

游离皮瓣移植术后血管危象风险预测模型的研究进展

黄印梓, 刘杰, 刘闪闪, 夏德林*

重庆医科大学附属第二医院整形与颌面外科, 重庆

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3日

摘要

游离皮瓣移植是组织缺损修复的重要方法, 但术后血管危象可能引发皮瓣的血运障碍, 严重影响了患者的预后。本文就游离皮瓣移植术后血管危象风险预测模型的研究进展进行了综述, 重点围绕风险因素的评估指标体系、模型构建方法、性能评估标准以及当前面临的主要问题展开了讨论。逻辑回归等传统统计模型能够提供明确的风险因子权重, 具备良好的可解释性; 而随机森林、神经网络等机器学习方法在处理多个变量间复杂非线性关系时能够展现出更高的判别精度。预后营养指数(PNI)作为反映患者营养与免疫状态的重要指标, 被有关研究证实是血管危象的独立预测因素, 炎症标志物联合使用, 可进一步提升模型的预测能力。未来研究应当整合多中心数据、优化算法泛化性, 并推动个体化的风险管理。本文旨在为临床实践提供理论依据, 同时为融合随机森林算法与PNI的预测模型构建提供思路。

关键词

游离皮瓣移植, 血管危象, 风险预测模型, 预后营养指数, 机器学习

Advances in Risk Prediction Models for Vascular Crisis after Free Flap Transplantation

Yinzi Huang, Jie Liu, Shanshan Liu, Delin Xia*

Plastic and Maxillofacial Surgery Department, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: January 27, 2026; accepted: February 22, 2026; published: March 3, 2026

*通讯作者。

文章引用: 黄印梓, 刘杰, 刘闪闪, 夏德林. 游离皮瓣移植术后血管危象风险预测模型的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 554-561. DOI: 10.12677/acm.2026.163822

Abstract

Free flap transplantation is important for repairing tissue defects, but postoperative vascular crisis may cause flap perfusion and impact the patient's outcome. In this review, we survey recent improvements of risk prediction models of vascular crisis after free flap transplant, with applications to the assessment index system for risk factors, the model construction, performance evaluations, and the most significant problems. Traditional statistical models such as logistic regression provide clear weights of risk factors and are intuitive, while machine learning methods such as random forests and neural networks can be more accurate in complex non-linear relationships between multiple variables. The Prognostic Nutritional Index (PNI) is a very important indicator of a patient's nutritional/immune state which is shown to predict vascular crisis independently. Combined with inflammation markers, the proposed model can potentially improve the predictive power. Future work could include the use of multi-center data, better generalization of algorithms, and personalized risk management. In summary, this review could serve as a theoretical basis in clinical practice and provide practical guidance on building prediction models based on random forest algorithms and PNI.

Keywords

Free Flap Transplantation, Vascular Crisis, Risk Prediction Model, Prognostic Nutritional Index (PNI), Machine Learning

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

皮瓣作为一种自带血运的活性组织块，在组织缺损修复中扮演着重要的角色。目前临床上使用的皮瓣修复技术主要分为局部邻近皮瓣、带蒂皮瓣以及游离皮瓣几种。其中游离皮瓣因其取材灵活、容量大等特点，已在头颈、乳房、躯干与四肢的复杂缺损修复中成为重要选项[1] [2]。自从 1972 年 McLean 和 Buncke 首次报道游离组织移植以来，至今该技术的成功率已提升至 95% 以上[3]。但是游离皮瓣移植后产生的血管危象，比如血栓或血管痉挛，仍是一个棘手的难题。它不仅可能导致皮瓣坏死，还会加剧患者的痛苦和经济压力，同时也造成医疗资源的额外消耗与浪费[4]。而传统评价发生术后危象的办法都主要集中在术后对于皮瓣本身的观察上。然而近年来，研究者们将重点放在识别相关风险因素、并建立有效预测模型上，以实现早期预警与干预。以往 logistic 回归是分析风险因素的常用统计手段[5] [6]；而如今，随着数据测算能力的进阶，诸如决策树、神经网络这类机器学习算法，正逐步成为提高预测准确性的重要方法[7] [8]。本文旨在梳理血管危象风险预测模型的研究现状与趋势，以帮助临床实践作出更为精准的判断。

