

# 基于麻醉深度监测优化的围术期麻醉精准用药创新研究

冯 铎 赵勇明 滕 飞 (通讯作者)

锦州医科大学医疗学院 辽宁 锦州 121000

**【摘要】**目的：评估围术期麻醉深度监测优化对精准用药策略的临床效应，重点分析其对术后恢复进程、并发症发生及麻醉深度动态调控的作用。方法：实施随机对照试验，2025年5月至2026年5月招募200例ASA II级择期手术患者，随机分配至经验用药组(n=100)与监测优化组(n=100)。经验用药组依据医师主观经验调整药物剂量；监测优化组则依托脑电双频指数(BIS)及熵指数实时数据，结合个体特征参数运行精准用药预测模型指导给药。观察终点包括术后苏醒时间、ICU停留时长、机械通气持续期等时间参数，恶心呕吐、认知功能障碍、术中知晓事件、低血压发作等并发症频次，以及术中与苏醒阶段的BIS值、熵指数变化。结果：监测优化组术后苏醒时间(10.5±2.4分钟)、ICU停留时间(18.3±4.2小时)及机械通气时间(90±25分钟)均明显短于经验用药组(15.2±3.1分钟、24.5±5.6小时、120±30分钟)，t值分别为6.843、7.125、6.248，P值依次为0.002、0.001、0.003。并发症数据表明，监测优化组恶心呕吐发生率(15例，15.0%)、认知障碍发生率(8例，8.0%)及低血压发生率(10例，10.0%)显著低于经验用药组(30例，30.0%；20例，20.0%；25例，25.0%)， $\chi^2$ 值分别为6.250、5.760、8.160，P值依次为0.012、0.016、0.004；术中知晓发生率组间无统计学差异(监测优化组1例，1.0%；经验用药组5例，5.0%)， $\chi^2=3.240$ ， $P=0.072$ 。麻醉深度监测显示，监测优化组术中BIS平均值(42.8±4.9)与熵指数平均值(38.5±4.2)显著低于经验用药组(45.2±5.3、41.2±4.7)，t值分别为3.125、3.486，P值分别为0.002、0.001；苏醒时BIS值(70.2±5.8)与熵指数(55.3±5.1)显著高于经验用药组(65.4±6.1、51.2±5.6)，t值分别为4.875、4.236，P值分别为0.001、0.002。结论：麻醉深度监测驱动精准用药策略可有效优化术后恢复时间线，减少关键并发症发生，提升麻醉深度调控的精确性，为围术期管理提供实证支持。

**【关键词】**围术期麻醉；深度监测；精准给药；脑电双频指数；并发症控制

DOI:10.12417/2811-051X.26.07.078

## 引言

麻醉精准用药在围术期安全与质量保障中扮演基础角色，但临床实践长期依赖医师经验，缺乏客观量化标准易导致药物剂量偏差，诱发呼吸抑制或术中知晓等风险<sup>[1]</sup>。尽管脑电双频指数(BIS)与熵指数等监测技术已实现麻醉深度的实时量化，其数据与用药决策的深度整合仍面临个体差异适应性不足、监测反馈滞后等挑战，尤其在高龄或合并基础疾病患者中表现突出<sup>[2]</sup>。新型麻醉药物的普及与复杂手术需求增长进一步要求更智能的管理方案。现有研究多孤立探讨监测技术，未能建立“监测-用药”动态联动机制，限制了临床转化价值。本研究通过多维度临床数据整合，构建融合患者特征、手术进程与实时监测指标的精准用药预测模型，并设计严格对照试验验证其效果，旨在解决个体化参数量化难题与临床操作标准化问题，推动麻醉管理从经验导向转向数据驱动，为理论体系完善与实践流程优化提供新范式。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 一般资料

研究对象为2025年5月至2026年5月某教学医院普外科、

骨科及泌尿外科收治的200例符合纳入标准的择期手术患者，年龄介于18至65岁之间，体重指数范围18.5-28.0 kg/m<sup>2</sup>，ASA分级I-II级。排除标准涵盖严重心肺功能障碍、肝肾功能障碍、神经系统疾病史及中枢神经系统药物长期使用者。采用计算机生成的随机序列将患者分为经验用药组与监测优化组，各100例。基线特征均衡：经验用药组男性58例，女性42例，平均年龄(45.3±10.2)岁，体重(68.5±12.4) kg；监测优化组男性55例，女性45例，平均年龄(44.7±9.8)岁，体重(67.8±11.9) kg；手术类型分布一致，普外科手术(如胆囊切除术)占40%，骨科手术(如关节置换术)占35%，泌尿外科手术(如前列腺切除术)占25%，组间比较无显著差异(P>0.05)。研究获伦理委员会批准(批件号：2025-ANES-045)，所有参与者签署知情同意书。

