

影像组学在胰腺疾病中的应用研究进展

张青莉, 张可欣, 王 斌*

内蒙古民族大学第二临床医学院医学影像科, 内蒙古 呼伦贝尔

收稿日期: 2024年4月29日; 录用日期: 2024年5月24日; 发布日期: 2024年5月31日

摘要

胰腺疾病的患病率正在不断增加, 这对人们的生命健康构成了严重威胁。现有的胰腺疾病影像学检查方法多靠人工评估检查结果, 具有一定的主观性, 且不能完全识别图像本身所携带的信息。影像组学作为一种新兴技术, 其通过高通量的方式从影像图像中提取信息并加以分析, 为临床决策提供更可靠的信息支持, 在推进胰腺疾病精准管理方面显示出越来越大的前景。本文旨在概述影像组学在胰腺疾病中的应用和进展, 为临床决策提供参考。

关键词

影像组学, 胰腺疾病, 胰腺炎, 胰腺肿瘤, 影像学

Research Progress in the Application of Radiomics in Pancreatic Diseases

Qingli Zhang, Kexin Zhang, Bin Wang*

Department of Radiology, Second Clinical College of Inner Mongolia University for Nationalities, Hulunbuir Inner Mongolia

Received: Apr. 29th, 2024; accepted: May 24th, 2024; published: May 31st, 2024

Abstract

The incidence of pancreatic diseases is increasing year by year, which seriously threatens people's lives and health. The existing imaging methods of pancreatic diseases mostly rely on manual evaluation of examination results, which is subjective and cannot fully identify the information carried by the image itself. As an emerging technology, radiomics is showing increasing prospects in promoting the precise management of pancreatic diseases by extracting and analyzing information from im-

*通讯作者。

age images in a high-throughput way to provide more reliable information support for clinical decision-making. The purpose of this article is to provide an overview of the application and progress of radiomics in pancreatic diseases and to provide reference for clinical decision-making.

Keywords

Radiomics, Pancreatic Disease, Pancreatitis, Pancreatic Tumor, Imaging

Copyright © 2024 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/>



1. 引言

胰腺是腹膜后位器官，其解剖位置和解剖结构复杂[1]，这使胰腺疾病准确诊断困难。另外，由于胰腺疾病的发生和进展过程相当复杂，因此它的诊断和治疗变得更加困难。目前胰腺疾病是人类生命健康的重要威胁，寻找更为有效且准确的检查方法和分析手段对胰腺疾病的诊疗有着重要意义。影像检查是目前检查方法中的重要组成部分，能为疾病诊断提供重要信息。目前临床上主要通过超声、CT 以及 MRI 等方法诊断胰腺疾病。然而，传统的诊断方式多依靠人工评估影像检查结果，这存在一定的主观性，且结果准确性受到诊断者年资及经验的影响[2]。近年来，有学者[3]提出了影像组学这一概念，与传统影像学分析方法不同，影像组学不再受限于医师的主观视觉观察以及经验，通过高通量采集的方式对图像上人眼所不能识别的特征进行定量分析，为临床决策提供更为准确的支持[2]。本文就影像组学在胰腺疾病中的研究进展进行综述，并总结其在胰腺炎性疾病、胰腺肿瘤性疾病以及其他胰腺相关疾病中的应用。

2. 影像组学在胰腺炎性疾病中的应用

2.1. 急性胰腺炎

急性胰腺炎(acute pancreatitis, AP)是一种常见的消化系统疾病，发病率逐年升高。目前影像组学在其中的研究尚处于起始阶段且主要集中于预测 AP 严重程度、病情进展、并发症及复发等方面。

