

• 手术室护理 •

麻醉复苏期患者低氧血症风险预测模型的构建及验证

盛丽乐, 兰星, 陈庆红, 钟圆红, 谢婉丽, 王宇, 付达安, 陈向东, 赵征华

摘要: **目的** 探索麻醉复苏期患者低氧血症的危险因素, 构建低氧血症风险预测模型。 **方法** 采用回顾性研究方法, 选取 2022 年 2—10 月 2 810 例麻醉复苏期的患者为建模组, 通过电子病历系统收集相关资料, 采用单因素分析与 logistic 回归分析危险因素, 绘制列线图模型; 选取 2022 年 11—12 月 705 例麻醉复苏期患者作为验证组进行模型验证。 **结果** 建模组中 365 例(12.99%)发生麻醉复苏期低氧血症。logistic 回归分析结果显示, 手术方式、手术部位、手术类型、手术级别、手术时长、吸烟、糖尿病为麻醉复苏期患者低氧血症的危险因素(均 $P < 0.05$)。验证组 ROC 曲线下面积为 0.824(95%CI: 0.752, 0.915), 约登指数为 0.536, 灵敏度为 0.819, 特异度为 0.717。模型验证准确率为 85.95%。 **结论** 麻醉复苏期低氧血症列线图风险预测模型具有较好的预测效果, 可为麻醉复苏室医护人员早期识别麻醉复苏期低氧血症高危人群提供参考。

关键词: 麻醉复苏室; 麻醉复苏期; 低氧血症; 危险因素; 预测模型; 列线图; 灵敏度; 特异度

中图分类号: R47; R320.21 **DOI:** 10.3870/j.issn.1001-4152.2025.04.046

Construction and validation of a risk prediction model for hypoxemia in patients during anesthesia recovery

Sheng Lile, Lan Xing, Chen Qinghong, Zhong Yuanhong, Xie Wanli, Wang Yu, Fu Da'an, Chen Xiangdong, Zhao Zhenghua. Department of Anesthesiology, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, China

Abstract: **Objective** To explore the risk factors of hypoxemia in patients during anesthesia recovery and construct a risk prediction model of hypoxemia. **Methods** A retrospective study was adopted, and 2810 patients in the anesthesia recovery period were selected as the modeling group from February to October 2022. The relevant data were collected through the electronic medical record system, and the risk factors were analyzed using univariate analysis and logistic regression analysis. The nomogram model was drawn; selected 705 patients in the anesthesia recovery period as the validation group for model validation from November to December 2022. **Results** In the modeling group, 365 cases (12.99%) developed hypoxemia during the anesthesia recovery period. The results of logistic regression analysis showed that the surgical method, surgical site, surgical type, surgical level, surgical duration, smoking, and diabetes were risk factors for hypoxemia in patients during the anesthesia recovery period (all $P < 0.05$). The area under the ROC curve of the validation group was 0.824 (95%CI: 0.752, 0.915), the Youden's Index was 0.536, the sensitivity was 0.819, and the specificity was 0.717. The accuracy of model validation was 85.95%. **Conclusion** The nomogram risk prediction model for hypoxemia during anesthesia recovery has good predictive effect, which can provide a reference for medical staff in the anesthesia recovery room to identify high-risk groups of hypoxemia during anesthesia recovery early.

Keywords: post anesthesia care unit; anesthesia recovery period; hypoxemia; risk factors; prediction model; nomogram; sensitivity; specificity

低氧血症是指由于血流不足或动脉氧含量不足而引起的组织氧合不足^[1]。大多数术后低氧血症发生在手术后数小时内, 是麻醉复苏室(Post Anesthesia Care Unit, PACU)术后呼吸系统并发症的触发因素^[2]。尽管麻醉和围手术期护理不断取得进展, 但复苏期间的低氧血症仍然是一个常见问题。国外学者研究发现, 全身麻醉后低氧血症的发生率约为 35.50%^[3], 国内研究报道的发生率为 21.79%^[4]。未被处理的术后低氧血症可能发生肺动脉高压、高钾血

