

编者按：人工智能是近年来的研究热点，其在医学领域具有广泛的应用前景和巨大的潜力，智能医学也是未来医学发展的一大趋势。为了帮助医学工作者深入了解人工智能在医学各学科的最新应用进展，本刊紧跟医学发展前沿策划了人工智能系列专题，本期的专题涉及人工智能在胰腺癌、单光子计算机断层显像、眩晕相关疾病、宫颈鳞癌、急性穿支动脉闭塞性脑梗死中的应用情况。衷心感谢向本刊供稿的专家学者们。

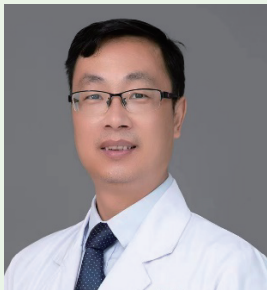
述评

DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2024.03.001

医学影像人工智能在胰腺癌精准诊疗中的研究进展

欢迎扫码观看
文章视频简介

诸露冰 汪建华



通信作者简介：汪建华，主任医师，教授，博士生导师。省级卫生创新人才，省级临床重点专科建设单位学科带头人。担任中华医学会放射学分会及核医学分会人工智能（AI）工作委员会委员、中国抗癌协会放射医学专委会常委、中国医师协会放射医师分会运动创伤专委会委员、核医学医师分会青年委员、中国阿尔茨海默病防治协会影像专业委员会常务委员、浙江省医学会放射学分会常务委员兼 AI 大数据工作委员会主任委员。担任国家自然科学基金及多个省级基金、科技奖项的评审专家；担任《Molecular Neurobiology》《iRadiology》《中华放射学杂志》《中国毕业后继续教育》等期刊编委或审稿专家。主攻肿瘤 AI 与分子影像学研究，主持或参与国家重点研发项目、国家自然科学基金、省部级重大项目等课题 10 余项。第一或通讯作者发表高质量论文 100 多篇，主编教材专著 6 部；获得科技进步奖 3 项；授权专利及计算机软件著作权 6 项，其中肺结节智能靶重建结构化报告系统、冠状动脉 CT 血管造影及冠状动脉血流储备分数一体化智能报告系统实现转化，取得良好的社会效益，得到《中国日报》主流媒体报道。

【摘要】 胰腺癌是一种恶性程度极高的消化道恶性肿瘤，其精准诊疗是临床面临的重大难题。随着科技的发展，通过人工智能对于一些疾病的早期诊断、治疗及预后预测的探索层出不穷，并且拥有较高的临床价值，医学影像学是对人体健康状况进行评价的一门学科，包括医学成像系统和医学图像处理两个相对独立的方向，以医学影像学为基础的人工智能在胰腺癌临床诊疗中发挥着重要的作用。

【关键词】 胰腺癌；人工智能；医学影像；诊疗；评估；研究进展

Research progress on medical imaging-based artificial intelligence in precision diagnosis and treatment of pancreatic cancer

Zhu Lubing, Wang Jianhua. Health Science Center, Ningbo University, Ningbo 315000, China

Corresponding author, Wang Jianhua, E-mail: wangjianhua@nbu.edu.cn

【Abstract】 Pancreatic cancer is a highly malignant tumor of the digestive tract, and its precision diagnosis and treatment is a major challenge in clinical practice. With the development of science and technology, artificial intelligence has been applied in the early diagnosis, treatment and prognosis prediction of some diseases, which has high clinical value. Medical imaging is a discipline to evaluate human health, which consists of two relatively independent directions of medical imaging system and medical image processing. Artificial intelligence based on medical imaging plays an important role in the clinical diagnosis and treatment of pancreatic cancer. In this article, research progress in the application of artificial intelligence in precision diagnosis and treatment of pancreatic

基金项目：国家自然科学基金（82172004）；国家卫健委科研基金-浙江省医药卫生重大科技专项（WKJ-ZJ-1912）

作者单位：315000 宁波，宁波大学医学部

通信作者，汪建华，E-mail: wangjianhua@nbu.edu.cn

cancer was reviewed from the aspects of imaging diagnosis, efficacy evaluation, survival prediction and radiogenomics, etc.