根据严重程度，急性胰腺炎可分为轻症急性胰腺炎(mild acute pancreatitis, MAP)、中度重症急性胰腺炎(moderately severe acute pancreatitis, MSAP)、以及重症急性胰腺炎(severe acute pancreatitis, SAP)，其中 SAP 患者死亡率较高，已严重威胁我国人民生命健康[4]。此外，AP 的病程是动态发展的，早期准确预测急性胰腺炎的严重程度和病情进展，在指导临床治疗、改善患者预后以及最终拯救患者生命方面具有重要意义。影像组学在早期预测 AP 严重程度方面有着良好的诊断效能，陈俊飞等[5]采用基于增强三期图像建立的随机森林模型预测 AP 严重程度，发现该模型在 AP 严重性预测诊断中有着较高准确性，其受试者工作特征曲线下面积(area under curve, AUC)在训练组中高达 0.958，而在测试组 AUC 也可达 0.917。同样，Zhao 等[6]人基于对比增强 CT 的门静脉期图像，提取胰腺及胰周区域的影像组学特征构建模型。最终，该影像组学模型的预测效能也取得了令人满意的结果，其 AUC 在训练组中、验证组和测试组中分别为 0.992、0.965 以及 0.894。

影像组学在预测早期 AP 患者病情进展中也展现出有良好的预测能力。Xue 等人[7]回顾性收集 137 例 AP 患者(进展组 95 例，非进展组 42 例)的临床和 CT 影像资料构建模型，最终发现临床 - 影像组学联

合模型的预测效能最佳, 在训练集中该模型的 AUC 和 95%可信区间高达 0.984 (0.964~1.000), 而在验证集中其效能也达到了 0.942 (0.870~1.000)。以上这些研究表明影像组学在早期预测 AP 严重程度及病情进展中表现良好, 或能成为 AP 早期预测的可靠方法。

依据 2012 年修订的亚特兰大标准 AP 又可分为急性单纯性胰腺炎(Acute simple pancreatitis, ASP)和急性坏死性胰腺炎(acute necrotizing pancreatitis, ANP), 其中 ANP 常常伴有诸多不良并发症, 当伴随持续性器官衰竭时甚至会导致患者死亡等严重不良预后。此外, 胰腺炎的复发也是患者难以取得良好预后的又一重要原因, 在以上方面影像组学均有一定应用。

ANP 按病变累及的具体区域又可细分为: 胰腺和胰周坏死型、仅胰周坏死型、仅胰腺坏死型三类[8], 新分类的目标在于突显不同部位坏死对患者预后影响的差异性, 因此需要制定不同的治疗方案。这一改进解决了早期研究仅关注胰腺坏死状况的问题。Banks 等人[9]认为胰腺外坏死(external pancreatic necrosis, EXPN)应该被视为一种独立的坏死性胰腺炎亚型引起关注。他们认为, 这种类型的坏死性胰腺炎具有一些特殊的临床特征和治疗挑战, 因此需要单独研究和管理。相较于传统影像学评分系统和实验室评分系统, 胰腺外坏死体积或能更好地预测器官衰竭和继发感染的发生情况, 这一观点在相关研究中得到了支持[10] [11]。Zhou 等人[12]通过分别建立基于胰腺外采集的 MR-T2WI 和胰腺实质的 MR 增强动脉晚期图像的影像组学模型来预测早期 EXPN; 并将影像组学模型对早期 EXPN 的预测性能与临床模型和常规成像评分系统(包括胰腺外炎症的 MRI 和 MR 严重度评分)进行比较。结果发现, 基于胰腺外采集的影像组学模型的 AUC 在训练队列和验证队列中分别可达 0.969 和 0.976, 而基于胰腺实质的模型的 AUC 也超过了 0.900, 这表明影像组学模型在 EXPN 的诊断上有着良好的准确性; 而胰腺外炎症的 MRI 和 MR 严重度评分的 AUC 则显著低于基于胰外采集的 T2WI 图像影像组学模型和低于基于 MR 增强胰腺实质模型的 AUC。这可能是因为在早期胰腺炎中, 胰腺实质损伤和胰外炎症都在进行中, 但其实质变化轻微, 仅凭肉眼可能难以辨识。此外, 传统影像特征的表现往往滞后于疾病进展, 使其更难以观察, 最终降低了 EXPN 早期发现的可能性。上述研究结果均表明基于 MRI 的影像组学能够更准确和客观的识别早期 EXPN, 这对于适当干预措施的采取以及患者的预后改善具有重要价值。

