

# 影像组学在急性胰腺炎中的研究现状及进展

余言<sup>1</sup>, 张庆欣<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>青海大学研究生院, 青海 西宁

<sup>2</sup>青海省人民医院磁共振室, 青海 西宁

收稿日期: 2023年6月18日; 录用日期: 2023年7月13日; 发布日期: 2023年7月19日

## 摘要

急性胰腺炎(Acute Pancreatitis, AP)的发生率逐步升高, 对于其病情发展趋势及严重程度做出准确判断, 是目前临床待解决的问题。然而, 传统影像学检查手段对于AP的诊断具有一定的滞后性, 随着影像组学的发展, 它能够定量分析医学影像图像, 分析肉眼不能识别的数据, 从而预测AP的严重程度、复发、相关并发症。因此, 将影像组学运用到AP及其相关诊断中, 以提高临床对AP的诊断能力, 并且在预测其发展趋势方面为临床提供新的研究方向。本文就影像组学在AP中的研究现状及进展进行系统综述。

## 关键词

急性胰腺炎, 严重程度, 复发, 相关并发症, 影像组学

# Research Status and Progress of Imaging Radiomics in Acute Pancreatitis

Yan She<sup>1</sup>, Qingxin Zhang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Qinghai University, Xining Qinghai

<sup>2</sup>MRI Room of Qinghai Provincial People's Hospital, Xining Qinghai

Received: Jun. 18<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jul. 13<sup>th</sup>, 2023; published: Jul. 19<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The incidence of acute pancreatitis (AP) is gradually increasing, and the accurate judgment of its development and severity is a clinical problem to be solved. However, traditional imaging methods have a certain lag in the diagnosis of AP. With the development of imaging histology, it can quantitatively analyze medical images and analyze data that cannot be identified by the naked eye,

\*通讯作者。

so as to predict the severity, recurrence, and complications related to AP. Therefore, the application of imaging histology to AP and its related diagnosis is needed to improve the clinical diagnosis of AP and to provide new research directions for the clinic in predicting its development trend. This article provides a systematic review of the current status and progress of imaging radiomics research in AP.

## Keywords

Acute Pancreatitis, Severity, Recurrence, Associated Complications, Imaging Radiomics

Copyright © 2023 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. 概述

AP 是消化系统常见的住院疾病之一[1] [2], 是由于各种原因引起胰酶的异常激活, 炎症因子释放及级联效应导致胰腺炎症的发生[3] [4]。且其发病率逐年增加[5] [6], 但由于 AP 的严重程度往往与淀粉酶、脂肪酶升高的水平不成比例且病程变化通常较胰腺形态学变化发展快, 在症状出现后至少 2~3 天为常规影像检查手段的最佳时间[7]。因此, 病情的严重程度可能会被传统影像学手段低估, 不能对 AP 的严重程度做出及时准确地判断[8]。随着影像组学的发展, 它能高通量地获得大量的定量图像特征, 主要是通过从医学影像图像中提取大量宏观或者微观的纹理特征, 然后对其进行分析, 最终获得用于反映肉眼无法看到的影像信息[9]。因此, 影像组学可以作为一种有效工具, 能够对于 AP 及严重程度进行及时准确地诊断。

## 2. 影像组学的简介

### 2.1. 影像组学的概念

影像组学是计算机辅助诊断(computer-aided diagnosis, CAD)的范畴之一, 它的概念是由 2012 年荷兰学者 Lambin P 等[10]首次提出, 主要是通过从 CT、MR 或 PET 图像中提取大量宏观或者微观的纹理特征, 然后对其进行分析, 即将数字医学图像转换为可开采的高维数据, 这一过程称为影像组学。他的目的是通过定量分析, 以反映医学影像图像中一些潜在病理生理学信息[11], 最终获得用于反映肉眼无法看到的影像信息。

### 2.2. 影像组学的工作流程

包括以下方面: ① 图像采集[12]: 尽可能获得最真实的图像。② 图像分割[13]: 即感兴趣区(region of interest, ROI)的分割; ③ 特征提取[14]: 包括表面积、体积等形态特征。④ 特征选择[12]: 目的是获得最优特征; ⑤ 建立模型与分析结果[15]。

