

机器学习在术后恶心呕吐预测中的应用及前景

付奎¹, 邵文擎^{2*}

¹日照市人民医院麻醉科, 山东 日照

²日照市人民医院疼痛科, 山东 日照

收稿日期: 2026年1月27日; 录用日期: 2026年2月22日; 发布日期: 2026年3月2日

摘要

术后恶心呕吐(Postoperative nausea and vomiting, PONV)是围术期常见的并发症,严重影响患者的术后康复,具有重要的临床研究意义。PONV的发生受多种因素影响,包括患者因素、麻醉相关因素、手术相关因素等。本文综述了PONV的发生机制、危险因素,并分析了机器学习在PONV预测中的应用、未来研究方向及潜在影响,为进一步提高PONV管理的准确性和个性化医疗提供了新的思路。

关键词

术后恶心呕吐, 机器学习, 预测模型, 风险因素

Application and Prospect of Machine Learning in Prediction of Postoperative Nausea and Vomiting

Kui Fu¹, Wenqing Shao^{2*}

¹Department of Anesthesiology, People's Hospital of Rizhao, Rizhao Shandong

²Department of Pain, People's Hospital of Rizhao, Rizhao Shandong

Received: January 27, 2026; accepted: February 22, 2026; published: March 2, 2026

Abstract

Postoperative nausea and vomiting (PONV) is a common perioperative complication, which seriously affects the postoperative rehabilitation of patients, and has important clinical research significance. The occurrence of PONV is affected by many factors, including patient factors, anesthesia-related factors, surgery-related factors. This study reviews the occurrence mechanism and risk

*通讯作者。

factors of PONV, analyzes the application, future research direction and potential impact of machine learning in PONV prediction, which provides a new idea for further improving the accuracy of PONV management and individualized medical treatment.

Keywords

Postoperative Nausea and Vomiting, Machine Learning, Prediction Model, Risk Factors

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

术后恶心呕吐(Postoperative nausea and vomiting, PONV)是患者在接受麻醉和手术后常见的并发症之一,其发生率可高达30%至70% [1] [2]。PONV不仅会影响患者的术后恢复,还能增加住院时间和医疗费用[3],因此有效预防和治疗PONV,是麻醉和外科领域亟需解决的难题。近年来,机器学习作为一种新兴技术,已广泛应用于医学研究中,尤其是在疾病预测、个体化治疗等方面具有良好的应用前景[4]。在PONV的研究中,机器学习能够通过分析患者的临床特征和术后反应,帮助医生评估其中的风险,并制定个性化的预防和治疗方案[5] [6]。本综述旨在探讨机器学习在PONV研究中的应用,分析其潜在的优势与挑战,以及如何通过其促进临床实践的改进。通过对相关文献的梳理,我们将为未来的研究提供参考和启示,推动机器学习在PONV管理中的发展应用。

2. PONV 的发生机制

PONV 是围术期常见的术后并发症,其发生机制涉及多种生理和药理途径,主要通过激活呕吐中枢或影响胃肠道功能诱发临床症状[7]。呕吐中枢的激活是PONV的核心环节。呕吐中枢位于第四脑室腹侧面的极后区化学触发带和孤束核上方,该区域含有多种受体(5-HT₃、多巴胺 D₂、NK-1、胆碱能和阿片受体等),可被血液或脑脊液中的呕吐化学信号激活,直接增强呕吐中枢的敏感性。阿片受体激活化学触发带,延迟胃排空,通过5-HT₃和多巴胺 D₂受体激活促进胃肠道扩张,导致患者发生呕吐[8]。患者自身因素通过影响神经化学平衡增加易感性,可能与受体表达或基因多态性相关,导致患者呕吐发生率增加[9]。手术相关因素通过物理或化学刺激直接刺激迷走神经或引起气腹,导致胃肠道功能紊乱,间接促进PONV的发生[10]。围术期钾、钠等电解质失衡,干扰神经肌肉功能,对胃肠道的抑制作用可降低蠕动节律,加剧恶心感[11]。

