

基于人工智能技术在胰腺肿瘤早期诊断中的应用与前景

王伟, 鲁希国, 许强, 陈涛, 闫晓琨*

白银市中心医院普通外科, 甘肃 白银

收稿日期: 2025年11月3日; 录用日期: 2025年11月26日; 发布日期: 2025年12月2日

摘要

胰腺癌(Pancreatic Cancer, PC)是一种具有高度恶性特征的消化系统肿瘤, 以其极低的生存率、不良的预后特性而臭名昭著, 素有“癌中之王”之称。目前, PC因其缺乏典型的早期临床表现及高度侵袭性的生长特性而面临重大挑战, 导致绝大多数患者在确诊时已处于疾病的中晚期阶段, 进而使得该病的预后相较于其他恶性肿瘤更为严峻。近年来, 随着人工智能(Artificial Intelligence, AI)技术的崛起与迅猛发展, 其在各行各业中得到了广泛应用, 并成功解决了诸多难题。尤其在医疗领域, AI技术取得了突破性进展。尽管PC的发病率相对较低, 但其死亡率极高, 多数患者在初次诊断时已步入疾病晚期。若能在早期阶段检测到肿瘤病变, 患者将极有可能早期接受手术治疗, 从而获得更佳的预后。胰腺癌前病变主要包括胰腺上皮内瘤变(PanIN)和粘液性囊性肿瘤(MCN), 其中导管内乳头状粘液性肿瘤(IPMN)是最常见的诊断类型。本文简要概述了AI技术在胰腺肿瘤早期诊断中的当前应用状况及创新成果, 通过运用无创技术与人工智能(AI)手段, 识别PC的早期迹象并进行预测, 为胰腺肿瘤的早期诊断带来了全新的曙光, 并对PC的研究提供参考依据。

关键词

胰腺肿瘤, 人工智能, 早期筛查, 个性化治疗, 前景

Application and Prospect of Early Diagnosis of Pancreatic Tumors Based on Artificial Intelligence Technology

Wei Wang, Xiguo Lu, Qiang Xu, Tao Chen, Xiaokun Yan*

General Surgery, Baiyin City Central Hospital, Baiyin Gansu

Received: November 3, 2025; accepted: November 26, 2025; published: December 2, 2025

*通讯作者。

文章引用: 王伟, 鲁希国, 许强, 陈涛, 闫晓琨. 基于人工智能技术在胰腺肿瘤早期诊断中的应用与前景[J]. 医学诊断, 2025, 15(6): 547-555. DOI: 10.12677/md.2025.156074

Abstract

Pancreatic cancer (PC) is a highly malignant tumor of the digestive system, infamous for its extremely low survival rate and poor prognosis, and known as the “king of cancers”. Currently, PC faces significant challenges due to its lack of typical early clinical manifestations and highly aggressive growth characteristics, resulting in the majority of patients being diagnosed in the middle to late stages of the disease, which makes the prognosis of the disease more severe compared to other malignant tumors. In recent years, with the rise and rapid development of Artificial Intelligence (AI) technology, it has been widely used in various industries and successfully solved many problems. Especially in the medical field, AI technology has made breakthrough progress. Although the incidence of PC is relatively low, its mortality rate is extremely high, and most patients are already in the advanced stages of the disease when they are first diagnosed. However, if a tumor lesion can be detected at an early stage, the patient will most likely undergo surgical treatment, resulting in the best prognosis. Pancreatic precancerous lesions mainly include pancreatic intraepithelial neoplasia (PanIN) and mucinous cystic neoplasia (MCN), with intraductal papillary mucinous neoplasia (IPMN) being the most commonly diagnosed type. Our research team is dedicated to identifying early signs of PC and predicting them through the use of non-invasive techniques and artificial intelligence (AI) tools. This paper briefly outlines the current application status and innovative achievements of AI technology in the early diagnosis of pancreatic tumors, which brings a new light to the early diagnosis of pancreatic tumors, and presents a broad development blueprint with optimism for its future prospects.

Keywords

Pancreatic Tumor, Artificial Intelligence, Early Screening, Personalized Treatment, Foreground

Copyright © 2025 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

目前胰腺癌分类有以下几种,如胰腺导管腺癌(Pancreatic Ductal Adenocarcinoma, PDAC),胰腺神经内分泌肿瘤(PNET)以及胰腺囊性肿瘤,其中胰腺导管腺癌(PDAC)占绝大多数,是一种广泛存在的消化系统恶性肿瘤。依据国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)的最新数据,PDAC在全球恶性肿瘤发病率中位居第14位,而在死亡率方面,更是高居恶性肿瘤死亡原因的前7位之列。据相关医学研究数据揭示,在2021年,美国境内约有60,000余例新确诊的胰腺癌(Pancreatic Cancer)病例被记录,而同期因该疾病导致死亡的人数则逼近50,000大关[1]。据此趋势,可以对未来的疾病进展进行预测,根据2022年国际癌症研究机构(IARC)的最新估计:预计到2030年,胰腺癌(Pancreatic Cancer)的致死率将超过乳腺癌(Breast Cancer)、前列腺癌(Prostate Cancer)及结直肠癌(Colorectal Cancer),跃居成为导致癌症相关死亡的第二大原因[2]。当前,胰腺癌(Pancreatic Cancer)的诊断主要依赖于传统的影像学检查手段,包括计算机断层扫描(Computed Tomography, CT)和磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI),并在必要时借助正电子发射断层扫描-计算机断层扫描(Positron Emission Tomography-Computed Tomography, PET-CT)对患者病情进行全面而深入地评估。尤为值得关注的是,超声内窥镜(Endoscopic Ultrasonography, EUS)及其引导下的细针穿刺活检(Endoscopic Ultrasonography-Guided Fine-Needle Aspiration,