## 3. MRI 影像组学在 AP 中的应用

### 3.1. 预测 AP 的严重程度

AP 是一种复杂的疾病, 病程多变, 通常很难预测其病程及预后[16] [17], AP 可根据其临床严重程度分为轻、中重三类[18], 其中轻、中度急性胰腺炎预后相对较好, 而重度急性胰腺炎是胰腺炎中较为严重

的一种, 死亡率高达 30% [19]。因此, 在早期阶段确定哪些患者会发展为 SAP 对患者和临床医生都是有益的。

范等[20]人从 104 名 AP 患者图像每个序列图像各获得 1316 个纹理特征, 最后选出最优特征分别基于平扫、增强三期及四期联合序列构建的 Logistic 回归模型在训练组中的曲线下面积(AUC)分别为 0.83、0.84、0.78、0.86、0.85, 在验证组中分别为 0.76、0.79、0.79、0.84、0.78; 基于延迟期的 12 个最佳特征构建的随机森林(RF)和支持向量机(SVM)模型在训练组中的 AUC 分别为 0.78、0.84, 在验证组中的 AUC 分别为 0.72、0.77。最终得出对于早期 AP 患者病情进展预测效能最高的是延迟期 CT 图像的影像组学特征构建的 LR 模型预测。他们的另一项研究[21]显示, 基于胰周脂肪间隙的 CT 影像组学模型明显优于临床模型, 对于预测早期 AP 患者病情进展具有较高的诊断效能。

Zhao 等[22]人回顾性分析 215 例首发 AP 患者, 其中训练组 141 例, 试验组 74 例, 基于胰腺和胰周区域的门静脉相图像提取放射组学特征, 降维后选出 13 个最佳放射组学特征用于 LR (logistic regression, LR)模型构建。放射组学(LR)模型在训练组的 AUC 为 0.992, 在验证组的 AUC 为 0.965, 在测试组的 AUC 为 0.894。敏感性为 0.862, 特异性为 0.800, 准确性为 0.824。基于 13 个放射组学特征的形态图显示, 当总分大于 124 时, SAP 将被预测, 因此基于胰腺和胰腺周围区域增强 CT 图像的放射组学模型在早期预测 AP 严重程度方面表现良好。同样, 陈等[23]人回顾性分析初次 CT 平扫及增强三期扫描急性胰腺炎患者的图像。最终得出基于增强 CT 影像图像构建三期联合的随机森林(RF)模型, 对急性胰腺炎严重性的预测效能预测效能较好。

另外, Lin 等[24]人首次研究了对比增强 MRI 的放射模型, 也得到了同样的结果, 他们建立的影像组学模型对于区分轻度和中重度 AP 病人的诊断准确度分别达到 85.6%、81.0%。由此得出, 基于增强 MRI 的放射特征可以反映 AP 早期不同严重程度之间的实质差异, 对 AP 严重程度的早期预测具有良好的性能。

AP 病程复杂多变, 早期发现严重急性胰腺炎是降低死亡率和改善预后的关键, 影像组学对于急性胰腺炎严重程度有着较好的预测效能, 能够早期预测 AP 的严重程度对指导治疗、改善患者预后具有重要意义。防止 SAP 的发展, 并最终挽救患者的生命。

### 3.2. 预测 AP 的复发

复发性急性胰腺炎(Recurrent acute pancreatitis, RAP)是指它是被定义为两次或两次以上急性胰腺炎的离散发作[25]。由于 AP 受治疗水平的限制, 约有 10%~30%患者发生 RAP [26], 10%的 IAP 患者和 36%的 RAP 患者发展为慢性胰腺炎(Chronic Pancreatitis, CP) [27], 而 CP 是一种晚期不可逆的疾病, 常伴有外分泌胰腺功能不全、胰腺炎后糖尿病、骨质疏松等后遗症[13], 另一项研究还报告, CP 可能会增加患者患胰腺癌(Pancreatic Cancer, PC)的风险[28]。因此, 预防急性胰腺炎复发是防止急性胰腺炎发展为 CP 甚至 PC 的关键[29] [30]。