持续性器官衰竭(persistent organ failure, POF)是急性坏死性胰腺炎患者死亡的主要原因[13]。近期有研究表明影像组学能够很好的预测 ANP 患者的器官衰竭。Liu 等人[14]开发了结合增强 CT 的影像组学特征和临床要素(APACHE II 评分 ≥ 8 和持续 SIRS)的模型以预测 ANF 中持续性器官衰竭的发生率。该模型在预测 ANP 患者 POF 中表现出优秀的预测能力, 在训练组和验证组中的 AUC 值分别为 0.907 (95%CI: 0.842~0.952)和 0.882 (95%CI: 0.764~0.955)。影像组学特征与临床要素联合模型或许能够成为临床医生评估 POF 发生率并促进患者及其家属了解 ANP 预后的可靠工具。

最近还有研究发现, 影像组学有助于预测急性胰腺炎的复发。Tang [15]等人研究基于 T1 加权对比增强 MRI (CE-MRI)影像组学模型在预测 AP 复发中的预测价值, 收集首发急性胰腺炎患者的临床特征和 CE-MRI 晚期动脉期的影像组学特征并构建模型, 并且将临床独立危险因素与最佳影像组学特征线性整合而构建列线图模型。最终, 列线图模型显示出良好的性能, 训练队列中的 AUC 为 0.943, 测试队列中为 0.906。基于 CE-MRI 的影像组学模型在优化复发性急性胰腺炎的个体化预测方面展现出良好的性能, 可能为复发性胰腺炎的防治提供参考。

2.2. 慢性胰腺炎

慢性胰腺炎(chronic pancreatitis, CP)是一种由多种因素导致的胰腺长期慢性炎症性疾病, 影像学上的典型表现为胰腺萎缩及多发钙化、胰管形态改变, 临床上表现为糖尿病和胰腺外分泌功能不全(pancreatic exocrine insufficiency, PEI) [16]。PEI 应在治疗过程中及早发现, 因为它与营养不良、微量营养素缺乏以

及腹胀和腹泻等多种症状有关,并有骨质疏松症和心血管事件的风险[17][18]。胰泌素增强磁共振胆管造影术(S-MRCP)是一种评估胰腺外分泌功能的非侵入性方法,但由于昂贵、耗时且相对复杂,限制了其临床应用。因此,需要一种新的、无创的、简单的、适用的方法。Bian [19]等人回顾性研究 159 名接受了增强磁共振胆管造影术的参与者,将参与者分为正常组和胰腺外分泌功能不全组。收集临床和非增强 T1 加权成像信息。开发和验证基于全自动胰腺分割的影像组学列线图,以评估胰腺外分泌功能,还比较了影像组学列线图与 S-MRCP 量化的胰腺流量输出率的诊断性能。结果发现影像组学评分是 PEI 的独立危险因素(比值比 = 11.69; $P < 0.001$)。在验证集中,影像组学列线图在预测 PEI 中表现出最高性能(AUC, 0.92),而临床列线图和胰腺流量输出率的 AUC 分别为 0.79 和 0.78。影像组学列线图准确预测了慢性胰腺炎患者的胰腺外分泌功能,并且在 S-MRCP 上优于胰腺流量输出率。

3. 影像组学在胰腺肿瘤性疾病中的应用

3.1. 胰腺癌

胰腺癌起病隐匿,缺乏特异的早期症状,故早期诊断率不高,导致大部分患者在确诊时已经到了中晚期,手术切除率也相应较低。总体临床治疗效果不佳,病死率居高不下,患者 5 年生存率 $< 8\%$,预计至 2030 年,胰腺癌将成为全球致死率排名第二的肿瘤[20]。近年来,随着人工智能的发展,影像组学也越来越多用于胰腺癌的鉴别诊断、治疗决策、预后预测等。

