



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250098
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250098
China Journal of General Surgery, 2025, 34(4):632-639.

· 专题论坛 ·

AI赋能代谢减重外科手术营养并发症防治：技术革新与临床实践

许靖豪^{1,2}, 刘丹璐^{1,2}, 杜强^{1,2}, 万谦益^{1,2}, 赵锐^{1,2}, 张贵祥¹, 程中¹, 陈亿^{1,2}

(1. 四川大学华西医院 胃肠外科, 四川 成都 610041; 2. 四川大学华西临床医学院, 四川 成都 610041)

摘要

减重代谢外科手术 (MBS) 已成为治疗病理性肥胖及代谢性疾病的重要手段, 但术后常见的营养并发症 (如蛋白质-能量营养不良、缺铁性贫血、维生素 B12 缺乏等) 严重影响患者长期预后。传统的营养管理模式依赖静态检测和标准化补充, 难以满足患者的个体差异和术后动态变化需求。人工智能 (AI) 技术通过整合多模态数据 (如生化指标、影像学信息、可穿戴设备监测) 与智能建模, 为动态监测、风险预测和个性化干预提供了新路径。本文基于 2017—2025 年间的相关文献, 系统评估了 AI 在 MBS 围术期营养管理中的应用进展, 涵盖机器学习、深度学习和自然语言处理等关键技术, 并分析了其在临床转化中面临的数据碎片化、模型可解释性和长期验证不足等挑战。未来应加强多中心协作, 构建标准化数据库和可解释模型, 推动 MBS 营养管理从经验走向精准。

关键词

减肥手术; 人工智能; 手术后并发症; 营养障碍; 精准医学

中图分类号: R62

AI-enabled prevention and management of nutritional complications in metabolic-bariatric surgery: technological innovation and clinical practice

XU Jinghao^{1,2}, LIU Danlu^{1,2}, DU Qiang^{1,2}, WAN Qianyi^{1,2}, ZHAO Rui^{1,2}, ZHANG Guixiang¹, CHENG Zhong¹, CHEN Yi^{1,2}

(1. Department of Gastrointestinal Surgery, West China Hospital of Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. West China Clinical Medical College of Sichuan University, Chengdu 610041, China)

Abstract

Metabolic-bariatric surgery (MBS) has become an important treatment for pathological obesity and metabolic diseases. However, common postoperative nutritional complications—such as protein-energy malnutrition, iron deficiency anemia, and vitamin B12 deficiency—significantly affect patients' long-term prognosis. Traditional nutritional management models rely on static monitoring and standardized supplementation, which are insufficient to address individual variability and dynamic postoperative

基金项目: 四川省自然科学基金资助项目 (2023NSFSC0664, 2024NSFSC1695); 四川大学华西医院学科卓越发展 “1·3·5 工程” 人工智能基金资助项目 (ZYAI24024)。

收稿日期: 2025-04-18; **修订日期:** 2025-04-22。

作者简介: 许靖豪, 四川大学华西医院硕士研究生, 主要从事减重代谢外科、消化道肿瘤临床诊疗方面的研究。

通信作者: 陈亿, Email: toddy@scu.edu.cn

changes. Artificial intelligence (AI), through integrating multimodal data (such as biochemical indicators, imaging information, and wearable device monitoring) and intelligent modeling, offers new approaches for dynamic monitoring, risk prediction, and personalized intervention. Based on literature from 2017 to 2025, this article systematically evaluates the application of AI in perioperative nutritional management for MBS, covering key technologies including machine learning, deep learning, and natural language processing. It also analyzes current challenges in clinical translation, such as data fragmentation, lack of model interpretability, and limited long-term validation. In the future, enhanced multi-center collaboration, the development of standardized databases, and explainable models will be essential to advancing nutritional management in MBS from empirical practice to precision medicine.

Key words

Bariatric Surgery; Artificial Intelligence; Postoperative Complications; Nutrition Disorders; Precision Medicine

CLC number: R62

随着全球肥胖及其相关代谢疾病患病率持续上升,减重代谢外科手术(metabolic-bariatric surgery, MBS)逐渐成为临床治疗的重要手段。然而,术后营养并发症的高发及其对长期预后的深远影响,仍是当前临床管理中的重大挑战。传统营养支持方式在面对患者个体差异和术后动态代谢变化时显得力不从心。近年来,人工智能(artificial intelligence, AI)技术在医疗领域的快速发展为MBS术后营养管理提供了新的解决路径。通过多模态数据整合与智能建模, AI有望提升风险预测的精准度,实现个体化干预与动态监测。本文将系统探讨AI技术在MBS围手术期营养并发症防治中的应用前景与现实挑战,助力推动从经验医学向数据驱动精准医学的转型。

1 AI与MBS

肥胖症目前在全球范围内作为一种流行性疾病,也是多种疾病的重要危险因素,包括糖尿病、心血管疾病、阿尔茨海默病、抑郁症和恶性肿瘤等^[1-2]。自1980年以来,全球超重和肥胖症的患病率已增长2倍,目前全球约1/3的人口被归为超重或肥胖,渗透到各层面、各年龄段、性别、地理位置、种族和社会经济群体。目前临床上减肥手术能够长期有效地减轻体质量,降低代谢相关并发症及病死率,并显著改善肥胖相关的健康问题^[3-5]。AI能通过模拟人类思维(如推理、决策和模式识别),为医疗领域提供了革新性方向。其核心分支机器学习(machine learning, ML)与深度学习(deep learning, DL)一能够高效挖掘临床数据

