

不同吸入氧浓度对老年患者腹腔镜前列腺癌根治术后早期肺功能的影响

汪洋 郭文雅 蔡信杰 张野 李云

【摘要】 目的 比较术中吸入氧浓度(FiO_2)30%和80%对老年患者腹腔镜前列腺癌根治术后肺功能的影响。方法 选择择期行腹腔镜前列腺癌根治术的老年患者60例,年龄 ≥ 65 岁,BMI 18~30 kg/m^2 ,ASA II或III级。采用随机数字表法将患者分为两组: FiO_2 30%组(L组)和 FiO_2 80%组(H组),每组30例。气管插管后行肺复张,L组调整 FiO_2 为30%直至拔除气管导管。H组调整 FiO_2 为80%直至拔除气管导管。记录入室后5 min(T_0)、手术开始后1 h(T_1)、手术开始后2 h(T_2)、拔管后30 min(T_3)的HR、MAP,并行动脉血气分析记录 PaO_2 、 PaCO_2 ,计算氧合指数(OI)。于 T_0 、 T_3 时行电阻抗断层成像(EIT)监测,评估肺通气功能,记录中心通气区(CoV)、依赖静止区(DSS)、非依赖静止区(NSS)的面积百分比。术前1 d、术后第1、3、5天测定第1秒用力呼气容积(FEV_1)、用力肺活量(FVC)、1秒率(FEV_1/FVC)。记录术后5 d内肺不张、呼吸道感染和胸腔积液等肺部并发症的发生情况。结果 与H组比较,L组 T_3 时DSS面积百分比明显降低($P < 0.05$), PaO_2 与OI明显升高($P < 0.05$),术后第1天FVC、 FEV_1 和 FEV_1/FVC 均明显升高($P < 0.05$),术后第3天 FEV_1/FVC 明显升高($P < 0.05$),术后5 d内肺不张发生率明显降低($P < 0.05$)。结论 与 FiO_2 80%比较,术中 FiO_2 30%可以明显改善老年患者腹腔镜前列腺癌根治术后30 min肺通气、氧合功能与术后早期的肺功能,减少术后肺不张的发生。

【关键词】 吸入氧浓度;电阻抗断层成像;老年;前列腺癌;肺功能

Effect of different fraction of inspiration oxygen on early pulmonary function after laparoscopic radical prostatectomy for prostate cancer in elderly patients WANG Yang, GUO Wenyua, CAI Xinjie, ZHANG Ye, LI Yun. Department of Anesthesiology and Perioperative Medicine, Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230601, China
Corresponding author: LI Yun, Email: yunli_001@aliyun.com

【Abstract】 **Objective** To investigate the effects of intraoperative fraction of inspiration oxygen (FiO_2) 30% and 80% on pulmonary function after laparoscopic radical prostatectomy for prostate cancer in elderly patients. **Methods** Sixty elderly patients, aged ≥ 65 years, BMI 18–30 kg/m^2 , ASA physical status II or III, underwent elective laparoscopic radical prostatectomy for prostate cancer were selected. The patients were divided into two groups: the FiO_2 30% group (group L) and the FiO_2 80% group (group H), 30 patients in each group. After tracheal intubation, the patients were manoeuvred, and inhaled oxygen concentration was adjusted by 30% until the removal of the tracheal tube in group L. In group H, inhaled oxygen concentration was adjusted by 80% until the removal of the tracheal tube. HR and MAP were recorded 5 minutes after admission (T_0), 1 hour after the start of surgery (T_1), 2 hours after the start of surgery (T_2), and 30 minutes after extubation (T_3), arterial blood gas analysis was performed to record PaO_2 and PaCO_2 , and the oxygenation index (OI) was calculated. Electrical impedance tomography (EIT) monitoring was performed at T_0 and T_3 to assess the pulmonary ventilation function, and the percentage of the area of the central ventilation zone (CoV), dependent static zone (DSS), and non-dependent static zone (NSS) were recorded. Exertional expiratory volume in the first second (forced expiratory volume in the first second, FEV_1), exertional lung capacity (forced vital capacity, FVC), and 1-second rate (FEV_1/FVC) were measured on preoperative day 1, postoperative day 1, postoperative day 3 and postoperative day 5. The occurrence of pulmonary complications such as atelectasis, respiratory infection, and pleural effusion within 5 days postoperatively were recorded. **Results** Compared with group H, the percentage of DSS area at T_3 was significantly decreased ($P < 0.05$), PaO_2 and OI were significantly increased ($P < 0.05$), FVC, FEV_1 ,