局灶性自身免疫性胰腺炎(fAIP)和胰腺导管腺癌(PDAC)的影像学和临床特征非常相似,这导致了它们的鉴别诊断变得困难。而两种疾病的治疗和预后之间存在显著差异。前者是良性病变,大多数对激素治疗有反应,而 PDAC 需要手术切除才能治愈。因此,开发一种无创且有效的方法来术前区分二者至关重要,使临床医生能够选择合适的治疗策略。Lu 等人[21]基于术前 CT 检查,开发并验证了一种结合 CT 表现和影像组学特征的列线图模型,该列线图模型具有良好的敏感性和特异性,训练组和测试组的 AUC 分别为 0.87 和 0.83。Ye 等[22]也进行了类似的研究,组合模型(临床-CT 影像组学模型)表现出最佳的预测性能 AUC 达 0.857 (95%CI: 0.787~0.910),显示出了影像组学在胰腺癌鉴别诊断中的潜力。

胰腺癌新辅助治疗后,是否进行手术探查的治疗决定通常基于多学科和多参数评估,影像学发挥了巨大的作用。然而,一些研究报告[23][24]称计算机断层扫描(CT)错误地估计了新辅助治疗后局部晚期胰腺癌的可切除性,因为新辅助治疗后,CT 无法区分治疗后纤维化、局部水肿、炎症变化和活肿瘤,从而低估了组织学反应。Gabriella 等人[25]首次提出基于 CT 的影像组学模型来预测经强化化疗后进行消融治疗的局部晚期胰腺癌的可切除性。开发了可切除性的预测模型,训练集和验证集的中值 AUC 分别为 0.862 (95%CI: 0.792~0.921)和 0.853 (95%CI: 0.706~0.960)。该影像组学模型表现出良好的性能,提示影像组学信息可以补充预测手术的可切除性。

影像组学方法还可以用于分析胰腺导管腺癌根治术后的复发情况。如 Ni 等人[26]探讨胰腺分割模型 AX-Unet 从增强 CT 中提取的影像组学特征的可靠性,并分析胰腺导管腺癌(PDAC)根治术后的复发情况。发现预测患者术后是否复发的列线图的 AUC 为 0.92 (95%CI: 0.78~0.99),C 指数为 0.62 (95%CI: 0.48~0.78)。AX-Unet 胰腺分割模型在分析 PDAC 根治性手术后复发风险因素方面显示出前景,基于 AX-Unet 的动态列线图模型可以为胰腺肿瘤患者提供更准确的预后评估。有研究[27]进一步评估了 2D 和 3D 影像组学软件在确定胰腺癌患者生存结果方面的性能,结果表明,基于 CT 的纹理特征是无创预后指标,可以帮助预测胰腺癌患者的残余肿瘤、治疗反应和预后,且无论使用何种软件或分析,其中一些纹理特征都是可重现的。

3.2. 胰腺囊性肿瘤

胰腺囊性肿瘤(pancreatic cystic neoplasm, PCN)是指源于胰腺导管上皮和或间质组织的囊性肿瘤性病

变, 这些囊性肿瘤主要包括黏液性囊性肿瘤、导管内乳头状黏液性肿瘤、浆液性囊腺瘤、实性假乳头状肿瘤和囊性神经内分泌肿瘤。部分胰腺囊性肿瘤存在恶变为胰腺导管腺癌的风险, 因此对其进行鉴别诊断具有重要的临床意义[28]。浆液性囊腺瘤和粘液性囊腺瘤是两种常见类型的胰腺囊性肿瘤[29]。而治疗方面却有很大的区别, 前者是一种良性肿瘤, 除非出现压迫症状, 否则不需要手术治疗; 后者是一种癌前病变, 因此, 通常建议手术切除。使用传统的成像方法, 很难区分两者。Fang 等人[30]开发和验证基于 T2WI 影像组学组学列线图以区分两者。结果发现预测模型在训练组和验证组中的 AUC 分别为 0.93 (95%CI: 0.90 ± 0.96)和 0.86 (95%CI: 0.75 ± 0.96)。表明影像组学模型有可能帮助医生区分常见的胰腺囊性肿瘤类型, 从而对临床决策产生积极影响。此外, 影像组学还可以用于胰腺实性假乳头状肿瘤的鉴别诊断, 因为其影像学表现差异很大, 很容易被误诊为胰腺腺癌、神经内分泌肿瘤或囊腺瘤, 而胰腺不同肿瘤在手术方式上的选择不同, 因此对胰腺实性假乳头状肿瘤的术前精确诊断尤其重要[31]。在 Gu 等人[32]的研究中纳入 21 例胰腺实性假乳头状肿瘤和 140 种鉴别疾病。分别于 T1WI、T2WI、DWI 和 CE-MRI 序列的 MRI 图像提取影像组学特征。结果, 基于以上四个 MR 序列图像结合临床信息构建的影像组学模型的 AUC 最高, 为 0.962 (95%CI: 0.919~0.985)。表明借助基于 MRI 的影像组学, 胰腺实性假乳头状肿瘤可以与腺癌、神经内分泌肿瘤和胰腺囊腺瘤区分开来。

