

· 临床研究 ·

滴定个体化呼气末正压对全麻俯卧位脊柱手术老年患者呼吸功能的影响

谢阳 杨芬 赵李红 沈军 刘海瑞 谢红

【摘要】 目的 探讨滴定个体化呼气末正压(PEEP)对全麻俯卧位脊柱手术老年患者术中呼吸和循环的影响。方法 选择择期全麻下行俯卧位脊柱手术老年患者 80 例,男 39 例,女 41 例,年龄 ≥ 65 岁,ASA II 或 III 级。根据术中是否滴定获取个体化 PEEP 将患者随机分为两组:滴定组和对照组,每组 40 例。滴定组从 0 cmH_2O 开始递增至 20 cmH_2O ,PEEP 变化梯度为 2 cmH_2O 获取个体化 PEEP;对照组 PEEP 恒定为 5 cmH_2O 并通气至手术结束。记录滴定过程中每个 PEEP 水平持续 1 min 时动态肺顺应性(C_{dyn}),将 C_{dyn} 最大时的 PEEP 定为个体化 PEEP。记录俯卧位时(T_0)、PEEP 通气 10 min(T_1)、30 min(T_2)、60 min(T_3)、手术结束(T_4)、拔管后 20 min(T_5)的 MAP、HR、CVP,记录 T_0 — T_4 时平均气道压(P_{mean})和 C_{dyn} 。 T_0 — T_5 时行血气分析,计算肺内分流率(Q_s/Q_t)和氧合指数(OI)。记录机械通气过程中去氧肾上腺素使用和术后肺部并发症情况。**结果** 滴定组所获取的个体化 PEEP 为(12.38 \pm 2.67) cmH_2O 。 T_0 — T_5 时两组 MAP、HR、CVP 差异无统计学意义。 T_0 — T_4 时两组 P_{mean} 差异无统计学意义。 T_2 — T_4 时滴定组 C_{dyn} 明显高于对照组($P < 0.05$), Q_s/Q_t 明显低于对照组($P < 0.05$)。 T_2 — T_3 时滴定组 OI 明显高于对照组($P < 0.05$)。滴定组去氧肾上腺素使用率明显高于对照组[10 例(25%) vs 3 例(8%), $P < 0.05$]。滴定组术后肺部并发症发生率明显低于对照组[2 例(5%) vs 8 例(20%), $P < 0.05$]。**结论** 与恒定 PEEP 5 cmH_2O 比较,俯卧位脊柱手术老年患者术中滴定个体化 PEEP,能够更好地改善氧合,降低肺内分流率,减少术后肺部并发症。

【关键词】 脊柱手术;俯卧位;滴定;个体化;呼气末正压;老年

Effect of titration method on individualized positive end-expiratory pressure in elderly patients undergoing spinal surgery in prone position under general anesthesia XIE Yang, YANG Fen, ZHAO Li-hong, SHEN Jun, LIU Hairui, XIE Hong. Gusu School, Nanjing Medical University; Department of Anesthesiology, the Affiliated Suzhou Hospital of Nanjing Medical University, Suzhou Municipal Hospital, Suzhou 215002, China