中的潜在规律,揭示其中复杂的关联,从而辅助解决医学难题。在MBS领域,尽管手术技术日趋成熟,但术后营养并发症(如蛋白质-能量营养不良、微量元素缺乏)仍是长期预后的主要挑战。目前临床的传统管理模式依赖静态监测和经验性方案,难以实现个体化预警与动态干预。AI技术通过整合多模态数据(生化指标、影像特征、可穿戴设备监测),可更精准识别高危患者、预测并发症趋势,并实时优化营养干预策略,为术前风险评估、术中决策支持到术后动态管理提供全流程解决方案。

2 目前MBS与营养管理的临床困境

MBS可有效治疗病理性肥胖及代谢综合征,但术后长期营养并发症仍是临床重大挑战。据研究显示,患者在术前即存在不同程度的营养缺乏表现。在一项针对379例患者[平均BMI(51.8±10.6) kg/m²]的回顾性分析^[6]发现,术前铁(43.9%)、维生素D(68.1%)及贫血(22%)等营养素的缺乏或症状就普遍存在,且男性贫血率(40.7%)显著高于女性(19.1%),年轻患者(<25岁)贫血发生率(46%)为老年组(15%)的3倍,术前营养基线水平也严重影响着术后预后情况^[6-9]。而术后营养相关并发症类型与所选择术式密切相关。其中Roux-en-Y胃旁路术因十二指肠被旷置导致铁、钙吸收障碍;袖状胃切除术(sleeve gastrectomy, SG)因大部分胃体的切除减少了胃酸分泌,影响维生素B12结合蛋白合成及维生素吸收;胆胰分流术则因胆胰液分流引发蛋白质消化

障碍^[6,10-13]。其中蛋白质缺乏最为隐匿、严重，常进展到中晚期才显现症状^[13]。

当前对于MBS患者的营养管理面临双重困境，一方面是国际指南推荐的标准化补充方案（如美国代谢减重外科学会/欧洲临床营养与代谢协会共识）与个体化需求存在脱节，患者的依从性并不理想^[14]；另一方面，患者术后有10%~30%可能出现味觉改变、倾倒综合征等生理性改变以及心理性厌食，进而形成恶性循环加剧营养摄入不足的风险^[15]。这便突出了建立围手术期营养支持体系对实现代谢获益与营养风险精准治疗的关键作用。AI技术为解决上述困境提供了新的突破口。通过ML算法整合多维度数据（包括术前营养基线、手术类型、生物标志物动态变化及患者的行为特征等方面），AI可构建个体化营养风险预测模型，从而对手术患者术后部分营养并发症进行预测^[16-17]。

3 AI技术赋能MBS的必要性

MBS的围术期营养管理是影响患者长期预后的关键环节，而且目前对于发生术后营养风险的患者，仍在通过推荐的标准化补充方案，难以覆盖患者异质性，目前尚无更完善的个体化方案^[18]。此外，肥胖患者在手术前可能就已存在营养缺乏的问题，而手术可能加重这类营养风险^[7,19]。我国于2018年发布的《减重手术的营养与多学科管理专家共识》^[20]中同样强调了MBS前的综合评估和围手术期管理的重要性。但目前对于患者围术期营养管理仍存在多维度局限性。

3.1 现有评估体系的静态化与滞后性

传统营养评估多依赖术前或术后固定时间点的实验室检查（如血清白蛋白、维生素水平），缺乏对营养状态的动态监测。研究^[9,19,21]表明，术后3个月内铁缺乏的发生率可达58%，以及在术后钙、维生素缺乏的发生风险也在升高。而且术后第1年流失率高达40%，这在很大程度上使得临床医生无法对患者进行早期的评估、治疗、干预^[22]。

3.2 评估项目的敏感标志物不足、缺乏个体干预方案

血清白蛋白作为蛋白质营养不良的晚期指标敏感度较低（仅42%），而前白蛋白与视黄醇结合蛋白可作为短期营养状态的敏感标志物，辅助评估全身蛋白质及维生素A水平，尤其适用于肥胖患者术前营养评估或术后恢复监测。然而，此类

指标在国内尚未广泛纳入临床实践，且美国代谢减重外科学会/欧洲临床营养与代谢协会共识与《中国肥胖及代谢疾病外科治疗指南（2024版）》^[14,22-24]推荐的标准化补充方案难以覆盖患者异质性（如个体吸收动力学差异及术后体质量减轻的高度不可预测性）。传统经验驱动管理难以量化上述复杂性，而AI技术通过整合多维度数据（如生化指标、基因特征）与算法建模，可精准预测个体营养需求与干预效果，为异质性患者群体提供定制化解决方案。

