基于人工智能的胃癌精准诊疗研究进展：从辅助诊断到预后预测

侯琳琳[1]，高田宇[1]，王新刚[2]，连仕博[1]，樊　勇[2]

1　兰州大学 第二临床医学院，甘肃 兰州 730030；2　兰州大学第二医院 普外科，甘肃 兰州 730030

摘要：作为发病率较高的恶性肿瘤，胃癌的早期诊断与精准治疗始终是临床难点。基于机器学习与深度学习的人工智能，正在重塑胃癌“诊-治-管”全周期模式。在诊断方面，人工智能提升内镜、病理图像分析效率，助力早期胃癌识别；在治疗中，用于预测治疗反应和辅助新药研发；在预后预测上，构建精准生存期和复发风险预测模型。本文聚焦人工智能在胃癌诊疗领域的创新应用，总结人工智能在胃癌领域中的作用，为推动人工智能与胃癌临床实践的深度融合提供了新思路。

关键词：胃癌诊断；胃癌治疗；人工智能；预后预测；精准医疗

中图分类号：R735.2　　**文献标识码：**A　　DOI：10.13885/j.issn.2097-681X.M20250928

Advances in artificial intelligence-based precision diagnosis and treatment of gastric cancer: from auxiliary diagnosis to prognosis

HOU Linlin[1], GAO Tianyu[1], WANG Xingang[2], LIAN Shibo[1], FAN Yong[2]

1 The Second Clinical Medical School, Lanzhou University, Lanzhou 730030, China; 2 Department of General Surgery, The Second Hospital of Lanzhou University, Lanzhou 730030, China

Abstract: Gastric cancer is a malignant tumor with a high incidence rate, and its early diagnosis and precision therapy remain significant clinical challenges. Artificial intelligence based on machine learning and deep learning is reshaping the full-cycle model of "diagnosis-treatment-management" in gastric cancer. In diagnostics, artificial intelligence enhances the efficiency of endoscopy and pathological image analysis, facilitating early detection. In treatment, it predicts therapeutic responses and aids in new drug development. For prognosis, artificial intelligence constructs precise models for survival prediction and recurrence risk assessment. This article focused on the innovative applications of artificial intelligence in gastric cancer diagnosis and treatment, summarized the role of artificial intelligence in the field of gastric cancer, and provided novel insights for promoting the deep integration of artificial intelligence into clinical practice.

Keywords: gastric cancer diagnosis; gastric cancer treatment; artificial intelligence; prognostic prediction; precision medicine

胃癌是全球范围内常见的恶性肿瘤，严重威胁人类健康。根据2022年全球癌症统计数据，胃癌年新发病例超过90万，死亡人数接近66万，其发病率与死亡率均居全球第五位[1]。在中国，胃癌更是高发疾病之一，每年新增病例超过40万，死亡人数达30万以上，远高于全球平均水平[1]。

收稿日期：2025-07-02　　**修回日期：**2025-08-24　　**接受日期：**2025-12-03

基金项目：甘肃省科技计划资助项目（21JR7RA433，24YFFA045）

作者简介：樊　勇，男，主任医师，博士，研究方向为胃肠道肿瘤，e-mail：fanyong1972@163.com，通信作者

胃癌的高发病率和高致死率均凸显了其在公共健康中的严峻挑战[1-2]。

近年来，人工智能在医疗健康领域蓬勃发展，其强大的数据处理与模式识别能力正深度渗透至疾病辅助诊断、风险预测、个体化治疗及预后评估等临床过程[3]。其中，作为人工智能核心分支的机器学习通过学习大量医学数据中的规律性特征，辅助医生作出更加精准和高效的临床决策，尤其适用于处理大规模、高维度、复杂的数据集[4]。在此基础上，深度学习技术，尤其以卷积神经网络（convolutional neural network, CNN）为代表，在医学图像分析领域表现尤为突出，能够自动从原始图像中提取多层次结构化特征，从而实现病灶的精准识别与分型，有效克服传统人工解读的主观性与低效率问题[5]。目前，Transformer模型也逐渐被引入医学影像领域，并与CNN并列为两条重要的技术路线。CNN在胃癌的内镜图像和病理切片分析中已有大量应用，凭借局部卷积核可高效提取空间特征，在早期胃癌识别、病灶分割等任务中积累了较为成熟的经验。Transformer可依托自注意力机制，能够同时建模全局与局部特征，尤其在生存预测方面表现优秀。因此，系统梳理与深入探讨人工智能在胃癌诊疗中的应用价值具有重要的临床意义与学术价值。基于此，本文围绕人工智能在胃癌领域的应用进行全面剖析。