【Key words】 Pancreatic cancer; Artificial intelligence; Medical imaging; Diagnosis and treatment; Evaluation; Research progress

胰腺癌是一种发病隐匿, 进展迅速, 治疗效果及预后极差的消化道恶性肿瘤, 5年生存率低于10%^[1]。近年来, 胰腺癌的发病率在国内外均呈明显的上升趋势。对于如何精准地诊断胰腺癌, 选择治疗策略、评估治疗效果以及预后的预测, 专家学者们进行了大量的探索。人工智能(AI)泛指为执行以前只能由人类智能完成的任务而创建的算法, 其包括了放射组学、深度学习模型等, 放射组学提供了一种将图像转换为统计上可解释和可量化的数据的方法, 而深度学习是另一种类型的机器学习, 通过学习样本数据的内在规律和表示层次, 使机器能像人一样具有分析学习能力, 能最大限度地减少人类输入^[2]。目前, 医学影像AI在疾病诊疗中发挥着重要的作用。本综述将从影像诊断、疗效评估、生存期预测及放射基因组学等多方面对AI在胰腺癌精准诊疗中的研究进展进行讲述。

一、医学影像AI的应用现状及进展

目前, AI已经广泛应用于医学领域, 如影像诊断、病理分型、治疗方案选择、预后疗效分析等, 在大数据和机器学习的技术支持下, 基于AI的各种临床决策支持系统应运而生^[3]。在肿瘤的影像图像辅助诊断方面, 由人工输入反复精准训练得出的机器运算模型用于临床诊疗的研究过程已经日趋成熟。影像组学和深度学习是AI辅助医学影像诊疗的重要研究方法, 它们可以依据事先标记好的数据进行训练, 以此对未标记的医学影像数据进行分类和预测, 在影像精准诊断及图像分割中体现了重要的价值。深度学习还可以通过结合患者的个人病史、家族史、既往影像报告和基因组学等来预测个体患癌症的风险^[4]。

此外, 在医学图像质量方面, AI也发挥了巨大的作用, 李刚等^[5]利用以深度学习为基础的AI辅助压缩感知技术联合3种常规T₂加权成像(T₂WI)压脂技术均缩短了成像时间, 并且拥有较高的图像质量。与此同时, 基于影像图像对于肿瘤预后、分型等预测模型的构建也日益从

基于单期影像转变为多期、多序列影像, 甚至应用PET/CT、MR图像联合其他参数来构建多模态模型。Attiyeh等^[6]利用糖类抗原19-9(CA19-9)值和CT组学特征建立第一个模型, 而将CA19-9、CT组学特征和Brennan评分(复合病理评分)结合成第二个模型, 以预测胰腺癌患者的生存期, 得出第二个模型的C指数较高, 这体现了多模态模型的优势。在其他肿瘤中, Li等(2023年)在预测胶质瘤预后中, 构建了包括影像组学特征、病理指标、基因等多参数的组合模型, 该模型具有最佳预测性能, 体现了在肿瘤诊疗过程中多模态模型构建的必要性。

此外, 免疫检查点疗法是新型的肿瘤治疗方式, 在黑色素瘤、非小细胞肺癌中已展示出了较好的疗效, 其相关免疫检测点的预测及免疫治疗后评估是AI的另一个有前景的应用, Yoon等(2020年)验证了CT放射组学在预测晚期肺腺癌中细胞程序性死亡-配体1(PD-L1)表达的价值, 但该领域目前仍处于起步探索阶段。对于胰腺癌患者来说, 基于医学影像的AI精准诊疗显得格外重要。