4 AI技术在营养并发症风险预测及诊断决策中的应用

目前对于肥胖患者在围手术期评估营养风险并做出相应的营养诊断，以及行MBS后，对手术效果、营养相关并发症的发生、代谢相关并发症的转归等问题的预测对了解MBS相关的手术风险及患者的治疗导向有着至关重要的作用。AI在医疗领域的应用越来越多，主要为ML（通过数据训练让机器学习和改进）、DL（使用神经网络进行更复杂的学习）和自然语言处理（让计算机理解和生成人类语言），其中ML作为AI中最为常见的一个分支，尤其是在对疾病的诊断、预后和围手术期干预的选择等方面提供了可靠的建模技术，其方法性能也优于传统统计学方法^[25]。相较于传统的统计学计算方式进行预测因子的识别，ML主要通过数据和算法的使用，使计算机能够自主学习并从经验中改进性能，从而预测或决策^[26]。

4.1 AI协同预测建模

鉴于当前肥胖的全球高患病率，该领域已经进行了大量研究。多项研究表明，AI在MBS的预测建模中展现出显著潜力。Razzaghi等^[27]提出了针对术后并发症风险的预测模型，证明了ML算法在改善临床决策支持和患者护理中的有效性。研究^[28-31]则探讨了MBS对心理健康的影响，通过使用ML中广义加性模型和多变量自适应回归样条分析心理因素，并得出建议对有严重心理困扰的患者进行进一步评估和转诊。这些研究共同表明，AI技术在MBS的风险评估和结果预测中具有广泛应用前景。

4.2 AI协同辅助诊断,早期决策

研究^[32]显示，AI技术可有效辅助MBS围术期营养管理。贝叶斯网络系统在营养诊断中与专科

医生的判断相似率达80%~93%，且与黄金标准一致性达100%。基于ML的预测模型在短期并发症风险识别中展现高准确性（如维生素C缺乏预测准确率70%），并揭示维生素B1、D及钙、铁缺乏与维生素C缺乏风险显著相关（ $n=5\,946$ ）^[33-34]。此外，可穿戴CGM设备结合AI分析实时代谢数据，可动态优化治疗决策（如血糖波动预警），为早期干预提供支持^[35]。需强调的是，AI技术旨在通过辅助决策（如风险分层、生物标志物识别）激发临床批判性思维，而非替代医生判断，其跨人群适用性已在多项研究中得到验证。

4.3 不同AI算法的技术特性与适用性分析

在MBS围手术期营养管理中，AI技术通过不同算法路径为营养并发症的预测及干预提供多维度的支持。ML凭借对结构化数据的高效处理及强

可解释性，适用于围术期静态风险评估（如基于术前铁、维生素D水平预测术后风险），但其依赖人工特征工程，难以建模时序依赖性（如维生素B12迟发性缺乏）或解析非结构化数据^[36]；DL通过端到端学习（如LSTM/Transformer）自动提取动态时序特征，其多模态架构[如卷积神经网络（convolutional neural networks，CNN）/transformer]可解析影像与非结构化数据语义，并已成功提升胆囊癌检测精度^[37-38]及电子健康记录（electronic health record，EHR）分析效率^[39]。自然语言处理则聚焦临床文本（病历、手术报告）挖掘，辅助疾病特征识别与决策支持^[40-41]（表1）。综上，AI算法的临床适配性需结合数据模态与场景需求，三者均面临数据碎片化与可解释性不足的共性挑战，需跨学科协作突破技术瓶颈。

表1 AI各主要分支的特点、局限及临床应用
Table 1 Characteristics, limitations, and clinical applications of major AI subfields

分支名称	核心特点	医学领域优势	主要限制	典型医学应用场景
ML	数据驱动模式发现(监督/无监督学习,如XGBoost、随机森林)	预测术后营养并发症(如低蛋白血症风险分层)	依赖高质量结构化数据,小样本性能下降显著	术后风险预测
DL	深层神经网络处理复杂数据(ResNet、LSTM、Transformer)	端到端学习多模态数据(影像+实验室指标),捕捉非线性关系(如肠道菌群-营养吸收)	需超大规模标注数据($n>104$),计算资源消耗高,黑箱特性存在临床限制性	基于连续监测数据,量化预测远期风险因素
自然语言处理	文本语义理解与生成(Transformer、GPT、BERT)	自动化处理电子病历(如术后随访记录结构化)、生成个性化营养建议	医学术语多义性干扰	将非结构化文本转化为可计算的知识,自动化处理重复性任务(如病历录入、文献检索),释放临床资源
专家系统	基于预定义规则和知识库的符号推理	可解释性强,符合临床指南逻辑(如术后营养补充阈值判断)	依赖人为规则更新,无法处理动态数据(如实时代谢指标的波动)	基于IFSO指南的术后营养补充决策系统
计算机视觉	图像特征提取与模式识别(CNN、ResNet)	高效分析医学影像(如CT评估内脏脂肪面积)	需大规模标注数据,模型泛化性受限于设备差异(如MRI序列参数差异)	围手术期肌少症(sarcopenia)的评估
知识表示与推理	结构化知识建模与逻辑推理	构建临床知识图谱(如营养代谢路径与并发症关联网络),支持循证决策	知识库维护成本高,难以处理不确定性(如基因-环境交互作用对结果的影响)	术后微量营养素缺乏的因果推理系统

注:表中部分词汇的注释见附录
Note:Explanations for some terms in the table can be found in the appendix