1　人工智能在胃癌诊断中的应用

临床研究[6]表明，胃癌的早期发现与准确诊断对改善患者预后具有关键意义。若能在早期阶段确诊并接受内镜治疗，患者的五年生存率可超过90%；而一旦进入进展期，该数值则骤降至不足10%[7]。然而，早期胃癌的临床症状往往不典型，导致大多数患者确诊时已属中晚期，错失了最佳手术干预时机[8]。人工智能通过智能分析医学图像、组学等多模态数据，显著提升胃癌早期检出率并缩短诊断时间。因此，借助人工智能提升早期胃癌检出率、降低患者死亡风险，已成为当前临床研究的重点方向。

1.1　医学图像辅助诊断

人工智能在胃癌医学图像诊断中的应用取得了显著进展，为内镜和病理诊断提供了有力支持[9]。传统内镜检查虽具重要地位，但受操作者技能、成本及误诊风险限制。人工智能显著提升了胃部肿瘤检测和早期胃癌识别的敏感性，同时具备实时辅助和全面监测能力。组织病理学作为胃癌确诊的“金标准”，依赖人工判读，流程耗时且对病理医生要求高[10]。人工智能大幅提高胃癌分类和分割的准确率，加速诊断过程。这些创新不仅提升了诊断效率，还为高风险患者的精准干预提供了可能。

1.1.1　内镜图像分析

内镜检查在胃癌临床诊断中不可或缺，可直接观察胃黏膜病变[11]，但对操作者的专业技能要求较高，培训周期长、操作复杂、成本高，且存在一定操作风险，限制了其在基层医疗机构的普及[12]。值得注意的是，早期胃癌与萎缩性胃炎形态学相似，即使经验丰富的医师也可能在高负荷工作状态下发生漏诊或误判。因此，亟需引入新兴技术辅助诊断流程，提高检测效率与准确性。在此背景下，人工智能，尤其是基于深度学习的图像识别方法，在辅助胃癌诊断中展现出巨大潜力。近年来，多个研究团队已开发出相关人工智能系统，用于提升内镜图像的判读效率与准确性。

人工智能在胃癌内镜诊断领域展现卓越效能。基于CNN开发的ENDOANGEL系统，在胃部肿瘤检测与早期胃癌识别中表现优异，敏感性分别达87.81%和100%，且在病灶深度与分化状态预测方面超越人类医师[13]；其他团队构建的深度卷积神经网络（deep convolutional neural network, DCNN）系统，不仅能以92.5%的准确率识别早期胃癌，还可借助类激活图与胃网格模型实现实时全面辅助[14]。实时视频流处理系统通过高速图像分析，将高风险病变检出率提升近1倍[15]。多中心、大样本数据训练的模型，在直径大于6 mm病变识别中准确率达98.6%[16]；而基于6 000余张内镜图像训练的14种CNN模型，在胃癌良恶性判别、幽门螺杆菌感染预测等多任务中表现突出，其中EfficientNetB7和InceptionV3模型在胃癌分类与淋巴结转移方面预测效果最佳，部分模型甚至能100%准确预测早期胃癌[17]。人工智能，特别是基于CNN的深度学习，正加速改变胃癌的内镜诊断模式。该技术在早期病变识别、良恶性判断以及分化与转移预测中展现出高准确性和实时性，显著提升诊断效率和病变检出率。其稳定性、泛

化能力及超越资深专家的潜力，在多模态数据融合与大规模临床应用中优势尤其突出。总体而言，人工智能在胃癌内镜图像分析中具有强大临床价值，未来有望成为精准医疗的关键支撑工具。

1.1.2 病理图像分析

尽管内镜图像分析在胃癌筛查中取得了显著进展，病理学检查仍是明确诊断与分型的关键依据。随着数字病理技术的发展，传统的显微镜阅片方式正逐步向数字化转变，为计算机辅助分析奠定了良好基础。在此背景下，深度学习方法被广泛应用于病理图像分析，在提升诊断效率和一致性方面展现出巨大潜力。