Chen 等[31]人基于 389 例首发 AP 患者 CT 动脉期和静脉期图像进行了研究, 从整个胰腺实质的 ROI 中提取 412 个辐射特征, 最后选择 10 个特征建立预测模型。在训练组放射模型预测 RAP 患者的敏感性、特异性、阳性预测值(PPV)、阴性预测值(NPV)、准确性和 AUC 分别为 86.7%、87.6%、89.7%、84.1%、87.1%和 0.941%, 验证队组放射性模型预测 RAP 患者的相同诊断指标分别为 83.8%、97.7%、98.4%、78.2%、89.0%和 0.929%。由此得出: 基于 CECT 的辐射模型在 RAP 的早期预测中显示出良好的价值。在另一项类似的研究中, Tang 等[32]的研究也证实了相同的结果, 基于增强 MRI 动脉晚期图像提取影像组学特征, 建立多元 logistic 回归模型, 最终得出基于增强 MRI 动脉晚期图像的影像组学模型对 AP 复发有良好的定量预测能力, 可为 RAP 的防治提供参考。

另外, Hu 等[33]收集了 190 例急性胰腺炎(AP)患者的 T2WI 图像, 从中提取 1353 例 AP 患者的放射

特征, 最终基于信息测度 Corr1、信息测度 Corr2、平均宽度、峰度这四个最优特征, 建立了放射模型和组合模型。结果显示训练组和验证组放射性模型的 AUC 分别为 0.804 和 0.788, 训练组和验证组的组合模型 AUC 分别为 0.833 和 0.799, 训练组和验证组的临床模型 AUC 分别为 0.677 和 0.572。由此得出基于磁共振 T2WI 的影像学特征可以有效地预测 AP 复发, 而影像学模型和联合模型可以为预测急性胰腺炎复发提供新的方向。

急性胰腺炎反复发作会增加患胰腺癌的发生率, 因此应用影像组学早期预测及时发现那些患者具有复发的倾向, 临床及时给予有效的干预措施, 能够有效预防急性胰腺炎的复发, 提高患者的预后。

### 3.3. 预测 AP 相关并发症

普遍研究者认为大部分 AP 是一种自限性疾病, 但仍然会有 20% 的病人出现新发并发症[34]。Iranmahbook 等[35]分析了 41 例急性胰腺炎患者全胰腺表观扩散系数(ADC)直方图, 评估与急性胰腺炎相关的任何新并发症(新的局部积液、胰腺坏死、静脉血栓或动脉假性动脉瘤)。结果显示有新并发症的患者 0~10 百分位 ADC 偏高、10~25 百分位 ADC 较高, 偏度有较低的趋势, 峰度更高( $p = 0.065 \sim 0.095$ )。常规平均 ADC 值与新并发症无关( $p = 0.023$ ), 峰度在预测新并发症方面具有最高敏感性和特异度。由此得出, 全胰腺直方图 ADC 指标有助于急性胰腺炎的早期管理。

胰腺外坏死(Extrapancreatic Necrosis, EXPN)是指出现明确的胰腺外脂肪坏死和液化成分, 包括 EXPN 单独和合并坏死, 这占坏死性胰腺炎病例的大多数(95%以上) [36], 由此看来, AP 严重程度与 EXPN 的发展紧密相关。因此早期发现胰腺外坏死有助于改善患者预后。

Zhou 等[37]人回顾性收集了 135 名 AP 的患者, 其中包括 67 名 EXPN 患者, 从胰腺外集合的 T2 加权图像和胰腺实质的动脉期晚期图像中提取放射学特征, 降维后的最优特征进行放射建模, 对于临床模型、MR 严重程度指数评分和 MRI 上的胰腺外炎症进行分析。其结果显示, 这两个影像组学模型在训练组中预测早期胰周坏死的准确度均优于临床模型和常规影像学评分。本研究表明, 与一些现有的临床模型和放射学评分系统相比, 基于 T2WI 胰周采集和晚期动脉期胰腺实质的 MRI 放射模型可能能够在早期准确预测 AP 患者的 EXPN。