EUS-FNA)在胰腺癌的诊断与分期过程中扮演着举足轻重的角色。尽管如此,这些诊断方法的精确度仍可能受到多种技术层面因素的影响。因此,如何提高胰腺癌早期诊断的精确度,减少技术层面因素的影响,成为医生关注的问题。

“人工智能”(Artificial Intelligence, AI)这一术语最初于 1956 年被提出,其核心聚焦于利用机器模拟人类的学习与认知能力。机器学习(Machine Learning, ML)作为 AI 的具体实践领域,运用了一系列算法,包括但不限于决策树(Decision Trees)、随机森林(Random Forests)、人工神经网络(Artificial Neural Networks, ANNs)、支持向量机(Support Vector Machines, SVMs)、逻辑回归(Logistic Regression)、贝叶斯方法(Bayesian Methods)、K 最近邻算法(K-Nearest Neighbors, KNN)等。其中,人工神经网络中的卷积神经网络(Convolutional Neural Networks, CNNs)在图像处理领域展现出卓越的性能。深度学习(Deep Learning, DL)技术通过遵循标准化的决策协议,能够精确且客观地识别图像中的特征值,并全面分析这些特征值与相应结果之间的统计关联性。因此,基于人工智能的影像组学可以实现对胰腺癌的精确诊断[3],而深度学习可以建立胰腺癌早期高危预测模型和术后复发风险预测模型,促进胰腺癌手术后的早期筛查和并发症的管理[4]。人工智能作为一种辅助技术在医学领域展现出广泛的应用前景,对于罹患胰腺导管腺癌(Pancreatic Ductal Adenocarcinoma, PDA)的患者而言,具有潜在能力以改善其临床转归。目前胰腺肿瘤的治疗方式仍然以手术切除为主要治疗手段[5][6],然而,胰腺癌根治性切除术后,患者的预后依然面临肿瘤高复发的严峻挑战,故实施规范的定期随访策略以进行严密的监视与预警显得尤为重要。目前,人工智能与临床实践的整合应用仍处于萌芽阶段,迫切需要跨学科专家团队的深度协作与科研探索,以期推进该领域的进步。

2. AI 辅助胰腺癌早期筛查与风险预测

运用深度学习算法模型,可以对临床常规采用的影像学检查资料,如计算机断层扫描(CT)及磁共振成像(MRI),实施自动化解析与辨识,精确锁定胰腺内微小病灶,并有效鉴别胰腺导管腺癌(Pancreatic Ductal Adenocarcinoma, PDA)与其他胰腺病理改变。如上海长海医院研究团队所研发的 PANDA 模型,借助分割网络架构(如 U-Net)与多任务卷积神经网络(CNN),达成了对胰腺肿瘤的高精度探测能力。通过整合涵盖癌前病变、人群基线健康指标以及与胰腺癌相关联的一系列生物标志物的基础数据集,人工智能技术有望构建预测模型,用以评估个体罹患胰腺癌的风险倾向,进而促进疾病的早期发现与及时干预。导管内状粘液性肿瘤(IPMN)是胰腺癌发展的前体病变,其诊断频率越来越高,需要一种算法来帮助将患者分为低风险组和高风险组,以便进行随访而不是更具侵入性的评估[7]。为了探索 IPMN,一项研究整理了一份广泛的纲要[8],共搜集了 3970 幅内镜超声(EUS)静态图像,并作为输入数据应用于深度学习模型中,以计算人工智能(AI)评分及 AI 预测恶性概率。这些图像作为复杂深度学习框架的输入资料。研究结果显示,恶性胰管内乳头状黏液瘤(IPMN)的平均 AI 评分显著高于良性 IPMN (0.808 vs. 0.104, $P < 0.001$)。通过 AI 预测恶性概率评估 IPMN 恶性转化的受试者工作特征曲线(ROC)下面积(AUC)达到 0.98 ($P < 0.001$),这验证了 AI 在预测 IPMN 恶变潜能方面的效能。AI 预测恶性概率的敏感性、特异性和准确性分别为 95.7%、92.6%和 94.0%,其准确性优于人类诊断(56.0%)。该研究表明,与现有常规医学诊断技术相比,基于深度学习算法的 AI 可能是一种更为精确且客观的诊断 IPMN 的方法。

