doi:10.11659/jjssx.11E025059

·智能麻醉与围术期策略·

驱动压导向个体化PEEP对俯卧位全麻脊柱手术患者肺功能的影响

董俊锋[1],蔡秋萍[2],刘 伟[2],黄振基[1],黄洪祥[1] (1.深圳市龙华区人民医院麻醉科,广东 深圳 518100;2.大连市中心医院麻醉科,辽宁 大连 116000)

[摘 要] **目的** 探究驱动压(DP)导向的个体化呼气末正压(PEEP)对俯卧位全麻脊柱手术患者肺功能与氧合指数的影响。**方法** 选择2020年10月至2021年10月大连市中心医院收治的95例行择期俯卧位全麻脊柱手术的患者,随机分为固定组(n=47)和个体化组(n=48)。固定组患者设定PEEP为5 cmH_2O,潮气量(VT)为6 mL/kg,无肺复张手法;个体化组患者采用DP导向的个体化PEEP,VT同固定组,无肺复张手法。比较2组患者的手术指标,入室吸氧前(T0)、机械通气后30 min(T1)、机械通气后1 h(T2)、机械通气后2 h(T3)及入麻醉复苏室后30 min(T4)的氧合指数[动脉血氧分压(PaO_2)/吸入氧浓度(FiO_2)]。比较2组患者T1、T2、T3的肺功能[气道峰压(Ppeak)、气道平均压(Pmean)、肺顺应性(Cldyn)],T0、术后1 d(T5)、术后3 d(T6)的炎症因子指标[中性粒细胞计数(NEUT)、白细胞计数(WBC)、C反应蛋白(CRP)]及术后30 d的肺部并发症发生率。**结果** 2组患者手术指标与肺部并发症发生率比较,差异均无统计学意义(P>0.05)。个体化组患者T2、T3、T4的PaO_2/FiO_2均高于固定组(P<0.05)。个体化组患者T1、T2、T3的Cldyn均大于固定组(P<0.05),Ppeak、Pmean均小于固定组(P<0.05)。个体化组患者T5的WBC低于固定组(P<0.05),T5、T6的CRP低于固定组(P<0.05)。**结论** DP导向的个体化PEEP可有效改善俯卧位全麻脊柱手术患者的氧合状态与肺功能,同时有助于减轻术后炎症反应,且不增加手术相关风险及肺部并发症发生率,可为患者提供更为有效的优化策略。

[关键词] 驱动压;呼气末正压;肺功能;氧合指数

[中图分类号] R614.2 [文献标志码] A [收稿日期] 2025-11-11

Effects of driving pressure-guided individualized PEEP on pulmonary function in patients undergoing spinal surgery under general anesthesia in the prone position

DONG Jun-feng[1], CAI Qiu-ping[2], LIU Wei[2], HUANG Zhen-ji[1], HUANG Hong-xiang[1] (1. Department of Anesthesiology, Longhua District People's Hospital, Shenzhen Guangdong 518100, China; 2. Department of Anesthesiology, Dalian Central Hospital, Dalian Liaoning 116000, China)

Abstract: Objective To investigate the effects of driving pressure (DP)-guided individualized positive end-expiratory pressure (PEEP) on pulmonary function and oxygenation index in patients undergoing spinal surgery under general anesthesia in the prone position. **Methods** A

[基金项目] 广东省卫生健康委员会科研项目(20230676)

[9] Chen N, Qiao Q, Chen R, et al. The effect of ultrasound-guided intercostal nerve block, single-injection erector spinae plane block and multiple-injection paravertebral block on postoperative analgesia in thoracoscopic surgery: arandomized, double-blinded, clinical trial[J]. J Clin Anesth, 2020, 59: 106-111. doi: 10.1016/j. jclinane. 2019.07.002.

[10] 孟 杰,肖 航,曾宪伟,等. 超声引导下前锯肌平面阻滞对胸腔镜肺癌根治术术后镇痛及炎性反应的影响[J]. 临床肺科杂志, 2018, 23(5): 913-916. doi: 10.3969/j. issn. 1009-6663.2018.05.038.