为了解决传统病理诊断中效率低、主观性强的问题，研究者构建了一系列高性能的深度学习模型，推动胃癌病理识别向自动化、精细化方向发展。例如，Wang等[18]开发的CHIEF模型在超过6万张全视野数字切片上预训练，涵盖包括胃在内的19个解剖部位，能在10 s内完成整张切片分析，对胃癌与非癌组织分类的准确率达97.88%，曲线下面积（area under the curve, AUC）高达0.994 3，显著优于传统模型。为提升病灶定位的精度，Song等[19]基于DeepLab v3构建了具备像素级分割能力的模型，在多种胃癌亚型检测中取得了近100%的敏感性与80.6%的特异性，在多中心测试集上AUC超过0.99，表现出卓越的鲁棒性与泛化能力。针对癌前病变的识别，Iwaya等[20]提出基于ResNet50的DCNN模型，实现了对肠化生的高灵敏度检测（敏感性97.7%、特异性94.6%），可精准分级不同程度病变，并能识别传统人工易漏诊的微小病灶，为早期筛查提供新路径。人工智能在胃癌病理图像分析领域展现出巨大潜力，其深度学习模型突破传统局限，实现高效准确的胃癌与非癌组织分类、精准病灶定位及癌前病变灵敏检测与分级，这不仅大幅提升了诊断效率、减轻了病理医生负担，还降低了主观性，显著提高结果的准确性和可靠性。未来，随着技术优化，人工智能有望在胃癌早期发现、精准治疗和预后评估中发挥关键作用，改善患者治疗效果与生存质量，推动病理诊断领域迈向新高度。

1.2 组学数据辅助诊断

随着高通量测序和系统生物学的发展，人工智能在高维复杂的组学数据分析中展现出强大潜力。通过整合人工智能算法，研究人员得以从代谢组、转录组等多层级生物信息中挖掘与胃癌发生发展密切相关的分子模式和潜在生物标志物，为精准诊断提供了全新视角。

1.2.1 代谢组学

基于代谢特征的机器学习模型显著提升了胃癌早期诊断的敏感性。Chen等[21]对胃癌患者与非癌对照组的血浆样本进行靶向代谢组学分析，检测出147种代谢物，发现胃癌患者的血浆代谢谱发生了显著重编程，主成分分析结果显示两组样本在代谢维度上可清晰区分，提示代谢异常可作为疾病发生的重要信号。进一步筛选出45种差异有统计学意义的代谢物，最终基于10种关键代谢物（如琥珀酸、乳酸、S-腺苷甲硫氨酸等）利用随机森林算法构建了10-DM诊断模型。该模型在外部独立测试集中敏感性达0.905，远高于传统蛋白质类肿瘤标志物（敏感性＜0.40），且在胃癌早期患者中展现出良好的鉴别能力。这一创新的诊断模型为胃癌早期精准筛查开辟了新路径，有望成为未来临床诊断和治疗胃癌的重要工具。

1.2.2 转录组学

转录组学对胃癌诊断意义重大，可通过刻画基因表达图谱，实现更早期、精确的肿瘤识别。Ding等[22]利用液体活检样本中的转录组数据，聚焦4个关键基因（*BUB*1、*SPC*25、*CT*83、*MMP*3）构建风险分层评估模型，实现对局部进展期胃癌患者腹膜隐匿性转移的早期检测，在训练集与验证集中的AUC分别达0.836和0.882，显著优于传统方法。Lee等[23]基于大规模样本开发由5个基因（*HBB*、*KRT*7、*UBD*、*PLA*2*G*2*A*和*ISG*15）构成的血液生物标志物检测面板用于胃癌的早期筛查与辅助诊断，该模型在训练队列和独立验证队列中AUC分别高达0.896和0.947，对早期胃癌（Ⅰ期与Ⅱ期）样本的识别AUC分别达0.928和0.980，展现出强大的早筛潜力，为构建低侵袭、高通量的诊断平台提供了理论支撑与实践基础。

2 人工智能在胃癌治疗中的应用

近年来，胃癌治疗正朝着个体化、精准化发展，人工智能凭借其强大数据处理与建模能力，

在多个治疗关键环节展现出巨大潜力，成为推动精准治疗的关键技术。它不仅可以预测患者对不同治疗方案的反应，辅助制定个体化治疗策略，减少无效治疗与毒副反应，还可加速新药研发与药物再利用进程，降低研发成本并缩短周期。同时，通过整合临床指南与研究证据，提升治疗决策的规范性和效率，为精准医学实践提供有力支持。