2. 血管危象风险因素的评估指标体系

血管危象的发生涉及多类风险因素，主要包括患者基础特征、合并症情况、营养状态以及手术相关因素等多个维度。现有研究多采用先单因素分析如卡方检验筛选显著相关变量，再通过多因素 Logistic 回归进一步确定独立预测因子的策略[9] [10]。以下从不同维度对各类风险指标展开系统阐述。

2.1. 患者基础特征与合并症

老年(通常指年龄 > 65 岁)、肥胖(BMI > 30)、有吸烟史以及合并糖尿病等是公认的常见风险因素。吸烟可导致血管内皮功能紊乱并诱发血管痉挛[11][12]。对于在断指再植术后发生血管危象的相关危险因素分析中, 费佳佳等人研究显示吸烟者发生血管危象风险增加约 4.13 倍[13], 李家米等人研究显示增加约 3.47 倍[14]; 糖尿病则因引起微血管病变及高凝状态, Brady 等(2018)证实其明显增加头颈部游离皮瓣移植术后血栓形成的概率[15]。此外, Stead 等(2025)提出的改良衰弱指数(如 5-item Modified Frailty Index, 5-mFI)能够综合评估患者是否合并高血压、慢性肺疾病等功能状态指标, 被证实可有效预测术后并发症[16]。Zhao 等(2018)发现手术相关因素如手术时间延长(如超过 500 分钟)、术中输血事件以及静脉吻合数量较少(例如仅进行单根静脉吻合者风险更高)等, 均被多项研究确定为血管危象的独立危险因素[17]。上述指标共同说明, 在临床实践中需开展多维度、多因素的综合评估。

2.2. 营养与炎症指标

营养状态是影响皮瓣存活及术后恢复的关键要素。预后营养指数(Prognostic Nutritional Index, PNI)由血清白蛋白浓度和外周血淋巴细胞计数计算得出, 可全面反映患者的营养状况与免疫功能[18]。Yu 等(2020)研究表明, 当 PNI 值低于 40 时, 游离皮瓣失败的风险显著上升, 并伴随住院时间延长[19]。较低的 PNI 提示机体存在蛋白质营养不良和免疫抑制状态, 进而干扰微循环重建过程。此外, Xu 等(2025)发现血清白蛋白水平低于 3.5 g/dL 与术后伤口感染及皮瓣坏死风险增加密切相关[20]; 而 Shum 等(2014)指出前白蛋白(其半衰期较短)低于 10 mg/dL 时, 能更敏感地反映急性营养状态变化及相应的危象发生风险[21]。这些指标临床获取便捷, 适合用作术前常规筛查工具。

2.3. 其他新型生物标志物

近年来, 炎症标志物和纤维蛋白原水平, 也逐渐被纳入血管危象的风险评估体系中。Mahajan 等人的研究显示, 炎症标志物, 例如中性粒细胞、淋巴细胞、单核细胞和血小板计数、中性粒细胞 - 淋巴细胞比率(Neutrophil-to-Lymphocyte Ratio, NLR)、血小板 - 淋巴细胞比率、淋巴细胞 - 单核细胞比率、衍生 NLR、全身免疫炎症指数和全身炎症标志物指数(SIM)等与头颈部游离皮瓣移植术后并发生有关[22]; 刘敏等研究指出, 血液高凝状态可能提升游离皮瓣移植术后血栓形成的风险[23], 而纤维蛋白原作为血小板凝聚的关键因子, 与此密切相关。术前纤维蛋白原水平较高的患者, 术后出现血管危象的可能性也更大。这主要是因为过高的纤维蛋白原会使血液黏滞度增加, 导致血液循环减缓, 从而更容易形成血栓[24]。该结果也与羊良慧等学者的观点相符, 即高纤维蛋白原所引起的血液高凝状态, 会显著增加血栓及血管危象发生的几率[25]。将不同类别指标整合应用(如 PNI 联合 NLR 等炎症标志物)有助于构建更全面、灵敏的风险预测体系。