DOI:10.12089/jca.2024.05.007

基金项目:安徽高校自然科学基金项目(KJ2019ZD24);安徽省转化医学研究院科研基金(2020zhyx-A06)

作者单位:230601 合肥市,安徽医科大学第二附属医院麻醉与围术期医学科

通信作者:李云,Email: yunli_001@aliyun.com

and FEV₁/FVC on postoperative day 1 were significantly increased ($P < 0.05$), FEV₁/FVC on postoperative day 3 was significantly increased ($P < 0.05$), the incidence of cumulative pulmonary atelectasis was significantly decreased in group L within 5 days postoperatively ($P < 0.05$). **Conclusion** Compared with FiO₂ 80%, FiO₂ 30% intraoperatively significantly improves pulmonary ventilation and oxygenation 30 minutes after laparoscopic radical prostatectomy with early postoperative lung function in elderly patients, and reduces postoperative pulmonary atelectasis.

【Key words】 Fraction of inspiration oxygen; Electrical impedance tomography; Aged; Prostate cancer; Lung function

腹腔镜前列腺癌根治术已成为治疗早期前列腺癌的一种规范手术,术中 Trendelenburg 体位和 CO₂ 气腹会改变呼吸力学,促进由肺不张引起的肺气体交换受损,并导致术后肺部并发症^[1]。保护性通气策略,包括低潮气量、呼气末正压通气和限制气道峰压不高于 30 cmH₂O 等,可明显减少患者术后呼吸系统并发症的发生并在临床上广泛应用^[2]。研究^[3-6]对比了高吸入氧浓度(fraction of inspiration oxygen, FiO₂)(80%~100%)与低 FiO₂(30%~40%)对术后结局的影响,然而 FiO₂ 对肺部的潜在影响仍不明确,在不同的指南中推荐术中使用不同的 FiO₂^[7-8]。肺电阻抗成像(electrical impedance tomography, EIT)技术是一种以人体内部的电阻率分布为目标的重建体内组织图象的新技术,可评价肺局部通气分布情况,并且是一种无创、无辐射、可床边使用的监测方法^[9-10]。本研究探究术中不同 FiO₂ 对老年患者腹腔镜前列腺癌根治术后早期肺功能的影响。

资料与方法

一般资料 本研究经医院医学伦理委员会批准(YX2022-122),患者或家属签署知情同意书。选择 2022 年 8 月至 2023 年 8 月择期行腹腔镜前列腺癌根治术的老年患者,年龄 ≥ 65 岁, BMI 18~30 kg/m², ASA II 或 III 级。排除标准:患者拒绝参加试验,合并严重的呼吸系统、心血管疾病,肝肾功能损害,胸廓及脊柱畸形,最近 3 个月参与其他临床研究。剔除标准:术中转开放手术,术后不能脱离呼吸机或转入 ICU,术后 5 d 内二次手术,无法配合完成肺功能检查,术中使用的通气策略无法维持氧合(SpO₂ < 94% 或 PaO₂ < 60 mmHg)。采用随机数字表法将患者分为两组:FiO₂ 30% 组(L 组)和 FiO₂ 80% 组(H 组)。