2.1　人工智能用于预测治疗反应

在胃癌综合治疗中，人工智能为不同治疗策略（靶向治疗、化疗、免疫联合治疗）的敏感性预测提供支持。针对靶向治疗，Chen等[24]开发的多模态MuMo模型融合计算机体层扫描（computed tomography, CT）影像、病理图像及临床特征，能够预测人类表皮生长因子受体2（human epidermal growth factor receptor 2, HER2）阳性胃癌患者对抗-HER2单药及联合免疫治疗的疗效，AUC高达0.884~0.914，并显著区分无进展生存期与总生存期高、低风险组；He等[25]基于多时相CT影像的深度学习模型也可准确预测曲妥珠单抗疗效，生存期预测AUC达0.894。针对化疗，基于CT影像组学的XGBoost模型可预测局部进展期胃癌患者对新辅助化疗的反应[26]，验证集AUC为0.784，准确率为0.771，特异度为0.821；Sasagawa等[27]利用全基因组及RNA测序构建的模型预测化疗效果，准确率达70%～80%，并发现肿瘤相关中性粒细胞是影响疗效的关键生物标志；Sundar等[28]结合基因组信息预测紫杉醇敏感性，可识别更有可能受益的患者亚群。在免疫联合治疗方面，Liu等[29]的ICIsNet模型通过病理切片预测程序性死亡受体1联合化疗应答者，AUC高达0.92~1.00；Huang等[30]基于多模态“放射–病理组学”特征的模型预测免疫联合治疗疗效，其性能优于传统生物标志物；Zhou等[31]的PharmaFormer模型结合癌细胞系药敏数据与患者来源类器官信息，实现对包括胃癌患者的药物反应高精度预测。综上，人工智能在胃癌综合治疗中可辅助靶向药物、化疗及免疫联合治疗的敏感性预测，为临床精准用药和个体化治疗方案选择提供有力支持。

2.2　人工智能用于新药发现与药物再利用

人工智能正深刻变革癌症治疗领域的药物发现与研发流程。传统研发耗时长、成本高且成功率低，而人工智能可处理海量生物医学数据，提高研发效率和精准度。在新药发现方面，人工智能贯穿靶点识别、化合物筛选到分子优化全过程。深度学习模型可解析复杂的基因组数据与蛋白质结构信息，助力识别胃癌的潜在治疗靶点。如DeepMind开发的AlphaFold算法在蛋白质三维结构预测方面表现出色，为靶向药物设计提供了关键结构基础[32]。确定靶点后，生成对抗网络与强化学习等算法可快速生成并筛选虚拟化合物，预测其活性、选择性与潜在毒性，扩大先导化合物搜索空间，缩短研发周期。此外，人工智能还能模拟药物分子与靶点相互作用，预测药代动力学（pharmacokinetics, PK）与药效学（pharmacodynamics, PD）特性，指导分子结构优化与候选药物筛选。Wu等[33]提出一种人工智能技术——基于生理的药动学（physiologically based pharmacokinetic, PBPK）建模平台，用于新药研发早期预测候选化合物的PK和PD表现。该平台先用机器学习模型预测参数输入，再结合PBPK模拟药物体内行为，通过机制驱动的PD模型评估药效。以5种钾竞争性酸阻滞剂为例，经模型校准与验证，证实该平台能预测药物对胃酸分泌及胃内pH的影响，从而指导药物分子优化与筛选，提高早期研发效率。

除了新药研发，人工智能在药物再定位方面也展现出巨大潜力。药物再定位是指将已批准上市或处于后期临床试验阶段的药物，用于治疗其原有适应证之外的新疾病[34]。药物再定位为胃癌患者“无药可用”的困境提供了新的解决方案。研究人员利用GEO数据库中两个胃癌相关基因表达数据集，筛选出200个候选基因，经特征重要性分析选出100个关键基因，再借助Connectivity Map CLUE工具开展药物再定位，识别出福斯可林、杰斯特里酮、西地那非等与这些关键基因表达高度负相关的潜在药物[35]。此外，Rabben等[36]整合基因表达谱与人工智能方法，发现伊维菌素可通过抑制胃癌中WNT/β-catenin信号通路发挥抗癌作用。体外实验表明其能抑制胃癌细胞增殖并诱导细胞周期阻滞，体内实验亦显示其可显著缩小肿瘤体积。相比传统依赖偶然发现的再定位方式，人工智能通过对药物–疾病关联数据、基因表达谱、临床试验和真实世界数据的系统分析，

可更高效精准地识别潜在适应证。再定位药物通常已通过毒理学评估，其转化速度快、风险低，有望快速成为胃癌治疗的新选择。目前人工智能在药物研发中通过高效筛选和整合多源数据，显著提升了从大规模化合物库中识别潜在候选分子的效率，并有效降低了研发初期的时间与成本负担。尤其在药物重定位方面，人工智能的优势更为突出，由于相关药物通常已具备较为完善的安全性数据，能够显著加速其进入临床评估的进程。然而，需指出的是，人工智能在医药领域的应用仍处于快速发展和探索阶段，目前识别出的胃癌新靶点或潜在再定位药物，多数尚停留在临床前研究或早期临床试验阶段。其能否真正实现临床转化，仍有赖于后续大规模、多中心临床试验对其有效性与安全性的系统验证。