近年来,科研人员在糖尿病患者群体的研究中,揭示了特定高风险亚群与罹患胰腺导管腺癌(Pancreatic Ductal Adenocarcinoma, PDA)之间相关性的重要发现。该研究[9]基于新确诊的糖尿病患者群体,构建了一幅综合预后图谱,该图谱整合了糖尿病发病年龄、体重指数(BMI)及血糖变异性等核心预后决定因素。电子健康记录(EHRs)的纵向积累,形成了庞大的医疗保健数据集,已成为科研人员构建医疗预后预测模型不可或缺的重要资源。最近率先开展的研究[9][10]已聚焦于预测模型的开发,这些复杂的算法

能生成预测评分,有效预估三年内胰腺肿瘤的早期发展轨迹。特别是评分 ≥ 3 的患者在胰腺癌诊断中展现出 80% 的敏感性和特异性($AUC = 0.87$),相较于糖尿病患者,其胰腺癌发病风险增加了近 4.5 倍。另外,一项研究[11]采用逻辑回归(Logistic Regression, LR)与人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)模型,针对中国台湾 2 型糖尿病(Type 2 Diabetes Mellitus, T2DM)患者构建了预测框架,将年龄、抗糖尿病药物治疗情况及合并症等作为胰腺癌潜在风险的决定因素纳入考量。最终,该模型在预测胰腺癌方面的受试者工作特征曲线(ROC)下面积达到 0.727,显示出良好的模型拟合度。应用此逻辑回归模型,研究结果提示我们能够合理预测中国台湾 T2DM 患者的胰腺癌风险。同样,一项来自英国数据库中的回顾性队列研究[11],此研究对 109,385 例新发糖尿病患者的数据进行了深入分析。其中,390 例(占比 0.4%)在随后三年内被确诊为胰腺导管腺癌(PDAC)。所构建的最终预测模型(受试者工作特征曲线下面积: 0.82; 95%置信区间: 0.75~0.89)纳入了年龄、体重指数(BMI)、BMI 变化、吸烟史、质子泵抑制剂使用情况、抗糖尿病药物治疗情况,以及糖化血红蛋白(HbA1C)、总胆固醇、血红蛋白、肌酐和碱性磷酸酶等生化指标。通过 Bootstrapping 验证,当将三年内 PDAC 筛查的预测风险阈值设定为 1%时,仅需对 6.19%的新发糖尿病患者进行确定性筛查,即可识别出具有 44.7%敏感性、94.0%特异性和 2.6%阳性预测值的 PDAC 病例。这一结果表明,逻辑回归(Logistic Regression, LR)模型展现出卓越的诊断效能,其高特异性和敏感性为胰腺肿瘤的早期诊断提供了有力的循证支持。

3. AI 诊断胰腺癌在影像学的表现

胰腺癌是导致发达国家与发展中国家癌症相关死亡的重要原因。在中国,胰腺癌的发病率占据了全球总发病率的约四分之一,其流行病学特性及治疗方案受到社会、经济、文化、环境以及公共卫生条件等多重因素的显著影响。非国内指南未反映中国患者的临床病理特征和治疗模式[12]。当前,胰腺癌的诊断是一个综合性的过程,通常涵盖患者的临床表现、高危因素评估、血清肿瘤标志物的检测以及多种成像技术的应用。如超声内镜(EUS) [13]。尽管如此,影像学检查依然是胰腺癌临床诊断中的核心手段,而影像组学作为新兴的图像分析技术,在其中扮演着关键角色。作为影像组学的一个组成部分,纹理分析能够从原始影像资料中提取大量定量信息,这些信息有助于识别决定胰腺病灶真实性质的特定影像学特征,并可为其他重要临床决策提供依据,包括评估肿瘤的可切除性、肿瘤分级、对新辅助治疗的反应预测以及术后生存率预测等。在此类分析中,采用造影剂增强的计算机断层扫描(CT)和磁共振成像(MRI)是标准的成像模态选择[14][15]。近年来,深度学习模型已逐渐崭露头角,成为一种颇具潜力的辅助诊断工具,应用于胰腺癌的诊断中。举例而言,浙江大学的研究团队研发了一种深度学习模型,值得注意的是,该研究[16]基于人工智能系统,利用包含 347 名患者共计 107,036 张临床 CT 图像的独立测试数据集进行了验证,取得了受试者工作特征曲线下面积(AUC)为 0.871 及 F1 分数为 88.5%的优异表现。该系统对所有类型胰腺肿瘤的平均识别准确率为 82.7%,且在区分导管内乳头状黏液性肿瘤(IPMN)与胰腺导管腺癌(PDAC)方面展现出了极高的准确性,分别为 100%和 87.6%。本研究提出的模型有望为胰腺肿瘤的术前诊断提供高效且精确的手段,进而促进手术治疗的效果。此外,来自中国的一项研究[17]开发了一种卷积神经网络(CNN)模型,该模型基于 222 名经病理证实的胰腺癌患者获得的 3494 张 CT 图像和 190 名正常胰腺患者的 3751 张 CT 图像数据集构建 CNN 模型进行训练。该模型经过训练,可区分两类(有或没有胰腺癌)和三类(无癌症、胰腺体/尾部肿瘤、胰腺头/颈部肿瘤),其准确率为 95.47%,敏感性为 91.58%,特异性为 98.27%。三个阶段之间对头部癌症的敏感性差异显著($\chi^2 = 16.651$, $P < 0.001$),动脉期的敏感性最高。