二、基于AI的胰腺癌多模态影像诊断研究进展

1. 超声检查

超声检查因简便易行、无创无辐射、可多轴面观察等特点, 是胰腺癌诊断的初筛检查方法。AI辅助内窥镜超声(EUS)模型被誉为胰腺癌早期检测的突破, 超声内镜在胰腺癌诊断中具有重要作用^[7]。Seo等^[8]通过对150例被诊断为胰腺癌的患者超声图像进行分割建模, 提出的使用具有深度注意力特征的神经网络模型的深度学习方法为使用EUS图像的胰腺癌提供了卓越的分割性能, 其在受试者操作特征曲线下面积(AUC)、灵敏度、特异度等方面表现出优异的分割性能, 预计所提出的精确的分割方法可以为胰腺癌的手术治疗规划提供有效的帮助。Tong等^[9]基于558例胰腺病变患者的超声造影(CEUS)图像建立

的鉴别胰腺导管腺癌 (PDAC) 和慢性胰腺炎深度学习放射组学模型 AUC 高达 0.986, 是超声技术在胰腺癌诊疗中的较大的进展, 为临床诊断提供了新思路。

2. CT 检查

CT 检查具有较好的空间和时间分辨率, 是目前检查胰腺最佳的无创影像检查方法, 主要用于胰腺癌的诊断、分期及疗效评价。Chu 等 (2019 年) 通过对 190 例 PDAC 患者和 190 例健康者的胰腺动脉期和静脉期图像进行分割、特征提取, 得出从胰腺中提取的放射组学特征可用于区分 PDAC 患者的 CT 图像和健康对照受试者的 CT 图像, 该算法有可能与自动器官分割算法相结合以检测 PDAC, 为手术评估奠定较好的基础。Alves 等^[10]提出了一种全自动、基于深度学习的框架, 可以识别患者是否患有 PDAC, 并在增强 CT 扫描中精确定位肿瘤, 其所提出的模型在整个外部测试集中达到了最大 AUC, 高达 0.914, 对于小于 2 cm 的肿瘤亚组 AUC 为 0.876, 这表明先进的深度学习模型能够识别小的 PDAC 病变, 有助于放射科医师早期诊断 PDAC。Khdhir 等 (2023 年) 开发了一种 Antlion 优化 - 卷积神经网络 - 门控循环单元模型, 基于深度学习和 CT 图像对胰腺肿瘤进行分割和分类, 该模型准确率高达 99.92%。越来越多的模型的建立, 为胰腺癌的诊断及图像精准分割提供了便捷。Cao 等^[11]构建了模型 PANDA, 他们使用来自单个中心的 3 208 例患者的数据集进行训练, 之后进行 6 239 例患者的多中心验证, 得出 PANDA 检测的病灶 AUC 达 0.986~0.996。在由 20 530 例患者组成的多场景验证中, 该模型病变检测的灵敏度为 92.9%, 特异度为 99.9%, 这项研究在使用非造影 CT 作为输入的 PANDA 在检测胰腺病变方面实现了高灵敏度和特异度, 其准确率明显高于放射科医师在非增强 CT 检查中的表现水平, 该模型拥有较大的样本量, 有多中心的外部验证, 是胰腺病变精准诊疗中的重大突破, 该模型预计拥有较高的临床价值。

胰腺癌患者的淋巴及血管侵犯关系到治疗方案, Bian 等^[12]对 225 例经病理证实的胰腺癌患者术前动脉期图像进行特征提取, 并选择与淋巴结状态相关的特征, 使用多变量逻辑回归分析来开发预测模型, 个性化预测列线图在训练队列中显

示出良好的区分度。此外, Rigioli 等 (2021 年) 利用基于肿瘤相关和血管周围 CT 放射组学特征的模型改进了 PDAC 患者肠系膜上动脉受累的检测, 该模型的灵敏度、特异度较好。因此术前影像也能较好地预测淋巴转移及血管侵犯情况, 更好地为下一步的临床诊疗计划提供方向。