Corresponding author: XIE Yang, Email: xieyang@163.com

【Abstract】 Objective To explore the effect of titration of individualized positive end-expiratory pressure (PEEP) on the respiration and circulation of elderly patients undergoing prone spine surgery under general anesthesia. **Methods** Eighty patients undergoing spinal surgery in prone position under general anesthesia, 39 males and 41 females, aged ≥ 65 years, ASA physical status II or III, were included in this study. According to the intraoperative titration increment to obtain individualized PEEP, the patients were randomly divided into titration group and control group, with 40 patients in each group. In the titration group, the titration method of PEEP started from 0 cmH_2O and increased to 20 cmH_2O . PEEP of the control group was constant at 5 cmH_2O and ventilated to the end of the operation. The gradient of change in PEEP during titration was 2 cmH_2O in all patients. The dynamic pulmonary compliance (C_{dyn}) of end-expiration displayed by the anesthesia machine was recorded at 1 min of each PEEP level during the titration, and the PEEP at the maximum C_{dyn} was set as the individualized PEEP obtained by the titration method. MAP, HR, and CVP were recorded in the prone position (T_0), individualized PEEP ventilation for 10 minutes (T_1), 30 minutes (T_2), 60 minutes (T_3), the end of the operation (T_4), and 20 minutes after extubation (T_5). The mean airway pressure (P_{mean}) and C_{dyn} were recorded at T_0 — T_4 . Blood gas analysis was performed at T_0 — T_5 to calculate the intrapulmonary shunt rate (Q_s/Q_t) and OI ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$). The number of

DOI: 10.12089/jca.2021.07.003

基金项目:江苏省科技厅社会发展重点研发项目(BE2017661);苏州市民生科技医疗卫生应用基础研究(SYS201772)

作者单位:215002 南京医科大学姑苏学院 南京医科大学附属苏州医院 苏州市立医院麻醉科(谢阳、杨芬、赵李红),骨外科(沈军);苏州大学附属第二医院麻醉科(刘海瑞、谢红)

通信作者:谢阳,Email: xieyang@163.com

phenylephrine use and postoperative pulmonary complications during mechanical ventilation were recorded.

Results The individualized PEEP obtained by titration in the titration group were (12.38 ± 2.67) cm H₂O. There were no statistically significant differences in MAP, HR, and CVP between the two groups at T₀-T₅. There was no significant difference in Pmean between the two groups at T₀-T₄. Cdyn in the titration group was significantly higher than that in the control group at T₂-T₄ ($P < 0.05$), and Qs/Qt in the titration group was significantly lower than that in the control group at T₂-T₄ ($P < 0.05$). OI in the titration group was significantly higher than that in the control group at T₂-T₅ ($P < 0.05$). The use rate of phenylephrine in the titration group was significantly higher than that in the control group [10 patients (25%) vs 3 patients (8%), $P < 0.05$]. The incidence of postoperative pulmonary complications in the titration group was significantly lower than that in the control group [2 patients (5%) vs 8 patients (20%), $P < 0.05$].

Conclusion Individualized PEEP in elderly patients undergoing prone spine surgery improves oxygenation, reduces intrapulmonary shunt rate and postoperative pulmonary complications compared with a constant PEEP 5 cmH₂O.

【Key words】 Spinal surgery; Prone position; Titration; Individualized; Positive end-expiratory pressure; Aged

外科脊柱疾病患者以老年居多,其呼吸系统功能逐年减退,且手术时间往往较长,术中俯卧位引起胸腔压力上升,腔静脉回流受阻,易导致呼吸循环障碍、肺不张^[1]。肺不张是俯卧位手术常见的术后并发症之一,而术中保护性肺通气策略^[2-4]可有效预防肺不张的发生。呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)尤其是个体化 PEEP,是保护性肺通气的重要组成部分^[5]。由于患者之间存在个体差异,标准化、固定的 PEEP 无法适用于所有患者。一方面,PEEP 过低不能使肺泡充分开放,不能充分地改善氧合避免肺不张等并发症;另一方面,PEEP 过高会使肺泡过度膨胀,增加肺损伤的风险且对循环影响较大^[6-8]。本研究拟探讨滴定个体化 PEEP 对全麻俯卧位脊柱手术老年患者呼吸功能的影响,为临床应用提供参考。

