

• 影像组学与人工智能 •

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

范海云, 陈基明, 陈亮亮, 吴敬医, 吴莉莉, 周慧

【摘要】目的:探讨基于胰周脂肪间隙 CT 影像组学预测早期急性胰腺炎(AP)进展的价值。**方法:**回顾性分析 123 例根据新修订的亚特兰大分类诊断为 AP 的患者(进展组 39 例, 非进展组 84 例), 所有患者均接受腹部平扫及增强 CT 扫描。采用完全随机方法将患者按 7:3 的比例分为训练组和验证组。对各期手动勾画距炎症胰腺前缘 3~5 mm 范围的单层感兴趣区(ROI), 采用 AK 软件提取 CT 纹理特征, 使用最小冗余最大相关(mRMR)和最小绝对值收敛和选择算子(LASSO)回归分析对纹理特征降维、建立影像组学标签, 并运用 100 次留组交叉验证(LGOCV)对模型的可靠性进行验证。将临床资料、CT 特征及影像组学标签采用多因素 Logistic 回归分析建立影像组学模型。利用受试者工作特征(ROC)曲线评价模型的预测效能, 应用决策曲线分析(DCA)评估模型的临床应用价值。**结果:**临床模型、平扫序列影像组学标签、联合序列影像组学标签、平扫序列个性化模型及联合序列个性化模型在训练组中的 AUC 分别为 0.70、0.94、0.94、0.94 及 0.97, 在验证组中的 AUC 分别为 0.83、0.95、0.96、0.99、0.98。DCA 显示平扫、联合序列影像组学标签及平扫、联合序列个性化模型均具有较好的净收益。**结论:**基于胰周脂肪间隙 CT 影像组学模型预测早期 AP 患者病情进展具有较高的诊断效能, 明显优于临床模型, 平扫序列影像组学标签简便有效, 是有潜在应用前景的生物标志物。

【关键词】 胰腺炎, 急性; 疾病恶化; 体层摄影术, X 线计算机

【中图分类号】 R814.4; R576; R36 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2022)06-0683-07

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.06.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The value of CT based radiomics of peripancreatic adipose space in predicting progression of early acute pancreatitis FAN Hai-yun, CHEN Ji-ming, CHEN Liang-liang, et al. Medical Imaging Central, Department of Critical Care Medicine, Yijishan Hospital of Wannan Medical College, Anhui 241001, China

【Abstract】 Objective: To investigate the value of CT based radiomics of peripancreatic adipose space in predicting progression of early acute pancreatitis (AP). **Methods:** 123 AP patients diagnosed according to the new revised Atlanta classification (39 case of progressive group and 84 case of non-progressive group) were retrospectively analyzed. All patients underwent plain and enhanced abdominal CT scan. The patients were divided into training group and verification group in a ratio of 7:3 by completely random method. The single-layer ROI was manually drawn of the range of 3~5mm anterior edge of the inflammation of the pancreas on each phase. AK software was used to extract texture features. The minimum redundancy maximum relevance (mRMR) and least absolute shrinkage and selection operator (LASSO) regression analysis were used to select feature and establish radiomics label, and 100 leave-group-out cross validation (LGOCV) was used to verify the reliability of the model. Then radiomics model was established with clinical data, CT characteristics, radiomics label by using the multiple Logistic regression analysis. Receiver operating characteristic (ROC) curve was used to evaluate the prediction of the model and the decision curve analysis (DCA) was used to evaluate the clinical application value of the model. **Results:** In the training group, the AUC of clinical model, plain sequence radiomics label, combined sequence radiomics label, plain sequence personalized model and

作者单位:241001 安徽,皖南医学院弋矶山医院影像中心(范海云、陈基明、陈亮亮、吴莉莉、周慧);重症医学科(吴敬医)

作者简介:范海云(1996—),女,安徽芜湖人,硕士研究生,住院医师,主要从事腹部放射诊断工作。

通讯作者:陈基明,E-mail:yjsyyycjm@126.com

基金项目:安徽省高校自然科学研究重点项目(KJ2020A0616)

combined sequence personalized model was 0.70, 0.94, 0.94, 0.94 and 0.97, respectively, and in the validation group, the AUC was 0.83, 0.95, 0.96, 0.99 and 0.98, respectively. DCA showed that both the plain scan and the combined sequence radiomics label, the plain scan and the combined sequence personalized model had better benefits. **Conclusion:** CT radiomics model had good diagnostic efficiency for predicting progression of acute pancreatitis, which is obviously better than the clinical model. The plain scan sequence radiomics label is a simple and effective biomarker with potential application.