症、脑缺血, 可导致呼吸停止、中枢神经系统损伤等严重并发症, 最后出现多器官衰竭甚至死亡, 是威胁生命安全的潜在因素^[5]。目前国内外暂未见大样本的针对麻醉复苏期成人患者低氧血症列线图风险预测模型的报道, 无法实现对 PACU 低氧血症的准确预测。本研究构建麻醉复苏期患者低氧血症列线图风险预测模型, 旨在早期评估和识别低氧血症高危患者, 为采取针对性的措施提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 采用便利抽样法, 回顾性选取 2022 年 2—12 月术后进入我院 PACU 的患者作为研究对象。纳入标准: ①年龄 ≥ 18 岁; ②美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists, ASA)评分 I ~ III 级; ③全身麻醉行机械通气; ④手术持续时间 > 60 min; ⑤术后从 PACU 转移到普通病房。排

作者单位: 华中科技大学同济医学院附属协和医院麻醉科(湖北 武汉, 430022)

通信作者: 赵征华, 960269108@qq.com

盛丽乐: 女, 本科, 主管护师, 2697774293@qq.com

科研项目: 国家自然科学基金青年项目(82303765)

收稿: 2024-05-10; 修回: 2024-08-20

除标准:①术前存在低氧血症;②入 PACU 10 min 内未完成动脉血气分析;③妊娠期及哺乳期妇女;④术前上呼吸道感染;⑤术前肺部损伤。以每个自变量的事件数(Events per Variable,EPV)=20 来估计样本量,结合文献资料,本研究纳入的自变量为 19 个,国内外研究报道低氧血症的发生率为 21.79%^[4]、35.50%^[3],取平均发生率 28.64%代入计算,并考虑 20% 的样本脱落。则最小样本量为 $19 \times 20 \div 0.2864 \div 0.8 \approx 1\,659$ 。本研究最终收集 3 515 例患者资料,按建模组与验证组约 4:1 的要求^[6],其中 2022 年 2—10 月进入 PACU 的 2 810 例患者为建模组,11—12 月进入 PACU 的 705 例患者为验证组。建模组年龄 19~91(52.07±14.56)岁;男 1 198 例,女 1 612 例。验证组年龄 19~87(52.00±14.55)岁;男 319 例,女 386 例。本研究已通过医院伦理委员会审查(CXHL2000187)。

1.2 方法

1.2.1 低氧血症的测量方法及诊断标准 本研究根据《围手术期低氧血症患者的无创呼吸支持:欧洲麻醉学会与欧洲重症监护医学会联合指南》^[7],入 PACU 后 10 min 内采集动脉血气,以 PaO₂<60 mmHg 或 PaO₂/FiO₂<300 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)为低氧血症的诊断标准。

1.2.2 资料收集方法 成立课题研究小组,由经过培训后的 2 名研究小组成员按照 6S 证据模型自上至下计算机检索相关文献,咨询麻醉学、麻醉护理领域的专家,筛选可能影响术后低氧血症的相关预测变量。研究发现,影响术后早期低氧血症发生率的因素主要分为患者因素、手术因素和麻醉因素^[8],据此设计一般资料调查表。通过查阅住院电子病历系统和手术麻醉信息系统收集相关信息,患者因素包括患者的性别、年龄、BMI、术前是否患有贫血、高血压、糖尿病、冠心病、吸烟史;手术因素包括手术部位、手术体位、手术等级、手术方式、手术类型、手术时长;麻醉因素包括 ASA 分级、插管方式、手术室到 PACU 转运时间、转运期间是否给氧、入 PACU 是否低体温(核心温度低于 36℃)、是否发生低氧血症。数据收集采用 Excel 软件双人录入、反向核对来确保数据的真实性与准确性,以避免人为因素导致的数据偏差或错误。

1.2.3 统计学方法 使用 SPSS24.0 软件进行 *t* 检验、Wilcoxon 秩和检验及 χ^2 检验,采用 logistic 回归分析构建风险预测模型;Hosmer-Lemeshow 检验验证模型的拟合优度,以受试者操作特征曲线(ROC)下面积、灵敏度、特异度评价模型的预测能力,使用 R4.2.1 软件基于多变量模型构建列线图,使用 Bootstrap 法、校

准图确定区分度和校准度。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 建模组患者低氧血症发生情况 建模组 2 810 例患者中发生低氧血症 365 例,发生率 12.99%。低氧血症的单因素分析,见表 1。