5 AI辅助的围手术期营养并发症动态管理

5.1 通过AI生成个性化、精准化营养方案

围手术期精准营养管理对降低并发症风险及加速术后康复至关重要。AI技术通过整合多维度数据（如代谢指标、基因特征），可动态生成个性化营养方案。近年有众多机器人对话模型，ChatGPT（chat generative pretrained transformer）作为

近来流行的一种典型的语言模型，它使用DL对基于文本的提示生成类似人类的响应，在自然语言处理中有很多应用，可以提供有关营养计划、锻炼计划 and 心理支持等主题的个性化建议^[42]。而通过混合DL模型（CNN-ResNet50）可通过患者分类识别糖尿病风险，并推荐个体化饮食策略^[43-44]。Premasundari等^[45-46]通过混合DL模型（CNN与Resnet50）进行患者的分类学习，从而来识别糖尿

病并给患者通过饮食控制病情的建议。同样的在部分文献中讲述了运用ML技术，最优k聚类算法（optimal K-cluster method，OKM）结合关联规则挖掘（association rule mining），为肥胖患者以及孤独症患者根据个体差异提供了饮食及治疗方案的推荐。尽管当前研究证据仍需扩充，AI驱动的智能设备（如实时营养监测系统）已展现出广阔前景。未来需平衡技术创新与伦理安全（如数据隐私、算法偏见），同时结合个体化医学理念，通过精准营养干预提升MBS的安全性及疗效^[47]。

5.2 AI对并发症早期诊断与干预

针对接受肥胖患者或MBS患者，围手术期营养并发症的早期诊断与干预至关重要。AI技术辅助对患者的动态管理不仅提供实时监测和数据分析，还能根据患者的具体情况，制定个性化的营养干预措施。在Brintha等^[48]通过对使用者的饮食及血糖进行分析，通过DL，人工神经网络（artificial neural network，ANN）以及CNN进行模型训练分析从而达到预测糖尿病并提供食品识别和卡路里估算，其准确率达87%。此外目前在一项对于通过智能决策支持系统辅助对患者进行营养风险诊断的研究当中验证了，该系统与专家的诊断结果高度一致，具备高达100%的相似答案率和95.0%的敏感度及特异度，能够有效识别营养缺陷如缺铁性贫血和维生素B12缺乏^[32]。对此，AI技术不仅提高了对肥胖患者或MBS患者营养并发症的诊断和干预能力也为我们后续对患者健康管理提供了新的工具和方法，这种方式在提高患者的早期诊断、早期干预、提高术后恢复效果、降低并发症发生率有巨大的潜力。

6 技术挑战与未来发展方向

6.1 数据与模型的技术瓶颈

当前AI在代谢减重外科的应用面临三大核心限制：(1)数据碎片化：临床代谢指标多为节点式记录，缺乏动态时序数据支持（如维生素B12迟发性缺乏的演变路径）；(2)人群偏倚：现有模型多基于欧美人群构建^[12,49-54]，而亚洲患者因术式偏好（如SG术占比>60%）、饮食结构（高碳水低蛋白）及遗传差异，并发症风险特征显著不同；(3)验证证据匮乏：多数研究随访期≤2年，缺乏术后5~10年营养结局数据，难以验证AI对远期并发症（骨质

疏松、神经性病变）的预测效能。

6.2 算法可解释性与临床信任危机

DL的“黑箱”特性严重制约临床决策透明度。需通过可解释性技术（如SHAP特征权重分析、Grad-CAM热图可视化^[55-56]）揭示预测逻辑，并建立医生主导的AI辅助决策流程。此外，自然语言处理在电子病历分析中存在隐私泄露风险，需结合联邦学习与差分隐私技术实现数据“可用不可见”^[57]。

6.3 伦理挑战与规范化

AI临床应用需系统应对三大伦理问题：(1)数据隐私，基于联邦学习的多中心联合建模可规避原始数据跨机构传输风险^[57]；(2)算法公平性，对抗性去偏算法（adversarial debiasing）可修正亚洲人群等不同人种数据偏差^[58]；(3)责任归属，需明确医生对AI建议的审核权责，避免算法替代临床判断。且未来应参照我国现有指南，建立区域性伦理审查机制，平衡创新与患者权益。

6.4 未来研究重点

(1)构建跨模态融合框架：通过神经微分方程整合时序生理数据与影像特征，提升动态建模能力^[59]；(2)开发轻量化因果推理模型：融合因果图与DL，增强术后营养代谢机制解析；(3)推动亚洲多中心研究：建立标准化数据库（含手术类型、饮食模式等），验证AI在异质人群中的普适性。

7 小结与展望

MBS虽可有效治疗病理性肥胖及代谢综合征，但其术后营养并发症的防治仍是临床重大挑战。传统管理模式因静态评估和群体化干预的局限性，难以满足精准需求，而AI技术通过整合多模态数据（术前基线、动态生物标志物、影像及行为信息），可构建个体化风险预测模型，推动精准医学发展。然而，AI临床转化仍面临数据碎片化、动态建模能力不足及远期验证证据匮乏等核心问题。未来需通过跨学科协作构建标准化多中心数据库，结合隐私计算技术（如联邦学习）保障数据安全。此外，需探索轻量化模型开发及因果推理融合，以提升算法可解释性。通过技术创新与临床验证协同，AI将实现手术效果、代谢获益与营养安全的动态平衡，引领肥胖治疗迈向智能化与个体化时代。