【Key words】 Pancreatitis, acute; Disease progression; Tomography, X-ray computed

急性胰腺炎(acute pancreatitis, AP)是消化系统常见的急腹症,其发病机制是因胰酶异常激活破坏胰泡细胞及其附近的腹膜,引起胰腺及其周围组织水肿、积液、坏死及感染等病理改变,炎性胰液还可向胰腺外脏器组织内扩散、浸润,引起相应器官及系统功能障碍,促使局部及全身炎症反应的发生^[1-3]。如何早期准确预测病程的发展直接影响到患者预后。已有多种评分系统评价 AP 的不良结果,如急性生理与慢性健康评估 (acute physiology and chronic health evaluation, APACHE-II)、AP 床旁严重度指数 (bedside index for severity in acute pancreatitis, BISAP) 及改良的 CT 严重度指数 (meliorate computed tomography severity index, MCTSI) 等,但效能都不高^[4]。影像学预测胰腺疾病的进程和预后具有重要作用,影像学精确诊断是临床精准治疗的前提^[5]。CT 是评估 AP 严重程度及并发症的主要方法^[6],Lankisch 等^[7]认为胰周积液的存在程度与 AP 的不良结果显著相关,已有研究^[8]证明胰腺外坏死体积能够早期预测 AP 的严重程度,然而 CT 表现难以在 AP 的早期阶段预测进展^[9]。

影像组学是一种新兴技术,可从图像中提取人类肉眼难以观察及分辨的大量参数,并通过多种算法将图像数据转化为高维和可挖掘的数据,故能对疾病的异质性进行全面量化分析^[10-11]。目前有关急性胰腺炎的影像组学研究较少且都是基于胰腺实质进行分析^[12-13],能否基于胰周脂肪间隙影像组学分析早期预测 AP 疾病进展,尚未有相关研究报道。本研究基于 CT 平扫及增强图像,通过纳入临床、影像学及纹理特征等多参数,对胰周脂肪间隙进行影像组学分析,探究其预测早期 AP 疾病进展的价值。

材料与方法

1. 研究对象

采用回顾性病例对照研究方法。搜集皖南医学院弋矶山医院 2013 年 11 月—2021 年 6 月 123 例根据新修订的亚特兰大分类诊断为 AP 患者的临床及影像学资料。纳入标准:①首次发病入院;②早期阶段(发病 1 周内^[14-15])接受 CT 平扫及增强检查;③所有患者

均进行 2 次 CT 检查。排除标准:①图像不全或质量不佳影响观测;②自身免疫性胰腺炎、胰腺肿瘤或创伤;③难以勾画胰周脂肪间隙的 ROI。根据影像学及临床实验室等指标是否出现新的并发症(包括局部并发症:11 例急性胰腺周围积液、2 例急性坏死性积聚、6 例胰腺假性囊肿、2 例包裹性坏死、1 例感染性胰腺坏死、2 例静脉血栓、1 例假性动脉瘤;全身并发症:4 例全身炎症反应综合征、2 例器官功能衰竭)及局部并发症的加重(7 例急性胰腺周围积液增多、1 例急性坏死性积聚范围增大),将 AP 患者分为进展组(n=39)与非进展组(n=84)。采用计算机完全随机方法将患者按 7:3 的比例分为训练组 87 例(进展组 28 例,非进展组 59 例)和验证组 36 例(进展组 11 例,非进展组 25 例)。

2. 临床资料

搜集患者的临床资料及实验室检查数据,包括性别、年龄、病因、症状、体征、淀粉酶、脂肪酶、血钙、尿素氮、肌酐值,使用急性胰腺炎 BISAP 对患者进行评分,BISAP 评分标准包括 ① 血尿素氮;② 意识障碍;③ SIRS;④ 年龄;⑤ 胸腔积液。

3. 检查方法

采用飞利浦 64 排螺旋 CT 机对 AP 患者进行上腹部或全腹部 MSCT 平扫及增强扫描,患者取仰卧位,图像采集参数:管电压为 120 kV,管电流为 220 mA,层厚 5 mm,层间 5 mm,DFOV 为 30 cm×30 cm。使用碘克沙醇 100 mL:32 g(I)对比剂,经右肘前静脉注射对比剂 1.5 mL/kg,注射流率 2.5 mL/s,分别于注射后动脉期 25 s、静脉期 40~65 s 和延迟期 3 min 采集图像。

