

机器学习在急性胰腺炎诊疗中的应用与展望

王佑文

重庆医科大学附属永川医院检验科, 重庆

收稿日期: 2025年10月27日; 录用日期: 2025年11月19日; 发布日期: 2025年11月28日

摘要

急性胰腺炎(acute pancreatitis, AP)是胰腺的一种严重炎症, 起病突然, 伴有剧烈腹痛, 并发严重的局部或全身并发症, 发病率和死亡率高。过去几十年进行的广泛研究表明, 症状发作后的前24小时对于识别有并发症或死亡风险的患者至关重要。传统的评分系统如Ranson、APACHE-II和BISAP评分等, 提供了风险分层的基础方法, 但往往这些评分在早期诊断、严重程度评估等方面存在局限性。机器学习(Machine Learning)作为人工智能的一个分支, 凭借其对高维医学数据的深度挖掘与复杂模式识别能力, 为AP诊疗流程的革新提供了新方向。本文旨在探讨机器学习在AP中的各种应用, 重点涵盖了早期诊断、严重程度评估、并发症预测、治疗方案优化及预后评估等方面, 分析在上述方面应用中存在的模型通用性差、临床应用困难等挑战, 并对未来机器学习与大数据结合临床的发展进行展望, 为AP的精准医疗提供一定的思路。

关键词

机器学习, 急性胰腺炎, 严重程度, 并发症, 精准医疗

Application and Prospects of Machine Learning in the Diagnosis and Treatment of Acute Pancreatitis

Youwen Wang

Department of Clinical Laboratory, The Affiliated Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: October 27, 2025; accepted: November 19, 2025; published: November 28, 2025

Abstract

Acute pancreatitis (AP) is a severe inflammation of the pancreas, characterized by sudden onset,

文章引用: 王佑文. 机器学习在急性胰腺炎诊疗中的应用与展望[J]. 临床医学进展, 2025, 15(12): 1-7.

DOI: 10.12677/acm.2025.15123371

intense abdominal pain, and serious local or systemic complications, resulting in high morbidity and mortality. Extensive research over the past few decades has demonstrated the critical importance of identifying patients at risk of complications or death within the first 24 hours of symptom onset. Traditional scoring systems such as the Ranson, APACHE-II, and BISAP scores provide fundamental methods for risk stratification, but these scores often have limitations in early diagnosis and severity assessment. Machine learning, as a branch of artificial intelligence, offers new directions for revolutionizing AP diagnosis and treatment processes due to its ability to deeply mine high-dimensional medical data and recognize complex patterns. This article aims to explore various applications of machine learning in AP, focusing on early diagnosis, severity assessment, complication prediction, treatment optimization, and prognostic evaluation. It analyzes the challenges in these applications, such as poor model universality and difficulties in clinical application, and provides a prospective outlook on the future development of machine learning combined with big data in clinical practice, offering some insights for precision medicine in AP.

Keywords

Machine Learning, Acute Pancreatitis, Severity, Complications, Precision Medicine

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

急性胰腺炎(AP)是由诸多病因引起异常活化的胰酶消化胰腺组织自身,引起胰腺水肿、出血甚至坏死,继而激发炎症介质反应而累及全身器官和系统的疾病,病情复杂且凶险,可诱发全身炎症反应综合征(Systemic Inflammatory Response Syndrome, SIRS)、多种器官功能衰竭(Multiple Organ Failure, MOF)等严重并发症,有资料显示,重症胰腺炎病情重、进展迅速、病死率高,可达 36%~50% [1]。

2012 年修订的亚特兰大分类法根据其严重程度可分为轻度急性胰腺炎、中度重症急性胰腺炎、重度急性胰腺炎[2]。虽然轻微的 AP 病例通常在一周内消退,但严重的 AP 可导致多器官衰竭、败血症和延长住院时间。早期和准确的风险分层对于管理 AP 至关重要,因为它指导干预措施和资源分配,最终改善患者的预后。

传统的评分系统,如 RANSON 评分,急性胰腺炎严重程度床边指数(BISAP)和急性生理和慢性健康评估 II(APACHE II),长期以来一直用于预测严重程度和预后。但是,这些方法依赖于预定义的临床和实验室参数,在疾病的早期阶段往往表现出有限的准确性。Hagjer 等人评价了 RANSON 评分及 BISAP 评分作为 AP 严重程度、器官衰竭、死亡率的预测工具,描述受试者工作曲线下面积(AUC)分别为 0.810 及 0.875、0.839 及 0.906、0.803 及 0.740 [3]。