3. MRI 检查

MR 成像对胰腺导管腺癌的评估具有重要作用, 其优越的软组织对比度可用于微小的、非轮廓变形的肿瘤的检测, 可用于胰腺 CT 不确定征象的定性。MRgART (10 Gy × 5 次) 是一种新兴的放射治疗模式, Choi 等^[13]通过对 21 例接受 MRgART 治疗的胰腺癌患者的 MRI 图像进行分割, 内容包括肿瘤大体体积、十二指肠等, 表现最好的模型是 SwinUNETR 模型, 为胰腺癌患者 MRgART 工作流程带来了便捷, 使患者更大程度地受益于 MRgART。

在鉴别诊断中, Malagi 等^[14]采用体素内非一致运动扩散峭度成像 (IVIM-DKI) 和基于机器学习的纹理分析来区分胰腺肿块, 如 PDAC、实体假乳头状上皮瘤和肿块型慢性胰腺炎等。在 PDAC 与非 PDAC 的织构分析中, 灌注分数 (f) 和 IVIM-DKI 联合参数的模型准确度较高, 该研究总共纳入了 48 例患者, 由于样本较少, 其效能有待验证, 值得进一步研究。

4. PET/CT 及 PET/MRI 显像

在过去的几十年里, PET-CT/MRI 对 PDAC 临床管理影响的研究越来越多。PET/MRI 是正电子发射计算机断层显像仪 (PET) 和核磁共振成像术 (MRI) 两强结合一体化组合成的大型功能代谢与分子影像诊断设备, 实现了人体解剖、生理代谢与生物学功能信息的多方面融合。对于局部和可切除的胰腺癌, PET/CT 的作用仍存在争议, 国内指南不建议常规使用。尽管如此, PET 可能在评估胰腺癌分期和分级以及新辅助治疗后潜在的可切除性方面发挥作用。

Zhang 等^[15]利用病灶分割模型获得的病灶区域计算出的特征和患者的关键临床特征, 开发了胰腺癌病理分级的预测模型以及基于 PET/CT 的 PDAC 肿瘤分割模型。此外, Zhang 等 (2019 年) 对 ¹⁸F-FDG PET/CT 图像进行放射组学分析并评估其在 111 例患者中区分自身免疫性胰腺炎和 PDAC 的能力, 证明 ¹⁸F-FDG PET/CT 图像的量化

放射组学分析可以改进 PDAC 和自身免疫性胰腺炎之间的无创区分,胰腺癌的早期精准诊断是诊疗过程中重要的一环,早期诊断能让患者临床获益更多。

Jiang 等^[16]建立了基于¹⁸F-FDG PET/CT 放射组学特征和临床病理参数的预测模型,用于术前识别 PDAC 患者预后不良的重要预测指标如微血管侵犯和神经周围侵犯,对于微血管侵犯预测,该模型在¹⁸F-FDG PET/CT 放射组学特征和临床病理参数的融合子集上表现最佳,通过模型预测血管及神经的侵犯,为胰腺癌患者预后预测提供了良好的依据,但由于 PET/CT 在临床应用的局限性,纳入患者数量有限,其利用价值有待评估。

对于 PET/MRI,由于临床样本量有限,正在进行的研究较少,基于 PET/MRI 影像的 AI 的胰腺癌诊断模型仍待开发,但同时 Zhang 等^[17]仍通过对 30 例胰腺癌患者的一般影像数据分析得出⁶⁸Ga-FAPI-04 PET 上原发肿瘤的原始最大摄取(标准化 SUV_{max})高于¹⁸F-FDG,且能检测到更多转移淋巴结,这也体现了 PET/MRI 的优越性,为日后更多学者进一步的探究奠定了基础。

