – 3929.
- 34 Chen H, Wang X, Zhang Y, et al. Effect of dexmedetomidine on pulmonary function in obese patients undergoing laparoscopic surgery. *Perioper Med (Lond)*, 2024, 13(1):42.

(收稿日期:2024 – 05 – 12)

(修回日期:2024 – 11 – 02)

(责任编辑:李贺琼)