资料与方法

一般资料 本研究已获医院伦理委员会批准(SZSLYY-LK-2019-009-02),患者签署知情同意书。选择 2019 年 8 月至 2020 年 4 月择期俯卧位脊柱手术患者,性别不限,年龄 ≥ 65 岁, BMI 18.5~28.0 kg/m², ASA II 或 III 级,无明显心肺疾病。排除标准:存在慢性阻塞性肺疾病、肺癌等慢性肺部基础疾病,胸廓畸形、气胸、大量胸腔积液等会影响呼吸系统顺应性的情况,合并严重肝肾功能不全、心脑血管疾病等, FEV₁/FVC < 70%。剔除标准:个体化 PEEP 滴定过程中,机械通气的气道峰压(P_{peak}) > 40 cmH₂O,术中出現大出血、过敏性休克等严重并发症。

麻醉方法 患者入室后监测 SpO₂、ECG、BP,局麻下行右桡动脉穿刺置管,监测有创动脉压。自主

呼吸面罩吸纯氧 5 min,麻醉诱导采用舒芬太尼 0.25~0.30 μg/kg、依托咪酯 0.20~0.30 mg/kg、罗库溴铵 0.60 mg/kg,气管插管成功后接麻醉机行容量控制机械通气。通气参数设置:V_T 6 ml/kg(标准体重), FiO₂ 60%,新鲜气流量 1 L/min, I : E 1 : 2。调整 RR 维持 P_{ET}CO₂ 30~35 mmHg。麻醉维持:静脉泵注丙泊酚 3~4 mg · kg⁻¹ · h⁻¹ 和瑞芬太尼 4~8 μg · kg⁻¹ · h⁻¹,维持 BIS 40~60,间断静注罗库溴铵 0.2 mg/kg。输注复方乳酸钠 10~20 ml · kg⁻¹ · h⁻¹。术中监测 CVP、P_{ET}CO₂、平均气道压(Pmean)、动态肺顺应性(dynamic pulmonary compliance, Cdyn)等。

分组与处理 根据术中是否滴定个体化 PEEP 将患者随机分为两组:滴定组和对照组。调整滴定组患者体位至俯卧水平位,手术开始前记录 MAP,并开始进行个体化 PEEP 的滴定。滴定组从 PEEP 0 cmH₂O 开始,每隔 2 min 增加 2 cmH₂O,逐级递增至 PEEP 20 cmH₂O 结束滴定^[9]。预试验结果显示,每个 PEEP 水平持续 1 min 和 2 min 时的 Cdyn 和氧合指数(oxygenation index, OI)差异无统计学意义。因此,本研究记录滴定过程中每个 PEEP 水平持续 1 min 时呼气末 Cdyn,将 Cdyn 最大时的 PEEP 定为患者的个体化 PEEP^[10]。滴定组以个体化 PEEP 通气至手术结束。对照组设置 PEEP 5 cmH₂O 通气至手术结束。术中 MAP 下降幅度超过基础值的 10% 时,给予去氧肾上腺素 0.1 mg。

观察指标 记录滴定组各 PEEP 水平滴定 1 min 时 Cdyn、MAP,并计算 OI(PaO₂/FiO₂)。记录俯卧位时(T₀)、PEEP 通气 10 min(T₁)、30 min(T₂)、60 min(T₃)、手术结束(T₄)、拔管后 20 min(T₅)的 MAP、HR、CVP,记录 T₀-T₄ 时呼吸力学指标(Pmean、Cdyn)。于 T₀-T₅ 时采集桡动脉血和中心

静脉血各 1 ml 行血气分析,计算肺内分流率(Q_s/Q_t)和 OI。记录机械通气过程中去氧肾上腺素使用和术后肺部并发症的发生情况。

统计分析 采用 SPSS 20.0 软件行统计学分析。依据预试验结果, $\alpha = 0.05$, 检验效能 $1 - \beta = 0.8$, 采用双侧检验, 计算每组的最小样本量为 32 例, 考虑 20% 失访率, 故本研究每组纳入患者 40 例。正态分布计量资料以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用成组 t 检验, 组内比较采用重复测量数据方差分析。计数资料以例 (%) 表示, 组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