三、基于影像学的胰腺癌疗效评价研究进展

1. 常规疗法

胰腺癌内科药物治疗可应用于各个期的患者,包括可切除和临界可切除患者的术前新辅助(NAT)/转化治疗、根治术后患者的辅助治疗以及局部晚期或转移复发患者的治疗。药物治疗疗效评估是临床一大难题,通过 AI 能够较好地帮助临床确定其疗效,并指导下一步治疗。Shao 等^[18]提出了一种基于深度学习的策略来分析 CEUS 视频以预测胰腺癌新辅助化学治疗的预后,采用预训练的深度学习模型,建立了两个新模型,证明了基于化学治疗前 CEUS 视频的深度学习模型在预测胰腺癌新辅助化学治疗疗效方面的可行性和潜力。Li 等^[19]通过对 84 例接受一线化学治疗的晚期胰腺癌患者影像及临床信息分析,基于包含放射组学特征和 CA19-9 的多元逻辑回归模型开发列线图,在训练和验证队列中显示出良好的疗效区分能力。此外, Panda 等(2021 年)发现 NAT 前后基于 PET/MRI 测量的根据血清葡萄糖水平校正的最大标准摄取值变化率在最佳阈值下评估疗效的灵敏度及 AUC 值高于基于 CT 测量的

肿瘤体积相对变化率。可见以影像为基础的 AI 对于胰腺癌患者的化学治疗效果评估会给临床提供巨大的价值。

2. 其他疗法

与常规治疗相比,光动力疗法(PDT)具有微创、时空选择性高、疗效确切的优点,PDT 在不可切除的胰腺肿瘤中提供局部消融,而治疗区周围的组织则接受较低的光剂量,称为光动力启动。Vincent 等(2021 年)研究指出 CT 图像中提取的纹理特征可用于胰腺肿瘤中 PDT 和光动力启动效果的临床诊断预测和评估。聚焦超声消融手术(FUAS)是使用高强度聚焦超声消融设备治疗各类实体肿瘤,对于手术无法切除的胰腺癌是较好的选择, Yang 等^[20]强调了使用 MRI 和 CT 图像对接受 FUAS 的不可切除 PDAC 患者进行能量效率因素预测的价值,在测试模型中发现加入 MRI 特征建立的能量效率因素预测模型对不可切除胰腺癌的 FUAS 治疗具有更好的预测效果。基于疗效预测模型,可以制定更准确的治疗方案,为进一步优化不可切除胰腺癌患者的 FUAS 治疗手段以及评估手术的疗效提供有价值的参考。

四、基于智能影像的胰腺癌生存期预测研究进展

胰腺癌生存期的预测也是重要的研究方向,通过 AI 对患者的影像信息进行分析建模,可以较好地评估预后。Cen 等(2021 年)通过对经病理证实为 PDAC 且进行增强 CT 检查的 135 例患者进行研究,从动脉期或门静脉期图像中提取放射组学特征,使用多变量逻辑回归分析来构建放射组学特征和组合列线图模型,通过预测胰腺癌分期来预测其预后,其中动脉期+门静脉期放射组学特征是三种放射组学特征中最好的性能,可见放射组学在胰腺癌生存期预测方面存在重要的价值。Park 等(2021 年)根据 153 例胰腺癌术后的生存时间将患者分为低风险组和高风险组,通过随机生存森林算法估计生存状态和时间,证实临床参数如 CA19-9、肿瘤大小等参数中添加 CT 放射组学特征的模型 C 指数明显提高,可见多参数融合能提高模型的预测能力。Lee 等(2021 年)开发了临床数据库机器学习模型和基于 CT 数据的深度学习模型,并利用集成学习将两种模型结合起来预测 2 年总生存期和 1 年无复发生存

期,集成模型预测1年无复发生存期效能最好。通过对胰腺癌患者术后生存期的分层,能较精准地预测其生存期。对于晚期胰腺癌患者,Keyl等^[21]使用机器学习对晚期胰腺癌进行多模式生存预测,纳入KRAS p.G12D突变状态可以进一步改善预测,证明癌症基因组学数据对生存预测的重要性。由此可见,基于放射组学联合多模态的AI预测模型拥有较高的效能,这是目前研究的热点,有较好的研究前景,也为临床胰腺癌患者风险分层及随访诊疗提供良好的思路。