2.4. 术中管理及药物使用的影响

除了患者自身因素与手术技术细节外, 术中及术后药物管理同样是影响游离皮瓣存活的关键环节, 特别是血管活性药物和抗纤溶药物的使用需谨慎评估。在显微外科乳房重建手术中, Larcher 等(2025)的研究表明, 术中使用去甲肾上腺素维持血压会显著增加游离皮瓣(如 DIEP、PAP 皮瓣)的血供障碍、动静脉血栓形成及再次探查手术的风险, 提示该药物强烈的血管收缩效应可能危及皮瓣的微循环灌注[26]。不同的是, Leow (2025)等在回顾性单中心队列研究中评估了 TXA 对自体游离皮瓣重建的影响, 在麻醉诱导下单次给予氨甲环酸(TXA)后, 微血管血栓并发症发生率并未进一步增加, 为其相对安全的显微血管手术机制提供了证据[27]。抗血栓预防方案的组成与方式决定了结局, Hsiung PH 等(2024)提出采用多药联

合方案(前列腺素 E1、右旋糖酐-40、阿司匹林和双嘧达莫), 尽管所有患者接受统一抗血栓预防, 使用多药方案的患者血栓形成率(3.8%)明显低于未常规预防的患者约 50%, 但血肿的发生率(9.7%)更高, 说明抗血栓与止血平衡管理是关键。特别是对于特定的人群, 如肝硬化患者、腓骨骨皮瓣以及双皮瓣重建患者, 抗血栓药物要谨慎选择。这都说明要注重药物选择时权衡抗血栓或止血获益与血管舒缩副作用之间的关系[28]; Suzuki 等(2025)在头颈部游离组织重建中发现, 当颈内静脉无法作用时, 仅与浅静脉系统单吻合, 与深静脉系统单吻合相比, 可导致因静脉血栓导致皮瓣失败并需要再次手术探查的风险增加 30%, 这提示了静脉回路的稳定性与药物干预效果可能会相互影响[29], 所以制定围手术期用药方案时应结合患者情况、皮瓣类型、吻合血管条件进行个体化决定。

3. 风险预测模型的构建方法演进

随着研究方法的发展, 血管危象预测模型正逐渐从传统统计学方法向机器学习算法拓展, 旨在兼顾模型解释性与预测精度。此类模型通常基于回顾性队列数据, 经变量筛选后通过训练与优化构建而成。

3.1. 传统统计模型

Logistic 回归是其中经典方法, 能够计算各变量的比值比(Odds Ratio, OR), 从而明确不同因素的风险权重。例如, Wu H、Liu H 等通过多因素 Logistic 回归识别出术前血红蛋白较低、吸烟史及早期干预时间等独立预测因子[30] [31]。赵丽阳及其研究团队通过建立 Logistic 回归方程, 开发了一种用于预测手外伤患者接受皮瓣移植术后发生血管危象风险的模型。该模型的预测效能表现良好, 其受试者工作特征曲线下面积(AUC)达到 0.884, 表明其在识别皮瓣移植术后血管危象方面具有较强的预测能力[5], “见表 1”。另一方面, 李琴等人则聚焦于头面部皮瓣修复手术, 同样采用多因素 Logistic 回归方法构建了术后并发症的预测模型, 并进一步绘制了风险列线图以辅助临床评估。该模型的 C-index 指数为 0.829, 反映出模型在预测准确性和病例区分度方面均具有较好表现[6]。该类模型优势在于解释性强, 但对于变量间复杂的非线性关系捕捉能力有限。