随着人工智能技术的兴起,内镜超声(EUS)图像的诊断效率实现了显著提升。为应对在自身免疫性胰腺炎(AIP)与胰腺导管腺癌、慢性胰腺炎及正常胰腺组织间进行鉴别诊断的复杂挑战,科研人员设计了一

种基于 EUS 影像的卷积神经网络(CNN)模型[18]。本研究从总计 583 例受试者(包括 146 例自身免疫性胰腺炎[AIP]患者、292 例胰腺导管腺癌(PDAC)患者、72 例慢性胰腺炎(CP)患者及 73 例正常胰腺(NP)对照)中,成功提取了 1,174,461 幅独特的内镜超声(EUS)图像。所构建的模型在区分 AIP 与 PDAC 时展现出 90%及 93%的高敏感性,与 NP 区分时分别为 99%及 98%,以及与 CP 区分时分别为 94%及 71%的高特异性,凸显了 EUS-CNN 模型在精确区分 AIP 与 PDAC 以及良性胰腺病变方面的能力,进而为疾病的早期、精确诊断提供了有力支持。当前,致力于研发能够精准识别并自主分割胰腺肿瘤的复杂模型,已成为医学研究的前沿焦点,为提升胰腺恶性肿瘤的诊断精度及优化治疗方案开辟了广阔前景。这些进展充分展示了人工智能在重塑胰腺癌研究与临床实践面貌方面革命性潜力。

4. 胰腺癌手术中 AI 承担的作用

当前,根治性手术切除构成了胰腺癌治疗策略的基石。针对胰腺癌手术,其特定要素涵盖新辅助治疗的应用、血管切除技术的实施、扩大胰腺切除术的考量、淋巴结清扫术的范围界定,以及微创手术技术的最新进展[19]。R0 切除术能够有效延长患者的无病生存期(DFS)及总生存期(OS)。在确保高质量的术前影像学检查能够预测实现 R0 切除的可能性,并且术后并发症风险处于可接受范围内的情况下,血管及邻近器官切除术宜在新辅助治疗之后进行[20]。尽管存在挑战,但新辅助治疗(NAT)的引入与应用在拓宽根治性手术切除的适应症范围及促进预后改善方面展现出广阔前景。尤其值得关注的是,人工智能在胰腺癌新辅助治疗领域中已成为一种强有力的辅助手段。荷兰的一项研究[21]采用数字处理技术对 64 例胰腺癌患者的 HE 染色切片进行细致分析,精确区分了肿瘤、正常导管及残留上皮三个不同类别,并据此有效训练了一个肿瘤分割模型,该模型的平均 F1 评分达到 0.86。此外,美国的一项研究运用机器学习方法,对比了新辅助治疗前后的增强 CT 图像,成功识别并提取了与治疗反应相关的影像学特征,进而构建了一个预测模型,其 AUC 值高达 0.94 [22]。这些具有开创性的研究明确证实了人工智能在评估胰腺癌新辅助治疗疗效方面的可行性。通过客观量化新辅助治疗反应,人工智能在指导个性化新辅助治疗方案选择方面具有显著潜力,进而可优化手术干预措施。此外,研究者还开发了自动分割技术,能够精确描绘受威胁器官的轮廓,为放射治疗规划提供了至关重要的指导信息[22]。

人工智能已成为外科领域不可或缺的强大工具,特别是在三维重建与可视化技术的应用上。三维可视化技术能够将二维影像资料转化为三维立体图像,使医生能够直观、全面地了解肿瘤的位置、形态及其与毗邻组织的空间关系。而增强现实导航技术则在手术过程中实时展示肿瘤位置,显著提升了手术的精确度和安全性。中国的一项开创性研究展示了三维重建在评估胰腺癌方面的高准确性、高灵敏度及高特异性,为临床决策提供了有力支持[23]。Pugin 及其研究团队将增强现实导航技术融入腹腔镜胰腺远端切除术中,实现了将胰腺尾部结节实时投影至患者体表,这一创新极大地增强了术者对解剖结构的认知与定位能力,从而使得手术操作更为简便、快捷,并可能进一步提升了手术的安全性[24]。此外,中国学者利用智能手机平台搭载增强现实软件,将重建的三维图像实时叠加于手机屏幕显示的手术区域,为手术过程提供间歇性的导航辅助。该技术有助于精确识别胰头癌的侵袭边界,并辅助相关血管的切除,从而确保了所有手术患者均能接受 R0 级别的根治性切除[25]。将人工智能融入外科实践中,通过实施精准且个性化的手术干预,在提升患者治疗效果方面展现出巨大潜力。此外,人工智能技术在胰腺肿瘤早期诊断中的应用,不仅显著提高了诊断的精确性和效率,还推动了诊断模式从单一手段向多元化联合诊断、从经验性判断向智能化决策的重大转变。