机器学习(ML)作为人工智能的一个类别,是一门涉及统计学、计算机科学和许多其他领域的跨学科。ML 有许多理想的特征,可以帮助医疗决策,并且这些算法能够从次优训练集中推断出最佳决策。人工智能驱动算法可以分析大量复杂的数据集,包括临床、实验室和成像数据,识别传统模型可能忽略的复杂非线性关系。

本综述的目的是综合目前关于基于人工智能的 AP 工具的知识,并与传统方法相比评估其预测能力。了解机器学习模型的优势有助于临床医疗决策的决定,最终改善患者治疗效果。

2. 机器学习在急性胰腺炎严重程度评估中的应用

在轻度急性胰腺炎中,并发症少,属于自限性疾病,但 SAP (20%~30%的病例)与胰腺坏死或器官衰竭等并发症相关,可导致 13%~35%的高死亡率[4],既往研究表明,早期识别 SAP 对于改善预后至关重要,因为早期干预可以减少器官衰竭、坏死和全身炎症等并发症[5]。但是,传统的评分系统中的数据收集往往需要超过 24 小时才能执行,而且准确性和及时性有限,特别是在疾病的黄金时间窗阶段。机器学习的各种模型提供了更先进的方法,集成了大型数据集,包括生命体征、实验室参数和成像数据,可以提高预测精度,同时提供更个性化的风险评估及治疗决策。

人工神经网络(ANN)模型,只关注使用基线临床变量而不需要实验室或成像数据的初始分诊,在 Jin 等[6]使用急诊科患者的六项血常规指标和血清生化参数,发现 ANN 的 AUC 为 0.984,敏感性为 0.927,特异性为 0.933,这使得它在资源有限的环境中特别有价值。而与传统评分相比,Keogan 等人[7]研究中 ANN 的 AUC (0.83)高于 Ranson 评分(0.68)以及 Balthazar 评分(0.62)。

随机森林(RF)模型也表现良好,在 Luo 等[8]人的研究中一共构建了五种机器学习模型并进行比较,结果显示 RF 的表现最好,在训练集和验证集的 AUC 值都达到最高,分别为 0.969 和 0.961。并且在他们的研究中,急性胰腺炎严重程度床边指数(BISAP)、Ranson 和 Glasgow 评分的 AUC 分别仅为 0.796、0.847 和 0.837,要低于 RF 模型。

极端梯度增强(XGBoost)是一种集成了回归树梯度提升方法的机器学习技术,也显示出很高的预测性能,在 Yuan 等[9]人的研究中,XGBoost 模型在五个机器学习模型中被确定为最佳预测模型,其 AUC、敏感度、特异度分别为 0.952、0.889、0.792。与 APACHE、SIRS、NEWS 和 RANSON 评分相比,XGBoost 模型在预测 AP 患者入院 48 小时内有更强的辨别能力。

另外,其他的机器学习模型,例如分类树(CT)模型[10]、逻辑回归(LR)模型[11]、支持向量机(SVM) [12],这些模型对比传统评分来说,在预测 AP 严重程度方面体现了性能优势。

3. 机器学习在急性胰腺炎并发症预测中的应用

器官衰竭(OF)

持续器官功能障碍的存在是区分 MAP、MSAP 和 SAP 的关键因素,一旦发生 OF,死亡率可高达 30%[13],同时也增加了感染性胰腺坏死的风险。因此,早期识别 AP 合并 OF 对 AP 患者的治疗干预具有至关重要的影响,对提高生存率具有至关重要的作用。Qiu 等人[14]开发了基于 ANN、SVM 和 LRA 的模型来预测多器官功能障碍综合征。SVM、LRA 和 ANN 对特征最佳组合的预测效率几乎相等(AUC = 0.840、0.832 和 0.834),差异并没有统计学意义,但推荐使用 ANN 模型,它只需要四个常用参数即可。3 个模型中常见的重要预测因素为红细胞压积(HCT)、动力学时间(K-time)、白介素-6 (IL-6)和肌酐(Cr)。另一项研究[15]利用全血细胞计数、血清生化指标和凝血指标建立了 6 个基于 ML 的 MOF 预测算法模型,其中自适应提升算法(AdaBoost)的预测性能最佳,AUC 值为 0.826。k 时间、Cr 水平、IL-6 水平、Na⁺ 水平和国际标准化(INR)是主要预测因子。这表明凝血参数是重要的预测因子,Qiu 等人的研究结果与此保持一致。