本研究共纳入患者 80 例, 每组 40 例。两组患者性别、年龄、BMI、ASA 分级、机械通气时间、手术时间、FEV₁/FVC、丙泊酚、瑞芬太尼和复方乳酸钠用量差异无统计学意义(表 1)。

表 1 两组患者一般情况的比较

指标	滴定组 (n=40)	对照组 (n=40)
男/女(例)	18/22	21/19
年龄(岁)	68.2 \pm 6.4	67.7 \pm 6.8
BMI(kg/m ²)	26.8 \pm 4.3	25.7 \pm 3.5
ASA II/III级(例)	16/24	18/22
机械通气时间(h)	3.1 \pm 0.8	3.2 \pm 0.7
手术时间(h)	2.4 \pm 0.5	2.5 \pm 0.6
FEV ₁ /FVC(%)	87.1 \pm 4.9	86.7 \pm 5.2
丙泊酚(mg)	258.6 \pm 37.5	267.3 \pm 41.8
瑞芬太尼(μ g)	185.3 \pm 77.9	173.6 \pm 82.4
复方乳酸钠(ml)	363.7 \pm 87.3	382.3 \pm 90.5

滴定组所获取的个体化 PEEP 为 (12.38 \pm 2.67) cmH₂O。与 PEEP 0 cmH₂O 时比较, 滴定组 PEEP 为 12、14、16 和 18 cmH₂O 时 Cdyn 和 OI 明显升高 ($P < 0.05$), PEEP 为 16、18 和 20 cmH₂O 时 MAP 明显降低 ($P < 0.05$) (表 2)。

T₀—T₅ 时两组 MAP、HR、CVP 差异无统计学意义(表 3)。

T₀—T₄ 时两组 Pmean 差异无统计学意义。T₀、T₁ 时两组 Cdyn 差异无统计学意义。T₂—T₄ 时滴定

表 2 滴定组各 PEEP 水平滴定 1 min 时 Cdyn、MAP 和 OI 的比较 ($\bar{x} \pm s, n = 40$)

PEEP (cmH ₂ O)	Cdyn (ml/cmH ₂ O)	MAP (mmHg)	OI (mmHg)
0	24.89 \pm 4.78	83.76 \pm 8.34	362.41 \pm 64.78
2	24.98 \pm 5.00	83.11 \pm 7.80	367.98 \pm 65.00
4	25.44 \pm 4.85	82.97 \pm 8.23	370.44 \pm 64.85
6	25.83 \pm 5.80	82.22 \pm 7.80	374.33 \pm 75.80
8	26.77 \pm 5.78	82.01 \pm 7.87	377.64 \pm 71.78
10	27.03 \pm 5.53	81.62 \pm 7.85	389.93 \pm 61.53
12	29.49 \pm 6.07 ^a	81.27 \pm 9.23	422.49 \pm 46.07 ^a
14	29.81 \pm 5.39 ^a	80.83 \pm 7.39	427.81 \pm 55.39 ^a
16	28.86 \pm 5.36 ^a	79.96 \pm 8.63 ^a	399.86 \pm 75.36 ^a
18	27.89 \pm 5.40 ^a	78.44 \pm 7.68 ^a	391.49 \pm 57.40 ^a
20	27.11 \pm 5.69	77.63 \pm 9.37 ^a	380.13 \pm 65.69

注:与 PEEP 0 cmH₂O 比较, ^a $P < 0.05$

组 Cdyn 明显高于对照组 ($P < 0.05$) (表 4)。

T₀、T₁、T₅ 时两组 Qs/Qt 差异无统计学意义。T₂—T₄ 时滴定组 Qs/Qt 明显低于对照组 ($P < 0.05$)。T₀、T₁ 时两组 OI 差异无统计学意义。T₂—T₅ 时滴定组 OI 明显高于对照组 ($P < 0.05$)。与 T₁ 时比较, T₂—T₄ 时滴定组 Qs/Qt 明显降低 ($P < 0.05$), OI 明显升高 ($P < 0.05$) (表 5)。