附录:表1词汇注释

XGBoost(extreme gradient boosting)是一种高效的梯度提升(gradient boosting)框架实现。它通过迭代地构建多个弱学习器(通常为决策树),并结合其预测结果来优化模型整体性能,广泛应用于分类、回归和排序任务。ResNet(残差网络,residual network)是一种深度CNN,其核心创新在于引入残差学习框架,通过跳跃连接(skip connection)解决深层网络中的梯度消失/爆炸问题。残差块允许网络直接传递输入至后续层,使得训练数百甚至上千层的网络成为可能。LSTM(长短期记忆网络,long short-term memory)是循环神经网络(RNN)的变体,专为处理时序数据设计,通过门控机制(输入门、遗忘门、输出门)解决传统RNN的长期依赖问题,能有效捕捉序列中的动态模式。Transformer(基于自注意力的模型)是一种基于自注意力机制(self-attention)的架构,摒弃了传统的循环或卷积结构,通过并行计算处理序列数据,显著提升训练效率,并擅长捕捉长距离依赖关系。BERT(双向编码表示模型,bidirectional encoder representations from transformers)是基于Transformer编码器的双向预训练模型,通过遮蔽语言模型(MLM)和下一句预测(NSP)任务学习上下文相关的词向量表示。GPT(生成式预训练模型,generative pre-trained transformer)是基于Transformer解码器的自回归生成模型,通过大规模无监督预训练(预测下一个词)学习通用语言模式,再通过微调适配特定任务。

作者贡献声明:许靖豪负责文献检索及论文撰写与修订;刘丹璐、杜强参与组织文章结构并对论文进行修订;万谦益、张贵祥协助收集和筛选文献,以及摘要撰写;赵锐参与论文图表制作;陈亿、程中指导研究设计,并对论文进行关键性审阅与修改。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] Blüher M. Obesity: global epidemiology and pathogenesis[J]. Nat Rev Endocrinol, 2019, 15(5): 288–298. doi: [10.1038/s41574-019-0176-8](https://doi.org/10.1038/s41574-019-0176-8).
- [2] Millen BE, Wolongevicz DM, Nonas CA, et al. 2013 American heart association/American college of cardiology/the obesity society guideline for the management of overweight and obesity in adults: implications and new opportunities for registered dietitian nutritionists[J]. J Acad Nutr Diet, 2014, 114(11): 1730–1735. doi: [10.1016/j.jand.2014.07.033](https://doi.org/10.1016/j.jand.2014.07.033).
- [3] Buchwald H, Avidor Y, Braunwald E, et al. Bariatric surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. JAMA, 2004, 292(14): 1724–1737. doi: [10.1001/jama.292.14.1724](https://doi.org/10.1001/jama.292.14.1724).
- [4] Christou NV, Sampalis JS, Liberman M, et al. Surgery decreases long-term mortality, morbidity, and health care use in morbidly obese patients[J]. Ann Surg, 2004, 240(3): 416–423. doi: [10.1097/01.sla.0000137343.63376.19](https://doi.org/10.1097/01.sla.0000137343.63376.19).
- [5] Andolfi C, Marco Fisichella P. Epidemiology of obesity and associated comorbidities[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2018, 28(8): 919–924. doi: [10.1089/lap.2018.0380](https://doi.org/10.1089/lap.2018.0380).
- [6] Flancbaum L, Belsley S, Drake V, et al. Preoperative nutritional status of patients undergoing Roux-en-Y gastric bypass for morbid obesity[J]. J Gastrointest Surg, 2006, 10(7): 1033–1037. doi: [10.1016/j.gassur.2006.03.004](https://doi.org/10.1016/j.gassur.2006.03.004).
- [7] Lupoli R, Lembo E, Saldamacchia G, et al. Bariatric surgery and long-term nutritional issues[J]. World J Diabetes, 2017, 8(11): 464–474. doi: [10.4239/wjd.v8.i11.464](https://doi.org/10.4239/wjd.v8.i11.464).