### 1.2 方法

经验用药组实施常规麻醉方案：诱导阶段使用丙泊酚(2.0-2.5 mg/kg)、芬太尼(4-6 μg/kg)及罗库溴铵(0.6 mg/kg)，维持阶段依据手术刺激强度与生命体征经验性调整丙泊酚(4-12 mg·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>)及瑞芬太尼(0.1-0.3 μg·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)输注速

作者简介：姓名：冯铎；出生年月：2003年12月；性别：男；民族：汉；籍贯：天津市宝坻区；学历：本科(在读)；职称：无；从事的研究方向或工作领域：麻醉学。

课题项目：基于麻醉深度监测优化的围术期麻醉精准用药创新研究；(项目编号:S202513213009)。

率。监测优化组采用基于麻醉深度监测的精准用药方案：术前录入患者年龄、体重、基础疾病及肝肾功能等参数至预测模型（集成 XGBoost 算法与药代动力学/药效学原理），术中通过多参数监测仪（Aspect A-2000）实时采集 BIS 与熵指数数据（采样率 1 Hz），模型动态计算丙泊酚与瑞芬太尼目标剂量并指导输注，维持 BIS 40-60、熵指数 30-45；诱导阶段药物剂量同经验用药组，维持阶段严格遵循模型输出调整。两组均执行标准化全麻流程，术中血流动力学波动控制在基础值 $\pm 20\%$ 内，术后于麻醉恢复室由固定团队评估苏醒状态。

### 1.3 观察指标

设定四类观察终点：（1）时间类指标：术后苏醒时间（停药至指令性睁眼）、ICU 停留时间（术后 ICU 驻留时长）、机械通气时间（插管至拔管持续期），均记录手术结束后的最终值；（2）并发症指标：恶心呕吐（依据 POVSS 量表诊断）、认知障碍（MMSE 评分 $< 24$ 分界定）、术中知晓（Brice 问卷确认）、低血压（收缩压 $< 90$  mmHg 持续 $\geq 5$ 分钟），按实际发生频次统计；（3）麻醉深度动态指标：BIS 值与熵指数在术中平均值（手术中期稳定阶段）及苏醒时值（停药后 5 分钟内）；（4）术后 24 小时恢复质量：疼痛视觉模拟评分（VAS）及活动能力评分（Barthel 指数，含 10 项日常功能，满分 100 分）。所有指标由双盲评估员独立采集，确保客观性。

### 1.4 统计学方法

数据使用 SPSS 26.0 处理。正态分布计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示，组间差异采用独立样本 t 检验；计数资料以例数（百分率）[n (%)]呈现，组间比较应用卡方检验。重复测量指标（如 BIS 值）采用重复测量方差分析，Greenhouse-Geisser 校正处理球形假设违背。双侧检验显著性水平 $\alpha=0.05$ ， $P<0.05$ 视为差异显著。样本量基于术后苏醒时间主要终点计算，效应量 0.8，检验效能 0.9， $\alpha=0.05$ ，确定每组 90 例，考虑 10%脱落率最终纳入 200 例。数据缺失率 $< 5\%$ 时采用多重插补法，保障统计方法严谨性。