## 4. 总结与展望

为了实现个性化和精准的治疗, 影像组学通过从影像图像中提取纹理特征, 然后采用统计学方法建立用于疾病诊断、预后预测、疗效评价的模型, 以指导治疗方式的选择[38]。影像组学的概念是由 Lambin P 等人于 2012 年第一次提出, 此后影像组学的研究已广泛应用于多种肿瘤性病变(如肝癌[39]、胶质瘤[40] [41]、胰腺肿瘤[42] [43]等)。因此, 影像组学能够很好的预测 AP 的发展变化, 能及时、有效地为临床提供可靠的依据, 以便临床医师采取合理的干预措施, 以提高患者的预后。由此看来, 影像组学在 AP 中的研究具有非常广阔的前景。

但是目前在影像组学方面的研究, 大部分是基于 CT 影像的特征模型, 而忽略了多种成像技术(CT、MRI、PET、US)的联合使用或者多模态、多时相及多维度成像特征的互补性[44], 在未来的研究中我们应该注重多种技术的联合应用; 影像组学模型现阶段大多数还处于以小样本、单中心的研究为主, 这就导致影像组学在临床中广泛应用还具有一定距离[45]。因此, 在未来我们应该以多中心、大样本量以及前瞻性的研究为主, 以提高临床诊断的准确度。影像组学作为一个新兴的交叉学科领域, 仍需要国内外广大研究者的不断努力, 以解决目前在采集图像、提取纹理特征以及数据共享等方面存在的一些不足之处 [13]。而胰腺的 ROI 勾画操作过程复杂且耗时, 勾画者的主观性会在一定程度上影响结果。这些都是我们未来研究主要努力的方向。



综上所述, 影像组学在 AP 的严重程度发展早期及病情变化方面不仅具有优异的预测性能, 而且具有非常广阔的研究前途及方向。因此, 在未来我们的研究方向主要是改善现阶段存在的问题, 开展多中心、大样本量的研究, 并将其大力推广并应用于临床工作中。