影像组学的方法还被用于预测胰腺导管内乳头状瘤的恶变风险。有研究[33]从 CT 动静脉期和 MRI 的 T2WI 序列提取影像组学特征, 基于逻辑回归和支持向量机选定特征构建影像组学模型, 以预测胰腺导管内乳头状粘液性肿瘤恶变, 并研究其与 2017 年修订的福冈国际共识指南相比的价值。最终显示, 所有影像组学模型都比临床和影像模型提供了更佳的预测性能, 其曲线下面积(AUC)为 0.764。

3.3. 胰腺神经内分泌肿瘤

胰腺神经内分泌肿瘤(pancreatic neuroendocrine tumors, PNET)是一种相对罕见的恶性肿瘤, 在组织学和宏观上存在差异, 并且预后可能极其不同。目前对于胰腺神经内分泌肿瘤的风险分层与生存预后缺乏公认的精准分期系统[34]。肿瘤分级是胰腺神经内分泌肿瘤生物侵袭性的决定因素, 也是目前帮助建立个体化治疗策略的最佳工具, 迫切需要一种术前准确预测 PNET 组织学分级的无创方法。Wang 等人[35]将 PNET 患者分为 G1 级组和 G2/3 级组, 在三相(平扫、动脉和静脉)CT 中提取影像组学特征。将影像组学特征与肿瘤分级相关的客观临床特征(包括 T 分期和主胰管/胆管扩张状态)结合为列线图, 训练组和验证组 AUC 分别达到 0.919 (95%CI: 0.916~0.922)和 0.875 (95%CI: 0.867~0.883)。这表明将影像组学特征和临床特征相结合构成的列线图对于术前预测 1 级和 2/3 级的 PNET, 具有强大的潜力。此外, 鉴于 G3 组较小, 该研究列线图模型是将 PNET 患者分层为 G1 和 G2/3 组而建立的。为了更好地优化个性化治疗策略, 还需要基于更大的样本建立区分 G2 和 G3 级的列线图。

影像组学还被用于胰腺神经内分泌肿瘤的鉴别诊断, Song 等人[36]首次尝试通过 CE-MRI 得出的影像组学参数区分乏血供的 PNET 和胰腺实性假乳头状肿瘤。由年龄和动脉期的影像组学特征组成的列线图显示了该研究鉴别二者的性能, 其 AUC 值在训练组和验证组中分别为 0.965 (95%CI: 0.923~1.000)和 0.920 (95%CI: 0.796~1.000)。

目前为止, 许多研究探索了影像组学在胰腺神经内分泌肿瘤预后预测的价值, 如 Homps 等人[37]对接受具有治疗目的的胰腺切除术的胰腺神经肿瘤的患者于术前预测其无复发生存期(Recurrence-free survival, RFS), 结果显示, 基于 CT 的影像组学评分与 RFS 相关, 提示影像组学可以作为胰腺神经内分泌肿瘤患者预后的影像学标志物。