麻醉方法 患者术前常规禁食禁饮,未给予术前用药。入室后监测 ECG、NIBP、SpO₂、BIS,开放外周静脉,缓慢滴注复方乳酸钠 6 ml/kg。局麻下左桡动脉穿刺置管监测 IBP,行动脉血气分析。行右侧

颈内静脉穿刺用于监测 CVP 和术中补液。面罩吸纯氧 3 min 后,行麻醉诱导,静脉给予依托咪酯 0.3 mg/kg、舒芬太尼 0.5 μg/kg、罗库溴铵 0.6 mg/kg。经口可视喉镜下行气管插管,连接呼吸机行机械通气,听诊两肺呼吸音对称,行机械通气并调整呼吸参数,术中使用压力控制容量保证通气模式,设置 V_T 6 ml/kg, I : E 1 : 2, 氧流量 2 L/min, 调整 RR 维持 P_{ET}CO₂ 35~50 mmHg; L 组术中 FiO₂ 30%, H 组术中 FiO₂ 80%。行肺复张,选择 PCV 模式,保持吸气压力与 PEEP 差值不变,每 30 秒递增 PEEP 5 cmH₂O,直到 PEEP 达 30 cmH₂O,持续 30 s,恢复原通气设置,麻醉维持采用全凭静脉麻醉,泵注丙泊酚 3~6 mg·kg⁻¹·h⁻¹、瑞芬太尼 6~18 μg·kg⁻¹·min⁻¹、顺式阿曲库铵 0.1~0.2 mg·kg⁻¹·h⁻¹,维持 BIS 40~60,术中补液复方乳酸钠 3~5 mg·kg⁻¹·h⁻¹,依据麻醉科医师经验及患者 HR、MAP 等生命体征调节丙泊酚、瑞芬太尼泵注剂量,必要时应用血管活性药物。如 HR < 50 次/分时,静脉推注阿托品 0.5 mg; HR > 120 次/分时,静脉推注艾司洛尔 0.5 mg/kg; MAP 降低幅度超过基础值的 20% 时,静脉推注去氧肾上腺素 0.1 mg; MAP 升高幅度超过基础值的 20% 时,静脉推注乌拉地尔 10 mg;必要时重复给药。手术结束前 30 min 停用顺式阿曲库铵,术毕停用丙泊酚和瑞芬太尼。所有手术为同一组医师完成,且不知道患者入组情况。患者恢复自主呼吸后排除禁忌静脉给予新斯的明 0.04 mg/kg、阿托品 0.02 mg/kg,待自主呼吸 V_T 6~10 ml/kg、RR 10~20 次/分,患者清醒后拔出气管导管后送至 PACU,给予氧流量 3 L/min,鼻导管吸氧 15 min。

观察指标 记录入室后 5 min(T₀)、手术开始 1 h(T₁)、手术开始 2 h(T₂)、拔管后 30 min(T₃)的 HR、MAP、动脉血气分析结果及氧合指数(OI)。分别在 T₀、T₃ 时实施 EIT 监测(C500 EIT 系统)。患者取平卧位,自主呼吸,将检测电极带放置在第 5 肋间水平,每次连续监测 5 min,记录中心通气区(central ventilation zone, CoV)面积百分比(CoV 面积占整个肺区像素的百分比)、依赖静止区

(dependent static zone, DSS) 面积百分比(DSS 面积占整个肺区像素的百分比)、非依赖静止区(non-dependent static zone, NSS) 面积百分比(NSS 面积占整个肺区像素的百分比)。记录术前 1 d、术后第 1、3、5 天测定第 1 秒用力呼气容积(forecd expiratory volume in the first second, FEV₁)、用力肺活量(forecd vital capacity, FVC), 计算 1 秒率(FEV₁/FVC)。记录麻醉时间、手术时间、补液量等。依据欧洲围术期临床结局肺部并发症诊断标准评估术后 5 d 内肺不张、气胸、胸腔积液, 以及呼吸衰竭、吸入性肺炎、呼吸道感染、支气管痉挛等肺部并发症的发生情况^[11]。