3.2. 机器学习模型

随机森林、支持向量机及神经网络等算法能够更好地处理变量间复杂关系与交互效应。Shi 等人开展了一项回顾性分析, 使用随机森林(Random Forest)、支持向量机(Support Vector Machine)和梯度提升机(Gradient Boosting Machine)来构建经历头颈部、乳房、背部和四肢的游离皮瓣微血管吻合术后失败的预测模型, 该研究显示随机森林模型在测试集中表现出最优的预测能力, 其受试者工作特征曲线下面积(AUC)达到 0.770, 而支持向量机与梯度提升模型的 AUC 分别为 0.720 和 0.707, 这一结果突出随机森林在处理此类复杂临床预测问题中具有较好的稳健性和分类准确性[32], “见表 1”。Yang 等(2024)开发的随机森林模型通过构建多棵决策树并集成其结果提高模型稳定性, 在测试集上准确率可达 85.5%, 但其对少数类别(即发生血管危象的样本)的敏感性较低, 仅为 0.571。神经网络模型性能更优, AUC 可达 0.828, 敏感性为 0.857, 特异性达 0.773, 然而该类模型通常需较大样本量支持, 且易出现过拟合问题[8], “见表 1”。机器学习模型还可对特征重要性进行排序(如结果显示手术时间、PNI 水平排名靠前), 但在应对类别不平衡问题时, Yang F 等(2022)指出常需借助合成少数类过采样技术(SMOTE)和编辑最近邻(ENN)加以优化[33]。此外, 在胫骨骨折术后深静脉血栓形成预测的模型中, Baki H (2025)等通过回顾性队列($n = 471$)系统比较多种机器学习模型, 发现支持向量机(Support Vector Machine, SVM)和随机森林在内部验证(70/30 分割 + bootstrapping)下均获高 AUC (0.98~0.99), 但 SVM 校准更优[34], “见表 1”

3.3. 模型整合与性能比较

传统模型与机器学习模型在实际应用中可互为补充：逻辑回归提供清晰的可解释系数，而神经网络善于挖掘潜在复杂模式。Luo 等(2024)研究表明，整合多指标(如 PNI 联合 5-mFI)的联合预测模型可显著提升 AUC (从 0.65 提高至 0.80)，突显多维度信息整合的临床价值[35]，“见表 1”。需注意的是，模型性能极大依赖于数据质量，因此必须通过交叉验证及外部数据集测试以评估其泛化能力。

Table 1. Summary of representative study model characteristics

表 1. 代表性研究模型特征汇总

作者	样本量	主要变量	模型类型	验证方法	AUC
Yang J J (2024)	570	术前血红蛋白、术前纤维蛋白原、手术时间、等	多因素 logistic 回归	混线矩阵	0.73
同上	同上	同上	随机森林(SMOTE)	同上	0.828
同上	同上	同上	人工神经网络(SMOTE)	同上	0.775
Baki H (2025)	471	术前实验室检查、手术细节和术后情况的丰富变量集等	支持向量机 (Support Vector Machine, SVM)	内部验证(训练 - 测试分割)	0.9785
同上	同上	同上	随机森林	同上	0.9948
同上	同上	同上	极限梯度提升(XGBoost)	同上	0.9905
同上	同上	同上	轻量梯度提升机 (LightGBM)	同上	0.9905
赵丽阳	126	性别、年龄、术后皮瓣水肿等	多因素 logistic 回归	时间分割的验证队列	0.884
Shi Y C	946	年龄、体重指数(BMI)、缺血时间、既往化疗史、高血压、肥胖等	随机森林	内部验证(训练 - 测试分割) 结合 网格搜索 (GridSearch)与 5 折交叉验证(5-fold cross-validation)	0.770
同上	同上	同上	支持向量机 (Support Vector Machine)	同上	0.720
同上	同上	同上	梯度提升机 (Gradient Boosting Machine)	同上	0.707
Luo T	1197	5 项改良衰弱指数(5-mFI)、预后营养指数 (PNI)	多因素 logistic 回归	内部验证(训练 - 测试分割) 结合 网格搜索 (GridSearch)与 5 折交叉验证(5-fold cross-validation)	PNI: 0.66 mFI: 0.65 组合模型(PNI + 5-mFI): 0.8