3 人工智能用于胃癌的预后预测

胃癌的预后预测对于制定个体化治疗方案、优化随访计划及提升患者生存率至关重要，然而，传统方法在整合高维复杂数据、挖掘深层次预后因素方面存在明显局限，而人工智能凭借对多模态信息的整合与深度学习能力，正在为生存预测、病理亚型评估及复发转移风险判定提供新的解决方案，为临床决策和精准医疗带来重要支持。

3.1 人工智能在胃癌生存期预测中的应用

基于深度学习的模型能够有效预测胃癌患者的生存结局。例如，Zeng等[37]基于SEER数据库1.4万余例胃腺癌病例，采用DeepSurv神经网络构建生存预测模型，其一致性指数达到0.772（高于传统Cox模型的0.755），并对1年、3年、5年和10年生存期的预测AUC可达0.825~0.871。此外，Chen等[38]基于Transformer架构开发的骨骼肌深度学习模型，利用术前L3腰椎骨骼肌CT影像预测复发无病生存和疾病特异性生存期，在训练集及内外部验证集中AUC均达0.791~0.943。除影像特征外，人工智能还可结合病理和分子数据来进行预后预测。Zhou等[39]提出了多模态注意力网络，从无标记的自体荧光与细胞核染色图像生成虚拟多重免疫荧光（multiplex immunofluorescence, mIF）图像，涵盖CD3、CD20、FOXP3、PD1、CD8、CD163、PD-L1等7种生存相关生物标志物。在94例患者的180张切片中，虚拟mIF的预后准确度与传统mIF染色相当，显著降低了成本并提高了效率。由此可知，人工智能利用临床指标、影像、病理及分子特征，为胃癌患者提供更精准的生存预测工具，辅助临床决策。

3.2 人工智能在特殊病理类型胃癌预后评估中的作用

针对胃癌不同组织学亚型，人工智能也表现出独特优势。以Lauren分型为例，Veldhuizen等[40]利用常规病理切片训练模型，对Lauren弥漫型和肠型胃癌进行自动分型。外部验证结果显示，该模型对患者5年生存期的分层效果优于病理学家人工分型，这表明该模型对组织学亚型的划分具有更好的预后意义。在特定病理类型方面，也有相关研究。以印戒细胞癌（signet ring cell carcinoma, SRCC）为例，Li等[41]基于增强CT图像结合手工特征和深度学习特征，构建了诊断SRCC并预测化疗反应的人工智能模型。在测试集中，该模型诊断SRCC的AUC为0.786（敏感度77.3%，特异度69.2%），且模型预测的高风险组患者中位总生存明显短于低风险组（38.8个月 vs 64.2个月，$P=0.009$）。值得注意的是，对于晚期SRCC患者，该模型预测的低风险组在术后辅助化疗中获益显著，提示人工智能可辅助识别可能受益于化疗的患者。此外，CT影像组学也可用于术前亚型预测。例如，Chen等[42]通过CT提取放射组学特征，构建了区分弥漫型与非弥漫型胃癌（包括SRCC）的预测模型，在多个队列中的AUC达到0.84~0.92。综上，人工智能可通过影像和病理分析，对胃癌的特殊病理亚型进行非侵入式识别与预后评估，为精准治疗方案提供依据。

3.3 人工智能在胃癌复发和转移评估中的应用

胃癌术后复发及转移风险的准确评估对于优化治疗至关重要。Jiang等[43]开发了一种多任务深度学习模型，利用术前CT同时预测腹膜复发风险和无病生存期（disease free survival, DFS）。该模型在外部验证集中预测腹膜复发的AUC为0.843，在DFS预测中的一致性指数为0.610。人工智能模型的引入显著提高了临床医师对腹膜复发的诊断敏感度和评估一致性，并且模型预测

结果在多变量分析中独立于常规临床病理变量。对于模型预测为高复发风险的患者，辅助化疗能够显著延长DFS（Ⅱ期风险比为0.543，Ⅲ期风险比为0.531，P<0.005）。在术前隐匿性腹膜转移的检测方面，Zhu等[44]基于CT提取原发肿瘤及其周围肠系膜脂肪组织的放射组学特征，建立了机器学习预测模型。该综合模型在训练集AUC为0.943，在测试集AUC为0.835，优于仅考虑肿瘤区特征的模型，提示同时利用肿瘤及其环境特征能更好地预测隐匿转移。如上所述，人工智能辅助的复发和转移评估为个体化术前方案和术后随访提供了有力支持。