5. AI 对于胰腺癌患者术后并发症的预测和管理

胰腺癌手术治疗常面临术后并发症的挑战,具体而言,包括胰腺手术后胰液外渗(胰瘘)、胆汁泄露(胆

瘘)、术后出血事件、腹腔感染以及胃蠕动功能减退(胃排空延迟)。其中,胰瘘持续作为胰腺外科术后引发并发症及导致患者死亡的主要不利因素[26]。依据国际胰瘘分类研究小组(ISGPF)的标准,于胰十二指肠切除手术过程中,需系统性评估公认的围术期胰瘘(CR-POPF)风险因素,这些包括胰腺导管细小、胰腺质地柔软、存在高危病理特征以及术中出血量过多等。然而,当前所采用的胰瘘风险评估体系仅纳入了四项指标,其局限性显著,未能全面涵盖所有关键的风险因素[27]。尽管手术技艺有所精进,且术后护理亦得到改进,术后胰瘘(POPF)仍是胰十二指肠切除术(PD)后一种可能危及生命的并发症。虽有若干研究报告尝试于术前或术中预测 POPF,但其预测准确性仍存疑。鉴于人工智能(AI)技术在医疗领域的广泛应用,研究人员开发了一个基于 Web 的 POPF 预测平台,该平台在受试者工作特征曲线(ROC 曲线)下展现出 0.74 的曲线下面积(AUC),标志着良好的预测效能。该平台利用 AI 算法综合考量了 16 项 POPF 风险因素,包括胰管直径、体重指数(BMI)、术前血清白蛋白水平、脂肪酶浓度、术中液体输注量、年龄、血小板计数、肿瘤是否位于胰腺外、是否进行联合静脉切除、并存胰腺炎状况、新辅助放疗史、美国麻醉医师协会(ASA)评分、性别、胰腺质地柔软性、基础心脏疾病以及术前是否进行内窥镜下胆道减压。此研究开创了运用 AI 预测包含多重风险因素的 POPF 之先河,为外科医生评估胰腺术后并发症风险提供了基于证据的预测工具[28][29]。应用人工智能(AI)技术,特别是机器学习(ML)算法,在预测胰腺癌手术后的并发症方面展现出显著的潜力,对于优化患者预后及推动实施精准化治疗策略具有重要意义。AI 与 ML 正逐步渗透至临床实践中,旨在提供一种更为精确且个体化的医疗决策支持手段。

6. AI 针对于胰腺癌患者预后的预测

胰腺癌患者的生存状况与肿瘤复发之间的关联性极为关键,故而明确促使肿瘤复发的相关因素显得尤为重要。韩国的研究团队依托韩国肿瘤登记系统,针对 4846 例胰腺癌患者[30],采用随机森林图与 Cox 比例风险模型进行对比分析,旨在评估胰腺癌患者术后复发的风险并鉴别其主要预后因素。值得注意的是,关键的预测指标包括肿瘤大小、肿瘤分级、TNM 分期、T 分期以及淋巴血管浸润情况。在 Cox 模型中,这些变量的系数均显示出统计学意义上的显著性($P < 0.05$)。随机森林模型与 Cox 模型的 C 指数平均值分别为 0.6805 和 0.7738,其中 Cox 模型的平均 C 指数更高,表明其在预测能力上更具优势。此外,有研究者还探索了应用人工神经网络(ANN)模型来预测不可切除胰腺癌患者的生存率[31]。本研究纳入了 221 例不可切除胰腺癌患者,收集了 32 项临床参数,并运用单因素及多变量 logistic 回归分析评估这些参数对患者预后的预测能力。我们构建了三个基于 3 个、7 个及全部 32 个基础特征的人工神经网络(ANN)模型,旨在预测患者 8 个月的生存率。结果显示,所有 ANN 模型在受试者工作特征曲线下面积(AUC)方面均优于相应的 logistic 回归模型(0.811 vs. 0.680, 0.844 vs. 0.722, 0.921 vs. 0.849, $P < 0.05$),凸显了 ANN 在精确预测不可切除胰腺癌患者生存率方面的潜力。另有一项研究聚焦于 2007 年至 2015 年间在加拿大安大略省确诊的癌症患者群体,该研究开发了 ANN 模型与 logistic 回归(LR)模型,以预测患者评估症状负担后 7 天内急诊就诊的风险。通过在测试队列上评估各模型的预测性能,并比较 AUC 及校准情况,发现校准在急诊科就诊风险百分位数最高的癌症患者中改善最为显著。这一发现进一步强调了 ANN 在预测中的重要性,得益于其灵活的结构及数据驱动的无分布假设优势。这些 ANN 模型可能为优化个性化患者管理策略提供有力支持,有助于提升早期胰腺癌患者的生存率,并为临床实践提供了循证依据。

7. 总结与展望

近年来,深度学习与人工智能技术的迅猛进展激发了医学界对其在胰腺癌领域潜在应用价值的广泛关注。人工智能技术在胰腺癌的早期筛查、精确诊断、手术干预方案制定及预后评估等多个环节展现出广阔的应用前景。这些技术为临床医生提供了更为精确、高效的决策辅助手段,有助于优化治疗方案,