滴定组去氧肾上腺素使用率明显高于对照组 [10 例 (25%) vs 3 例 (8%), $P < 0.05$]。滴定组术后肺部并发症发生率明显低于对照组 [2 例 (5%) vs 8 例 (20%), $P < 0.05$]。

讨 论

当患者俯卧位后, Cdyn 出现下降意味着肺泡塌陷的出现, 适当的 PEEP 可以复张塌陷的肺泡^[9]。本研究结果显示, 和固定的 PEEP 比较, 根据 Cdyn 滴定出个体化 PEEP (12.38 \pm 2.67) cmH₂O, 患者 PaO₂、OI 更高, Qs/Qt 更小, 能够使更多的肺泡保持开放, 同时又不增加肺循环阻力, 使通气血流比例得到改善。当 Cdyn 逐渐上升, 说明越来越多的肺泡被复张; 而当其到达顶峰并开始下降时, 则说明肺泡复张量已达最大值, 更高的气压可能加重气道及肺泡的损伤^[10]。有研究^[11-12]使用 PEEP 12 cmH₂O 作为肺复张的手段, 取得了较明显的效果。本研究

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

指标	组别	例数	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
MAP (mmHg)	滴定组	40	74.82±8.53	84.94±13.92	76.15±8.80	80.52±8.76	84.51±13.44	85.56±12.08
	对照组	40	77.61±10.02	86.63±16.27	80.16±12.54	84.83±10.61	86.90±9.93	86.91±9.98
HR (次/分)	滴定组	40	60.03±7.42	71.81±14.66	72.13±9.92	71.56±11.03	75.62±12.61	84.93±12.11
	对照组	40	63.92±9.33	73.82±12.69	75.84±11.78	74.22±11.27	75.68±13.56	83.85±14.16
CVP (cmH ₂ O)	滴定组	40	6.86±2.04	8.62±2.53	9.82±2.51	9.46±2.13	7.58±1.96	5.67±2.42
	对照组	40	6.36±2.39	8.51±2.27	8.76±1.89	8.55±1.76	7.62±2.35	5.73±1.86

表 4 两组患者不同时点 Pmean 和 Cdyn 的比较($\bar{x}\pm s$)

指标	组别	例数	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Pmean (cmH ₂ O)	滴定组	40	17.44±2.12	18.61±3.11	19.83±2.86	19.75±2.65	18.56±3.21
	对照组	40	16.26±2.41	19.23±3.24	20.47±4.55	21.37±4.16	17.74±3.18
Cdyn (ml/cmH ₂ O)	滴定组	40	24.88±7.84	26.59±9.47	30.56±4.99 ^a	30.78±4.46 ^a	31.26±5.86 ^a
	对照组	40	25.09±9.32	25.87±9.62	26.03±5.52	25.81±5.39	27.62±5.23

注:与对照组比较,^a $P<0.05$

表 5 两组患者不同时点 Qs/Qt 和 OI 的比较($\bar{x}\pm s$)

指标	组别	例数	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Qs/Qt	滴定组	40	9.78±4.54	9.56±3.39	8.01±3.43 ^{ab}	7.81±3.72 ^{ab}	7.21±4.64 ^{ab}	8.19±4.42
	对照组	40	10.16±3.96	9.74±3.32	9.67±3.57	9.48±3.64	9.36±4.92	9.65±4.31
OI (mmHg)	滴定组	40	354.50±67.48	389.43±78.94	422.16±59.95 ^{ab}	431.53±60.40 ^{ab}	442.91±61.67 ^{ab}	415.91±53.51 ^a
	对照组	40	355.97±69.34	380.81±79.62	389.82±51.78	394.43±67.32	402.22±66.48	383.64±54.19