[11] 孙 晶,郑江波,朱俊峰. 超声引导下单次前锯肌平面阻滞对胸腔镜患者术后镇痛效应及炎性反应的影响[J]. 中华生物医学工程杂志,2019,25(5):590-593. doi:10.3760/cma. j. issn. 1674-1927.2019.05.014.

[12] Hanley C, Wall T, Bukowsk I, et al. Ultrasound-guided continuous deep serratus anterior plane block versus continuous thoracic paravertebral block for perioperative analgesia in videoscopic-assisted thoracic surgery[J]. Eur J Pain,2020,24(4):828-838. doi:10.1002/ejp.1533.

[13] Kim DH, Oh YJ, Lee JG, et al. Efficacy of ultrasound-guided serratus plane block on postoperative quality of recovery and analgesia after video-assisted thoracic surgery: arandomized, triple-blind, placebo-controlled study[J]. Anesth Analg, 2018, 126(4): 1353-1361. doi:10.1213/ANE.0000000000002779.

[14] 宗 雨,谢言虎,胡利国,等. 超声引导下前锯肌平面阻滞对胸腔镜下肺叶切除术患者术后镇痛的影响[J]. 天津医药,2019,47(2):163-166. doi:10.11958/20181314.

[15] Khalil AE, Abdallah NM, Bashandy GM, et al. Ultrasound-guided serratus anterior plane block versus thoracic epidural analgesia for thoracotomy pain[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth,2017,31(1):152-158. doi:10.1053/j. jvca. 2016.08.023.

[16] Beloeil H, Gentili M, Benhamou D, et al. The effect of a peripheral block on inflammation-induced prostaglandin E2 and cyclooxygenase expression in rats[J]. Anesth Analg, 2009, 109(3): 943-950. doi: 10.1213/ane.0b013e3181aff25e.

(编辑:贺绍梅)

total of 95 patients who underwent elective spinal surgery under general anesthesia in the prone position at Dalian Central Hospital from October 2020 to October 2021 were randomly divided into the fixed group (n=47) and the individualized group (n=48). Patients in the fixed group received a PEEP of 5 cmH_2O and a tidal volume (VT) of 6 mL/kg, without lung recruitment maneuvers. Patients in the individualized group received DP-guided individualized PEEP with the same VT as the fixed group and also without lung recruitment maneuvers. The surgical indicators and the oxygenation index [arterial partial pressure of oxygen (PaO_2)/fraction of inspired oxygen (FiO_2)] before oxygen inhalation upon operating room entry (T0), 30 minutes after mechanical ventilation (T1), 1 hour after mechanical ventilation (T2), 2 hours after mechanical ventilation (T3), and 30 minutes after admission to the post-anesthesia care unit (T4) were compared between the two groups. The pulmonary function [peak airway pressure (Ppeak), mean airway pressure (Pmean), dynamic lung compliance (Cldyn)] at T1, T2, and T3, the inflammatory factors [neutrophil count (NEUT), white blood cell count (WBC), C-reactive protein (CRP)] at T0, 1 day postoperatively (T5) and 3 days postoperatively (T6), and the incidence of pulmonary complications at 30 days postoperatively were compared between the two groups. **Results** There was no statistically significant difference in the surgical indicators or the incidence of pulmonary complications between the two groups (P>0.05). The individualized group had higher PaO_2/FiO_2 ratios at T2, T3, and T4, greater Cldyn at T1, T2, and T3, and lower Ppeak and Pmean than the fixed group (P<0.05). The individualized group had lower WBC at T5, and lower CRP at T5, T6 than the fixed group (P<0.05). **Conclusion** DP-guided individualized PEEP can effectively improve the oxygenation status and pulmonary function in patients undergoing spinal surgery under general anesthesia in the prone position. It may also help alleviate postoperative inflammatory reactions without increasing surgical-related risks or the incidence of pulmonary complications, thereby providing more effective optimization strategies for patients.