3. PONV 的危险因素

PONV 的危险因素主要包括患者自身因素、麻醉相关因素、手术相关因素三类,不同因素通过影响中枢呕吐反射或胃肠道功能共同诱发病状。

3.1. 患者自身因素

患者的自身因素是PONV的核心风险源,其中包括年龄、性别、吸烟状态、晕动病史等。在年龄方面,成人患者中与<50岁患者比较,>50岁患者PONV风险率更低,可能与神经反射随年龄减弱有关;儿童患者中,3岁以上患者PONV风险随年龄增长每年递增0.2%~0.8%,5~9岁达峰值,可能是婴幼儿因

呕吐中枢发育不完全导致发生率较低[12]。女性发生 PONV 的发生率是男性的 2~3 倍, 可能与激素水平波动可能增加呕吐中枢的敏感性及基因多态性相关[13]。在吸烟病史方面, 吸烟病史患者的 PONV 发生率显著降低, 可能是吸烟诱导肝酶活性、降低多巴胺受体敏感性进而减少 PONV 的发生率[14]。在晕动病史方面, 有病史患者的中枢呕吐阈值较低, 因此 PONV 的发生率高[15]。

3.2. 麻醉相关因素

麻醉相关因素主要包括麻醉相关药物和麻醉方式的应用, 均可影响患者 PONV 的发生率。吸入麻醉药可通过激活中枢 5-HT₃ 受体、多巴胺 D₂ 受体, 引发胃肠道扩张, 显著增加 PONV 风险, 且呈剂量依赖性[16]。阿片类药物会通过刺激化学触发带、延迟胃排空诱发 PONV, 呈剂量依赖性[17]。肌松药的拮抗剂新斯的明可能通过其拟胆碱作用增加患者的 PONV 发生率[18]。在麻醉方式方面, 全身麻醉较区域阻滞麻醉对胃肠道蠕动抑制更明显, 因此 PONV 发生风险更高[19]。

3.3. 手术相关因素

手术相关因素主要包括手术类型和手术时间等因素。腹部手术、妇科手术(尤其腹腔镜)、减重手术、斜视矫正术、耳鼻喉科手术等 PONV 风险较高, 因这类手术可能伴随气腹、迷走神经反射或直接胃肠道刺激[20]。手术时间越长, 阿片类药物、吸入麻醉药等药物用量越多, PONV 发生率越高, 尤其是持续 3 h 以上的手术, 每延长 30 min, PONV 的风险就相对增加 60%。

4. 机器学习在 PONV 预测中的应用

4.1. 机器学习的基本方法

机器学习是人工智能的分支, 主要通过算法让计算机从数据中学习并进行预测或决策, 分为监督学习和非监督学习[21]。监督学习是指在已有标签的数据集上训练模型, 使模型能够根据输入数据预测输出标签。常见的监督学习算法包括决策树、随机森林、支持向量机等, 这些算法通过构建模型, 能够有效地处理分类和回归问题。非监督学习则是指在没有标签的情况下, 从数据中寻找潜在的模式或结构, 包括聚类分析和降维技术, 广泛应用于数据探索和特征提取。

4.2. PONV 预测模型的构建

PONV 预测模型构建的第一步是数据收集与预处理。为确保模型的有效性, 须收集大量 PONV 相关的临床数据, 包括患者的基本信息(性别、身高、体重、年龄等)、手术类型、麻醉方式、麻醉用药情况以及术后恢复情况等。临床数据的选择与特征提取是 PONV 模型构建中的关键环节。在患者数据收集完成后, 需要进行预处理, 包括对缺失数据的处理、异常值的识别和处理等。这些数据的完整性和准确性直接影响到 PONV 模型的性能。PONV 特征可以采用统计学方法或机器学习算法进行提取, 通过分析患者的临床数据, 提取出能够有效表征 PONV 风险的特征[22]。

第二步是数据清洗与标准化方法, 是确保 PONV 数据质量的重要步骤。数据清洗的主要目的是去除错误和冗余信息, 以提高数据的质量和可靠性。标准化则能够消除不同特征间的量纲差异, 使得各特征在模型训练中能够得到合理的权重。在此过程中, 可采用 Z-score 标准化或 Min-Max 归一化等方法, 以确保每个特征均匀分布, 便于后续 PONV 模型的训练和分析。

第三是模型训练与验证, 是构建 PONV 预测模型的核心步骤。选择合适的机器学习算法(逻辑回归、决策树、随机森林等)进行模型构建, 并采用选定的特征进行训练。模型验证则是通过对 PONV 模型性能进行评估, 检验其在新数据上的预测能力。训练集与测试集的划分至关重要, 通常采用 70%至 80%的数