进而改善治疗成效,提升胰腺癌患者的生存率[32]。截至目前,人工智能技术在胰腺肿瘤早期诊断中的应用,不仅显著提升了诊断的精确性和效率,还实现了诊断手段从单一化向多元化、从经验性判断向智能化决策的转型。然而,尽管人工智能在胰腺癌领域的应用前景广阔,但仍面临若干制约因素。首要问题是用于胰腺癌筛查、诊断、手术规划及预后评估的深度学习模型,常因缺乏透明度而面临着各方面的挑战,这不仅阻碍了对其工作机制的理解,还引发了临床应用的疑虑。因此,亟需开展针对性的研究工作,以增强模型的可解释性,推动决策过程的透明化。其次,模型在异构数据集上的泛化能力成为亟待解决的关键问题。鉴于在单中心数据集上训练的胰腺癌深度学习模型在应用于其他医疗机构时可能存在准确性差异,提升模型的泛化能力对于确保其在不同临床环境下的稳定性能至关重要[33]。此外,针对胰腺癌等罕见疾病所构建的模型,常因样本量有限而给有效的模型训练与验证带来巨大挑战,进而引发性能的不稳定性。为克服这一难题并提升模型可靠性,探索创新方法显得尤为重要,其中包括跨中心协作以扩大数据集规模,以及利用合成样本生成技术增加训练样本的多样性和数量[34]。人工智能在胰腺癌诊断与治疗领域的应用面临着规范层面的复杂性,亟需构建一套伦理基准与操作标准,以确保患者信息的保密性与数据完整性不受侵害。研究工作的重点应放在制定和完善数据共享与传播的相关协议与机制上,同时严格守护患者权益与隐私的神圣边界[35]。

综上所述,尽管深度学习与人工智能在胰腺癌研究中面临着可解释性、泛化能力、样本量限制及伦理考量等多重挑战,但其潜在的临床益处却是深远且显著的。未来的研究方向应聚焦于多组学数据分析的整合,旨在为患者量身定制个性化治疗方案,以期提升治疗效果及生存率。从长远视角来看,人工智能技术的应用范畴正不断拓展,涵盖了从图像识别、生物标志物检测到综合诊断体系构建及个性化治疗策略规划等多个层面,为胰腺肿瘤的预防与治疗开辟了崭新的路径,同时也带来了新的机遇与挑战。随着人工智能技术的持续进步,其在胰腺肿瘤早期诊断领域的应用将更加广泛且深入,我们期待更多高精度、高效率的人工智能诊断模型的涌现,为胰腺肿瘤的精准医疗贡献力量[36]。人工智能技术在胰腺肿瘤早期筛查与诊断领域展现出了巨大的潜能与广阔的发展前景。随着技术的持续革新与应用深化,我们相信人工智能将在胰腺肿瘤的预防与治疗工作中扮演愈发关键的角色。伴随社会的进步、科学技术的飞跃以及研究成本的逐步降低,人工智能在胰腺肿瘤早期筛查与诊断中的普及与广泛应用将变得更加切实可行。基于患者的个体化差异,人工智能将助力制定个性化的治疗方案,以期提升治疗效果并改善患者的生命质量。

参考文献

- [1] Siegel, R.L., Miller, K.D., Fuchs, H.E. and Jemal, A. (2021) Cancer Statistics, 2021. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **71**, 7-33. <https://doi.org/10.3322/caac.21654>
- [2] Rahib, L., Smith, B.D., Aizenberg, R., Rosenzweig, A.B., Fleshman, J.M. and Matrisian, L.M. (2014) Projecting Cancer Incidence and Deaths to 2030: The Unexpected Burden of Thyroid, Liver, and Pancreas Cancers in the United States. *Cancer Research*, **74**, 2913-2921. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.can-14-0155>
- [3] Zheng, Z.Y., Chen, T. and Liu, Y.B. (2023) Application and Prospect of Artificial Intelligence in Pancreatic Cancer. *Chinese Journal of Surgery*, **61**, 76-80.
- [4] LeCun, Y., Bengio, Y. and Hinton, G. (2015) Deep Learning. *Nature*, **521**, 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- [5] Mollberg, N., Rahbari, N.N., Koch, M., Hartwig, W., Hoeger, Y., Büchler, M.W., *et al.* (2011) Arterial Resection during Pancreatectomy for Pancreatic Cancer. *Annals of Surgery*, **254**, 882-893. <https://doi.org/10.1097/sla.0b013e31823ac299>
- [6] Kwon, J., Shin, S.H., Yoo, D., Hong, S., Lee, J.W., Youn, W.Y., *et al.* (2020) Arterial Resection during Pancreatectomy for Pancreatic Ductal Adenocarcinoma with Arterial Invasion: A Single-Center Experience with 109 Patients. *Medicine*, **99**, e22115. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000022115>
- [7] Campbell, N.M., Katz, S.S., Escalon, J.G. and Do, R.K. (2015) Imaging Patterns of Intraductal Papillary Mucinous Neoplasms of the Pancreas: An Illustrated Discussion of the International Consensus Guidelines for the Management of