AP 相关性 OF 主要包括呼吸衰竭、循环衰竭和肾功能衰竭。Qu 等人[16]使用了 XGBoost、RF、SVM、CT、LR 共 5 种模型来预测急性肾损伤(AKI),其中 XGBoost 的 AUC 值最高,为 0.919。IAP、PCT 水平、APACHE II 评分和 TB 水平是其中常见的预测因子。

急性呼吸窘迫综合征(ARDS)是 AP 的常见并发症,在 Fei 等人[17]研究中,ANN 在 SAP 后预测 ARDS 的 AUC 值为 0.859,准确率为 73.1%,比柏林定义更高。

4. 机器学习在预测急性胰腺炎死亡率的应用

传统评分中, APACHE II 评分、Ranson 评分、Glasgow 标准在临床上一致用于评估 AP 患者严重程度及死亡率, 但他们系统复杂且时效慢, 入院后 48 小时评估分别只有 69%、63%和 66% [18]。近年来, 许多基于 ML 算法的早期预测模型被开发出来。这些模型为早期干预提供了有价值的见解, 并可能降低 SAP 的死亡率。

Ding 等人[19]利用 MIMIC-III 数据库构建 ANN 模型来预测 AP 医院死亡率, 其 AUC (0.769)、敏感性(0.666)和特异性(0.661)均高于 Ranson 评分及 SOFA 评分。另外, Mofidi 等人[20]研究发现 ANN 模型的准确性(0.975)高于 GCS 评分(0.807)和 APACHE II 评分(0.824)。

5. 机器学习在预测急性胰腺炎复发的作用

复发性急性胰腺炎(RAP)定义为至少有两次 AP 发作史, 在缓解期无胰腺组织或功能异常的证据。研究表明, 有约 22% AP 患者会复发[21]。RAP 是发展为慢性胰腺炎(CP)的重要危险因素, 因此, 对急性胰腺炎发作后有 RAP 风险的个体进行早期识别和及时干预, 可能会降低 RAP 和 CP 的发病率, 同时提高长期生活质量。两项基于 CECT 的 SAVM 模型的研究证实了其在预测和区分 RAP 中的作用, 在 Chen [22] 的研究中 SVM 模型预测 AP 复发效果的 AUC 为 0.903, 敏感性为 0.822, 特异性为 0.932; Mashayekhi 等人[23]的研究表明 SVM 可以区分复发性急性胰腺炎(RAP)、功能性腹痛和慢性胰腺炎(CP), AUC 值分别为 0.88、0.79、0.90, 预测准确率可达到 82.1%。

6. 机器学习在急性胰腺炎手术治疗策略干预中的作用

感染性胰腺坏死(IPN)是 AP 晚期最严重的局部并发症, 其治疗包括一系列外科清创手术, 包括经皮导管引流(PCD)、内镜下经胃坏死切开术、视频辅助微创手术和开放手术[24]。早期、及时、准确预测 IPN 的发生和确定最佳手术时机是指导后续治疗决策的关键因素。在 Lan 等人[25]发现基于 IL-6 水平、感染坏死、发热、CRP 水平的 RF-based 模型能够准确预测早期或延迟手术的患者。早期手术患者死亡率与入院时改良马歇尔评分和术前改良马歇尔评分相关。

7. 讨论

随着生活水平的提高, AP 的发病率每年增加 2%~5%, 全球每 100,000 人中有 3.4 至 73.4 例[26], 与此同时, SAP 的比例也在上升。SAP 与多器官功能衰竭密切相关, 具有高死亡率和复发率。一旦发展为 IPN 和 OF, 死亡率可达 36%~50% [1]。因此, 早期预测 AP 的严重程度、并发症的发生和干预时机对临床决策和及时干预至关重要。然而, 传统的临床预测模型往往基于多变量分析, 难以在 24 h 内构建广泛的临床应用。因此, 开发一种简单、有效、临床可实施的 AP 早期预测模型势在必行。

机器学习是 AI 的一个子集, 是一个新兴的跨学科领域, 它整合了统计学、计算机科学和其他领域。它不仅用于计算机科学中的文本挖掘和分类, 在临床实践中的应用也越来越多。基于 AI 技术开发了各种用于疾病预测和诊断的 ML 算法模型, 目前已被医学领域广泛接受。最近, ML 开始应用于 AP 的严重程度、并发症、复发率、器官功能障碍、手术干预时机等领域。ML 模型与传统评分系统的一个关键区别在于, ML 模型整合了其他因素如分析变量、临床参数和图像评估, 这些因素在 AP 的发展中都是至关重要的。本综述探讨了 ML 在 AP 严重程度、并发症、复发等方面, 并与传统评分系统和临床方法进行了比较。