统计分析 根据预试验结果, L 组术后 30 min DSS 百分比为(3.8±1.5)%, H 组术后 30 min DSS 百分比为(5.1±1.6)%, 设 $\alpha=0.05$, $1-\beta=0.9$, 两组样本量 1:1, 脱落率 10%, 需要样本量 66 例。

采用 SPSS 26.0 软件分析。正态分布计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示, 组间比较采用独立样本 *t* 检验, 组内比较采用重复测量的方差分析。计数资料以例(%)表示, 组间比较采用 χ^2 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

本研究初始纳入患者 66 例, 其中 L 组 3 例因术后无法配合肺功能检查, H 组 2 例因术后无法配合肺功能检查, 1 例术后转入 ICU 被剔除, 最终纳入患

者 60 例。两组患者年龄、BMI、ASA 分级、手术时间、麻醉时间、补液量差异均无统计学意义(表 1)。

与 T₀ 时比较, 两组 T₃ 时 DSS 面积百分比均明显升高($P<0.05$)。与 H 组比较, T₃ 时 L 组 DSS 面积百分比明显降低($P<0.05$)。两组 CoV 面积百分比、NSS 面积百分比差异无统计学意义(表 2)。

与 T₀ 时比较, 两组 T₁、T₂ 时 MAP 明显降低, PaO₂ 均明显升高, T₁—T₃ 时 PaCO₂ 明显升高($P<0.05$); H 组 T₃ 时 PaO₂ 明显降低($P<0.05$)。与 H 组比较, L 组 T₁、T₂ 时 PaO₂ 明显降低($P<0.05$), T₃ 时 PaO₂ 和 OI 明显升高($P<0.05$)(表 3)。

与术前 1 d 比较, 两组术后第 1 天与术后第 3 天 FVC、FEV₁ 明显降低($P<0.05$), 术后第 1 天 FEV₁/FVC 明显降低($P<0.05$)。与 H 组比较, L 组术后第 1 天 FVC、FEV₁ 和 FEV₁/FVC 明显升高($P<0.05$), 术后第 3 天 FEV₁/FVC 明显升高($P<0.05$)(表 4)。

与 H 组比较, L 组术后 5 d 内肺不张发生率明显降低($P<0.05$)。两组术后呼吸道感染、胸腔积液发生率差异无统计学意义(表 5)。

讨 论

腹腔镜下前列腺癌根治术为了获得足够的手术视野, 通常需要采取 Trendelenburg 卧位联合气腹。腹内压的升高和重力作用会使膈肌向头侧偏移, 降低肺顺应性和功能残气量, 影响患者术中肺

表 1 两组患者一般情况的比较

组别	例数	年龄 (岁)	BMI (kg/m ²)	ASA II/III 级 (例)	手术时间 (min)	麻醉时间 (min)	补液量 (ml)
L 组	30	69.8±5.8	23.8±2.8	25/5	164.4±39.3	205.3±54.3	1 703.3±104.2
H 组	30	70.6±5.6	23.2±1.9	23/7	180.6±48.5	183.3±39.3	1 640.0±132.9

表 2 两组患者不同时点肺电阻抗成像指标的比较(%, $\bar{x}\pm s$)

指标	组别	例数	T ₀	T ₃
DSS 面积百分比	L 组	30	1.88±0.84	3.87±1.25 ^{ab}
	H 组	30	1.45±1.14	5.38±1.32 ^a
CoV 面积百分比	L 组	30	57.20±2.67	53.53±2.00
	H 组	30	56.70±2.60	52.47±2.32
NSS 面积百分比	L 组	30	3.67±1.56	5.10±1.09
	H 组	30	3.27±1.48	5.02±1.21

注: 与 T₀ 比较, ^a $P<0.05$; 与 H 组比较, ^b $P<0.05$ 。

表 3 两组患者不同时点 HR、MAP、PaO₂、PaCO₂ 和 OI 的比较 ($\bar{x}\pm s$)