- IPMN. *Abdominal Imaging*, **40**, 663-677. <https://doi.org/10.1007/s00261-014-0236-4>
- [8] Kuwahara, T., Hara, K., Mizuno, N., Okuno, N., Matsumoto, S., Obata, M., *et al.* (2019) Usefulness of Deep Learning Analysis for the Diagnosis of Malignancy in Intraductal Papillary Mucinous Neoplasms of the Pancreas. *Clinical and Translational Gastroenterology*, **10**, e00045. <https://doi.org/10.14309/ctg.0000000000000045>
- [9] Sharma, A., Kandlakunta, H., Nagpal, S.J.S., Feng, Z., Hoos, W., Petersen, G.M., *et al.* (2018) Model to Determine Risk of Pancreatic Cancer in Patients with New-Onset Diabetes. *Gastroenterology*, **155**, 730-739.e3. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2018.05.023>
- [10] Hsieh, M.H., Sun, L., Lin, C., Hsieh, M., Hsu, C. and Kao, C. (2018) Development of a Prediction Model for Pancreatic Cancer in Patients with Type 2 Diabetes Using Logistic Regression and Artificial Neural Network Models. *Cancer Management and Research*, **10**, 6317-6324. <https://doi.org/10.2147/cmar.s180791>
- [11] Boursi, B., Finkelman, B., Giantonio, B.J., Haynes, K., Rustgi, A.K., Rhim, A.D., *et al.* (2017) A Clinical Prediction Model to Assess Risk for Pancreatic Cancer among Patients with New-Onset Diabetes. *Gastroenterology*, **152**, 840-850.e3. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2016.11.046>
- [12] Cui, J., Jiao, F., Li, Q., Wang, Z., Fu, D., Liang, J., *et al.* (2022) Chinese Society of Clinical Oncology (CSCO): Clinical Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Pancreatic Cancer. *Journal of the National Cancer Center*, **2**, 205-215. <https://doi.org/10.1016/j.jncc.2022.08.006>
- [13] Javed, N., Ghazanfar, H., Balar, B. and Patel, H. (2024) Role of Artificial Intelligence in Endoscopic Intervention: A Clinical Review. *Journal of Community Hospital Internal Medicine Perspectives*, **14**, 37-43. <https://doi.org/10.55729/2000-9666.1341>
- [14] Seufferlein, T., Bachet, J.B., Van Cutsem, E. and Rougier, P. (2012) Pancreatic Adenocarcinoma: ESMO-ESDO Clinical Practice Guidelines for Diagnosis, Treatment and Follow-Up. *Annals of Oncology*, **23**, vii33-vii40. <https://doi.org/10.1093/annonc/mds224>
- [15] Bartoli, M., Barat, M., Dohan, A., Gaujoux, S., Coriat, R., Hoeffel, C., *et al.* (2020) CT and MRI of Pancreatic Tumors: An Update in the Era of Radiomics. *Japanese Journal of Radiology*, **38**, 1111-1124. <https://doi.org/10.1007/s11604-020-01057-6>
- [16] Si, K., Xue, Y., Yu, X., Zhu, X., Li, Q., Gong, W., *et al.* (2021) Fully End-to-End Deep-Learning-Based Diagnosis of Pancreatic Tumors. *Theranostics*, **11**, 1982-1990. <https://doi.org/10.7150/thno.52508>
- [17] Ma, H., Liu, Z., Zhang, J., Wu, F., Xu, C., Shen, Z., *et al.* (2020) Construction of a Convolutional Neural Network Classifier Developed by Computed Tomography Images for Pancreatic Cancer Diagnosis. *World Journal of Gastroenterology*, **26**, 5156-5168. <https://doi.org/10.3748/wjg.v26.i34.5156>
- [18] Marya, N.B., Powers, P.D., Chari, S.T., Gleeson, F.C., Leggett, C.L., Abu Dayyeh, B.K., *et al.* (2021) Utilisation of Artificial Intelligence for the Development of an EUS-Convolutional Neural Network Model Trained to Enhance the Diagnosis of Autoimmune Pancreatitis. *Gut*, **70**, 1335-1344. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2020-322821>
- [19] Karunakaran, M. and Barreto, S.G. (2021) Surgery for Pancreatic Cancer: Current Controversies and Challenges. *Future Oncology*, **17**, 5135-5162. <https://doi.org/10.2217/fon-2021-0533>
- [20] Augustinus, S., Schafrat, P.J.M., Janssen, B.V., Bonsing, B.A., Brosens, L.A.A., Busch, O.R., *et al.* (2023) Nationwide Impact of Centralization, Neoadjuvant Therapy, Minimally Invasive Surgery, and Standardized Pathology Reporting on R0 Resection and Overall Survival in Pancreatoduodenectomy for Pancreatic Cancer. *Annals of Surgical Oncology*, **30**, 5051-5060. <https://doi.org/10.1245/s10434-023-13465-9>
- [21] Janssen, B.V., Theijse, R., van Roessel, S., de Ruiter, R., Berkel, A., Huiskens, J., *et al.* (2021) Artificial Intelligence-Based Segmentation of Residual Tumor in Histopathology of Pancreatic Cancer after Neoadjuvant Treatment. *Cancers*, **13**, Article 5089. <https://doi.org/10.3390/cancers13205089>
- [22] Nasief, H., Zheng, C., Schott, D., Hall, W., Tsai, S., Erickson, B., *et al.* (2019) A Machine Learning Based Delta-Radiomics Process for Early Prediction of Treatment Response of Pancreatic Cancer. *npj Precision Oncology*, **3**, Article No. 25. <https://doi.org/10.1038/s41698-019-0096-z>
- [23] Fang, C., Zhu, W., Wang, H., Xiang, N., Fan, Y., Yang, J., *et al.* (2012) A New Approach for Evaluating the Resectability of Pancreatic and Periampullary Neoplasms. *Pancreatology*, **12**, 364-371. <https://doi.org/10.1016/j.pan.2012.05.006>
- [24] Volonté, F., Pugin, F., Bucher, P., Sugimoto, M., Ratib, O. and Morel, P. (2011) Augmented Reality and Image Overlay Navigation with Osirix in Laparoscopic and Robotic Surgery: Not Only a Matter of Fashion. *Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Sciences*, **18**, 506-509. <https://doi.org/10.1007/s00534-011-0385-6>
- [25] Tang, R., Yang, W., Hou, Y., Yu, L., Wu, G., Tong, X., *et al.* (2021) Augmented Reality-Assisted Pancreatoduodenectomy with Superior Mesenteric Vein Resection and Reconstruction. *Gastroenterology Research and Practice*, **2021**, Article ID: 9621323. <https://doi.org/10.1155/2021/9621323>
- [26] Pulvirenti, A., Ramera, M. and Bassi, C. (2017) Modifications in the International Study Group for Pancreatic Surgery (ISGPS) Definition of Postoperative Pancreatic Fistula. *Translational Gastroenterology and Hepatology*, **2**, 107-107.