尽管机器学习模型在 AP 的各个预测任务中展现出巨大潜力, 但我们必须以平衡的视角审视现有研究证据。

尽管多数研究显示 ML 模型优于传统评分系统, 亦有部分研究指出其性能提升有限或存在过拟合风

险。例如, Thapa [4]等人的研究虽然肯定了 ML 的早期预测价值, 但也指出其模型在区分中重度与重度 AP 时性能有所衰减。此外, 单中心、回顾性的研究设计是大多数 AP-ML 研究的共同局限, 导致模型在外部验证中普遍表现下降, 凸显了其泛化能力不足的问题。

在技术层面, 特征工程是构建高性能预测模型的核心环节, 其重要性不亚于算法选择本身。多项研究反复验证了如 IL-6、肌酐(Cr)、红细胞压积(HCT)、降钙素原(PCT)、APACHE-II 评分以及影像组学特征等在预测器官衰竭、死亡率和复发中的核心地位。例如, Qiu [14]等人与 Xu [15]等人均将 IL-6 与 Cr 识别为器官衰竭的关键预测因子。通过专业的特征选择、降维与交互项构建, 不仅可以显著提升模型性能, 更能增强其临床可解释性, 为发现新的疾病机制提供线索。

我们认识到, 目前 ML 模型虽然有一定的进步, 但仍有不足。大多数使用的数据都是回顾性的, 尽管这些模型已经在测试和验证集上得到了验证, 但它们的可靠性仍然需要通过临床实践来确认。另外许多研究是单中心的, 样本量小, 缺乏外部验证, 这就导致这些模型在泛用性上有所欠缺。此外, ML 模型通常需要大型、高质量的数据集进行训练及验证, 这在资源受限的医院或医疗场所可能并不总是可用的, 特别是规模较小的医疗场所如乡镇或县城医院, 由于难以记录数据, 因此在数据收集方面遇到了困难。

还有困难就是机器学习和临床工作的结合。现在的 ML 模型虽然具有早期诊断的时效性, 但大多停留在理论研究阶段, 无法真正运用到临床上, 临床医生可能也对 ML 模型持有保留态度。另外, ML 模型属于 AI 的分支, 这就需要数据的全面及透明的使用, 所以需要解决伦理问题, 以确保在应用过程中的公平及安全。

8. 机器学习模型临床转化的路径与挑战

尽管多项研究证实了机器学习在 AP 预测任务中的优越性能, 其临床转化仍面临多重障碍。数据治理是首要挑战, 医疗数据常存在缺失、不一致与标准化不足等问题, 影响模型训练与泛化能力。此外, 电子健康记录系统(EHR)的异构性使得数据提取与集成困难, 需开发适配接口与统一数据标准。

在人机交互界面设计方面, 模型输出需以直观、可解释的形式呈现, 辅助而非替代临床决策。例如, 开发可视化风险评分仪表盘或集成警报机制, 以提升医生接受度。

监管审批是另一关键环节。ML 模型作为医疗设备(Software as a Medical Device, SaMD)需通过 FDA、NMPA 等机构的审评, 证明其安全性、有效性与鲁棒性。目前多数 AP-ML 模型尚处于概念验证阶段, 缺乏前瞻性多中心试验支持。

成本效益分析亦不可忽视。模型部署与维护需投入硬件、软件及人力资源, 尤其在资源有限的基层医院, 其可行性值得审慎评估。

综上所述, ML 模型的临床转化是一个系统工程, 需跨学科合作, 涵盖数据科学、临床医学、信息学与卫生经济学等多个领域。

9. 结论

总而言之, ML 已经被证明是急性胰腺炎严重程度、并发症、死亡率、复发、手术时机的优秀预测手段, 并且优于传统评分系统, 如 APACHE II 评分、BISAP 评分、SOFA 评分等, 当然也需要解决模型泛用性、伦理问题等挑战后才能发挥其在临床上的真正应用。随着时间的发展, AI 和 ML 可以对 AP 的诊断及治疗提供新的思路。

10. 未来应用前景展望

10.1. 多模态数据集成(Multimodal Data Integration)