表 1 低氧血症的单因素分析

项目	例数	低氧血症 (<i>n</i> =365)	非低氧血症 (<i>n</i> =2 445)	统计量	<i>P</i>
性别(例)				$\chi^2=0.703$	0.402
男	1 198	163	1 035		
女	1 612	202	1 410		
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)		51.18±14.67	52.20±14.54	<i>t</i> =1.257	0.212
BMI(kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)		24.22±4.04	23.87±3.71	<i>t</i> =1.661	0.097
ASA 分级(例)				$\chi^2=1.276$	0.528
I 级	247	27	220		
II 级	2 269	302	1 967		
III 级	294	41	253		
手术时长 [min, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]		196 (159,253)	173 (133,221)	<i>Z</i> =3.291	<0.001
手术分型(例)				$\chi^2=17.926$	<0.001
急诊	66	20	46		
择期	2 744	345	2 399		
手术方式(例)				$\chi^2=21.512$	<0.001
腔镜手术	1 896	285	1 611		
开放手术	914	80	834		
手术部位(例)				$\chi^2=16.260$	0.001
头颈部	672	93	579		
胸腹部	907	139	768		
脊柱四肢	1 005	120	885		
血管	226	13	213		
吸烟(例)				$\chi^2=52.980$	<0.001
是	213	62	151		
否	2 597	303	2 294		
高血压(例)				$\chi^2=51.162$	<0.001
是	211	61	150		
否	2 599	304	2 295		
冠心病(例)				$\chi^2=7.011$	0.008
是	212	40	172		
否	2 598	325	2 273		
糖尿病(例)				$\chi^2=31.671$	<0.001
是	228	57	171		
否	2 582	308	2 274		
贫血(例)				$\chi^2=229.153$	<0.001
是	264	113	151		
否	2 546	252	2 294		
低体温(例)				$\chi^2=93.583$	<0.001
是	203	71	132		
否	2 607	294	2 313		
插管方式(例)				$\chi^2=11.066$	0.004
气管导管	2 428	330	2 098		
喉罩	181	26	155		
双腔管	201	11	190		
手术级别(例)				$\chi^2=19.771$	<0.001
一级	26	6	20		
二级	441	67	374		
三级	1 319	137	1 182		
四级	1 024	164	860		
手术体位(例)				$\chi^2=1.732$	0.422
仰卧位	2 256	302	1 954		
俯卧位	256	27	229		
侧卧位	298	41	257		
手术室到 PACU 转 运时间(min, $\bar{x} \pm s$)		5.20±0.82	5.12±1.54	<i>t</i> =0.932	0.088
转运期间给氧(例)				$\chi^2=2.666$	0.103
是	2 750	353	2 397		
否	60	12	48		

2.2 PACU 患者低氧血症的 logistic 回归分析 将有统计学意义的影响因素作为自变量,以患者是否发生低氧血症作为因变量(未发生=0,发生=1),进行 logistic 回归分析。结果手术方式(以开放手术为参照)、手术部位(以血管手术为参照)、手术类型(以择期为参照)、手术级别(以一级手术为参照)、手术时长(原值代入)、吸烟(否=0,是=1)、糖尿病(否=0,是=1)进入回归方程见表 2。

表 2 低氧血症的 logistic 回归分析结果 (n=2 810)

项目	β	SE	Wald χ^2	P	OR	95%CI
常量	-2.550	0.578	19.469	<0.001	0.078	
手术方式	0.956	0.143	25.732	<0.001	2.603	1.560~2.730
手术部位						
胸腹部	0.941	0.395	5.677	0.017	2.562	1.182~5.553
手术类型	0.771	0.303	17.815	<0.001	2.181	1.204~3.949
手术级别						
三级	1.314	0.176	4.829	0.028	3.722	2.434~5.845
四级	1.529	0.137	23.085	<0.001	4.615	2.875~7.470
手术时长	0.862	0.001	10.751	0.001	2.368	1.567~7.878
吸烟	1.263	0.338	13.951	<0.001	3.538	1.823~6.866
糖尿病	0.662	0.342	0.257	0.012	1.939	1.063~3.685