Keywords: driving pressure; positive end-expiratory pressure; pulmonary function; oxygenation index

俯卧位是脊柱手术的常见体位,可为手术提供良好的视野和操作空间,利于降低手术操作难度,但会压迫胸腔、阻碍呼吸,影响呼吸系统稳定性,增加肺部并发症风险,影响术后恢复与预后[1]。近年来,驱动压(driving pressure,DP)导向的个体化呼气末正压(positive end-expiratory pressure,PEEP)策略逐渐受到关注[2]。DP反映肺泡应力和通气效率,与肺损伤风险相关,DP导向的个体化PEEP可优化通气、保护肺功能[3-4]。该策略已在多种手术及急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome,ARDS)患者中显示出优势,但俯卧位脊柱手术患者呼吸力学特殊,该策略在脊柱手术中的应用效果尚缺乏针对性验证。本研究通过优化干预措施、完善检测指标及统计设计,进一步探讨DP导向的个体化PEEP对俯卧位全麻脊柱手术患者肺功能、氧合指数及炎症反应的影响,以期为临床提供更具针对性的通气管理方案。

1 资料与方法

1.1 临床资料

样本量计算:基于预实验数据,设定主要结局指标氧合指数[动脉血氧分压(arterial partial pressure of oxygen,PaO_2)/吸入氧浓度(fraction of inspired oxygen,FiO_2)]的效应量为0.8,α=0.05,β=0.2,通过PASS 15.0软件计算得出每组需至少47例患者。

选择2020年10月至2021年10月在大连市中心医院行择期俯卧位全麻脊柱手术的患者95例,随机分为固定组(47例)和个体化组(48例)。本研究采用单盲设计,由独立第三方生成随机分组代码;检测指标由实验室人员在盲态下完成,避免测量偏倚。本研究经大连市中心医院伦理委员会批准(批准号:DL20200819),患者对本研究知情同意。2组患者一般资料比较,差异无统计学意义(P>0.05),见表1。

纳入标准:①美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists,ASA)分级为Ⅰ/Ⅱ级;②肺功能无异常;③体质量指数(body mass index,BMI)18.5~28 kg/m^2;④择期行俯卧位全麻脊柱手术,时间预计超过2 h。排除标准:①合并严重肝、肾功能不全;②术中出现休克等严重并发症;③术前14 d接受机械通气;④有进行性神经肌肉疾病史。剔除标准:①术中SpO_2<88%;②术中出现新发心律失常;③心动过速(心率>140次/分)或过缓(心率<50次/分);④平均动脉压低于60 mmHg。

表1 2组患者一般资料比较

组别	n	性别[例(%)]		年龄(岁)	BMI(kg/m^2)	ASA分级[例(%)]	
		男	女			Ⅰ级	Ⅱ级
个体化组	48	25(52.08)	23(47.92)	56.85±12.53	23.72±2.80	19(39.58)	29(60.42)
固定组	47	26(55.32)	21(44.68)	54.22±11.79	24.17±2.64	21(44.68)	26(55.32)
t/χ^2		0.100		1.053	0.806	0.253	
P		0.752		0.295	0.423	0.615	

1.2 治疗方法

患者入室后,连接心电图、无创血压、脉搏血氧饱和度、麻醉深度监护仪等并实施肌松监测。建立外周静脉通路后,于局麻下行桡动脉穿刺置管,监测有创动脉压。随后按常规流程诱导麻醉,术中采用容量模式机械通气、静吸复合维持麻醉,术后予镇痛及常规处理。

固定组患者于气管插管后、机械通气初始阶段(即手术开始前)实施肺复张手法(压力控制法,吸气压力30~35 cmH_2O,维持30 s)后,采用常规保护性通气策略,设定PEEP为5 cmH_2O,潮气量(tidal volume,VT)为6 mL/kg,全程不再应用肺复张手法。