4. 影像组学在其他与胰腺相关的疾病中的运用

胰十二指肠切除术是一项具有挑战性的手术, 可以因为良性或恶性病变行该术式, 术后并发症最相

关的是胰腺空肠吻合失败,导致胰漏,可导致严重后果如败血症等[38],所以术前风险预测对于围术期个体化管理尤为重要。有研究[39]基于MRI的常规序列T1WI和T2WI,在胰体和胰尾放置了50 mm²的手绘单层面感兴趣区,提取影像组学特征。此外,测量了胰腺和肌肉的T1信号强度比,比较使用影像组学和T1信号强度比预测胰十二指肠切除术后临床相关胰漏的效能,发现影像组学模型的诊断准确性更高。值得注意的是,一些影像组学特征已被证明特别容易受到MRI扫描参数的影响,所以需要更大规模的前瞻性研究以供临床采用。

5. 小结

影像组学作为一种新兴的研究方法,正逐渐成为医学影像学领域研究的热点之一,随着深度学习、卷积神经网络等人工智能技术的发展,影像组学在胰腺疾病领域的应用也将迎来新的突破。需要注意的是,由于胰腺具有丰富的解剖结构及病理生理功能复杂多样,单纯依靠影像组学对其进行研究,其诊断效能可能存在局限性。此外,影像组学研究中仍存在问题亟待解决。例如缺乏标准化、规范化的数据采集模式和临床诊疗方案,其在临床实践中存在的不足之处需要进一步验证和优化。

参考文献

- [1] 滕晓众, 俞巍, 邢颖, 等. 胰腺微创手术的进展[J]. 中国临床医生杂志, 2023, 51(6): 634-636.
- [2] Mayerhoefer, M.E., Materka, A., Langs, G., *et al.* (2020) Introduction to Radiomics. *Journal of Nuclear Medicine*, **61**, 488-495. <https://doi.org/10.2967/jnumed.118.222893>
- [3] Lambin, P., Rios-Velazquez, E., Leijenaar, R., *et al.* (2012) Radiomics: Extracting More Information from Medical Images Using Advanced Feature Analysis. *European Journal of Cancer*, **48**, 441-446. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2011.11.036>
- [4] 中华医学会消化病学分会胰腺疾病学组, 《中华胰腺病杂志》编委会, 《中华消化杂志》编委会. 中国急性胰腺炎诊治指南(2019年, 沈阳) [J]. 临床肝胆病杂志, 2019, 35(12): 2706-2711.
- [5] 陈俊飞, 王笑笑, 胡景卉, 等. 基于CT平扫影像组学模型对早期急性坏死性胰腺炎的鉴别诊断价值[J]. 放射学实践, 2023, 38(2): 177-182.
- [6] Zhao, Y., Wei, J., Xiao, B., *et al.* (2023) Early Prediction of Acute Pancreatitis Severity Based on Changes in Pancreatic and Peripancreatic Computed Tomography Radiomics Nomogram. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **13**, 1927-1936. <https://doi.org/10.21037/qims-22-821>
- [7] Xue, M., Lin, S., Xie, D., *et al.* (2023) The Value of CT-Based Radiomics in Predicting the Prognosis of Acute Pancreatitis. *Frontiers in Medicine*, **10**, Article 1289295. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1289295>
- [8] Banks, P.A., Bollen, T.L., Dervenis, C., *et al.* (2013) Classification of Acute Pancreatitis—2012: Revision of the Atlanta Classification and Definitions by International Consensus. *Gut*, **62**, 102-111. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2012-302779>
- [9] 肖波. 急性坏死性胰腺炎: 胰腺坏死和胰外坏死的影像评价与临床意义[J]. 放射学实践, 2021, 36(7): 832-836.
- [10] Çakar, İ., Keven, A., Eseroğlu, E., *et al.* (2020) Role of Extrapancreatic Necrosis Volume in Determining Early Prognosis in Patients with Acute Pancreatitis. *Abdominal Radiology*, **45**, 1507-1516. <https://doi.org/10.1007/s00261-019-02188-9>
- [11] 迪丽努尔·玉山, 杨春波. 胰腺外坏死体积定量分析对重症急性胰腺炎患者早期预后的评估价值[J]. 皖南医学院学报, 2021, 40(2): 143-146.
- [12] Zhou, T., Xie, C., Chen, Y., *et al.* (2021) Magnetic Resonance Imaging-Based Radiomics Models to Predict Early Extrapancreatic Necrosis in Acute Pancreatitis. *Pancreas*, **50**, 1368-1375. <https://doi.org/10.1097/MPA.0000000000001935>
- [13] Mederos, M.A., Reber, H.A. and Girgis, M.D. (2021) Acute Pancreatitis: A Review. *JAMA*, **325**, 382-390. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.20317>
- [14] Liu, N., Wan, Y., Tong, Y., *et al.* (2023) A Clinic-Radiomics Model for Predicting the Incidence of Persistent Organ Failure in Patients with Acute Necrotizing Pancreatitis. *Gastroenterology Research and Practice*, **2023**, Article ID: 2831024. <https://doi.org/10.1155/2023/2831024>