2.3 全麻术后低氧血症预测模型及列线图 根据 logistic 回归筛选的 7 个有统计学意义的变量构建预测模型,使用 R 软件绘制列线图,将每项预测因子对应的得分相加得到列线图总分,总分对应的概率为麻醉复苏期低氧血症发生的预测概率,总分越高,发生低氧血症的概率越大,见图 1。该模型的 ROC 曲线下面积为 0.756(95%CI:0.727~0.785)。以约登指数最大值(0.547)为预测模型的最佳临界值,灵敏度为 0.765,特异度为 0.782。Hosmer-Lemeshow 检验结果为 $\chi^2=6.894$, $P=0.548$,模型拟合优度良好。

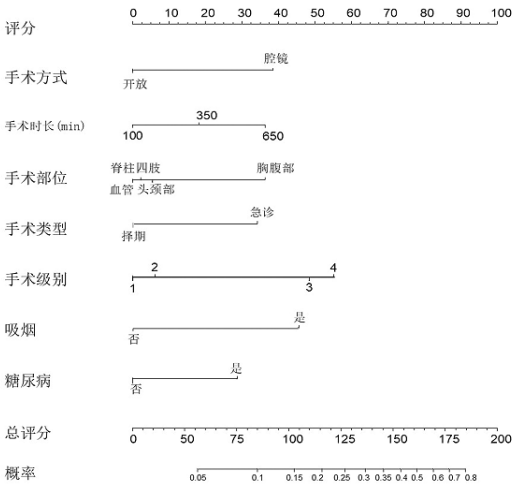


图 1 麻醉复苏室成人患者低氧血症风险预测列线图

2.4 全麻术后低氧血症预测模型的验证 ①建模组验证。采用 Bootstrap 重抽样法进行 1 000 次重抽样,绘制校准曲线进行对该模型进行内部验证,校准

接近理想曲线,见图 2。②验证组验证。验证组 705 例患者中,实际 89 例发生低氧血症,发生率为 12.62%。模型判断 75 例发生低氧血症。实际未发生低氧血症 616 例,模型判断 531 例。因此,模型预测总的正确率为 $(75+531)/705=85.96\%$,表明该模型具有良好的判断力。该模型的 ROC 曲线下面积为 0.824(95%CI:0.752,0.915),约登指数为 0.536,灵敏度为 0.819,特异度为 0.717。

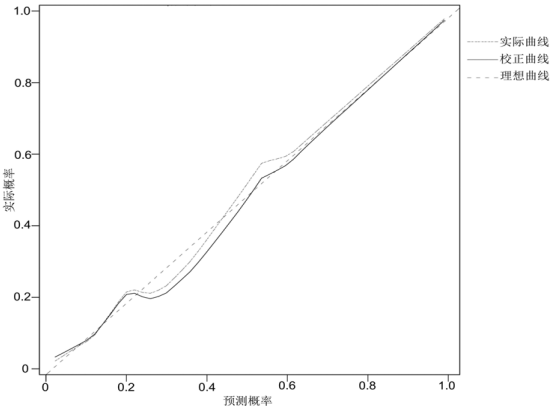


图 2 麻醉复苏期患者低氧血症风险预测模型的校准曲线

3 讨论

3.1 构建 PACU 患者低氧血症风险预测模型的意义及科学性 麻醉复苏期低氧血症会延长复苏时间,加重患者的不良预后,增加其死亡与并发症风险^[9]。本研究通过计算机病历系统采集临床数据构建低氧血症列线图风险预测模型,研究结果显示,建模组患者低氧血症发生率为 12.99%,低于 Zorrilla^[3]、陈赞等^[4]的研究结果,与 Kendale 等^[10]的研究结果接近。分析原因可能与低氧血症影响因素的复杂性有关。建模组 ROC 曲线下面积为 0.756, Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验 $P>0.05$,验证准确率 85.96%,均表明模型在识别低氧血症风险上具备较好的判断能力,能够初筛低氧血症高危人群,且便于获取、操作简单、易于推广,具有科学性与实用性。模型灵敏度为 0.765,特异度为 0.782,因此,在使用该模型时还需要结合医护人员自身经验与患者临床表现等因素综合判断,尽可能降低误诊率与漏诊率,以进一步提高模型的预测性能。