将多种来源的数据融合, 包括临床、实验室、成像、基因组等数据, 可以打破单一信息类型的局限,

提高预测准确性和个性化医疗的可能性,探索与组学数据及电子健康记录相结合,以创建能够捕捉 AP 多因素特性的综合模型。

10.2. 模型的泛用性

目前 ML 模型大多为单中心回顾性数据集,限制了模型在不同人种,不同地区的适用性。未来可以探索建立大型、多中心、多地区的数据集以提高这些模型的鲁棒性和泛用性,从而保证 ML 模型适应各种临床环境及患者。

10.3. 临床应用

虽然目前 ML 模型已经体现出优秀的预测能力,但其临床运用还存在一定问题,尤其是无缝与临床工作结合方面。未来应该开发出实时连接医院系统、用户友好的 ML 模型,以提供即时评估以及早期医疗决策。

参考文献

- [1] 王兴鹏,李兆申,等.中国急性胰腺炎诊治指南(2013年,上海)[J].临床肝胆病杂志,2013,29(9):656-60.
- [2] Banks, P.A., Bollen, T.L., Dervenis, C., Gooszen, H.G., Johnson, C.D., Sarr, M.G., *et al.* (2012) 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>
- [3] Hagjer, S. and Kumar, N. (2018) Evaluation of the BISAP Scoring System in Prognostication of Acute Pancreatitis—A Prospective Observational Study. *International Journal of Surgery*, **54**, 76-81. <https://doi.org/10.1016/j.ijso.2018.04.026>
- [4] Thapa, R., Iqbal, Z., Garikipati, A., Siefkas, A., Hoffman, J., Mao, Q., *et al.* (2022) Early Prediction of Severe Acute Pancreatitis Using Machine Learning. *Pancreatology*, **22**, 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.pan.2021.10.003>
- [5] Leppäniemi, A., Tolonen, M., Tarasconi, A., Segovia-Lohse, H., Gamberini, E., Kirkpatrick, A.W., *et al.* (2019) 2019 WSES Guidelines for the Management of Severe Acute Pancreatitis. *World Journal of Emergency Surgery*, **14**, Article No. 27. <https://doi.org/10.1186/s13017-019-0247-0>
- [6] Jin, X., Ding, Z., Li, T., Xiong, J., Tian, G. and Liu, J. (2021) Comparison of MPL-ANN and PLS-DA Models for Predicting the Severity of Patients with Acute Pancreatitis: An Exploratory Study. *The American Journal of Emergency Medicine*, **44**, 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2021.01.044>
- [7] Keogan, M.T., Lo, J.Y., Freed, K.S., Raptopoulos, V., Blake, S., Kamel, I.R., *et al.* (2002) Outcome Analysis of Patients with Acute Pancreatitis by Using an Artificial Neural Network. *Academic Radiology*, **9**, 410-419. [https://doi.org/10.1016/s1076-6332\(03\)80186-1](https://doi.org/10.1016/s1076-6332(03)80186-1)
- [8] Luo, Z., Shi, J., Fang, Y., Pei, S., Lu, Y., Zhang, R., *et al.* (2023) Development and Evaluation of Machine Learning Models and Nomogram for the Prediction of Severe Acute Pancreatitis. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, **38**, 468-475. <https://doi.org/10.1111/jgh.16125>
- [9] Yuan, L., Ji, M., Wang, S., Wen, X., Huang, P., Shen, L., *et al.* (2022) Machine Learning Model Identifies Aggressive Acute Pancreatitis within 48 H of Admission: A Large Retrospective Study. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, **22**, Article No. 312. <https://doi.org/10.1186/s12911-022-02066-3>
- [10] Choi, H.W., Park, H.J., Choi, S., Do, J.H., Yoon, N.Y., Ko, A., *et al.* (2018) Early Prediction of the Severity of Acute Pancreatitis Using Radiologic and Clinical Scoring Systems with Classification Tree Analysis. *American Journal of Roentgenology*, **211**, 1035-1043. <https://doi.org/10.2214/ajr.18.19545>
- [11] Sun, H., Lu, J., Weng, Y., Chen, H., He, Q., Liu, R., *et al.* (2021) Accurate Prediction of Acute Pancreatitis Severity with Integrative Blood Molecular Measurements. *Aging*, **13**, 8817-8834. <https://doi.org/10.18632/aging.202689>
- [12] Lin, Q., Ji, Y., Chen, Y., Sun, H., Yang, D., Chen, A., *et al.* (2019) 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>
- [13] Petrov, M.S., Shanbhag, S., Chakraborty, M., Phillips, A.R.J. and Windsor, J.A. (2010) Organ Failure and Infection of Pancreatic Necrosis as Determinants of Mortality in Patients with Acute Pancreatitis. *Gastroenterology*, **139**, 813-820. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2010.06.010>
- [14] Qiu, Q., Nian, Y., Guo, Y., Tang, L., Lu, N., Wen, L., *et al.* (2019) Development and Validation of Three Machine-