注:与对照组比较,^a $P<0.05$;与 T₁ 比较,^b $P<0.05$

PEEP 通气 30、60 min 以及手术结束时,个体化 PEEP 患者的 Cdyn 均比固定 PEEP 患者高。

在使用较大 PEEP 通气时,由于胸腔内压力增高、回心血量降低,可出现血压降低的情况,这也是使用 PEEP 进行肺复张时需要严密监测循环的原因^[13]。术中低血压是影响手术预后的重要因素,参照近年的围术期血压控制指南,为减少滴定过程对循环的影响,本研究中选择 MAP 降低 10% 即使用去氧肾上腺素升压^[14]。本研究滴定个体化 PEEP 的患者去氧肾上腺素使用率明显高于固定 PEEP 的患者。有研究^[15-16]表明,PEEP<10 cmH₂O 时对血液动力学影响不大,PEEP 20 cmH₂O 可引起一定程度血压下降^[5],但当 PEEP 达到 30 cmH₂O 时才会引起明显的心指数降低^[17-18],故临床上常以 20

cmH₂O 作为滴定 PEEP 的最高值。在本研究中,滴定 PEEP 患者的 MAP 降低主要集中在 PEEP 值达到 16~20 cmH₂O 时。

术后肺部并发症是影响患者预后的重要因素,本研究滴定个体化 PEEP 的患者术后肺部并发症明显少于固定 PEEP 患者。由此认为,个体化 PEEP 在改善患者预后方面具有一定的优势。

目前,在滴定个体化 PEEP 的研究中,每个 PEEP 水平持续时间并无统一,时间由 30 s 至 10 min 不等^[19-20]。滴定过程中需要完成顺应性曲线,而在滴定 PEEP 时,由于手术操作等影响患者的 Cdyn 一直在动态变化中,过短的 PEEP 维持时间为确定真实的 Cdyn 增加了难度,而过长的时间间隔不仅增加了滴定的时间,同时增加了肺损伤和低血压的风险^[21-22]。本研究结果显示,滴定过程中每个

PEEP 水平持续 1 min 即可获得满意的个体化 PEEP 且对呼吸、循环影响较小。本研究选择在手术开始阶段进行个体化 PEEP 的滴定,但机械通气过程中肺的通气功能会有所改变,因此,手术进行较长时间后需要的 PEEP 水平可能会有所改变。另外,肥胖和中青年患者在行俯卧位脊柱手术时的个体化 PEEP 还有待进一步的研究。

综上所述,与恒定 5 cmH₂O 的 PEEP 比较,滴定俯卧位脊柱手术老年患者术中个体化 PEEP,能够更好地改善氧合,降低肺内分流率,降低术后肺部并发症,且滴定过程中每个 PEEP 水平持续 1 min 即可。