4　总结与展望

人工智能应用于胃癌诊断、治疗、药物研发及预后评估多环节，持续推动精准医疗发展。在诊断上，其显著提高了早期识别的敏感性和准确性，尤其在影像组学与病理图像分析中表现突出；在治疗决策中，通过整合多模态数据精准预测患者对靶向治疗或化疗的反应，助力个体化治疗方案制定；在药物研发中，加速新药发现并发掘现有药物新适应证；在预后评估中，人工智能驱动的模型高精度预测生存期和复发风险，为临床随访和动态管理提供有力支持。

尽管人工智能在胃癌诊断与治疗领域展现出巨大潜能，但其广泛推广应用和临床转化仍面临诸多挑战，例如数据的异质性会导致人工智能模型误诊概率增加，在ENDOANGEL AI系统多中心验证中发现：单中心测试时灵敏度接近100%、特异性约为82.5%，但在涵盖12个不同中心的视频中，虽然灵敏度仍高（约97.8%），特异性却骤降至61.1%，导致假阳性显著升高。研究者指出，这一变化主要归因于“负样本异质性”[45]。人工智能模型的决策过程往往缺乏透明度，导致责任归属问题变得复杂。当人工智能模型出现误诊或延误治疗的情况时，传统的法律框架难以明确界定开发者、医疗机构和临床医生之间的责任。Nasir等[46]指出，当前缺乏针对医疗人工智能的明确监管政策和法律框架，导致在临床应用中面临法律风险。人工智能的发展依赖于“大量数据的集中化处理与共享”，这给患者数据隐私带来了严重隐患，即使对胃癌患者数据进行匿名化处理，仍可能通过“数据重识别”而泄露患者身份。例如，有研究[47]表明，即便去除个人标识信息，机器学习算法依然能够在大规模健康数据库中重新识别出超过80%的个体。这意味着人工智能模型如果依赖多中心数据训练，患者隐私就可能受到威胁。

医学数据的复杂性，如胃癌诊疗中的影像、病理、组学数据及临床信息等，存在高度异质性、高维度和噪声问题，成为人工智能模型开发的障碍[48]。此外，人工智能仍处于“黑箱”状态，缺乏可解释性，难以提供明确的决策依据[49]。

总之，人工智能在胃癌诊疗中前景广阔，但其全面落地仍需在临床验证、伦理法规、数据标准化、算法优化等方面持续努力。未来应加强跨学科协作，推动医学、计算机科学与监管机制的深度融合，以实现人工智能赋能下的胃癌精准医疗。

利益冲突声明　所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献声明　侯琳琳：文献整理、撰写并修改论文；高田宇：文献搜集；王新刚、连仕博：论文修改；樊　勇：设计论文的框架和润色。

参考文献

[1] BRAY F, LAVERSANNE M, SUNG H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. Ca: a cancer journal for clinicians, 2024, 74(3): 229-263.

[2] 郑荣寿，张思维，孙可欣，等. 2016年中国恶性肿瘤流行情况分析[J]. 中华肿瘤杂志，2023，3(1)：212-220.

[3] TOPOL E J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence[J]. Nature medicine, 2019, 25(1): 44-56.

[4] 兰欣，卫荣，蔡宏伟，等. 机器学习算法在医疗领域中的应用[J]. 医疗卫生装备，2019，40(3)：5.

[5] LITJENS G, KOOI T, BEJNORDI B E, et al. A survey on deep learning in medical image analysis[J]. Medical image analysis, 2017, 42(13): 60-88.

[6] SUZUKI H, ODA I, ABE S, et al. High rate of 5-year survival among patients with early gastric cancer undergoing curative endoscopic submucosal dissection[J]. Gastric cancer, 2016, 19(1): 198-205.

[7] SALATI M, DI EMIDIO K, TARANTINO V, et al.

Second-line treatments: moving towards an opportunity to improve survival in advanced gastric cancer? [J]. ESMO open, 2017, 2(3): e000206.

[8] WANG Z H, ZHOU X R, LIU W H. Inner countertraction facilitating endoscopic submucosal dissection of a difficult early gastric cancer independent of transparent cap[J]. Endoscopy, 2023, 55(S1): E490-E491.

[9] GAO Y H, WEN P Z, LIU Y, et al. Application of artificial intelligence in the diagnosis of malignant digestive tract tumors: focusing on opportunities and challenges in endoscopy and pathology [J]. Journal of translational medicine, 2025, 23(1): 412.