4. 模型性能的评估标准

预测模型的评估通常需要使用一系列的指标。受试者工作特征曲线下面积(AUC)通常用于测量评价模型的区分能力，AUC = 0.79 被视为有较好的强区分能力(strong discriminative ability) [36]；它常用的指标还有准确率、敏感性(召回率)、特异性等。临床效用通常可以采用决策曲线分析(Decision Curve Analysis, DCA)方法进行评估，其能够综合比较假阳性与假阴性对模型临床效用产生的影响，以评估出模型在不同阈值概率下的净获益。对模型输出概率的整体判定还可以采用校准曲线(Calibration Curve)和 Brier 分数等指标进行判定，前者用于直观比较预测概率与实际发生频率之间的一致性。而后者则是综合判断概率预测准确度的一个数值指标。

5. 研究现状与挑战

在研究现状方面, 目前已有诸多研究证实多因素预测模型在游离皮瓣移植术后血管危象风险评估中具有一定的可行性, 然而仍存在几项明显局限性。首先, 现有研究多基于单中心、回顾性队列数据, 样本规模有限, 且容易受到选择偏倚和混杂因素的影响, 限制了结果的稳健性。其次, 由于不同病例中风险因素存在较大异质性——例如皮瓣所在解剖部位的差异可能导致模型表现不一致——因此现有模型普遍泛化能力不足, 在不同群体或医疗机构中的适用性有待验证。最后, Zhang Y 等指出许多机器学习模型具有“黑箱”特性, 其决策过程不够透明, 这在一定程度上阻碍了其在临床实践中的接受和推广[37]。

未来的研究方向应包括开展前瞻性、多中心的大样本临床研究以验证模型的普遍适用性, 整合动态监测数据及实时生理参数以增强预测的时效性, 并积极引入可解释人工智能技术(如 SHAP 值、LIME 等)以提升模型透明度。同时, 探索新型生物标志物——比如与炎症、应激反应相关的细胞因子谱——结合传统营养指标(如预后营养指数 PNI), 以及推进算法层面的创新(例如将随机森林与 PNI 指标相结合构建融合模型), 有望进一步提高预测模型的判别精度和临床效用。

6. 结论

游离皮瓣移植术后血管危象的风险预测模型发展正逐渐由单一指标判别向多因素、机器学习辅助的整合模型转变。传统统计模型注重可解释性与临床适用性, 而机器学习方法在处理大规模、高维度数据时表现出更高准确性。营养指标如 PNI 作为独立预测因子, 与患者炎症状态、手术相关参数等多维度信息相结合, 可显著优化模型性能。今后需通过标准化数据采集流程、大规模外部验证和临床转化研究推动模型的实际应用, 最终实现个体化、精准化的术后风险管理。随机森林算法因其能够有效处理高维特征、自动进行特征选择以及评估变量重要性, 在结合 PNI 等关键预测指标的基础上, 有望成为构建高效、稳健预测模型的重要工具, 为降低皮瓣坏死风险、改善手术预后提供新思路与方法支持。

此外, 将高性能的预测模型转化为实用工具是实现预测模型价值的关键。针对可解释的模型(Logistic 回归), 可利用列线图的形式进行设计, 列线图(Nomogram)可将复杂的回归方程化, 临床医生根据患者的具体指标进行打分, 简单加总后, 可查询其出现血管危象的概率。可使用更加简便的代码, 建议针对更为复杂的机器学习模型(如随机森林), 提供在线网页计算器(Web Calculator), 使用者在线输入或者选择相应的临床参数, 后台即可调用训练好的模型进行实时运算, 返回预测的风险值及必要的解释说明(如影响因素), 可以降低模型的使用门槛。