- Learning Models for Predicting Multiple Organ Failure in Moderately Severe and Severe Acute Pancreatitis. *BMC Gastroenterology*, **19**, Article No. 118. <https://doi.org/10.1186/s12876-019-1016-y>
- [15] Xu, F., Chen, X., Li, C., Liu, J., Qiu, Q., He, M., *et al.* (2021) Prediction of Multiple Organ Failure Complicated by Moderately Severe or Severe Acute Pancreatitis Based on Machine Learning: A Multicenter Cohort Study. *Mediators of Inflammation*, **2021**, Article ID: 5525118. <https://doi.org/10.1155/2021/5525118>
 - [16] Qu, C., Gao, L., Yu, X., Wei, M., Fang, G., He, J., *et al.* (2020) Machine Learning Models of Acute Kidney Injury Prediction in Acute Pancreatitis Patients. *Gastroenterology Research and Practice*, **2020**, Article ID: 3431290. <https://doi.org/10.1155/2020/3431290>
 - [17] Fei, Y., Gao, K. and Li, W. (2019) Prediction and Evaluation of the Severity of Acute Respiratory Distress Syndrome Following Severe Acute Pancreatitis Using an Artificial Neural Network Algorithm Model. *HPB*, **21**, 891-897. <https://doi.org/10.1016/j.hpb.2018.11.009>
 - [18] Gravante, G., Garcea, G., Ong, S.L., Metcalfe, M.S., Berry, D.P., Lloyd, D.M., *et al.* (2009) Prediction of Mortality in Acute Pancreatitis: A Systematic Review of the Published Evidence. *Pancreatology*, **9**, 601-614. <https://doi.org/10.1159/000212097>
 - [19] Ding, N., Guo, C., Li, C., Zhou, Y. and Chai, X. (2021) An Artificial Neural Networks Model for Early Predicting In-hospital Mortality in Acute Pancreatitis in MIMIC-III. *BioMed Research International*, **2021**, Article ID: 6638919. <https://doi.org/10.1155/2021/6638919>
 - [20] Mofidi, R., Duff, M.D., Madhavan, K.K., Garden, O.J. and Parks, R.W. (2007) Identification of Severe Acute Pancreatitis Using an Artificial Neural Network. *Surgery*, **141**, 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2006.07.022>
 - [21] Sankaran, S.J., Xiao, A.Y., Wu, L.M., Windsor, J.A., Forsmark, C.E. and Petrov, M.S. (2015) Frequency of Progression from Acute to Chronic Pancreatitis and Risk Factors: A Meta-Analysis. *Gastroenterology*, **149**, 1490-1500.e1. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2015.07.066>
 - [22] Chen, Y., Chen, T., Wu, C., Lin, Q., Hu, R., Xie, C., *et al.* (2018) 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>
 - [23] Mashayekhi, R., Parekh, V.S., Faghih, M., Singh, V.K., Jacobs, M.A. and Zaheer, A. (2020) Radiomic Features of the Pancreas on CT Imaging Accurately Differentiate Functional Abdominal Pain, Recurrent Acute Pancreatitis, and Chronic Pancreatitis. *European Journal of Radiology*, **123**, Article ID: 108778. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2019.108778>
 - [24] Hollemans, R.A., Bakker, O.J., Boermeester, M.A., Bollen, T.L., Bosscha, K., Bruno, M.J., *et al.* (2019) Superiority of Step-Up Approach vs Open Necrosectomy in Long-Term Follow-Up of Patients with Necrotizing Pancreatitis. *Gastroenterology*, **156**, 1016-1026. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2018.10.045>
 - [25] Lan, L., Guo, Q., Zhang, Z., Zhao, W., Yang, X., Lu, H., *et al.* (2020) Classification of Infected Necrotizing Pancreatitis for Surgery within or Beyond 4 Weeks Using Machine Learning. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, **8**, Article 541. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00541>
 - [26] Xiao, A.Y., Tan, M.L.Y., Wu, L.M., Asrani, V.M., Windsor, J.A., Yadav, D., *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 & Hepatology*, **1**, 45-55. [https://doi.org/10.1016/s2468-1253\(16\)30004-8](https://doi.org/10.1016/s2468-1253(16)30004-8)