[10] LI N, YANG J, LI X D, et al. Accuracy of artificial intelligence-assisted endoscopy in the diagnosis of gastric intestinal Metaplasia: a systematic review and meta-analysis[J]. PLoS One, 2024, 19(5): e0303421.

[11] YAO K S, UEDO N, KAMADA T, et al. Guidelines for endoscopic diagnosis of early gastric cancer[J]. Digestive endoscopy, 2020, 32(5): 663-698.

[12] 邹文斌,杨帆,李兆申. 中国胃癌诊治关键在于提高早期诊断率[J]. 浙江大学学报:医学版, 2015(1): 9-14.

[13] WU L L, WANG J, HE X Q, et al. Deep learning system compared with expert endoscopists in predicting early gastric cancer and its invasion depth and differentiation status (with videos) [J]. Gastrointestinal endoscopy, 2022, 95(1): 92-104. e3.

[14] WU L L, ZHOU W, WAN X Y, et al. A deep neural network improves endoscopic detection of early gastric cancer without blind spots[J]. Endoscopy, 2019, 51(6): 522-531.

[15] LI S W, ZHANG L H, CAI Y, et al. Deep learning assists detection of esophageal cancer and precursor lesions in a prospective, randomized controlled study[J]. Science translational medicine, 2024, 16(743): eadk5395.

[16] HIRASAWA T, AOYAMA K, TANIMOTO T, et al. Application of artificial intelligence using a convolutional neural network for detecting gastric cancer in endoscopic images [J]. Gastric cancer, 2018, 21(4): 653-660.

[17] YANG R X, ZHANG J L, ZHAN F S, et al. Artificial intelligence efficiently predicts gastric lesions, Helicobacter pylori infection and lymph node metastasis upon endoscopic images [J]. Chinese journal of cancer research, 2024, 36(5): 489-502.

[18] WANG X Y, ZHAO J H, MAROSTICA E, et al. A pathology foundation model for cancer diagnosis and prognosis prediction[J]. Nature, 2024, 634(8035): 970-978.

[19] SONG Z G, ZOU S M, ZHOU W X, et al. Clinically applicable histopathological diagnosis system for gastric cancer detection using deep learning[J]. Nature communications, 2020, 11(1): 4294.

[20] IWAYA M, HAYASHI Y, SAKAI Y, et al. Artificial intelligence for evaluating the risk of gastric cancer: reliable detection and scoring of intestinal Metaplasia with deep learning algorithms [J]. Gastrointestinal endoscopy, 2023, 98(6): 925-933.e1.

[21] CHEN Y Z, WANG B H, ZHAO Y Z, et al. Metabolomic machine learning predictor for diagnosis and prognosis of gastric cancer [J]. Nature communications, 2024, 15(1): 1657.

[22] DING P A, WU H T, WU J X, et al. Non-invasive liquid biopsy based on transcriptomic profiling for early diagnosis of occult peritoneal metastases in locally advanced gastric cancer[J]. NPJ precision oncology, 2025, 9(1): 109.

[23] LEE I S, AHN J, KIM K, et al. A blood-based transcriptomic signature for noninvasive diagnosis of gastric cancer[J]. British journal of cancer, 2021, 125(6): 846-853.

[24] CHEN Z F, CHEN Y, SUN Y, et a. Predicting gastric cancer response to anti-HER2 therapy or anti-HER2 combined immunotherapy based on multi-modal data [J]. Signal transduction and targeted therapy, 2024, 9(1): 222.

[25] HE M, CHEN Z F, LIU S, et al. Deep learning model based on multi-lesion and time series CT images for predicting the benefits from anti-HER2 targeted therapy in stage Ⅳ gastric cancer[J]. Insights into imaging, 2024, 15(1): 59.

[26] 韩枫,王燕燕,杜妍,等. 基于CT影像组学的机器学习模型预测局部进展期胃癌新辅助化疗效果[J]. 肿瘤研究与临床, 2025, 37(1): 1-7.

[27] SASAGAWA S, HONMA Y, PENG X X, et al. Predicting chemotherapy responsiveness in gastric cancer through machine learning analysis of genome, immune, and neutrophil signatures[J]. Gastric cancer, 2025, 28(2): 228-244.

[28] SUNDAR R, BARR KUMARAKULASINGHE N, HUAK CHAN Y, et al. Machine-learning model derived gene signature predictive of paclitaxel survival benefit in gastric cancer: results from the randomised phase Ⅲ

SAMIT trial[J]. Gut，2022，71(4)：676-685.

[29] LIU Y F，CHEN W，RUAN R W，et al. Deep learning based digital pathology for predicting treatment response to first-line PD-1 blockade in advanced gastric cancer[J]. Journal of translational medicine，2024，22(1)：438.