然而, 列线图和在线计算器的大量应用都存在着以下问题: 不同医疗机构数据的标准和采集流程不统一, 变量定义、检测方法、单位等差异将直接影响模型在新的环境下表现, 需要继续在未来发展统一的数据标准规范。比如: 在建模之初通过临床指南及术语标准定义所有预测变量; 在开展多中心合作研究时, 各中心必须使用标准化的数据采集表和电子病历录入模板; 采用自然语言处理等方法, 从非结构化电子病历中自动收集标准化数据等, 都是实现大规模数据整合和模型泛化的途径。通过以上工作, 逐步建立高质量标准化的多中心数据库才能真正建立起稳健、可推广的临床预测工具。

参考文献

- [1] 刘明明, 彭伶俐, 唐举玉. 皮瓣移植术后侵入性微循环监测方法的进展[J]. 中华显微外科杂志, 2020, 43(4): 414-416, C4-1-C4-2.
- [2] AlLababidi, N.H., AlOmran, A. and Hashem, F.K. (2018) The Use of an Omental Flap for the Reconstruction of a Burn Injury to the Scalp: A Case Report. *International Journal of Surgery Case Reports*, 53, 420-423. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2018.11.038>
- [3] McLean, D.H. and Buncke, H.J. (1972) Autotransplant of Omentum to a Large Scalp Defect, with Microsurgical