个体化组与固定组VT设置相同,在实施上述肺复张手法后,进行个体化PEEP滴定。滴定起始PEEP为5 cmH_2O,每次以2 cmH_2O幅度递增,直至20 cmH_2O,每个PEEP水平维持10个呼吸周期,记录最后3个呼吸周期的DP值,取平均值。滴定操作由同一名具备5年以上麻醉经验的医师完成,选择滴定过程中最小DP对应的PEEP值作为个体化PEEP,维持该参数至机械通气结束。

1.3 观察指标

比较2组患者手术过程中的出血量、输血量、胶体液容量、晶体液容量、手术时间等手术指标。在患者入室吸氧前(T0)、机械通气后30 min(T1)、机械通气后1 h(T2)、机械通气后2 h(T3)及入麻醉复苏室后30 min(T4),检测2组患者PaO_2、FiO_2,计算PaO_2/FiO_2。比较2组患者T1、T2、T3的气道峰压(peak airway pressure,Ppeak)、气道平均压(mean airway pressure,Pmean)、肺顺应性(dynamic lung compliance,Cldyn)。于T0、术后1 d(T5)、术后3 d(T6),检测2组患者中性粒细胞计数(neutrophil,NEUT)、白细胞计数(white blood cell count,WBC)、C反应蛋白(C-reactive protein,CRP)等炎症因子指标。统计2组患者术后30 d呼吸道感染、支气管痉挛、胸腔积液等肺部并发症发生率。

1.4 统计学分析

采用SPSS 22.0统计软件分析数据。计数资料以率(%)表示,采用χ^2检验;计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,采用独立样本t检验或配对t检验。$P<0.05$表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 手术指标比较

2组患者手术指标比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),见表2。

2.2 氧合指数比较

个体化组患者PaO_2/FiO_2先升高后降低($P<0.05$),固定组患者PaO_2/FiO_2逐渐降低($P<0.05$);个体化组患者T2、T3、T4的PaO_2/FiO_2均高于固定组($P<0.05$),见表3。

表2 2组患者手术指标比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	出血量(mL)	输血量(mL)	胶体液容量(mL)	晶体液容量(mL)	手术时间(min)
个体化组	48	483.15±104.83	247.46±59.22	933.59±217.64	1 254.03±263.52	221.87±33.79
固定组	47	504.32±137.51	253.31±68.70	947.21±203.28	1 170.85±280.57	217.65±36.48
t		0.845	0.445	0.315	1.490	0.585
P		0.400	0.657	0.753	0.140	0.560

表3 2组患者不同时间点PaO_2/FiO_2比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	T0	T1	T2	T3	T4
个体化组	48	424.88±63.45	436.23±52.86	451.62±46.23*	438.76±47.42	375.91±84.69*#△▲
固定组	47	427.51±70.36	419.84±58.55	412.30±55.62	401.74±48.39*	320.28±62.53*#△▲
t		0.191	1.433	3.750	3.766	3.636
P		0.849	0.155	0.000	0.000	0.000

*:与T0相比,$P<0.05$;#:与T1相比,$P<0.05$;△:与T2相比,$P<0.05$;▲:与T3相比,$P<0.05$

2.3 肺功能比较

在T1、T2、T3时,2组患者Cldyn逐渐降低($P<0.05$),Ppeak、Pmean逐渐升高($P<0.05$);个体化组患者T1、T2、T3的Cldyn均大于固定组($P<0.05$),Ppeak、Pmean均小于固定组($P<0.05$),见表4。

2.4 炎症因子比较

2组患者T0、T5、T6的NEUT、WBC、CRP均先升高后降低($P<0.05$)。2组患者T0、T5、T6的NEUT比较差异均无统计学意义($P>0.05$);2组患者T0、T6的WBC比较差异均无统计学意义($P>0.05$),个体化组患者T5的WBC低于固定组($P<0.05$);2组患者T0的CRP比较差异无统计学意义($P>0.05$),个体化组患者T5、T6的CRP低于固定组($P<0.05$),见表5。