## 参考文献

- [1] Ghandili, S., Shayesteh, S., Fouladi, D.F., Blanco, A. and Chu, L.C. (2020) Emerging Imaging Techniques for Acute Pancreatitis. *Abdominal Radiology*, **45**, 1299-1307. <https://doi.org/10.1007/s00261-019-02192-z>
- [2] 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>
- [3] Watanabe, T., Kudo, M. and Strober, W. (2017) Immunopathogenesis of Pancreatitis. *Mucosal Immunology*, **10**, 283-298. <https://doi.org/10.1038/mi.2016.101>
- [4] Chinese Pancreatic Surgery Association, Chinese Society of Surgery and Chinese Medical Association (2021) Guidelines for Diagnosis and Treatment of Acute Pancreatitis in China (2021). *Chinese Journal of Surgery*, **59**, 578-587.
- [5] Iannuzzi, J.P., King, J.A., Leong, J.H., et al. (2022) Global Incidence of Acute Pancreatitis Is Increasing over Time: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Gastroenterology*, **162**, 122-134. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2021.09.043>
- [6] Matta, B., Gougol, A., Gao, X., et al. (2020) Worldwide Variations in Demographics, Management, and Outcomes of Acute Pancreatitis. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, **18**, 1567-1575. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2019.11.017>
- [7] Working Group IAP/APA Acute Pancreatitis Guidelines (2013) IAP/APA Evidence-Based Guidelines for the Management of Acute Pancreatitis. *Pancreatology*, **13**, e1-e15. <https://doi.org/10.1016/j.pan.2013.07.063>
- [8] Rocha, A.P.C., Schawkat, K. and Morteale, K.J. (2020) Imaging Guidelines for Acute Pancreatitis: When and When Not to Image. *Abdominal Radiology*, **45**, 1338-1349. <https://doi.org/10.1007/s00261-019-02319-2>
- [9] 梁长虹. 加强机器学习在医学影像中的研究和应用[J]. 国际医学放射学杂志, 2019, 42(1): 1-2.
- [10] 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>
- [11] Gillies, R.J., Kinahan, P.E. and Hricak, H. (2016) Radiomics: Images Are More than Pictures, They Are Data. *Radiology*, **278**, 563-577. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015151169>
- [12] 刘鹏, 王丽嘉, 马超. 影像组学及分析工具浅谈[J]. 生物医学工程与临床, 2022, 26(4): 511-518.
- [13] 刘静宇, 刘颖, 张帆. 影像组学的临床应用研究及挑战[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2022, 38(4): 67-72.
- [14] Vallières, M., Freeman, C.R., Skamene, S.R. and El Naqa, I. (2015) A Radiomics Model From Joint FDG-PET and MRI Texture Features for the Prediction of Lung Metastases in Soft-Tissue Sarcomas of the Extremities. *Physics in Medicine & Biology*, **60**, 5471-5496. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/60/14/5471>
- [15] Rizzo, S., Botta, F., Raimondi, S., et al. (2018) Radiomics: The Facts and the Challenges of Image Analysis. *European Radiology Experimental*, **2**, Article No. 36. <https://doi.org/10.1186/s41747-018-0068-z>
- [16] Xiao, A.Y., Tan, M.L., Wu, L.M., et al. (2016) Global Incidence and Mortality of Pancreatic Diseases: A Systematic Review, Meta-Analysis, and Meta-Regression of Population-Based Cohort Studies. *The Lancet Gastroenterology and Hepatology*, **1**, 45-55. [https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(16\)30004-8](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(16)30004-8)
- [17] Petrov, M.S. and Yadav, D. (2019) Global Epidemiology and Holistic Prevention of Pancreatitis. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, **16**, 175-184. <https://doi.org/10.1038/s41575-018-0087-5>
- [18] 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>
- [19] Forsmark, C.H.E., Vege, S.S. and Wilcox, C.M. (2017) Acute Pancreatitis. *New England Journal of Medicine*, **376**, 598-599. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1616177>
- [20] 范海云, 陈基明, 陈亮亮, 等. 基于 CT 影像组学特征的机器学习模型预测早期急性胰腺炎进展的价值[J]. 皖南医学院学报, 2022, 41(3): 256-259.
- [21] 范海云, 陈基明, 陈亮亮, 等. 基于胰腺周围脂肪间隙 CT 影像组学预测早期急性胰腺炎进展的价值[J]. 放射学实践, 2022, 37(6): 683-689.
- [22] Zhao, Y., Wei, J., Xiao, B., et al. (2023) Early Prediction of Acute Pancreatitis Severity Based on Changes in Pancrea-