- [8] Chakhtoura MT, Nakhoul NN, Shawwa K, et al. Hypovitaminosis D in bariatric surgery: a systematic review of observational studies[J]. Metabolism, 2016, 65(4): 574–585. doi: [10.1016/j.metabol.2015.12.004](https://doi.org/10.1016/j.metabol.2015.12.004).
- [9] Blume CA, Boni CC, Casagrande DS, et al. Nutritional profile of patients before and after Roux-en-Y gastric bypass: 3-year follow-up[J]. Obes Surg, 2012, 22(11): 1676–1685. doi: [10.1007/s11695-012-0696-y](https://doi.org/10.1007/s11695-012-0696-y).
- [10] Steenackers N, Van der Schueren B, Augustijns P, et al. Development and complications of nutritional deficiencies after bariatric surgery[J]. Nutr Res Rev, 2023, 36(2): 512–525. doi: [10.1017/S0954422422000221](https://doi.org/10.1017/S0954422422000221).
- [11] Ernst B, Thurnheer M, Schmid SM, et al. Evidence for the necessity to systematically assess micronutrient status prior to bariatric surgery[J]. Obes Surg, 2009, 19(1): 66–73. doi: [10.1007/s11695-008-9545-4](https://doi.org/10.1007/s11695-008-9545-4).
- [12] Nuzzo A, Czernichow S, Hertig A, et al. Prevention and treatment of nutritional complications after bariatric surgery[J]. Lancet Gastroenterol Hepatol, 2021, 6(3): 238–251. doi: [10.1016/S2468-1253\(20\)30331-9](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30331-9).
- [13] Faintuch J, Matsuda M, Cruz MELF, et al. Severe protein-calorie malnutrition after bariatric procedures[J]. Obes Surg, 2004, 14(2): 175–181. doi: [10.1381/096089204322857528](https://doi.org/10.1381/096089204322857528).
- [14] De Luca M, Shikora S, Eisenberg D, et al. Scientific evidence for the updated guidelines on indications for metabolic and bariatric surgery (IFSO/ASMBS) [J]. Surg Obes Relat Dis, 2024, 20(11): 991–1025. doi: [10.1016/j.soard.2024.05.009](https://doi.org/10.1016/j.soard.2024.05.009).
- [15] Pan Y, Du R, Han X, et al. Machine learning prediction of iron deficiency Anemia in Chinese premenopausal women 12 months after sleeve gastrectomy[J]. Nutrients, 2023, 15(15): 3385. doi: [10.3390/nu15153385](https://doi.org/10.3390/nu15153385).
- [16] Mechanick JI, Youdim A, Jones DB, et al. Clinical practice guidelines for the perioperative nutritional, metabolic, and nonsurgical support of the bariatric surgery patient--2013 update: cosponsored by American Association of Clinical Endocrinologists, The Obesity Society, and American Society for Metabolic & Bariatric Surgery[J]. Obesity (Silver Spring), 2013, 21(Suppl 1): S1–S27. doi: [10.1002/oby.20461](https://doi.org/10.1002/oby.20461).
- [17] Parrott JM, Parrott AJ, Scott Parrott J, et al. Predicting recurrent deficiency and suboptimal monitoring of thiamin deficiency in