参 考 文 献

- [1] 林华斌,程芳,黄敏,等.老年患者腹腔镜手术后早期肺部并发症的影响因素.实用医学杂志,2018,34(13):2213-2216.
- [2] Spadaro S, Karbing DS, Mauri T, et al. Effect of positive end-expiratory pressure on pulmonary shunt and dynamic compliance during abdominal surgery. *Br J Anaesth*, 2016, 116(6): 855-861.
- [3] Al-Otaibi K. Complications of 411 laparoscopic urological procedures: a single surgeon experience. *Urol Ann*, 2018, 10(3): 308-312.
- [4] 刘淑芳,田首元,李超,等.间歇呼吸暂停联合低水平 PEEP 通气策略在输尿管软镜手术中的应用.临床麻醉学杂志,2020,36(9):881-885.
- [5] Pereira SM, Tucci MR, Morais C, et al. Individual positive end-expiratory pressure settings optimize intraoperative mechanical ventilation and reduce postoperative atelectasis. *Anesthesiology*, 2018, 129(6): 1070-1081.
- [6] 张爱园,黄中伟.严重脓毒症患者高呼气末正压肺复张对其呼吸力学和血流动力学的影响.临床肺科杂志,2019,24(6):988-991.
- [7] Mazzinari G, Diaz-Cambronero O, Alonso-Inigo JM, et al. Intraabdominal pressure targeted positive end-expiratory pressure during laparoscopic surgery: an open-label, nonrandomized, crossover, clinical trial. *Anesthesiology*, 2020, 132(4): 667-677.
- [8] Spadaro S, Mauri T, Böhm SH, et al. Variation of poorly ventilated lung units (silent spaces) measured by electrical impedance tomography to dynamically assess recruitment. *Crit Care*, 2018, 22: 26.
- [9] Park M, Ahn HJ, Kim JA, et al. Driving pressure during thoracic surgery: a randomized clinical trial. *Anesthesiology*, 2019, 130(3): 385-393.
- [10] 苏学森,田首元,王鑫,等.Cdyn 指导 PEEP 滴定对机器人辅助前列腺癌根治术老年患者血管外肺水的影响.中华麻醉学杂志,2019,39(4):415-417.
- [11] Nieman GF, Satalin J, Andrews P, et al. Personalizing mechanical ventilation according to physiologic parameters to stabilize alveoli and minimize ventilator induced lung injury (VILI). *Intensive Care Med Exp*, 2017, 5(1): 8.
- [12] 钟海燕,乌兰娜日,都义日.术中呼气末正压通气对睡眠呼吸暂停综合征患者血管内皮功能的影响.临床麻醉学杂志,2018,34(5):456-458.
- [13] Zhao Z, Chang MY, Chang MY, et al. Positive end-expiratory pressure titration with electrical impedance tomography and pressure-volume curve in severe acute respiratory distress syndrome. *Ann Intensive Care*, 2019, 9(1): 7.
- [14] D'Antini D, Huhle R, Herrmann J, et al. Respiratory system mechanics during low versus high positive end-expiratory pressure in open abdominal surgery: a substudy of PROVHILO randomized controlled trial. *Anesth Analg*, 2018, 126(1): 143-149.
- [15] 黄国梁,李娜,袁益清,等.呼气末正压对急性呼吸窘迫综合征患者腹腔内压的影响研究.现代诊断与治疗,2017,(2):220-221,282.
- [16] 白玉树,翟晓,陈自强,等.退变性脊柱侧凸手术加速康复外科围手术期管理策略专家共识.第二军医大学学报,2020,41(3):233-242.
- [17] 李晓东,李甜,邸兴伟.基于肺动脉压力导向的最佳呼气末正压对 ARDS 患者氧合指数及血流动力学的影响研究.中国急救医学,2020,40(7):619-623.
- [18] 徐腾霄,杨建中,彭鹏.急性呼吸窘迫综合征机械通气时不同呼气末正压水平对每搏量变异度的影响.中华急诊医学杂志,2016,25(3):305-309.
- [19] Soares J, Pavlisko N, Guerrero NH, et al. Cardiovascular and respiratory mechanics effects during an alveolar recruitment maneuver followed by a positive end-expiratory pressure (PEEP) titration in dogs anesthetized with isoflurane. *Vet Anaesth Analg*, 2017, 44(2): 1262-1266.
- [20] 程江丽,杨杰,康焰.急性呼吸窘迫综合征机械通气患者呼气末正压设定的方法.中国呼吸与危重监护杂志,2019,18(6):591-594.
- [21] 黄丽萍,符晖,王桥生,等.不同方法滴定呼气末正压对急性呼吸窘迫综合征患者循环动力学的影响.广东医学,2017,38(14):2141-2146.
- [22] 李根,荣令,赵美景,等.床旁超声导向的最佳呼气末正压对急性呼吸窘迫综合征患者氧合指数及血流动力学的影响研究.中国全科医学,2019,22(5):616-620.

(收稿日期:2020-07-02)