4. 图像分析

由 2 名诊断医师(具有 5 年和 15 年工作经验)盲法分析 CT 检查图像,评价 AP 的影像特征包括胰腺大小、类型(根据病变累及胰腺范围分为弥漫性与局限性)、边缘、胰周脂肪间隙密度及强化程度等,并进行改良的 MCTSI 评分,意见不一致时,由两名医生讨论后决定。于增强静脉期测量肿大胰腺最大前后径,分别在平扫、动脉期、静脉期和延迟期放置感兴趣区(region of interest, ROI)测量炎症胰腺前方(距胰腺前缘

3~5 mm 范围)的脂肪间隙密度,并计算动脉期、静脉期和延迟期强化率,所有 ROI 形状、大小相同,均测量 3 次,计算其平均值。

5. 特征提取、筛选及影像组学标签的建立

将所有患者的 CT 平扫、动脉、静脉及延迟期图像从 PACS 系统工作站以 DICOM 格式导出,再依次导入 ITK-SNP 软件(3.6.0 版本),窗宽、窗位调整为(350,50),由 2 名放射科医师(具有 5 年和 15 年以上工作经验)对各期通过人工手动分割的方法勾画距炎症胰腺前缘 3~5 mm 范围的单层脂肪间隙(图 1),再分别将勾画出图像转入 AK(GE Healthcare Analysis Kit,3.2.0 版)软件中,通过提取影像组学特征及滤波变换获取图像信息(包括一阶特征、形态特征、灰度共生矩阵特征、灰度区域大小矩阵特征、灰度游程矩阵特征、邻域灰度差矩阵特征、灰度依赖矩阵特征以及拉普拉斯-高斯滤波、小波分析、局部二值模式变换)。通过组内相关系数(intraclass correlation coefficient,ICC)评价 2 名医师提取纹理特征的一致性,并保留一致性较好($ICC > 0.80$)的特征,依次使用最小冗余最大相关(minimum redundancy maximum relevance,mRMR)和最小绝对值收敛和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator,LASSO)回归对保留的特征进行降维、筛选,获取最佳特征子集。以此分别构建各期影像的组学标签,通过计算各个特征权重得出每个患者的标签得分(Rad-score)。

6. 统计分析

使用 SPSS24.0 软件、R 软件(版本 4.0.4)和 MedCalc 软件(Version19.0.2)进行统计分析。采用 Kolmogorov-Smirnov 检验对计量资料进行正态性检验,符合正态分布者以均数±标准差表示,偏态分布者以中位数表示。计量资料组间比较采用独立样本 t 检验(正态分布且方差齐性),Mann-Whiney U 检验(偏态分布或方差不齐);计数资料组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 检验。采用 ICC 评价提取纹理特征的一致性。利用 mRMR 选择纹理特征,然后经 LASSO 回归进一步筛选纹理特征并构建影像组学标签,根据特征权重计算每个患者的 Rad-score;通过 100 次留组交叉验证(leave-group-out cross validation,LGOCV)评判模型的可靠性。采用多因素 logistic 回归分析,并使用方差膨胀因子(variance inflation factor,VIF)进行共线性检查,构建预测模型,绘制校正曲线来评价模型的拟合优度,并使用 Hosmer-Lemeshow 检验评价校准曲线的一致性,计算受试者工作特征(receiver operating characteristic,ROC)曲线下面积(area under curve,AUC),通过 DeLong 检验比较多个模型间 AUC,绘制决策曲线分析(decision curve analysis,DCA)比较模