3.2 PACU 患者发生低氧血症的危险因素分析

3.2.1 手术部位 本研究结果显示,胸腹部手术是发生低氧血症的危险因素($OR=2.562$),这与 Mellesse 等^[8]研究结果一致。研究表明,胸腹部手术的患者中有 20%~70%发生术后肺部并发症^[11]。分析原因可能为,胸部手术术中单肺通气,术侧肺泡塌陷,健侧肺不张,通气/血流比失衡,功能残气量下降、气道闭合增加,导致麻醉术后低氧血症。另外,胸腹部

手术因靠近膈肌易诱发肺活量降低、以及创面大引起剧烈疼痛,导致咳嗽减少和膈肌功能受阻,引发低氧血症。有研究提出,胃肠道手术后接受被动活动的患者术后肺部并发症结局显著降低^[12]。因此,对于胸腹部手术后的患者,PACU 医护人员应关注入室后血氧情况,必要时机械通气可使用 5~8 cmH₂O 的 PEEP,以预防术后肺不张;可联合硬膜外镇痛等技术积极实施多模式镇痛,尽早进行疼痛干预;进行胸腹部大手术后的早期活动以降低低氧血症和其他术后肺部并发症的发生风险^[13]。

3.2.2 吸烟 本研究显示,吸烟是麻醉术后低氧血症的影响因素,吸烟患者发生术后低氧血症的风险为不吸烟的 3.538 倍,与黄符香等^[14]的研究结果一致。长期吸烟会造成患者气道黏膜功能减退,分泌物排出困难,影响肺换气的功能;炎症反应使肺毛细血管通透性增加,肺泡渗出增多,使氧弥散障碍,最终导致低氧血症^[15]。建议医护人员加强对患者的健康教育,告知吸烟的危害,嘱其术前尽早戒烟并开始呼吸功能锻炼,行腹式呼吸、吹气球等增加肺活量,必要时采取肺保护性治疗措施,如雾化吸入,呼吸物理治疗等改善肺功能^[16]。

3.2.3 手术级别 本研究结果显示,手术级别为三、四级的患者更易发生低氧血症,与 Sun 等^[17]的报道相似。原因可能为,手术级别与术后低氧血症的发生具有相关性,手术水平每增加 1 级,术后并发症风险分别增加 3.2 倍^[15]。随着手术级别的升高,手术的风险及难度均有不同程度的增加,术后呼吸系统并发症也相应增加。因此,对手术三、四级患者应给予更多关注,及早预防低氧血症。

3.2.4 腔镜手术 本研究显示,腔镜手术是术后低氧血症的危险因素,与 Fu 等^[18]的报道相似。可能因为腔镜手术增加了外源性的二氧化碳摄入,肌松药和吸入麻醉药使肌张力下降、膈肌纤维弱化,腹腔脏器和膈肌上移导致腹腔压力直接作用于胸腔,胸膜腔压力增大压迫肺组织,改变肺内气体与血流分布,发生肺萎陷,从而造成低氧血症^[19]。有研究提出,如要避免腔镜手术患者术后低氧血症的发生,则需要进行肺保护性通气策略^[20]。如 PACU 护士可经常拍击患者背部,鼓励清醒患者自主呼吸和咳嗽、咳痰,必要时可进行持续气道正压通气或术后经鼻高流量氧疗促进肺复张。

3.2.5 急诊手术 本研究发现,急诊手术患者易发生低氧血症。可能因为急诊手术患者起病急、病情危重,术后可伴有休克、贫血、肺部感染等并发症;多数临床表现不典型、需立即手术、缺少足够的手术准备时间,无法充分评估并干预,且术后多发呼吸道相关并发症^[21]。诱发因素包括饱腹使患者麻醉后有可能

发生呕吐和误吸,产生吸入性肺炎、痰栓导致肺不张、伴或不伴呼吸衰竭等并发症^[22]。因此,急诊手术患者应尽可能全面地完善术前病史和体格检查,做好术前准备,积极处理合并症,避免低氧血症发生。