- <https://doi.org/10.21037/tgh.2017.11.14>
- [27] Callery, M.P., Pratt, W.B., Kent, T.S., Chaikof, E.L. and Vollmer, C.M. (2013) A Prospectively Validated Clinical Risk Score Accurately Predicts Pancreatic Fistula after Pancreatoduodenectomy. *Journal of the American College of Surgeons*, **216**, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2012.09.002>
 - [28] Han, I.W., Cho, K., Ryu, Y., Shin, S.H., Heo, J.S., Choi, D.W., *et al.* (2020) Risk Prediction Platform for Pancreatic Fistula after Pancreatoduodenectomy Using Artificial Intelligence. *World Journal of Gastroenterology*, **26**, 4453-4464. <https://doi.org/10.3748/wjg.v26.i30.4453>
 - [29] Zhang, Y., Zhu, S., Yuan, Z., Li, Q., Ding, R., Bao, X., *et al.* (2020) Risk Factors and Socio-Economic Burden in Pancreatic Ductal Adenocarcinoma Operation: A Machine Learning Based Analysis. *BMC Cancer*, **20**, Article No. 1161. <https://doi.org/10.1186/s12885-020-07626-2>
 - [30] Lee, K., Jang, J., Yu, Y., Heo, J.S., Han, H., Yoon, Y., *et al.* (2021) Usefulness of Artificial Intelligence for Predicting Recurrence Following Surgery for Pancreatic Cancer: Retrospective Cohort Study. *International Journal of Surgery*, **93**, Article 106050. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2021.106050>
 - [31] Tong, Z., Liu, Y., Ma, H., Zhang, J., Lin, B., Bao, X., *et al.* (2020) Development, Validation and Comparison of Artificial Neural Network Models and Logistic Regression Models Predicting Survival of Unresectable Pancreatic Cancer. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, **8**, Article No. 196. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00196>
 - [32] Shin, H., Roth, H.R., Gao, M., Lu, L., Xu, Z., Nogues, I., *et al.* (2016) Deep Convolutional Neural Networks for Computer-Aided Detection: CNN Architectures, Dataset Characteristics and Transfer Learning. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, **35**, 1285-1298. <https://doi.org/10.1109/tmi.2016.2528162>
 - [33] Shah, P., Mishra, D., Shanmugam, M., Doshi, B., Jayaraj, H. and Ramanjulu, R. (2020) Validation of Deep Convolutional Neural Network-Based Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy—Artificial Intelligence versus Clinician for Screening. *Indian Journal of Ophthalmology*, **68**, 398-405. https://doi.org/10.4103/ijoo.ijoo_966_19
 - [34] Liu, H., Seedat, N. and Ive, J. (2024) Modeling Disagreement in Automatic Data Labeling for Semi-Supervised Learning in Clinical Natural Language Processing. *Frontiers in Artificial Intelligence*, **7**, Article ID: 1374162. <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1374162>
 - [35] Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., *et al.* (2017) Artificial Intelligence in Healthcare: Past, Present and Future. *Stroke and Vascular Neurology*, **2**, 230-243. <https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101>
 - [36] Manickam, P., Mariappan, S.A., Murugesan, S.M., Hansda, S., Kaushik, A., Shinde, R., *et al.* (2022) Artificial Intelligence (AI) and Internet of Medical Things (IoMT) Assisted Biomedical Systems for Intelligent Healthcare. *Biosensors*, **12**, Article 562. <https://doi.org/10.3390/bios12080562>