指标	组别	例数	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
HR (次/分)	L 组	30	65.6±14.7	64.8±11.9	66.5±14.0	77.4±14.2
	H 组	30	71.4±14.1	62.0±10.6	64.1±8.8	73.0±14.7
MAP (mmHg)	L 组	30	93.3±14.7	75.8±8.8 ^a	78.0±8.9 ^a	95.3±15.0
	H 组	30	91.9±13.0	76.6±10.1 ^a	77.1±7.3 ^a	86.6±20.6
PaO ₂ (mmHg)	L 组	30	83.9±8.7	128.8±12.5 ^{ab}	125.1±12.9 ^{ab}	84.3±5.6 ^b
	H 组	30	83.5±9.2	316.1±56.1 ^a	301.5±55.5 ^a	77.0±4.3 ^a
PaCO ₂ (mmHg)	L 组	30	39.7±3.8	49.6±6.8 ^a	52.1±10.2 ^a	46.7±5.6 ^a
	H 组	30	40.4±3.8	52.2±7.1 ^a	56.1±9.1 ^a	47.0±6.9 ^a
OI (mmHg)	L 组	30	400.2±48.9	421.6±56.6	413.5±58.2	405.0±27.6 ^b
	H 组	30	393.4±47.0	406.3±57.1	391.4±60.4	378.7±27.7

注:与 T₀ 比较,^aP<0.05;与 H 组比较,^bP<0.05。

表 4 两组患者不同时点肺功能指标的比较 ($\bar{x}\pm s$)

指标	组别	例数	术前 1 d	术后第 1 天	术后第 3 天	术后第 5 天
FVC(L)	L 组	30	3.2±0.4	2.6±0.5 ^{ab}	2.8±0.5 ^a	2.9±0.6
	H 组	30	3.2±0.5	2.4±0.4 ^a	2.7±0.5 ^a	2.9±0.6
FEV ₁ (L)	L 组	30	2.5±0.4	1.9±0.4 ^{ab}	2.2±0.4 ^a	2.4±0.5
	H 组	30	2.4±0.4	1.6±0.3 ^a	2.0±0.4 ^a	2.2±0.4
FEV ₁ /FVC(%)	L 组	30	78.4±5.2	74.3±4.7 ^{ab}	79.7±8.3 ^b	80.6±6.0
	H 组	30	76.9±4.7	66.2±4.4 ^a	75.3±6.0	78.0±7.8

注:与术前 1 d 比较,^aP<0.05;与 H 组比较,^bP<0.05。

表 5 两组患者术后 5 d 内肺部并发症的比较 [例 (%)]

组别	例数	肺不张	呼吸道感染	胸腔积液
L 组	30	4(13) ^a	5(16)	1(3)
H 组	30	11(37)	3(10)	0(0)

注:与 H 组比较,^aP<0.05。

呼吸力学状态和气体交换功能^[12]。此外,接受该手术的大多是老年患者,由于肺部生理、形态和组织学变化,肺弹性回缩减弱,会降低呼吸功能储备,增加术后肺功能的损害和发生肺部并发症的风险^[13]。本研究在术中使用了保护性通气策略,比较了 FiO₂ 30%与 80%对患者术后肺功能的影响,通过 EIT 方法实时评估患者术后即刻的肺部通气情况。在术后 5 d 内床旁随访肺功能检查,多次测定指导老年患者按要求完成检查,并观察了术后 5 d 内肺部并发症的发生情况。本研究结果显示,术中 FiO₂ 30%