3.2.6 手术时长 本研究显示,手术时间长的患者在 PACU 更容易发生低氧血症。研究发现,手术持续时间>120 min 的患者更易出现术后早期低氧血症^[23]。可能因为全麻手术时间长的患者机械通气时间相应延长,机械通气时长与膈肌损伤存在相关性,在开始通气后的几小时内即出现,机械通气 24 h 后,64% 的患者出现膈肌无力与脱机困难^[24]。无论任何部位的手术,手术时间超过 4 h 会增加肺部并发症发生率^[25]。因此,建议完善术前评估,合理制订手术方案,尽可能缩短手术时间,以减少低氧血症的发生。

3.2.7 糖尿病 研究表明,有糖尿病的患者易发生低氧血症。可能因为糖尿病导致血管内皮功能障碍、器官缺血性改变。肺是糖尿病的“靶器官”之一,引起肺部的微血管病变,肺毛细血管床活性降低、基底膜增厚,使肺表面活性物质合成受阻,造成肺弥散功能障碍,可致肺功能损伤,从而诱发低氧血症^[26]。在接受手术的糖尿病患者中,更好的血糖控制已被证明可以改善围手术期病死率和并发症发生率^[27]。因此,合并糖尿病患者应在术前严格遵循医嘱使用降糖药物,控制饮食,将血糖控制在合理范围,术中密切关注血糖变化,在 PACU 期间加强患者血糖管理与血氧指标监测,积极采取预防性吸氧措施,以降低低氧血症发生率。

4 结论

本研究基于手术方式、手术部位、手术类型、手术级别、手术时长、吸烟、糖尿病 7 个预测因素构建麻醉复苏期低氧血症列线图模型,该模型灵敏度和特异度较高,拟合度好,预测结果较可靠。PACU 医护人员可利用该模型对麻醉复苏期患者进行风险预测,实施针对性干预,减少低氧血症的发生。本研究的局限性在于仅为单中心、回顾性研究,可能出现选择偏倚,今后可扩展进行多中心、大样本、前瞻性研究,进一步验证模型。

参考文献:

- [1] Young C C, Harris E M, Vacchiano C, et al. Lung-protective ventilation for the surgical patient: international expert panel-based consensus recommendations [J]. Br J Anaesth, 2019, 123(6): 898-913.
- [2] Jaber S, Molinari N, De Jong A. New method of preoxygenation for orotracheal intubation in patients with hypoxaemic acute respiratory failure in the intensive care unit, non-invasive ventilation combined with apnoeic oxy-