2.5 肺部并发症情况比较

2组患者肺部并发症发生率比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表6。

表4 2组患者不同时间点肺功能指标比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	Cldyn(mL/cmH_2O)			Ppeak(cmH_2O)			Pmean(cmH_2O)		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
个体化组	48	48.67±5.68	43.58±5.49*	37.13±4.15*#	17.20±1.18	18.36±1.49*	19.84±1.53*#	5.91±0.63	6.74±0.68*	7.06±0.72*#
固定组	47	45.74±6.37	38.61±5.11*	34.92±4.28*#	17.95±1.48	19.44±1.86*	21.79±2.31*#	6.23±0.70	7.09±0.78*	7.46±0.75*#
t		2.367	4.565	2.555	2.734	3.127	4.860	2.340	2.329	2.651
P		0.020	0.000	0.012	0.007	0.000	0.000	0.021	0.022	0.009

*:与T1相比,$P<0.05$;#:与T2相比,$P<0.05$

表5 2组患者不同时间点炎症因子水平比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	NEUT(%)			WBC($\times10^9$/L)			CRP(mg/L)		
		T0	T5	T6	T0	T5	T6	T0	T5	T6
个体化组	48	64.17±6.72	85.79±4.59*	72.69±6.32*#	6.27±1.48	11.46±2.87*	8.42±1.69*#	4.58±1.18	26.75±6.56*	23.69±6.24*#
固定组	47	63.86±6.58	85.34±5.13*	75.24±6.58*#	6.32±1.55	12.82±2.94*	8.75±1.85*#	4.79±1.40	35.44±9.37*	27.25±8.07*#
t		0.227	0.451	1.927	0.161	2.282	0.908	0.791	5.246	2.408
P		0.821	0.653	0.057	0.873	0.025	0.366	0.431	0.000	0.018

*:与T0相比,$P<0.05$;#:与T5相比,$P<0.05$

表6 2组患者肺部并发症情况比较[例(%)]

组别	n	呼吸道感染	支气管痉挛	胸腔积液	合计
个体化组	48	5(10.42)	1(2.08)	1(2.08)	7(14.58)
固定组	47	4(8.51)	1(2.13)	0(0)	5(10.64)
χ^2					0.335
P					0.563

3 讨论

本研究聚焦于DP导向的个体化PEEP策略。DP即气道平台压与PEEP的差值,可反映肺泡扩张时承受的实际应力,DP过高会导致肺泡过度拉伸,过低则无法维持肺泡开放,易引发周期性塌陷(肺萎陷伤),二者均可加剧肺功能损伤并诱发炎症反应。个体化PEEP通过滴定找到最小DP对应的PEEP值,实现对个体呼吸力学的精准适配,其核心优势在于兼顾肺泡开放与避免过度通气[5]。

PaO_2/FiO_2是评估肺氧合功能的重要指标。DP导向的个体化PEEP可通过优化肺泡开放状态,改善患者围术期氧合功能及血气平衡。本研究结果显示,个体化组患者T2、T3、T4的PaO_2/FiO_2高于固定组。该结果与Zhang等[6]的研究结论高度一致,该研究纳入134例上腹部开腹手术患者,通过滴定选取最小DP对应的个体化PEEP值,对比常规固定PEEP值(5 cmH_2O),证实基于DP的个体化PEEP设置可精准维持肺泡开放状态,减少肺泡周期性塌陷与过度扩张,提升肺内气体交换效率,从而改善患者术中及术后早期的氧合水平。具体机制分析:DP导向的个体化PEEP可实现"精准肺保护",一方面,适宜的PEEP能有效对抗体位压迫导致的胸腔负压降低,使塌陷的肺泡重新开放,增加有效通气面积;另一方面,最小DP状态下肺泡扩张应力均匀,可避免局部肺泡过度通气导致的死腔样通气增加,从而促进O_2摄取与CO_2排出,维持血气指标稳定[7-8]。