据作为训练集, 剩余部分作为测试集。合理的划分能够确保模型在实际应用中的有效性和稳定性[23]。通过交叉验证技术, 可以有效避免 PONV 模型的过拟合现象, 从而提高其泛化能力。通过将数据集分成多个子集, 交替使用一个子集进行测试, 其余子集用于训练, 可以较为全面地评估模型的性能。这种方法能够有效降低估计误差, 确保最终模型在未知数据集上的预测能力, 从而实现了对 PONV 风险的准确预测[10]。在 PONV 的预测中, 机器学习的方法逐渐被应用于识别高风险患者。近年来, 研究者们通过采用机器学习模型, 整合多项临床指标和患者特征, 以提高对 PONV 发生的预测精度。

4.3. 机器学习 PONV 模型的评估

在机器学习 PONV 模型的评估过程中, 评估指标的选择是至关重要的。常用的评估指标包括准确率、灵敏度和特异性等。准确率是指模型正确预测的样本数占总样本数的比例, 而灵敏度则衡量模型正确识别出这类样本的能力, 特异性则关注于正确识别负类样本的能力。这些指标帮助研究者全面理解 PONV 模型的性能, 尤其是在面对不平衡数据集时, 单一的准确率可能会导致误导的评估结果, 因此结合多种指标进行综合评估是必要的。超参数调优是提升 PONV 模型性能的关键步骤, 通过对模型的超参数进行系统的调节, 可以找到最优的 PONV 模型配置。常用的调优方法包括网格搜索和随机搜索等, 通过这些方法能够在一定范围内有效搜索到最优的超参数组合, 进而提升模型的准确性。集成学习方法的应用是提升 PONV 模型性能的重要策略, 通过结合多个模型的预测结果, 可以有效降低单一模型可能带来的偏差与方差, 从而提高整体的预测性能, 常见的集成方法包括袋装法和提升法, 这些方法能够充分发挥多个模型的优势, 提高模型的稳定性和准确性[24]。

5. 机器学习在预测 PONV 的未来研究方向及潜在影响

5.1. 未来研究方向

跨学科整合及动态模型的开发与应用预测 PONV 是未来的研究方向。跨学科整合是通过结合生物信息学(转录组学、蛋白组学、代谢组学等数据)与医学, 形成全方位的患者特征描述, 这将有助于机器学习模型更好地识别 PONV 高风险患者[25]。因此, 跨学科整合是推动机器学习在 PONV 预测中应用的重要方向, 可提高模型的预测准确性。

动态模型的开发与应用也是未来研究的关键。传统的机器学习模型往往基于静态数据进行训练, 而 PONV 的发生可能受到多种因素的影响, 如麻醉药物的种类、手术类型及患者的生理状态等。因此, 开发能够实时更新和调整的动态模型, 将使得机器学习能够更准确地反映患者在手术过程中和术后状态的变化, 这对于个性化的 PONV 预测和管理至关重要。

5.2. 潜在影响

机器学习的应用可提高 PONV 预测的准确性和实现个体化治疗, 能够识别出影响 PONV 发生的多种因素, 从而为不同患者制定更加个性化的预防和治疗方案。这种方法不仅提高了 PONV 的预测准确性, 也为临床医生在管理患者过程中提供了更为科学的依据, 进而提升患者的整体治疗体验。机器学习的应用能够显著降低 PONV 相关的医疗成本和患者负担。通过精准的预测和个体化的干预措施, 患者在术后出现 PONV 的风险得以降低, 从而减少了因病情恶化而产生的额外医疗费用以及住院时间。这不仅减轻了患者的经济负担, 也缓解了医疗系统的压力, 尤其在资源有限的医疗环境中, 机器学习的有效应用显得尤为重要[26]。

综上所述, 机器学习在术后恶心呕吐(PONV)预测中的重要性日益凸显。通过分析患者的临床数据和多种影响因素, 机器学习模型能够有效识别出高风险患者, 从而实现个性化的预防和治疗策略。这种方