五、基于影像学的胰腺癌免疫浸润、基因表达及亚型预测

胰腺癌免疫抑制的微环境使临床一些常见的治疗手段对之作用甚微,解添淞等(2022年)研究发现CD8⁺T淋巴细胞高浸润组胰腺癌的预后优于低浸润组,通过对150例胰腺癌患者的影像图像的特征提取并构建模型预测CD8⁺T淋巴细胞的浸润情况,得出极端随机树模型有最好的效能。近年来,免疫检测点如PD-1、PD-L1发现给肿瘤治疗带去了希望,免疫检查点疗法在治疗多种实体瘤方面显示出巨大的潜力^[22]。但在胰腺癌患者中,临床应用的免疫抑制剂并没有带去可观的效果。然而,绝大多数的PDAC患者有p53突变,是胰腺癌发生发展过程中的重要原因^[23]。Iwatate等(2020年)对107例诊断为PDAC的患者进行研究,发现p53和PD-L1是独立预后因素,并从CT图像中提取特征,构建了有较好性能的p53和PD-L1状态的机器学习预测模型。Gao等(2021年)通过对57例接受术前MRI检查的胰腺癌患者进行多期动态对比增强T₁加权成像(T₁WI)、T₂WI等多序列的图像特征提取,构建了预测TP53状态的支持向量机模型,结果证实3D ADC-ap-DWI-T₂WI模型在区分TP53状态方面产生了最佳性能,体现出放射基因组学在临床应用的可行性,通过准确预测基因及相关的预测,为胰腺癌患者选择个体化治疗,提高胰腺癌患者的生存率。在PDAC患者中分别对不同类型的组学(例如基因组学、蛋白质组学等)进行分类,可能会导致患者分类高度不一致的亚型, Ju等(2021年)提出了用于预后相关亚型分析的多组学深度学习,以识别PDAC亚型并预测患者的预后,这是多组学融合的重大突破。

六、小结

综上所述,医学影像AI技术在胰腺癌精准诊疗中发挥着重要作用,为胰腺癌患者的精准诊断、疗效评价、风险预测、预后判断以及影像组学与病理学相关性等提供了强大的技术支持。但是目前构建的大部分模型仍存在一些不足,样本数过少或者缺乏外部验证等使模型的可行性仍待评估,临床及各种外在因素的存在,使模型仍待完善,所以建立稳定的数据库以及多模态的信息融合的高效能模型将是我们未来研究的方向。利用好AI技术,将充分挖掘影像学信息,为胰腺癌患者提供更多精准诊疗信息,进一步提高患者诊疗效果。

参 考 文 献

- [1] Siegel R L, Miller K D, Wagle N S, et al. Cancer statistics, 2023 [J]. CA Cancer J Clin, 2023, 73 (1): 17-48.
- [2] Dercle L, McGale J, Sun S, et al. Artificial intelligence and radiomics: fundamentals, applications, and challenges in immunotherapy [J]. J Immunother Cancer, 2022, 10 (9): e005292.
- [3] Wang L, Chen X, Zhang L, et al. Artificial intelligence in clinical decision support systems for oncology [J]. Int J Med Sci, 2023, 20 (1): 79-86.
- [4] Chakrabarty N, Mahajan A. Imaging analytics using artificial intelligence in oncology: a comprehensive review [J]. Clin Oncol, 2023
- [5] 李刚, 黄锦彬, 汪昕荣, 等. 人工智能辅助压缩感知技术结合三种T₂WI压脂技术的应用研究 [J]. 新医学, 2023, 54 (10): 717-722.
Li G, Huang J B, Wang X R, et al. Application of artificial intelligence-assisted compressed sensing combined with three types of fat-suppressed T₂WI techniques [J]. J New Med, 2023, 54 (10): 717-722.
- [6] Attiyeh M A, Chakraborty J, Doussot A, et al. Survival prediction in pancreatic ductal adenocarcinoma by quantitative computed tomography image analysis. Ann Surg Oncol, 2018, 25 (4): 1034-1042.
- [7] Dahiya D S, Al-Haddad M, Chandan S, et al. Artificial intelligence in endoscopic ultrasound for pancreatic cancer: where are we now and what does the future entail [J]. J Clin Med, 2022, 11 (24): 7476.
- [8] Seo K, Lim J H, Seo J, et al. Semantic segmentation of pancreatic cancer in endoscopic ultrasound images using deep learning approach. Cancers (Basel), 2022, 14 (20): 5111.
- [9] Tong T, Gu J, Xu D, et al. Deep learning radiomics based on contrast-enhanced ultrasound images for assisted diagnosis of pancreatic ductal adenocarcinoma and chronic pancreatitis [J].