- genation by high flow nasal oxygen; the randomised OP-TINIV study protocol[J]. *BMJ Open*, 2016, 6(8): 292-298.
- [3] Zorrilla-Vaca A, Grant M C, Rehman M, et al. Postoperative hypoxemia after dual-controlled vs volume-controlled ventilation in lung surgery[J]. *Ann Thorac Surg*, 2023, 116(1): 173-179.
- [4] 陈赞, 赵晶, 张军, 等. 麻醉苏醒室患者术后低氧血症的危险因素分析及护理对策[J]. *护理学杂志*, 2022, 37(13): 26-29.
- [5] Suleiman A, Baedorf-Kassis E, Talmor D, et al. Tidal volume, positive end-expiratory pressure, and postoperative hypoxemia: comment[J]. *Anesthesiology*, 2023, 139(2): 232-233.
- [6] Elashoff R M, Li G, Li N. An approach to joint analysis of longitudinal measurements and competing risks failure time data[J]. *Stat Med*, 2007, 26(14): 2813-2835.
- [7] Leone M, Einav S, Chiumello D, et al. Noninvasive respiratory support in the hypoxaemic peri-operative/periprocedural patient: a joint ESA/ESICM guideline[J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2020, 37(4): 265-269.
- [8] Melesse D Y, Denu Z A, Kassahun H G, et al. The incidence of early post-operative hypoxemia and its contributing factors among patients underwent operation under anesthesia at University of Gondar comprehensive and specialized referral hospital, Gondar, North West Ethiopia, 2018. A prospective observational study[J]. *Int J Surg Open*, 2020, 22: 38-46.
- [9] Turan A, Essber H, Saasouh W, et al. Effect of intravenous acetaminophen on postoperative hypoxemia after abdominal surgery: the FACTOR randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2020, 324(4): 350-358.
- [10] Kendale S M, Blitz J D. Increasing body mass index and the incidence of intraoperative hypoxemia[J]. *J Clin Anesth*, 2016, 33: 97-104.
- [11] Andualem A A, Yesuf K A. Incidence and associated factors of postoperative hypoxemia among adult elective surgical patients at Dessie Comprehensive Specialized Hospital: an observational study[J]. *Ann Med Surg (Lond)*, 2022, 78: 113-119.
- [12] van der Leeden M, Huijsmans R, Geleijn E, et al. Early enforced mobilisation following surgery for gastrointestinal cancer: feasibility and outcomes[J]. *Physiotherapy*, 2016, 102(1): 103-110.
- [13] Kochupurackal J C, Bhattacharjee S, Baidya D K, et al. Postoperative pulmonary complications with high versus standard FiO₂ in adult patients undergoing major abdominal surgery: a noninferiority trial[J]. *Surgery*, 2024, 175(2): 536-542.
- [14] 黄符香, 高长胜, 张爽, 等. 老年全麻术后患者麻醉复苏期发生低氧血症的影响因素[J]. *中国老年学杂志*, 2022, 42(21): 5232-5235.
- [15] Guan Z, Lü Y, Liu J, et al. Smoking cessation can reduce the incidence of postoperative hypoxemia after on-pump coronary artery bypass grafting surgery[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2016, 30(6): 1545-1549.
- [16] Liu T, Huang J, Wang X, et al. Effect of recruitment manoeuvres under lung ultrasound-guidance and positive end-expiratory pressure on postoperative atelectasis and hypoxemia in major open upper abdominal surgery: a randomized controlled trial[J]. *Heliyon*, 2023, 9(2): 133-148.
- [17] Sun M, Xu M, Sun J. Risk factor analysis of postoperative complications in patients undergoing emergency abdominal surgery[J]. *Heliyon*, 2023, 9(3): 139-143.
- [18] Fu M, Xu R, Chen G, et al. Postoperative esketamine improves ventilation after video-assisted thoracoscopic lung resection: a double-blinded randomized controlled trial[J]. *Heliyon*, 2024, 10(3): 251-258.
- [19] Yang Y, Geng Y, Zhang D, et al. Effect of lung recruitment maneuvers on reduction of atelectasis determined by lung ultrasound in patients more than 60 years old undergoing laparoscopic surgery for colorectal carcinoma: a prospective study at a single center[J]. *Med Sci Monit*, 2021, 27: 926-932.
- [20] Trethewey B N, Bukowy B M, Bodnar S J, et al. Certified registered nurse anesthetists' adherence to an intraoperative lung protective ventilation protocol[J]. *AANA J*, 2021, 89(5): 419-427.
- [21] Shekar K, Ling R R. The pandemic and the great awakening in the management of acute hypoxaemic respiratory failure[J]. *Lancet Respir Med*, 2022, 10(6): 527-529.
- [22] Sakuraya M, Okano H, Masuyama T, et al. Efficacy of non-invasive and invasive respiratory management strategies in adult patients with acute hypoxaemic respiratory failure: a systematic review and network meta-analysis[J]. *Crit Care*, 2021, 25(1): 414.
- [23] Walker M, Farmer R G, Schelew B. Risk factors for oxygen desaturation on arrival in the postanesthesia care unit[J]. *Can J Anaesth*, 2015, 62(9): 1019-1020.
- [24] 叶婷, 肖华平. 肺保护性通气策略及膈肌保护的关键问题[J]. *解放军医学杂志*, 2023, 48(11): 1276-1286.
- [25] Chandler D, Mosieri C, Kallurkar A, et al. Perioperative strategies for the reduction of postoperative pulmonary complications[J]. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*, 2020, 34(2): 153-166.
- [26] Pontes J, Mendes F F, Vasconcelos M M, et al. Evaluation and perioperative management of patients with diabetes mellitus. A challenge for the anesthesiologist[J]. *Braz J Anesthesiol*, 2018, 68(1): 75-86.
- [27] Taylor J S, Fellman B, Cain K E, et al. Glycemic control to improve post-operative outcomes in patients with type 2 diabetes mellitus: results of the SUGAR (Surgical Universal euGlycemic Attainment during Recovery) initiative[J]. *Int J Gynecol Cancer*, 2024, 35(1): 100003.