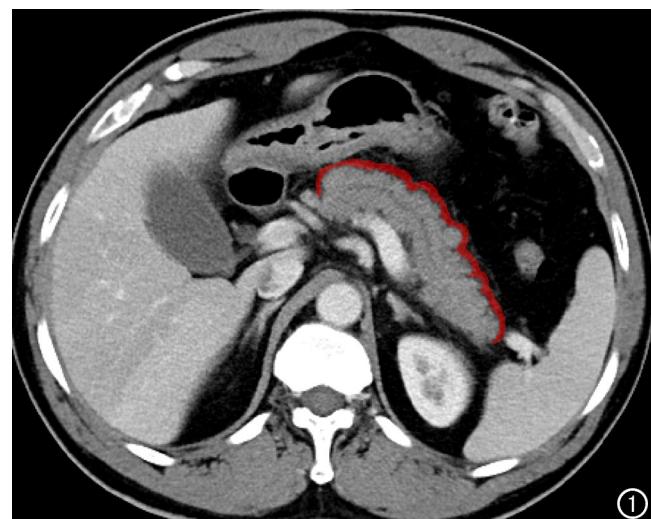


图 1 CT 静脉期图像,用 ITK-SNP 软件手动勾画距炎症胰腺前缘 3~5mm 范围内的单层脂肪间隙的闭合 ROI。

型的临床净收益。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

结 果

1. 训练组和验证组的临床和 CT 特征

在训练组和验证组中,进展组与非进展组患者间血钙、边缘差异均有统计学意义,其余临床及 CT 特征变量差异均无统计学意义(表 1)。经共线性检查将训练组 $P < 0.05$ 的变量纳入多因素 logistic 回归分析建立包括临床资料及 CT 特征的临床模型,临床模型得分=4.078-2.464×血钙+1.749×边缘。结果显示血钙和边缘($OR = 0.085, P = 0.040$ 和 $OR = 5.750, P = 0.020$)是独立预测因子。绘制 ROC 曲线,结果显示临床模型在训练组和验证组中 AUC 分别为 0.70、0.83(表 2、图 2)。

2. 影像组学特征提取的一致性

2 名医师测量组间 ICC 为 0.831(95%CI:0.716~0.925, $P < 0.05$), $ICC > 0.80$ 说明特征提取的一致性较好,选取高年资医师提取的特征进行影像组学分析。

3. 纹理特征提取及影像组学标签建立

AK 软件从平扫、动脉、静脉及延迟期每个序列图像经纹理提取和滤波变换后各获得 1316 个纹理特征,共于 4 个序列提取 5264 个纹理特征,经 mRMR 去除冗余特征,再经 LASSO 回归筛选最优超参数 λ (图 3a)以及在此时 λ 系数不为 0 的特征(图 3b),于平扫、动脉期、静脉、延迟期及联合序列中分别得到 15、12、7、14、14 个价值较大的纹理特征(图 4),再分别建立影像组学标签,根据各期特征的权重计算出每个患者的影像组学标签得分。100 次 LGOCV 显示单独序列和 4 期联合序列模型均有良好的稳定性。经 ROC 曲线

表 1 进展组和非进展组患者在训练组和验证组中的临床和 CT 特征

项目	训练组(n=87)		$t/\chi^2/Z$ 值	P 值	验证组(n=36)		$t/\chi^2/Z$ 值	P 值
	进展组(n=28)	非进展组(n=59)			进展组(n=11)	非进展组(n=25)		
男/女(例)	17/11	25/34	2.588	0.110	6/5	11/14	0.341	0.559
年龄(岁)	52±17	51±15	-0.288	0.774	51±16	50±16	-0.161	0.873
病因(例)			0.396	0.821			0.020	0.888
胆源性	15	29			5	12		
酒精性	2	3			0	0		
其他	11	27			6	13		
腹痛伴恶心/呕吐(例)			0.028	0.868			0.080	0.777
有	18	39			8	17		
无	10	20			3	8		
压痛(例)			2.951	0.086			0.305	0.581
有	26	46			10	21		
无	2	13			1	4		
血淀粉酶(U/L)	1069.18±885.83	777.99±708.02	-1.650	0.103	919.00±595.51	652.52±700.64	-1.097	0.280
血脂肪酶(U/L)	971.77±1101.96	673.39±764.24	-1.468	0.146	610.76±522.31	554.82±657.39	-0.249	0.805
血钙(mmol/L)	1.99±0.21	2.11±0.21	2.332	0.022	1.81±0.32	2.07±0.15	2.617	0.022
尿素氮(mmol/L)	6.01±2.16	5.03±2.20	-1.945	0.055	10.29±9.42	5.55±2.95	-1.635	0.131
肌酐(umol/L)	62.97±19.83	58.37±20.56	-0.985	0.328	116.93±111.27	65.30±29.64	-1.515	0.159
BISAP 评分	1(1,2)	1(0,1)	-1.657	0.097	2(0,2)	1(1,2)	-0.276	0.782
MCTSI 评分	3(2,4)	2(2,4)	-1.738	0.082	2(2,4)	2(2,4)	-0.525	0.600
最大径(cm)	3.53±0.52	3.44±0.48	-0.835	0.406	3.52±0.60	3.34±0.52	-0.920	0.364
胰腺肿大类型(例)			0.011	0.917			1.980	0.159
弥漫性	23	49			11	21		
局限性	5	10			0	4		
边缘(例)			7.403	0.007			7.438	0.006
清晰	21	56			8	25		
模糊	7	3			3	0		
肾周筋膜增厚(例)			1.475	0.225			0.932	0.334
有	28	56			11	23		
无	0	3			0	2		
胰周平扫 CT 值(HU)	-34.32±18.18	-40.92±14.55	-1.819	0.072	-36.82±29.48	-39.72±16.52	-0.306	0.764
胰周动脉期 CT 值(HU)	-31.11±20.16	-37.66±16.39	-1.616	0.110	-36.27±29.45	-37.76±17.45	-0.156	0.878
胰周静脉期 CT 值(HU)	-31.14±20.27	-35.14±17.01	-0.961	0.339	-35.82±29.84	-35.60±17.94	0.023	0.982
胰周延迟期 CT 值(HU)	-30.82±20.96	-34.17±15.92	-0.825	0.412	-35.91±30.15	-36.04±16.72	-0.014	0.989
A-ER	-0.60±2.44	-0.10±0.17	1.087	0.287	0.08±0.32	-0.08±0.17	-1.954	0.059
V-ER	-0.57±2.25	-0.17±0.18	0.945	0.353	0.04±0.48	-0.14±0.17	-1.238	0.241
D-ER	-0.66±2.63	-0.19±0.19	0.952	0.349	0.11±0.66	-0.11±0.11	-1.091	0.300