- Revascularization. *Plastic and Reconstructive Surgery*, **49**, 268-274.
<https://doi.org/10.1097/00006534-197203000-00005>
- [4] 付琼, 彭伶俐. 皮瓣移植术后血管危象发生的影响因素分析[J]. 全科护理, 2020, 18(15): 1843-1845.
- [5] 赵丽阳, 邹艳, 顾群亚. 手外伤皮瓣移植术病人术后血管危象风险预测模型的构建及验证[J]. 全科护理, 2021, 19(35): 4918-4921.
- [6] 李琴, 李映雪, 余鑫, 等. 头面部皮瓣修复术后并发症发生风险模型的构建[J]. 皮肤性病诊疗学杂志, 2022, 29(03): 220-225.
- [7] 杨继进. 游离皮瓣移植血管危象预测模型构建及效果评价[D]: [硕士学位论文]. 遵义: 遵义医科大学, 2023.
- [8] Yang, J., *et al.* (2024) Prediction of Vascular Complications in Free Flap Reconstruction with Machine Learning. *American Journal of Translational Research*, **16**, 817-828. <https://doi.org/10.62347/zxjv8062>
- [9] Zhang, Y., Guo, J., Ren, D., Liu, T., Wu, Y., Li, H., *et al.* (2025) Prediction of Postoperative Complications in Patients Undergoing Head and Neck Surgery with Free-Flap Reconstruction. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **63**, 486-495. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2024.10.240>
- [10] Wong, A.K., Joanna Nguyen, T., Peric, M., Shahabi, A., Vidar, E.N., Hwang, B.H., *et al.* (2014) Analysis of Risk Factors Associated with Microvascular Free Flap Failure Using a Multi-institutional Database. *Microsurgery*, **35**, 6-12. <https://doi.org/10.1002/micr.22223>
- [11] Al Hariri, M., Zibara, K., Farhat, W., Hashem, Y., Soudani, N., Al Ibrahim, F., *et al.* (2016) Cigarette Smoking-Induced Cardiac Hypertrophy, Vascular Inflammation and Injury Are Attenuated by Antioxidant Supplementation in an Animal Model. *Frontiers in Pharmacology*, **7**, Article 397. <https://doi.org/10.3389/fphar.2016.00397>
- [12] El-Mahdy, M.A., Abdelghany, T.M., Hemann, C., Ewees, M.G., Mahgoup, E.M., Eid, M.S., *et al.* (2020) Chronic Cigarette Smoke Exposure Triggers a Vicious Cycle of Leukocyte and Endothelial-Mediated Oxidant Stress That Results in Vascular Dysfunction. *American Journal of Physiology—Heart and Circulatory Physiology*, **319**, H51-H65. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00657.2019>
- [13] 费佳佳, 雷钧, 吴婷婷, 等. 断指再植术后发生血管危象的相关危险因素分析[J]. 浙江创伤外科, 2022, 27(3): 529-530.
- [14] 李家米, 李忠. 影响断指再植术后发生血管危象的相关因素分析[J]. 中国处方药, 2024, 22(10): 166-168.
- [15] Brady, J.S., Govindan, A., Crippen, M.M., Filimonov, A., Eloy, J.A., Baredes, S., *et al.* (2017) Impact of Diabetes on Free Flap Surgery of the Head and Neck: A NSQIP Analysis. *Microsurgery*, **38**, 504-511. <https://doi.org/10.1002/micr.30276>
- [16] Stead, T.S., Vishwanath, N., Sobti, N., Kheirbek, T. and Kite, A.C. (2025) The Modified 5-Item Frailty Index Is a Predictor of Perioperative Complications in Digital Replantation. *HAND*. <https://doi.org/10.1177/15589447251366678>
- [17] Zhao, E.H., Nishimori, K., Brady, J., Siddiqui, S.H., Eloy, J.A., Baredes, S., *et al.* (2018) Analysis of Risk Factors for Unplanned Reoperation Following Free Flap Surgery of the Head and Neck. *The Laryngoscope*, **128**, 2790-2795. <https://doi.org/10.1002/lary.27417>
- [18] Ni, J., Qi, X., Jin, C., Xu, W., Li, X., Song, L., *et al.* (2025) Efficacy Prediction of Systemic Immune-Inflammation Index and Prognostic Nutritional Index in Breast Cancer Patients and Their Variations after Neoadjuvant Chemotherapy. *Frontiers in Immunology*, **16**, Article 1514736. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1514736>
- [19] Yu, J., Hong, J.P., Suh, H.P., Park, J., Kim, D., Ha, S., *et al.* (2020) Prognostic Nutritional Index Is a Predictor of Free Flap Failure in Extremity Reconstruction. *Nutrients*, **12**, Article 562. <https://doi.org/10.3390/nu12020562>
- [20] Xu, J.R., Kosanam, A., Arianpour, K., Lamarre, E.D., Hyland, C.G. and Ciolek, P.J. (2024) Preoperative Hypoalbuminemia Predicts 30-Day Complications in Head and Neck Microvascular Surgery. *The Laryngoscope*, **135**, 648-656. <https://doi.org/10.1002/lary.31716>
- [21] Shum, J., Markiewicz, M.R., Park, E., Bui, T., Lubek, J., Bryan Bell, R., *et al.* (2014) Low Prealbumin Level Is a Risk Factor for Microvascular Free Flap Failure. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **72**, 169-177. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2013.05.022>
- [22] Mahajan, S., Jose, J. and Magoon, R. (2022) RE: Systemic Inflammatory Markers as Predictors of Postoperative Complications and Survival in Patients with Advanced Head and Neck Squamous Cell Carcinoma Undergoing Free-Flap Reconstruction. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **80**, 973. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2022.01.023>
- [23] 刘敏, 何三虎. 凝血生化因素与颌面部游离组织瓣移植血管危象的相关性研究[J]. 血栓与止血学, 2020, 26(5): 794-795, 798.
- [24] 刘畅, 张凯, 李建成, 等. 凝血生化因素与口腔颌面部游离组织瓣移植血管危象的相关性分析[J]. 中国口腔颌面外科杂志, 2020, 18(2): 148-150.
- [25] 羊良慧, 麦华明, 巫家晓, 等. 血清生化因素与口腔颌面部游离组织瓣移植血管危象的相关分析[J]. 中国口腔颌面外

科杂志, 2017, 15(5): 431-434.