明显改善了腹腔镜老年前列腺癌根治术患者术后 30 min 的肺通气、氧合功能与术后早期的肺功能。

在全麻过程中,通常会使用较高的 FiO₂ 甚至纯氧来增加氧储备,延长呼吸暂停的耐受时间,降低低氧血症发生的风险^[14]。术中使用高浓度氧会造成一系列不良后果,如活性氧的过度生成导致氧化应激水平增高以及损害患者心肺功能等^[15]。术中高 FiO₂ 与术后主要呼吸系统并发症和 30 d 死亡率呈剂量依赖性相关^[16]。Koksal 等^[17] 研究表明,与使用 FiO₂ 40% 比较,使用 FiO₂ 80% 可明显降低氧合指数、抑制机体抗氧化应激反应,且两组患者血流动力学并无差异,均无并发症的发生。在麻醉诱导和维持过程中,应在满足氧饱和度的前提下尽可能降低 FiO₂^[18], 本研究使用了 30% 和 80% 两种 FiO₂^[6-7], PaO₂ 与 OI 为血气分析指标, PaO₂ 反映外呼吸的功能状态, OI 反映患者机体的氧合状况,所有患者的术中与术后 PaO₂ 与 OI 数值均在正常范

围,无低氧血症事件发生。本研究结果显示,拔管后 30 min 时,与在术中使用 FiO_2 80% 的患者比较,在术中使用 FiO_2 30% 的患者氧分压与氧合指数均有明显升高,提示术中 FiO_2 30% 维持安全可行,可以明显改善患者术后即刻的氧合功能。高浓度氧的使用会使细胞内活性氧过度生产,从而抑制细胞的抗氧化应激水平和系统修复能力^[19]。根据氧气暴露的浓度和持续时间的不同,过度产生活性氧化物已被确定为导致肺泡和器官炎症损害的原因^[20]。此外,因为肺泡内腔和毛细血管内混合静脉血之间的氧气分压梯度较大,氧气通过肺泡-毛细血管屏障的扩散速度更快,所以使用高浓度氧气增加了呼吸道闭合和肺泡塌陷的机会,促进肺不张的形成^[21-22]。

本研究使用了 EIT 技术比较了老年患者在腹腔镜前列腺癌根治术中不同 FiO_2 对术后即刻肺通气功能的影响。EIT 技术是一种以人体内部的电阻率分布为目标的重建体内组织图象的技术,通过测量局部肺组织在牵张运动时的电阻抗变化反映肺通气,具有实时、无创、无辐射等优点^[23]。CoV 值是反映整体肺通气的几何中心,100% 代表最背侧通气,0% 代表最腹侧通气;静止区是指电阻抗变化小于最大值 10% 的肺区域,代表通气低的区域,DSS 提示肺萎陷和肺不张;NSS 提示肺区已经扩张或过度扩张^[9,24]。本研究结果显示,在拔管后 30 min FiO_2 30% 的患者 DSS 面积百分比明显降低,提示术中使用 FiO_2 30% 能够明显减少患者早期肺萎陷、不张的区域,改善患者术后即刻的肺通气。麻醉和恢复期间 FiO_2 的降低不会引起缺氧事件,反而会减少术后即刻的肺不张^[25-26],本研究结果与之一致。肺不张诱发肺损伤的潜在机制包括邻近良好区域的过度扩张、不张区域的机械应力组织缺氧,肺不张区域促炎因子、活性氧增加和白细胞过度浸润,持续的肺不张将会促进其他肺部并发症的发生^[27]。

本研究结果显示, FiO_2 30% 的患者术后第 1 天 FVC、 FEV_1 和 FEV_1/FVC 均明显升高,且术后第 3 天 FEV_1/FVC 也明显升高,提示术中使用 FiO_2 30% 可改善腹腔镜前列腺癌根治术患者术后 3 天(即术后早期)^[28] 的肺功能,有利于患者预后。本研究观察到术中使用 FiO_2 30% 可降低腹腔镜前列腺癌根治术患者术后 5 d 内肺不张的发生率。肺不张会导致呼吸力学、肺容量改变和气体交换障碍表现为功能残气量降低、肺顺应性降低^[29];通气/血流比例失调、右向左肺内分流增加可导致低氧血症的发生,