法不仅提高了预测的准确性, 还为临床决策提供了有力支持, 帮助医生更好地管理术后患者的症状。

参考文献

- [1] Rajan, N. and Joshi, G.P. (2021) Management of Postoperative Nausea and Vomiting in Adults: Current Controversies. *Current Opinion in Anaesthesiology*, **34**, 695-702. <https://doi.org/10.1097/aco.0000000000001063>
- [2] Gan, T.J., Jin, Z. and Meyer, T.A. (2022) Rescue Treatment of Postoperative Nausea and Vomiting: A Systematic Review of Current Clinical Evidence. *Anesthesia & Analgesia*, **135**, 986-1000. <https://doi.org/10.1213/ane.00000000000006126>
- [3] Daccache, N., Wu, Y., Jeffries, S.D., Zako, J., Harutyunyan, R., Pelletier, E.D., *et al.* (2025) Safety and Recovery Profile of Patients after Inhalational Anaesthesia versus Target-Controlled or Manual Total Intravenous Anaesthesia: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised Controlled Trials. *British Journal of Anaesthesia*, **134**, 1474-1485. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2025.02.007>
- [4] Qi, X., Wang, S., Fang, C., Jia, J., Lin, L. and Yuan, T. (2025) Machine Learning and SHAP Value Interpretation for Predicting Comorbidity of Cardiovascular Disease and Cancer with Dietary Antioxidants. *Redox Biology*, **79**, Article ID: 103470. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2024.103470>
- [5] Zhou, C., Wang, Y., Xue, Q., Yang, J. and Zhu, Y. (2023) Predicting Early Postoperative PONV Using Multiple Machine-Learning- and Deep-Learning-Algorithms. *BMC Medical Research Methodology*, **23**, Article No. 133. <https://doi.org/10.1186/s12874-023-01955-z>
- [6] Zhang, K., Jiao, B., Sun, J., Zhang, X., Zhang, G., Li, N., *et al.* (2025) Predicting High-Risk Factors for Postoperative Inadequate Analgesia and Adverse Reactions in Cesarean Delivery Surgery: A Prospective Study. *International Journal of Surgery*, **111**, 3859-3875. <https://doi.org/10.1097/js9.0000000000002354>
- [7] Gan, T.J., Belani, K.G., Bergese, S., Chung, F., Diemunsch, P., Habib, A.S., *et al.* (2020) Fourth Consensus Guidelines for the Management of Postoperative Nausea and Vomiting. *Anesthesia & Analgesia*, **131**, 411-448. <https://doi.org/10.1213/ane.00000000000004833>
- [8] Bonnet, M.-., Marret, E., Josserrand, J. and Mercier, F.J. (2008) Effect of Prophylactic 5-HT₃ Receptor Antagonists on Pruritus Induced by Neuraxial Opioids: A Quantitative Systematic Review. *British Journal of Anaesthesia*, **101**, 311-319. <https://doi.org/10.1093/bja/aen202>
- [9] Horn, C.C., Wallisch, W.J., Homanics, G.E. and Williams, J.P. (2014) Pathophysiological and Neurochemical Mechanisms of Postoperative Nausea and Vomiting. *European Journal of Pharmacology*, **722**, 55-66. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2013.10.037>
- [10] Cascella, M., Guerra, C., Atanasov, A.G., Calevo, M.G., Piazza, O., Vittori, A., *et al.* (2024) Predicting Post-Surgery Discharge Time in Pediatric Patients Using Machine Learning. *Translational Medicine @ UniSa*, **26**, 69-80. <https://doi.org/10.37825/2239-9747.1055>
- [11] Salajagheh, S., Kuhestani, S., Sharifzadeh Kermani, M., Taheri, O. and Naeimi Bafghi, N. (2019) Comparison of Ondansetron and Granisetron Effects for Prevention of Nausea and Vomiting Following Strabismus Surgery. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, **7**, 3195-3200. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.795>
- [12] Weibel, S., Rücker, G., Eberhart, L.H., Pace, N.L., Hartl, H.M., Jordan, O.L., *et al.* (2020) Drugs for Preventing Postoperative Nausea and Vomiting in Adults after General Anaesthesia: A Network Meta-Analysis. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, No. 10, CD012859. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd012859.pub2>
- [13] Yu, T., Han, L., Zhao, J., Fu, J., Fang, P. and Lu, Y. (2025) Effects of Motion Sickness Patch on Postoperative Nausea and Vomiting in Female Patients Undergoing Thyroid Surgery: A Randomized Clinical Trial. *International Journal of Surgery*, **111**, 7001-7009. <https://doi.org/10.1097/js9.0000000000002875>
- [14] Sweeney, B.P. (2002) Why Does Smoking Protect against PONV? *British Journal of Anaesthesia*, **89**, 810-813. <https://doi.org/10.1093/bja/aef269>
- [15] Chin, Y., Wang, W. and Yu, H. (2025) Risk Factors Related to Postoperative Dizziness among Patients Who Underwent General Anesthesia and Intraoperative Analgesics: A Prospective Cohort Study. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, **40**, 365-370. <https://doi.org/10.1016/j.jopan.2024.05.015>
- [16] Sprung, J., Deljou, A., Schroeder, D.R., Warner, D.O. and Weingarten, T.N. (2024) Effect of Propofol Infusion on Need for Rescue Antiemetics in Postanesthesia Care Unit after Volatile Anesthesia: A Retrospective Cohort Study. *Anesthesia & Analgesia*, **139**, 26-34. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000006906>
- [17] Feenstra, M.L., Jansen, S., Eshuis, W.J., van Berge Henegouwen, M.I., Hollmann, M.W. and Hermanides, J. (2023) Opioid-Free Anesthesia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Anesthesia*, **90**, Article ID: 111215. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2023.111215>