- tic and Peripancreatic Computed Tomography Radiomics Nomogram. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **13**, 1927-1936. <https://doi.org/10.21037/qims-22-821>
- [23] 陈俊飞, 王笑笑, 胡景卉, 等. CT 影像组学对急性胰腺炎严重性预测价值[J]. 临床放射学杂志, 2023, 42(2): 279-284.
- [24] Lin, Q., Ji, Y.-F., Chen, Y., *et al.* (2020) Radiomics Model of Contrast-Enhanced MRI for Early Prediction of Acute Pancreatitis Severity. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **51**, 397-406. <https://doi.org/10.1002/jmri.26798>
- [25] Machicado, J.D. and Yadav, D. (2017) Epidemiology of Recurrent Acute and Chronic Pancreatitis: Similarities and Differences. *Digestive Diseases and Sciences*, **62**, 1683-1691. <https://doi.org/10.1007/s10620-017-4510-5>
- [26] Barkin, J.A., Freeman, M.L. and Barkin, J.S. (2018) Is It Acute Pancreatitis or Recurrent Acute Pancreatitis Leading to Chronic Pancreatitis that Increases Pancreatic Cancer Risk? *Gastroenterology*, **155**, 1279-1280. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2018.09.023>
- [27] Sankaran, S.J., Xiao, A.Y., Wu, L.M., *et al.* (2015) Frequency of Progression from Acute to Chronic Pancreatitis and Risk Factors: A Meta-Analysis. *Gastroenterology*, **149**, 1490-1500. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2015.07.066>
- [28] Hu, X., Yang, B., Li, J., *et al.* (2021) Individualized Prediction of Acute Pancreatitis Recurrence Using a Nomogram. *Pancreas*, **50**, 873-878. <https://doi.org/10.1097/MPA.0000000000001839>
- [29] Nasief, H., Zheng, C., Schott, D., *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>
- [30] Sadr-Azodi, O., Oskarsson, V., Discacciati, A., *et al.* (2018) Pancreatic Cancer Following Acute Pancreatitis: A Population-Based Matched Cohort Study. *American Journal of Gastroenterology*, **113**, 1711-1719. <https://doi.org/10.1038/s41395-018-0255-9>
- [31] Chen, Y., Chen, T.-W., Wu, C.-Q., *et al.* (2019) Radiomics Model of Contrast-Enhanced Computed Tomography for Predicting the Recurrence of Acute Pancreatitis. *European Radiology*, **29**, 4408-4417. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5824-1>
- [32] 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>
- [33] Hu, Y., Liu, N., Tang, L., *et al.* (2022) Three-Dimensional Radiomics Features of Magnetic Resonance T2-Weighted Imaging Combined with Clinical Characteristics to Predict the Recurrence of Acute Pancreatitis. *Frontiers in Medicine*, **9**, Article 777368. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.777368>
- [34] Trikudanathan, G., Wolbrink, D.R.J., Van Santvoort, H.C., *et al.* (2019) Current Concepts in Severe Acute and Necrotizing Pancreatitis: An Evidence-Based Approach. *Gastroenterology*, **156**, 1994-2007. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2019.01.269>
- [35] Iranmahboob, A.K., Kierans, A.S., Huang, C., *et al.* (2017) Preliminary Investigation of Whole-Pancreas 3D Histogram ADC Metrics for Predicting Progression of Acute Pancreatitis. *Clinical Imaging*, **42**, 172-177. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2016.12.007>
- [36] Chua, T.Y., Walsh, R.M., Baker, M.E. and Stevens, T. (2017) Necrotizing Pancreatitis: Diagnose, Treat, Consult. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, **84**, 639-648. <https://doi.org/10.3949/ccjm.84a.16052>
- [37] Zhou, T., Xie, C.-L., 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>
- [38] Lambin, P., Leijenaar, R.T.H., Deist, T.M., *et al.* (2017) Radiomics: The Bridge between Medical Imaging and Personalized Medicine. *Nature Reviews Clinical Oncology*, **14**, 749-762. <https://doi.org/10.1038/nrclinonc.2017.141>
- [39] Gong, X.-Q., Liu, N., Tao, Y.-Y., *et al.* (2023) Radiomics Models Based on Multisequence MRI for Predicting PD-1/PD-L1 Expression in Hepatocellular Carcinoma. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 7710. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34763-y>
- [40] Li, Z., Chen, L., Song, Y., *et al.* (2023) Predictive Value of Magnetic Resonance Imaging Radiomics-Based Machine Learning for Disease Progression in Patients with High-Grade Glioma. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **13**, 224-236. <https://doi.org/10.21037/qims-22-459>
- [41] Hu, G., Hu, X., Yang, K., *et al.* (2023) Radiomics-Based Machine Learning to Predict Recurrence in Glioma Patients Using Magnetic Resonance Imaging. *Journal of Computer Assisted Tomography*, **47**, 129-135. <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000001386>
- [42] Liu, C., Bian, Y., Meng, Y., *et al.* (2022) Preoperative Prediction of G1 and G2/3 Grades in Patients with Nonfunctional Pancreatic Neuroendocrine Tumors Using Multimodality Imaging. *Academic Radiology*, **29**, e49-e60.

<https://doi.org/10.1016/j.acra.2021.05.017>

- [43] 程诗博, 殷涛, 吴河水. 影像组学在胰腺疾病中应用的研究进展[J]. 腹部外科, 2022, 35(5): 309-312+316.
- [44] 唐玲玲, 黄小华, 刘念, 等. 影像组学在胰腺疾病中的研究进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2020, 43(6): 697-701.
- [45] 张馨予, 刘威, 杜娟娟, 张小明. 影像组学和基因组学在急性胰腺炎中的应用进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2022, 45(5): 568-571.