从而导致肺功能的损害^[30]。

本研究仍存在以下局限:(1) 仅限于特定手术方式且肺功能无明显异常的老年男性患者,无法推广到所有手术患者;(2) 只比较了 30% 和 80% 两种 FiO_2 对术后肺功能的影响,对于其他区间 FiO_2 的影响还需要进一步的临床研究;(3) 仅使用 EIT 评估患者拔管后 30 min 的肺功能,由于不便在病房使用,未观察术后更长时间的 EIT 结果;(4) 未观察到低 FiO_2 对降低术后肺部并发症发生率的益处,其原因可能是由于本研究样本量计算基于主要指标为 EIT 评价的术后即刻肺通气情况,可能不足以有效观察低 FiO_2 对术后肺部并发症的影响。

综上所述,在老年患者腹腔镜前列腺癌根治术中,相对于 FiO_2 80%,使用 FiO_2 30% 安全可行,可以明显改善术后 30 min 的肺通气与氧合功能,改善患者术后早期肺功能,减少术后肺不张的发生。

参 考 文 献

- [1] Yoon HK, Kim BR, Yoon S, et al. The effect of ventilation with individualized positive end-expiratory pressure on postoperative atelectasis in patients undergoing robot-assisted radical prostatectomy: a randomized controlled trial. *J Clin Med*, 2021, 10(4): 850.
- [2] Fogagnolo A, Montanaro F, Al-Husinat L, et al. Management of intraoperative mechanical ventilation to prevent postoperative complications after general anesthesia: a narrative review. *J Clin Med*, 2021, 10(12): 2656.
- [3] 白颖, 马艳巍, 李亚星, 等. 单肺通气期间不同吸入氧浓度对术中呼吸功能的影响. *临床麻醉学杂志*, 2022, 38(6): 581-586.
- [4] Jiang Z, Liu S, Wang L, et al. Effects of 30% vs. 60% inspired oxygen fraction during mechanical ventilation on postoperative atelectasis: a randomised controlled trial. *BMC Anesthesiol*, 2023, 23(1): 265.
- [5] Li XF, Jiang D, Jiang YL, et al. Comparison of low and high inspiratory oxygen fraction added to lung-protective ventilation on postoperative pulmonary complications after abdominal surgery: a randomized controlled trial. *J Clin Anesth*, 2020, 67: 110009.
- [6] 王娟, 曹小飞, 祁涛. 不同吸入氧浓度对行腹腔镜下结肠癌根治术老年病人术后肺部并发症的影响. *实用老年医学*, 2022, 36(1): 69-72.
- [7] Allegranzi B, Zayed B, Bischoff P, et al. New WHO recommendations on intraoperative and postoperative measures for surgical site infection prevention: an evidence-based global perspective. *Lancet Infect Dis*, 2016, 16(12): e288-e303.
- [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] Buonanno P, Marra A, Iacovazzo C, et al. Electric impedance tomography and protective mechanical ventilation in elective robotic-assisted laparoscopy surgery with steep trendelenburg position: a randomized controlled study. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 2753.
- [10] Jimenez JV, Munroe E, Weirauch AJ, et al. Electric impedance tomography-guided PEEP titration reduces mechanical power in ARDS: a randomized crossover pilot trial. *Crit Care*, 2023, 27(1): 21.
- [11] Jammer I, Wickboldt N, Sander M, et al. Standards for definitions and use of outcome measures for clinical effectiveness research in perioperative medicine: European perioperative clinical outcome (EPCO) definitions: a statement from the ESA-ESICM joint taskforce on perioperative outcome measures. *Eur J Anaesthesiol*, 2015, 32(2): 88-105.
- [12] Cheng M, Ni L, Huang L, et al. Effect of positive end-expiratory pressure on pulmonary compliance and pulmonary complications in patients undergoing robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: a randomized control trial. *BMC Anesthesiol*, 2022, 22(1): 347.
- [13] Gurrbach F, Petroff D, Schulz S, et al. Individualised positive end-expiratory pressure guided by electrical impedance tomography for robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: a prospective, randomised controlled clinical trial. *Br J Anaesth*, 2020, 125(3): 373-382.