- [26] Larcher, Q., Mernier, T., Feigna, M., Pozzo, V. and Lantieri, L. (2025) Impact of Norepinephrine Use on Free Flap Survival in Breast Reconstructive Microsurgery. *Microsurgery*, **45**, e70026. <https://doi.org/10.1002/micr.70026>
- [27] Leow, S.H., Arnaout, A. and Ridha, H. (2025) A Retrospective Unicentric Cohort Study, Evaluating the Impact of Tranexamic Acid on Autologous Free Flap Tissue Reconstruction. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, **102**, 514-517. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2023.09.032>
- [28] Hsiung, P., Huang, H., Chen, W., Kuo, Y. and Lin, Y. (2024) Cumulative Risk Factors for Flap Failure, Thrombosis, and Hematoma in Free Flap Reconstruction for Head and Neck Cancer: A Retrospective Nested Case-Control Study. *International Journal of Surgery*, **110**, 7616-7623. <https://doi.org/10.1097/js9.0000000000002069>
- [29] Suzuki, T., Sakata, Y., Kumegawa, S., Tachibana, S., Ueno, K., Wada, Y., *et al.* (2025) Flap Failure and Re-Exploration in Head and Neck Free Tissue Reconstruction: The Impact of the Venous System Choice. *Cureus*, **17**, e88421. <https://doi.org/10.7759/cureus.88421>
- [30] Wu, H., Liu, F., Ji, F., Guo, M., Wang, Y. and Cao, M. (2018) Identification of Independent Risk Factors for Complications: A Retrospective Analysis of 163 Fibular Free Flaps for Mandibulofacial Reconstruction. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **76**, 1571-1577. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2017.12.026>
- [31] Liu, H., Liu, J., Wu, Y., Ma, Y., Zhou, M., Xue, Y., *et al.* (2023) Analysis of the Risk Factors for Free Flap Necrosis in Soft Tissue Reconstruction of the Lower Limbs. *Orthopaedic Surgery*, **15**, 1534-1540. <https://doi.org/10.1111/os.13727>
- [32] Shi, Y., Li, J., Li, S., Li, Z., Zhang, H., Wu, Z., *et al.* (2022) Flap Failure Prediction in Microvascular Tissue Reconstruction Using Machine Learning Algorithms. *World Journal of Clinical Cases*, **10**, 3729-3738. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v10.i12.3729>
- [33] Yang, F., Wang, K., Sun, L., Zhai, M., Song, J. and Wang, H. (2022) A Hybrid Sampling Algorithm Combining Synthetic Minority Over-Sampling Technique and Edited Nearest Neighbor for Missed Abortion Diagnosis. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, **22**, Article No. 344. <https://doi.org/10.1186/s12911-022-02075-2>
- [34] Baki, H. and Özçelik, İ.B. (2025) Machine Learning-Based Prediction of Postoperative Deep Vein Thrombosis Following Tibial Fracture Surgery. *Diagnostics*, **15**, Article 1787. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15141787>
- [35] Luo, T., Huang, C., Zhou, R. and Sun, Y. (2024) Predicting Complications in Elderly Patients Undergoing Oral Cancer Resection with Free Flap Reconstruction in China: A Retrospective Cohort Study Using the Modified Frailty Index and Prognostic Nutritional Index. *BMJ Open*, **14**, e085985. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-085985>
- [36] de Hond, A.A.H., Steyerberg, E.W. and van Calster, B. (2022) Interpreting Area under the Receiver Operating Characteristic Curve. *The Lancet Digital Health*, **4**, e853-e855. [https://doi.org/10.1016/s2589-7500\(22\)00188-1](https://doi.org/10.1016/s2589-7500(22)00188-1)
- [37] Zhang, Y., Fang, M., Feng, X., Zhang, X., Xie, X. and Dong, D. (2025) Forging Trust in AI-Assisted Disease Diagnosis. *hLife*, **3**, 531-533. <https://doi.org/10.1016/j.hlife.2025.05.011>