- patients with metabolic and bariatric surgery[J]. *Nutrients*, 2024, 16(14):2226. doi:10.3390/nu16142226.
- [18] 陈伟, 潘慧. 减重手术的营养及内分泌代谢相关并发症管理[J]. 中国医学科学院学报, 2011, 33(3): 228-231. doi: 10.3881/j.issn.1000-503X.2011.03.003.
- Chen W, Pan H. Management of nutrition: and endocrine metabolism-related complications of bariatric surgery[J]. *Acta Academiae Medicinae Sinicae*, 2011, 33(3):228-231. doi:10.3881/j.issn.1000-503X.2011.03.003.
- [19] Weng T, Chang C, Dong Y, et al. Anaemia and related nutrient deficiencies after Roux-en-Y gastric bypass surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. *BMJ Open*, 2015, 5(7):e006964. doi: 10.1136/bmjopen-2014-006964.
- [20] 中华医学会肠外肠内营养学分会营养与代谢协作组, 北京协和医院减重多学科协作组. 减重手术的营养与多学科管理专家共识[J]. 中华外科杂志, 2018, 56(2): 81-90. doi: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2018.02.001.
- Nutrition and Metabolism Collaboration of Chinese Society for Parenteral and Enteral Nutrition, Bariatric Multidisciplinary Team of Peking Union Medical College Hospital. The consensus on nutritional and multi-disciplinary management for bariatric surgery[J]. *Chinese Journal of Surgery*, 2018, 56(2): 81-90. doi: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2018.02.001.
- [21] Liu C, Wu D, Zhang JF, et al. Changes in bone metabolism in morbidly obese patients after bariatric surgery: a meta-analysis[J]. *Obes Surg*, 2016, 26(1):91-97. doi:10.1007/s11695-015-1724-5.
- [22] Aills L, Blankenship J, Buffington C, et al. ASMBS allied health nutritional guidelines for the surgical weight loss patient[J]. *Surg Obes Relat Dis*, 2008, 4(5): S73-S108. doi: 10.1016/j.soard.2008.03.002.
- [23] Weimann A, Braga M, Carli F, et al. ESPEN practical guideline: Clinical nutrition in surgery[J]. *Clin Nutr*, 2021, 40(7):4745-4761. doi:10.1016/j.clnu.2021.03.031.
- [24] 中华医学会外科学分会甲状腺及代谢外科学组, 中国医师协会外科医师分会肥胖和代谢外科专家工作组. 中国肥胖及代谢疾病外科治疗指南(2024版)[J]. 中国实用外科杂志, 2024, 44(8): 841-849. doi:10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2024.08.01.
- Chinese Society of Thyroid and Metabolism Surgery, Chinese Society of Surgery, Chinese Medical Association; Chinese Society for Metabolic & Bariatric Surgery, Chinese College of Surgeons, Chinese Medical Doctor Association. Chinese clinical guidelines for the surgery of obesity and metabolic disorders (2024 edition) [J]. *Chinese Journal of Practical Surgery*, 2024, 44(8): 841-849. doi: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2024.08.01.
- [25] Bzdok D, Altman N, Krzywinski M. Statistics versus machine learning[J]. *Nat Methods*, 2018, 15(4): 233-234. doi: 10.1038/nmeth.4642.
- [26] Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, et al. Artificial intelligence in surgery: promises and perils[J]. *Ann Surg*, 2018, 268(1):70-76. doi: 10.1097/SLA.0000000000002693.
- [27] Razzaghi T, Saftro I, Ewing J, et al. Predictive models for bariatric surgery risks with imbalanced medical datasets[J]. *Ann Oper Res*, 2019, 280(1):1-18. doi:10.1007/s10479-019-03156-8.
- [28] Monteiro F, Ponce DAN, Silva H, et al. Physical function, quality of life, and energy expenditure during activities of daily living in obese, post-bariatric surgery, and healthy subjects[J]. *Obes Surg*, 2017, 27(8):2138-2144. doi:10.1007/s11695-017-2619-4.
- [29] Wadden TA, Butryn ML, Sarwer DB, et al. Comparison of psychosocial status in treatment-seeking women with class III vs. class I-II obesity[J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2006, 14(Suppl 2): 90S-98S. doi:10.1038/oby.2006.288.
- [30] Sarwer DB, Cohn NI, Gibbons LM, et al. Psychiatric diagnoses and psychiatric treatment among bariatric surgery candidates[J]. *Obes Surg*, 2004, 14(9):1148-1156. doi:10.1381/0960892042386922.
- [31] Glineski J, Wetzler S, Goodman E. The psychology of gastric bypass surgery[J]. *Obes Surg*, 2001, 11(5): 581-588. doi: 10.1381/09608920160557057.
- [32] Cruz MR, Martins C, Dias J, et al. A validation of an intelligent decision-making support system for the nutrition diagnosis of bariatric surgery patients[J]. *JMIR Med Inform*, 2014, 2(2):e8. doi: 10.2196/medinform.2984.
- [33] Zucchini N, Capozzella E, Giuffrè M, et al. Advanced non-linear modeling and explainable artificial intelligence techniques for predicting 30-day complications in bariatric surgery: a single-center study[J]. *Obes Surg*, 2024, 34(10):3627-3638. doi:10.1007/s11695-024-07501-0.
- [34] Parrott JM, Parrott AJ, Rouhi AD, et al. What we are missing: using machine learning models to predict vitamin C deficiency in patients with metabolic and bariatric surgery[J]. *Obes Surg*, 2023, 33(6): 1710-1719. doi:10.1007/s11695-023-06571-w.
- [35] Schönenberger KA, Cossu L, Prendin F, et al. Digital solutions to diagnose and manage postbariatric hypoglycemia[J]. *Front Nutr*, 2022, 9:855223. doi:10.3389/fnut.2022.855223.
- [36] Miler AA, Visternicu M, Rarinca V, et al. The role of artificial intelligence in bariatric surgery: perspectives and modern applications[J]. *Broad Res Artif Intell Neurosci*, 2025, 16(1): 125. doi:10.70594/brain/16.1/9.
- [37] Basu SM, Gupta M, Rana P, et al. RadFormer: Transformers with global-local attention for interpretable and accurate Gallbladder Cancer detection[J]. *Med Image Anal*, 2023, 83: 102676. doi: 10.1016/j.media.2022.102676.
- [38] 牟鑫涛, 曹健强, 杨胜彪, 等. 人工智能技术在现代普外科中的应用进展[J]. 中国现代普通外科进展, 2024, 27(5):337-342. doi: 10.3969/j.issn.1009-9905.2024.05.001.
- Mu XT, Cao JQ, Yang SB, et al. Development and application of artificial intelligence technology in modern surgery[J]. *Chinese Journal of Current Advances in General Surgery*, 2024, 27(5):337-342. doi:10.3969/j.issn.1009-9905.2024.05.001.