- [14] Frantz AM, Fahy BG. Oxygen: can you have too much of a good thing. *J Clin Anesth*, 2021, 74: 110405.
- [15] Reiterer C, Fleischmann E, Taschner A, et al. Perioperative supplemental oxygen and oxidative stress in patients undergoing moderate-to high-risk major abdominal surgery-a subanalysis of randomized clinical trial. *J Clin Anesth*, 2022, 77: 110614.
- [16] Staehr-Rye AK, Meyhoff CS, Scheffenbichler FT, et al. High intraoperative inspiratory oxygen fraction and risk of major respiratory complications. *Br J Anaesth*, 2017, 119(1): 140-149.
- [17] Koksai GM, Dikmen Y, Erbabacan E, et al. Hyperoxic oxidative stress during abdominal surgery: a randomized trial. *J Anesth*, 2016, 30(4): 610-619.
- [18] 马嘉敏, 王宇, 李建华, 等. 围术期肺保护策略的研究进展. *临床麻醉学杂志*, 2021, 37(9): 994-998.
- [19] Ottolenghi S, Rubino FM, Sabbatini G, et al. Oxidative stress markers to investigate the effects of hyperoxia in anesthesia. *Int J Mol Sci*, 2019, 20(21): 5492.
- [20] Maliougina M, El Hiani Y. TRPM2: bridging calcium and ROS signaling pathways-implications for human diseases. *Front Physiol*, 2023, 14: 1217828.
- [21] Singer M, Young PJ, Laffey JG, et al. Dangers of hyperoxia. *Crit Care*, 2021, 25(1): 440.
- [22] Li L, Zhang Y, Wang P, et al. Conservative versus liberal oxygen therapy for acutely ill medical patients: a systematic review and meta-analysis. *Int J Nurs Stud*, 2021, 118: 103924.
- [23] Park J, Lee EK, Lee JH, et al. Effects of inspired oxygen concentration during emergence from general anaesthesia on postoperative lung impedance changes evaluated by electrical impedance tomography: a randomised controlled trial. *J Clin Monit Comput*, 2020, 34(5): 995-1004.
- [24] Zhu C, Yao JW, An LX, et al. Effects of intraoperative individualized PEEP on postoperative atelectasis in obese patients: study protocol for a prospective randomized controlled trial. *Trials*, 2020, 21(1): 618.
- [25] de Jonge S, Egger M, Latif A, et al. Effectiveness of 80% vs 30%-35% fraction of inspired oxygen in patients undergoing surgery: an updated systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth*, 2019, 122(3): 325-334.
- [26] Park M, Jung K, Sim WS, et al. Perioperative high inspired oxygen fraction induces atelectasis in patients undergoing abdominal surgery: a randomized controlled trial. *J Clin Anesth*, 2021, 72: 110285.
- [27] Tusman G, Böhm SH, Warner DO, et al. Atelectasis and perioperative pulmonary complications in high-risk patients. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2012, 25(1): 1-10.
- [28] Gao W, Yang XL, Hu JC, et al. Continuous serratus anterior plane block improved early pulmonary function after lung cancer surgical procedure. *Ann Thorac Surg*, 2022, 113(2): 436-443.
- [29] Lagier D, Zeng C, Fernandez-Bustamante A, et al. Perioperative pulmonary atelectasis: part II. Clinical implications. *Anesthesiology*, 2022, 136(1): 206-236.
- [30] Hol L, Nijbroek S, Schultz MJ. Perioperative lung protection: clinical implications. *Anesth Analg*, 2020, 131(6): 1721-1729.

(收稿日期:2023-09-01)