- BMC Med, 2022, 20 (1): 74.
- [10] Alves N, Schuurmans M, Litjens G, et al. Fully automatic deep learning framework for pancreatic ductal adenocarcinoma detection on computed tomography [J]. Cancers, 2022, 14 (2): 376.
- [11] Cao K, Xia Y, Yao J, et al. Large-scale pancreatic cancer detection via non-contrast CT and deep learning [J]. Nat Med, 2023, 29 (12): 3033-3043.
- [12] Bian Y, Guo S, Jiang H, et al. Radiomics nomogram for the preoperative prediction of lymph node metastasis in pancreatic ductal adenocarcinoma [J]. Cancer Imaging, 2022, 22 (1): 4.
- [13] Choi W, Nourzadeh H, Chen Y, et al. Novel deep learning segmentation models for accurate GTV and OAR segmentation in MR-guided adaptive radiotherapy for pancreatic cancer patients [J]. Int J Radiat Oncol, 2023, 117 (2): e462.
- [14] Malagi A V, Shivaji S, Kandasamy D, et al. Pancreatic mass characterization using IVIM-DKI MRI and machine learning-based multi-parametric texture analysis [J]. Bioengineering (Basel), 2023, 10 (1): 83.
- [15] Zhang G, Bao C, Liu Y, et al. ¹⁸F-FDG-PET/CT-based deep learning model for fully automated prediction of pathological grading for pancreatic ductal adenocarcinoma before surgery [J]. EJNMMI Res, 2023, 13 (1): 49.
- [16] Jiang C, Yuan Y, Gu B, et al. Preoperative prediction of microvascular invasion and perineural invasion in pancreatic ductal adenocarcinoma with ¹⁸F-FDG PET/CT radiomics analysis [J]. Clin Radiol, 2023, 78 (9): 687-696.
- [17] Zhang Z, Jia G, Pan G, et al. Comparison of the diagnostic efficacy of Ga-FAPI-04 PET/MR and ¹⁸F-FDG PET/CT in patients with pancreatic cancer [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2022, 49 (8): 2877-2888.
- [18] Shao Y, Dang Y, Cheng Y, et al. Predicting the efficacy of neoadjuvant chemotherapy for pancreatic cancer using deep learning of contrast-enhanced ultrasound videos [J]. Diagnostics, 2023, 13 (13): 2183.
- [19] Li J, Du J, Li Y, et al. A nomogram based on CT texture features to predict the response of patients with advanced pancreatic cancer treated with chemotherapy [J]. BMC Gastroenterol, 2023, 23 (1): 274.
- [20] Yang C, Guo J, Chen L, et al. The dose of focused ultrasound ablation surgery (FUAS) for unresectable pancreatic cancer is predictable: a multicenter retrospective study [J]. Medicine, 2023, 102 (38): e34684.
- [21] Keyl J, Kasper S, Wiesweg M, et al. Multimodal survival prediction in advanced pancreatic cancer using machine learning [J]. ESMO Open, 2022, 7 (5): 100555.
- [22] Loch F N, Kamphues C, Beyer K, et al. The immune checkpoint landscape in tumor cells of pancreatic ductal adenocarcinoma [J]. Int J Mol Sci, 2023, 24 (3): 2160.
- [23] Mello S S, Flowers B M, Mazur P K, et al. Multifaceted role for p53 in pancreatic cancer suppression [J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 2023, 120 (10): e2211937120.

(收稿日期: 2023-12-28)

(本文编辑: 杨江瑜)