-
- [18] Hristovska, A., Duch, P., Allingstrup, M. and Afshari, A. (2017) Efficacy and Safety of Sugammadex versus Neostigmine in Reversing Neuromuscular Blockade in Adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, No. 8, CD012763. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd012763>
- [19] Ishikawa, E., Iwamoto, R., Hojo, T., Teshirogi, T., Hashimoto, K., Shibuya, M., *et al.* (2022) Cross-Sectional Study of PONV Risk Factors for Oral Surgery after Intubated General Anesthesia with Total Intravenous Anesthesia. *Anesthesia Progress*, **69**, 18-23. <https://doi.org/10.2344/anpr-68-03-12>
- [20] Huang, Q., Wang, F., Liang, C., Huang, Y., Zhao, Y., Liu, C., *et al.* (2023) Fosaprepitant for Postoperative Nausea and Vomiting in Patients Undergoing Laparoscopic Gastrointestinal Surgery: A Randomised Trial. *British Journal of Anaesthesia*, **131**, 673-681. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2023.06.029>
- [21] Zhang, H., Jiang, L., Zheng, J. and Li, C. (2025) Supervised Machine Learning-Based Bias Risk of Prognostic Models for Total Knee or Hip Arthroplasty Patients: A Systematic Review. *Medicine*, **104**, e45230. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000045230>
- [22] Zhu, Y., Jiang, L., Sun, C., Li, Y. and Xie, H. (2025) A Prediction Model for Postoperative Nausea and Vomiting after Laparoscopic Surgery for Gynecologic Cancers. *Clinical Therapeutics*, **47**, 143-147. <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2024.11.018>
- [23] Choi, B., Kim, E., Kim, D.H., Kim, K.M., Bang, J., Noh, G., *et al.* (2024) Dosing Strategy of Ramosetron to Prevent Postoperative Nausea and Vomiting and Development of Prediction Models Using Data Obtained from Randomized Controlled Trials: A Comparative Study. *Clinical Therapeutics*, **46**, 604-611. <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2024.05.003>
- [24] Shan, X., Zhang, M., Liang, Y., Yang, Y., Xiao, X., Chen, R., *et al.* (2025) Application of Machine Learning to Predict Postoperative Nausea and Vomiting in Laparoscopic Sleeve Gastrectomy. *Obesity Surgery*, **35**, 2663-2672. <https://doi.org/10.1007/s11695-025-07951-0>
- [25] Douville, N.J., Bastarache, L., He, J., Wu, K.H., Vanderwerff, B., Bertucci-Richter, E., *et al.* (2024) Polygenic Score for the Prediction of Postoperative Nausea and Vomiting: A Retrospective Derivation and Validation Cohort Study. *Anesthesiology*, **142**, 52-71. <https://doi.org/10.1097/aln.00000000000005214>
- [26] Xie, M., Deng, Y., Wang, Z., He, Y., Wu, X., Zhang, M., *et al.* (2023) Development and Assessment of Novel Machine Learning Models to Predict the Probability of Postoperative Nausea and Vomiting for Patient-Controlled Analgesia. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 6439. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33807-7>