在脊柱手术中,患者俯卧位时,因重力等因素,肺部通气与血流分布不均,部分区域肺泡塌陷,有效通气面积减少,Cldyn下降。PEEP在呼气末维持气道正压,增加有效通气容积,改善通气与血流匹配[9]。Ppeak反映气体进入肺泡的最大阻力,其升高提示气道狭窄或肺顺应性下降[10]。Pmean综合反映呼吸周期中的压力变化,过高可致肺毛细血管渗漏等,是调整PEEP和潮气量的依据,适当增加PEEP可改善氧合,但要避免过高致肺损伤[11]。本研究结果显示,个体化组患者在整个观察期内具有更高的Cldyn和更低的Ppeak与Pmean。表明个体化PEEP通过为每个患者找到肺力学上的"最优点",有效减少肺泡的周期性开放与塌陷(肺萎陷伤)以及过度拉伸(容积伤),从而降低了整体通气阻力,改善肺的膨胀特性。与前人的研究具有一致性[12]。然而,需要指出的是,本研究的肺功能评估依赖于呼吸机提供的全局性指标,未来若能结合电阻抗断层成像等可视化技术,将能更直观地证实个体化PEEP对改善俯卧位下肺不均一性的积极作用。

术后炎症反应是影响患者恢复的重要因素之一[13]。本研究发现,个体化组患者术后1 d的WBC和术后1 d、3 d的CRP水平均显著低于固定组,提示该策略可能在一定程度上减轻患者术后全身性炎症反应。分析原因可能与"肺保护-抗炎"的连锁反应有关,当DP过高或肺泡周期性塌陷时,肺上皮细胞与毛细血管内皮细胞因机械损伤激活,释放大量炎症因子,引发局部炎症反应,进而通过"肺-全身炎症轴"激活全身炎症反应综合征[14]。而DP导向的个体化PEEP通过维持最小DP状态,减少肺泡机械损伤,可从源头抑制炎

症因子的释放,从而减轻全身炎症反应[15]。但CRP和WBC是相对非特异性的炎症指标,且本研究未覆盖术后更早期(如术后6~12 h)的炎症高峰时段,因此,炎症指标的下降在多大程度上能直接归因于肺保护效应,仍需未来研究进一步证实。

术后肺部并发症不仅会延长患者住院时间、增加医疗成本,还可能严重影响患者的康复进程[16]。本研究结果显示,2组患者的手术指标及术后30 d的肺部并发症发生率无显著差异。提示DP导向的个体化PEEP策略在改善患者氧合状态和肺功能的同时,并未增加手术相关风险及肺部并发症的发生率。可能原因如下:①样本量局限,对于肺部并发症这类发生率相对较低的临床终点事件,统计检验效能可能不足,存在假阴性可能。②患者人群特征,纳入ASA Ⅰ/Ⅱ级、肺功能正常的相对健康患者,其发生肺部并发症的基线风险本身较低,组间差异更难显现。③混杂因素影响,术后镇痛效果、肺部物理治疗、患者活动能力等均可能影响术后肺部并发症的发生,这些混杂因素可能掩盖术中通气策略的独立获益。

综上所述,在俯卧位全麻脊柱手术中,采用DP导向的个体化PEEP策略可显著改善患者的氧合状态和肺功能,同时有助于减轻术后炎症反应,且不增加手术相关风险及肺部并发症的发生率。然而,本研究仍存在一定的局限性:首先,样本量对于肺部并发症低发生率临床终点的检验效能可能不足;其次,对肺功能的评估局限于全局性指标,缺乏电阻抗断层成像等能反映肺区域性通气的先进工具;第三,炎症因子的检测时间点设置未能捕捉术后早期的动态变化高峰;最后,未对患者进行长期随访。未来应致力于开展多中心、大样本并结合先进监测技术的研究,以进一步明确该策略对临床终点的影响。

[参考文献]

[1] 刘瑞红,任震晴,崔丽丽,等. 全麻患者术中俯卧位管理的循证实践[J]. 护理学杂志,2023,38(6):50-54. doi:10.3870/j.issn.1001-4152.2023.06.050.