- [39] Wang L, Liu Q, Zhang M, et al. Stage-aware hierarchical attentive relational network for diagnosis prediction[J]. IEEE Trans Knowl Data Eng, 2024, 36(4): 1773–1784. doi: 10.1109/TKDE.2023.3310478.
- [40] 赵京胜, 宋梦雪, 高祥. 自然语言处理发展及应用综述[J]. 信息技术与信息化, 2019(7): 142–145. doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2019.07.046.
- Zhao JS, Song MX, Gao X. Review on the development and application of natural language processing[J]. Information Technology & Informatization, 2019(7): 142–145. doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2019.07.046.
- [41] Samaan JS, Rajeev N, Ng WH, et al. ChatGPT as a source of information for bariatric surgery patients: a comparative analysis of accuracy and comprehensiveness between GPT-4 and GPT-3.5[J]. Obes Surg, 2024, 34(5): 1987–1989. doi: 10.1007/s11695-024-07212-6.
- [42] Bays HE, Fitch A, Cuda S, et al. Artificial intelligence and obesity management: an obesity medicine association (OMA) clinical practice statement (CPS) 2023[J]. Obes Pillars, 2023, 6: 100065. doi:10.1016/j.obpill.2023.100065.
- [43] Arslan S. Exploring the potential of chat GPT in personalized obesity treatment[J]. Ann Biomed Eng, 2023, 51(9): 1887–1888. doi:10.1007/s10439-023-03227-9.
- [44] Chew HSJ. The use of artificial intelligence-based conversational agents (chatbots) for weight loss: scoping review and practical recommendations[J]. JMIR Med Inform, 2022, 10(4): e32578. doi: 10.2196/32578.
- [45] Premasundari M, Yamini C. Food and Therapy Recommendation System for Autistic Syndrome using Machine Learning Techniques[C]//2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT). Coimbatore, India, 2019:1–6. doi: 10.1109/ICECCT.2019.8868979.
- [46] Vignesh N, Bhuvanewari S, Kotecha K, et al. Hybrid Diet Recommender System Using Machine Learning Technique[A]// Abraham A, Hong TP, Kotecha K, et al. Hybrid Intelligent Systems--22nd International Conference on Hybrid Intelligent Systems[M]. Springer, Cham, 2023, 647: 106–115. doi: 10.1007/978-3-031-27409-1_10.
- [47] 郑加荔, 姜烁, 李晓光, 等. 数字技术实现个体精准营养的应用与展望[J]. 中华预防医学杂志, 2022, 56(12): 1872–1879. doi: 10.3760/cma.j.cn112150-20220628-00669.
- Zheng JL, Jiang S, Li XG, et al. Application and prospect of digital technology on personalized precision nutrition[J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2022, 56(12): 1872–1879. doi:10.3760/cma.j.cn112150-20220628-00669.
- [48] Brintha NC, Nagaraj P, Tejasri A, et al. A food recommendation system for predictive diabetic patients using ANN and CNN[C]//2022 7th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICES). Coimbatore, India. IEEE, 2022: 1364–1371. doi:10.1109/ICES54183.2022.9835808.
- [49] von Drygalski A, Andris DA. Anemia after bariatric surgery: more than just iron deficiency[J]. Nutr Clin Pract, 2009, 24(2): 217–226. doi:10.1177/0884533609332174.
- [50] Harper C, Pattinson AL, Fernando HA, et al. Effects of obesity treatments on bone mineral density, bone turnover and fracture risk in adults with overweight or obesity[J]. Horm Mol Biol Clin Invest, 2016, 28(3): 133–149. doi:10.1515/hmbci-2016-0025.
- [51] Rives-Lange C, Rassy N, Carette C, et al. Seventy years of bariatric surgery: a systematic mapping review of randomized controlled trials[J]. Obes Rev, 2022, 23(5): e13420. doi:10.1111/obr.13420.
- [52] Bielawska B, Ouellette-Kuntz H, Patel SV, et al. Severe nutritional complications after bariatric surgery in Ontario adults: a population-based descriptive study[J]. Surg Obes Relat Dis, 2020, 16(11): 1784–1793. doi:10.1016/j.soard.2020.06.028.
- [53] Bal BS, Finelli FC, Shope TR, et al. Nutritional deficiencies after bariatric surgery[J]. Nat Rev Endocrinol, 2012, 8(9): 544–556. doi: 10.1038/nrendo.2012.48.
- [54] Stover PJ. Physiology of folate and vitamin B12 in health and disease[J]. Nutr Rev, 2004, 62(6 Pt 2): S3–S13. doi:10.1111/j.1753-4887.2004.tb00070.x.
- [55] Feleki A, Apostolopoulos ID, Moustakidis S, et al. Explainable deep fuzzy cognitive map diagnosis of coronary artery disease: integrating myocardial perfusion imaging, clinical data, and natural language insights[J]. Appl Sci, 2023, 13(21): 11953. doi: 10.3390/app132111953.
- [56] Zhang Y, Zhu M, Luo Z. SegX: Improving Interpretability of Clinical Image Diagnosis with Segmentation-based Enhancement[J]. Arxiv, 2025. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2502.10296v1>.
- [57] Khan Y, Sánchez D, Domingo-Ferrer J. Federated learning-based natural language processing: a systematic literature review[J]. Artif Intell Rev, 2024, 57(12): 320. doi:10.1007/s10462-024-10970-5.
- [58] Correa R, Pahwa K, Patel B, et al. Efficient adversarial debiasing with concept activation vector-Medical image case-studies[J]. J Biomed Inform, 2024, 149: 104548. doi:10.1016/j.jbi.2023.104548.
- [59] Liu Y, Bao Y, Cheng P, et al. Enhanced robot state estimation using physics-informed neural networks and multimodal proprioceptive data[C]//Sensors and Systems for Space Applications XVII. National Harbor, USA. SPIE, 2024. doi:10.1117/12.3022666.

(本文编辑 宋涛)

本文引用格式: 许靖豪, 刘丹璐, 杜强, 等. AI赋能代谢减重外科手术营养并发症防治: 技术革新与临床实践[J]. 中国普通外科杂志, 2025, 34(4): 632–639. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250098

Cite this article as: Xu JH, Liu DL, Du Q, et al. AI-enabled prevention and management of nutritional complications in metabolic-bariatric surgery: technological innovation and clinical practice[J]. Chin J Gen Surg, 2025, 34(4): 632–639. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250098