- [15] Tang, L., Ma, L., Chen, Y., *et al.* (2023) Radiomics Analysis of Contrast-Enhanced T1W MRI: Predicting the Recurrence of Acute Pancreatitis. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 2762. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13650-y>
- [16] Vege, S.S. and Chari, S.T. (2022) Chronic Pancreatitis. *New England Journal of Medicine*, **386**, 869-878. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1809396>
- [17] Vujasinovic, M., Hedström, A., Maisonneuve, P., *et al.* (2019) Zinc Deficiency in Patients with Chronic Pancreatitis. *World Journal of Gastroenterology*, **25**, 600-607. <https://doi.org/10.3748/wjg.v25.i5.600>
- [18] De la Iglesia, D., Vallejo-Senra, N., López-López, A., *et al.* (2019) Pancreatic Exocrine Insufficiency and Cardiovascular Risk in Patients with Chronic Pancreatitis: A Prospective, Longitudinal Cohort Study. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, **34**, 277-283. <https://doi.org/10.1111/jgh.14460>
- [19] Bian, Y., Zhou, J., Zhu, M., *et al.* (2023) Replacing Secretin-Enhanced MRCP with MRI Radiomics Model Based on a Fully Automated Pancreas Segmentation for Assessing Pancreatic Exocrine Function in Chronic Pancreatitis. *European Radiology*, **33**, 3580-3591. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09448-9>
- [20] Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R.L., *et al.* (2021) Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **71**, 209-249. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>
- [21] Lu, J., Jiang, N., Zhang, Y., *et al.* (2023) A CT Based Radiomics Nomogram for Differentiation between Focal-Type Autoimmune Pancreatitis and Pancreatic Ductal Adenocarcinoma. *Frontiers in Oncology*, **13**, Article 979437. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.979437>
- [22] Ye, Y., Zhang, J., Song, P., *et al.* (2023) Clinical Features and Computed Tomography Radiomics-Based Model for Predicting Pancreatic Ductal Adenocarcinoma and Focal Mass-Forming Pancreatitis. *Technology in Cancer Research & Treatment*, **22**, 15330338231180792. <https://doi.org/10.1177/15330338231180792>
- [23] Jang, J.K., Byun, J.H., Kang, J.H., *et al.* (2021) CT-Determined Resectability of Borderline Resectable and Unresectable Pancreatic Adenocarcinoma Following FOLFIRINOX Therapy. *European Radiology*, **31**, 813-823. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07188-8>
- [24] Wagner, M., Antunes, C., Pietrasz, D., *et al.* (2017) CT Evaluation after Neoadjuvant FOLFIRINOX Chemotherapy for Borderline and Locally Advanced Pancreatic Adenocarcinoma. *European Radiology*, **27**, 3104-3116. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4632-8>
- [25] Rossi, G., Altabella, L., Simoni, N., *et al.* (2022) Computed Tomography-Based Radiomic to Predict Resectability in Locally Advanced Pancreatic Cancer Treated with Chemotherapy and Radiotherapy. *World Journal of Gastrointestinal Oncology*, **14**, 703-715. <https://doi.org/10.4251/wjgo.v14.i3.703>
- [26] Ni, H., Zhou, G., Chen, X., *et al.* (2023) Predicting Recurrence in Pancreatic Ductal Adenocarcinoma after Radical Surgery Using an AX-Unet Pancreas Segmentation Model and Dynamic Nomogram. *Bioengineering*, **10**, Article 828. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10070828>
- [27] Saleh, M., Virarkar, M., Mahmoud, H.S., *et al.* (2023) Radiomics Analysis with Three-Dimensional and Two-Dimensional Segmentation to Predict Survival Outcomes in Pancreatic Cancer. *World Journal of Radiology*, **15**, 304-314. <https://doi.org/10.4329/wjr.v15.i11.304>
- [28] 李兆申, 金震东, 李汛. 中国胰腺囊性肿瘤诊断指南(2022 年) [J]. 临床肝胆病杂志, 2023, 39(2): 290-298, 481-487.
- [29] Van Huijgevoort, N.C.M., Del Chiaro, M., Wolfgang, C.L., *et al.* (2019) Diagnosis and Management of Pancreatic Cystic Neoplasms: Current Evidence and Guidelines. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, **16**, 676-689. <https://doi.org/10.1038/s41575-019-0195-x>
- [30] Fang, X., Zhang, Q., Liu, F., *et al.* (2023) T2-Weighted Image Radiomics Nomogram to Predict Pancreatic Serous and Mucinous Cystic Neoplasms. *Academic Radiology*, **30**, 1562-1571. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2022.10.008>
- [31] 啸寒, 石士奎, 陈艾琪, 等. 胰腺实性假乳头状瘤影像特征分析[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2023, 21(11): 100-102.
- [32] Gu, H., Liang, H., Zhong, J., *et al.* (2022) How Does the Pancreatic Solid Pseudopapillary Neoplasm Confuse Us: Analyzing from the Point View of MRI-Based Radiomics? *Magnetic Resonance Imaging*, **85**, 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2021.10.034>
- [33] Cheng, S., Shi, H., Lu, M., *et al.* (2022) Radiomics Analysis for Predicting Malignant Potential of Intraductal Papillary Mucinous Neoplasms of the Pancreas: Comparison of CT and MRI. *Academic Radiology*, **29**, 367-375. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2021.04.013>
- [34] Gao, L., Natov, N.S., Daly, K.P., *et al.* (2018) An Update on the Management of Pancreatic Neuroendocrine Tumors. *Anti-Cancer Drugs*, **29**, 597-612. <https://doi.org/10.1097/CAD.0000000000000633>
- [35] Wang, X., Qiu, J.J., Tan, C.L., *et al.* (2022) Development and Validation of a Novel Radiomics-Based Nomogram with Machine Learning to Preoperatively Predict Histologic Grade in Pancreatic Neuroendocrine Tumors. *Frontiers in On-*