[2] 王 亮,孙仁波,胡许平,等. 驱动压导向呼气末正压个体化滴定对老年患者腹腔镜结直肠癌根治术后肺不张的影响[J]. 临床麻醉学杂志,2023,39(4):357-362. doi:10.12089/jca.2023.04.004.

[3] 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[J]. 临床麻醉学杂志,2024,40(8):820-824. doi:10.12089/jca.2024.08.007.

[4] 刘世建,卢 彬,江 倩,等. 两种胸腔镜肺叶切除术个体化呼气末正压通气方法的比较[J]. 腹腔镜外科杂志,2024,29(9):652-656. doi:10.13499/j.cnki.fqjwkzz.2024.09.652.

[5] 李如意,孙 艳,穗富海. 不同潮气量复合基于EIT的个体化PEEP对妇科腹腔镜手术患者肺通气分布的影响[J]. 国际麻醉学与复苏杂志,2025,46(4):366-371. doi:10.3760/cma.j.cn321761-20241214-01242.

[6] Zhang C, Xu F, Li W, et al. Driving pressure-guided individualized positive end-expiratory pressure in abdominal surgery: a randomized controlled trial[J]. Anesth Analg, 2021, 133(5): 1197-1205. doi: 10.1213/ANE.0000000000005575.

[7] 尚 英,刘 蒙,周 萌,等. 围手术期个体化呼气末正压通气的研究进展[J]. 国际麻醉学与复苏杂志,2023,44(1):94-99. doi:10.3760/cma.j.cn321761-20220408-00721.

[8] 石进涛,朱 娟,邓 鉴,等. 肺动态顺应性指导个体化呼气末正压通气对老年患者腹腔镜结直肠癌术中肺功能的影响[J]. 临床麻醉学杂志,2024,40(1):36-41. doi:10.12089/jca.2024.01.007.

[9] Park M, Ahn HJ, Kim JA, et al. Driving pressure during thoracic surgery: a randomized clinical trial[J]. Anesthesiology, 2019, 130(3): 385-393. doi:10.1097/ALN.0000000000002600.

[10] 李长松,于大朋,钱 涛,等. 个体化肺保护通气对老年患者围术期肺功能的影响[J]. 临床麻醉学杂志,2024,40(12):1252-1258. doi:10.12089/jca.2024.12.004.

[11] Pan X, Wang D. Effect of different positive end-expiratory pressure levels in patients undergoing laparoscopic cholecystectomy under general anesthesia[J]. Pak J Med Sci, 2025, 41(3): 719-723. doi: 10.12669/pjms.41.3.11348.

[12] 李金路,吴雪梅,谢 红,等. 全麻患者肺保护性通气时个体化PEEP的确定:EIT法和Cdyn法比较[J]. 中华麻醉学杂志,2021,41(1):72-75. doi:10.3760/cma.j.cn131073.20200310.00119.

[13] 刘思淇,金立民,宋雪松. 高水平呼气末正压通气联合肺复张在肥胖患者全麻俯卧位手术中的应用研究[J]. 中国实验诊断学,2024,28(4):411-416. doi:10.3969/j.issn.1007-4287.2024.04.006.

[14] 张美琪,张艾迪,于铁莉. 格隆溴铵对全麻下俯卧位脊柱手术患者肺功能影响的研究进展[J]. 亚洲临床医学杂志,2023,6(11):10-12. doi:10.12345/yzlcyxzz.v6i11.14520.

[15] 闭玉华,黄俊萍. 以驱动压为导向个体化滴定式呼气末正压通气在老年腹腔镜结肠癌患者中的应用效果[J]. 重庆医学,2023,52(3):348-352. doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2023.03.006.

[16] 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]. J Clin Med, 2021, 10(12): 2656. doi: 10.3390/jcm10122656.

(编辑:贺绍梅)