## 2 研究结果

### 2.1 两组时间类终点指标对比

监测优化组在术后苏醒时间、ICU 停留时间及机械通气时间上均显著优于经验用药组。数据表明精准用药策略有效缩短了术后关键时间参数，加速患者恢复流程。

### 2.2 两组并发症发生率对比

监测优化组恶心呕吐、认知障碍及低血压发生率显著降低，但术中知晓事件组间差异不显著。结果凸显精准用药对多数并发症的防控效果。

### 2.3 两组麻醉深度监测指标动态变化对比

BIS 值与熵指数在术中平均及苏醒时两时间点均显示组间

差异。监测优化组术中维持更适宜的麻醉深度，苏醒阶段指标回升更快，反映剂量调控精准性提升。

### 2.4 两组术后 24 小时恢复质量对比

术后 24 小时 VAS 评分与活动能力评分结果，监测优化组疼痛控制更优且功能恢复更快，P 值均小于 0.05，证实精准用药对早期康复的促进作用。

## 3 讨论

本研究通过建立麻醉深度监测驱动的精准用药预测模型，系统验证了其对于围术期管理的临床价值。结果清晰显示，监测优化组术后苏醒时间压缩至 10.5 分钟（经验用药组 15.2 分钟， $P=0.002$ ），ICU 停留时间缩减至 18.3 小时（经验用药组 24.5 小时， $P=0.001$ ），机械通气时间降低至 90 分钟（经验用药组 120 分钟， $P=0.003$ ），这些改善直接归因于药物剂量的动态精准调控，避免了经验用药中丙泊酚过量导致的神经抑制延长。并发症方面，监测优化组恶心呕吐发生率降至 15.0%（经验用药组 30.0%， $P=0.012$ ）、认知障碍发生率降至 8.0%（经验用药组 20.0%， $P=0.016$ ）、低血压发生率降至 10.0%（经验用药组 25.0%， $P=0.004$ ），但术中知晓事件组间差异未达显著水平（监测优化组 1.0% vs 经验用药组 5.0%， $P=0.072$ ），可能因低发生率需更大样本验证。麻醉深度监测数据进一步佐证：监测优化组术中 BIS 平均值维持在 42.8（经验用药组 45.2， $P=0.002$ ），熵指数为 38.5（经验用药组 41.2， $P=0.001$ ），表明麻醉深度更稳定；苏醒时 BIS 值快速升至 70.2（经验用药组 65.4， $P=0.001$ ），反映药物代谢清除更高效。术后 24 小时 VAS 评分监测优化组为 3.2 分（经验用药组 4.5 分， $P<0.001$ ），活动能力评分达 85.6 分（经验用药组 72.5 分， $P<0.001$ ），证明精准用药显著提升早期康复质量。这些结果共同指向：基于实时监测的个体化给药策略能有效平衡麻醉深度与恢复速度。

现有文献对麻醉深度监测的应用多局限于单一技术层面。熊亚等在妊娠合并肺动脉高压患者的围术期管理中证实 BIS 监测可减少血流动力学波动<sup>[3]</sup>，但未涉及多源数据融合的预测模型构建。赵树立团队观察到 AAI 监测下不同镇静深度影响肿瘤患者炎症因子水平<sup>[4]</sup>，但缺乏对术后时间指标的系统评估。本研究通过整合 BIS 与熵指数双模态数据，克服了单一指标的局限性，与纪木火阐述的多病共存患者管理挑战相呼应<sup>[5]</sup>，验证了该方案在复杂病例中的适用潜力。机制上，精准调控避免了丙泊酚过量引发的 GABA 受体过度激活，从而加速神经功能恢复；同时瑞芬太尼剂量的平稳调整减少了阿片类药物骤减导致的痛觉超敏，这与闫津硕关于瑞芬太尼泵注对苏醒期呛咳影响的研究结论一致<sup>[6]</sup>，本研究进一步将机制延伸至多维度恢复指标。从临床实践角度，该方案显著降低了恶心呕吐等常见并发症发生率，直接减轻患者术后不适并缩短住院周期。张亚妮在梗阻性黄疸患者中验证了麻醉意识指数的应用价值<sup>[7]</sup>，本研究则通过大样本随机对照试验，将适用场景拓展至常规手术类

型,为临床推广提供可靠证据。理论层面,研究揭示了年龄、体重指数与手术刺激强度的交互作用对麻醉深度的影响规律,为监测指标的优化选择提供了新依据。研究存在若干局限:高龄及高危患者比例偏低,可能削弱模型在特殊人群的泛化能力;实时预测算法与监测设备的接口延迟需进一步优化;手术类型差异对结果的潜在干扰提示后续需分层分析。未来工作应纳入脑氧饱和度等生理参数增强模型鲁棒性,开发临床嵌入式决策支持系统,并探索人工智能在麻醉闭环控制中的深度应

用。

综上,麻醉深度监测优化的精准用药策略通过数据驱动实现个体化剂量调整,显著改善术后恢复时间线并降低关键并发症风险,为围术期麻醉管理提供了可复制的技术路径。熊青青报道的部分性HELLP综合征病例管理<sup>[8]</sup>强调了个体化用药的紧迫性,本研究通过系统化模型验证,为解决临床实践中的经验依赖问题贡献了实证方案。

### 参考文献:

- [1] Thomas Fuchs-Buder,Carolina S.Romero,Heidrun Lewald,等.围术期神经肌肉阻滞的管理:欧洲麻醉和重症监护学会临床指南[J].中华麻醉学杂志,2024,44(06):641-656.
- [2] 岳惠玉,黄瑜,党晓东,等.食管癌术后并发膈疝的围术期管理麻醉1例[J].中国临床案例成果数据库,2025,7(1):2459-2459.
- [3] 熊亚,文静,何青盈,等.妊娠合并肺动脉高压产妇的围术期麻醉管理[J].陆军军医大学学报,2023,45(13):1422-1429.
- [4] 赵树立,王煜,于涛,等.AAI监测下不同麻醉镇静深度对肿瘤患者围术期炎症因子的影响[J].现代肿瘤医学,2021,29(16):5.
- [5] 纪木火,胡小义,杨建军.多病共存患者的围术期麻醉管理:挑战与机遇[J].临床麻醉学杂志,2024,40(11):1125-1129.
- [6] 闫津硕,李学锋,周冰,等.瑞芬太尼泵注对男性甲状腺患者全麻苏醒期呛咳影响[J].中华实验外科杂志,2025,42(11):2378-2379.
- [7] 张亚妮.麻醉意识指数在梗阻性黄疸和肝功能不全患者全身麻醉中的应用研究[D].甘肃中医药大学,2022.
- [8] 熊青青.部分性HELLP综合征患者麻醉用药管理1例[J].中国药物与临床,2025,25(24):1629-1632.