[30] HUANG W C，WANG X Y，ZHONG R，et al. Multimodal radiopathomics signature for prediction of response to immunotherapy-based combination therapy in gastric cancer using interpretable machine learning[J]. Cancer letters，2025，631：217930.

[31] ZHOU Y R，DAI Q H，XU Y M，et al. PharmaFormer predicts clinical drug responses through transfer learning guided by patient derived organoid[J]. NPJ precision oncology，2025，9(1)：282.

[32] JUMPER J，EVANS R，PRITZEL A，et al. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold[J]. Nature，2021，596(7873)：583-589.

[33] WU K H，LI X，ZHOU Z，et al. Predicting pharmacodynamic effects through early drug discovery with artificial intelligence-physiologically based pharmacokinetic (AI-PBPK) modelling[J]. Frontiers in pharmacology，2024，15：1330855.

[34] ASHBURN T T，THOR K B. Drug repositioning：identifying and developing new uses for existing drugs[J]. Nature reviews drug discovery，2004，3(8)：673-683.

[35] KıRBOĞA K K，RUDRAPAL M. Feature engineering-assisted drug repurposing on disease-drug transcriptome profiles in gastric cancer[J]. ASSAY and drug development technologies，2024，22(4)：181-191.

[36] RABBEN H L，ANDERSEN G T，IANEVSKI A，et al. Computational drug repositioning and experimental validation of ivermectin in treatment of gastric cancer[J]. Frontiers in pharmacology，2021，12：625991.

[37] ZENG J J，LI K，CAO F Y，et al. Development and validation of survival prediction model for gastric adenocarcinoma patients using deep learning：a SEER-based study[J]. Frontiers in oncology，2023，13：1131859.

[38] CHEN Q Y，JIAN L，XIAO H，et al. Transformer-based skeletal muscle deep-learning model for survival prediction in gastric cancer patients after curative resection[J]. Gastric cancer，2025，28(4)：684-695.

[39] ZHOU Z X，JIANG Y M，SUN Z P，et al. Virtual multiplexed immunofluorescence staining from non-antibody-stained fluorescence imaging for gastric cancer prognosis[J]. eBioMedicine，2024，107：105287.

[40] VELDHUIZEN G P，RÖCKEN C，BEHRENS H M，et al. Deep learning-based subtyping of gastric cancer histology predicts clinical outcome：a multi-institutional retrospective study[J]. Gastric cancer，2023，26(5)：708-720.

[41] LI C，QIN Y，ZHANG W H，et al. Deep learning-based AI model for signet-ring cell carcinoma diagnosis and chemotherapy response prediction in gastric cancer[J]. Medical physics，2022，49(3)：1535-1546.

[42] CHEN T，WU J，CUI C H，et al. CT-based radiomics nomograms for preoperative prediction of diffuse-type and signet ring cell gastric cancer：a multicenter development and validation cohort[J]. Journal of translational medicine，2022，20(1)：38.

[43] JIANG Y M，ZHANG Z C，YUAN Q Y，et al. Predicting peritoneal recurrence and disease-free survival from CT images in gastric cancer with multitask deep learning：a retrospective study[J]. The lancet digital health，2022，4(5)：e340-e350.

[44] ZHU Z N，FENG Q X，LI Q，et al. Machine learning-based CT radiomics approach for predicting occult peritoneal metastasis in advanced gastric cancer preoperatively[J]. Clinical radiology，2025，80：106727.

[45] DONG Z H，TAO X，DU H L，et al. Exploring the challenge of early gastric cancer diagnostic AI system face in multiple centers and its potential solutions[J]. Journal of gastroenterology，2023，58(10)：978-989.

[46] NASIR M，SIDDIQUI K，AHMED S. Ethical-legal implications of AI-powered healthcare in critical perspective[J]. Frontiers in artificial intelligence，2025，8：1619463.

[47] NA L Y，YANG C，LO C C，et al. Feasibility of reidentifying individuals in large national physical activity data sets from which protected health information has been removed with use of machine learning[J]. JAMA network open，2018，1(8)：e186040.

[48] WANG S X，WANG S L，WANG Z X. A survey on multi-omics-based cancer diagnosis using machine learning with the potential application in gastrointestinal cancer[J]. Frontiers in medicine，2023，9：1109365.

[49] WANG H C，FU T F，DU Y Q，et al. Scientific discovery in the age of artificial intelligence[J]. Nature，2023，620(7972)：47-60.

（责任编辑：李晓炜）