-
- cology*, **12**, Article 843376. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.843376>
- [36] Song, T., Zhang, Q.W., Duan, S.F., *et al.* (2021) MRI-Based Radiomics Approach for Differentiation of Hypovascular Non-Functional Pancreatic Neuroendocrine Tumors and Solid Pseudopapillary Neoplasms of the Pancreas. *BMC Medical Imaging*, **21**, Article No. 36. <https://doi.org/10.1186/s12880-021-00563-x>
- [37] Homps, M., Soyer, P., Coriat, R., *et al.* (2023) A Preoperative Computed Tomography Radiomics Model to Predict Disease-Free Survival in Patients with Pancreatic Neuroendocrine Tumors. *European Journal of Endocrinology*, **189**, 476-484. <https://doi.org/10.1093/ejendo/lvad130>
- [38] Pedrazzoli, S. (2017) Pancreatoduodenectomy (PD) and Postoperative Pancreatic Fistula (POPF): A Systematic Review and Analysis of the POPF-Related Mortality Rate in 60,739 Patients Retrieved from the English Literature Published between 1990 and 2015. *Medicine*, **96**, e6858.
- [39] Skawran, S.M., Kambakamba, P., Baessler, B., *et al.* (2021) Can Magnetic Resonance Imaging Radiomics of the Pancreas Predict Postoperative Pancreatic Fistula? *European Journal of Radiology*, **140**, Article 109733. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.109733>