注: BISAP 为急性胰腺炎床旁严重度指数, MCTSI 为改良的 CT 严重度指数, A-ER 为胰周动脉期强化率, V-ER 为胰周静脉期强化率, D-ER 为胰周延迟期强化率

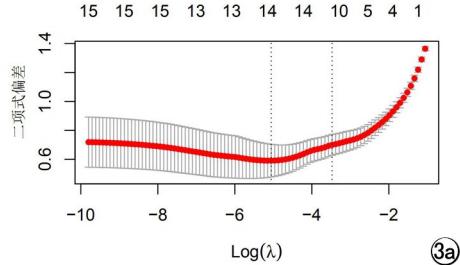
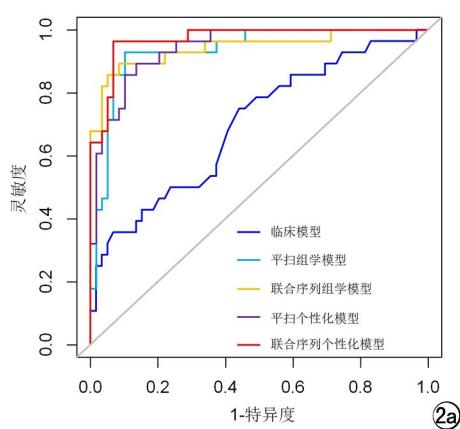


图 2 各预测模型 ROC 曲线。

a) 训练组; b) 验证组。图 3 采用 LASSO 进行特征筛选。a) 联合序列训练组中使用 LASSO 方法对纹理特征进行降维, 左侧垂直虚线代表最佳 Lambda 值对应的 Log(Lambda) 值, 选取标准为最小化标准, 图片顶端数值为特征数; b) 联合序列训练组中不同纹理特征在 LASSO 收敛系数图, 虚线为使十倍交叉运算的 Lambda 值绘制, 每条曲线代表每一个自变量的变化轨迹, 图中显示了 14 个非零系数的纹理特征。

表 2 临床模型、影像组学标签及影像组学预测模型 ROC 结果

模型	训练组(n=87)					验证组(n=36)						
	AUC (95%CI)	准确性 (95%CI)	特异度	灵敏度	PPV	NPV	AUC (95%CI)	准确性 (95%CI)	特异度	灵敏度	PPV	NPV
临床模型	0.70(0.58~0.82)	0.62(0.52~0.72)	0.56	0.75	0.45	0.83	0.83(0.66~1.00)	0.73(0.56~0.84)	0.96	0.73	0.54	0.86
平扫	0.94(0.88~0.99)	0.91(0.83~0.95)	0.90	0.93	0.82	0.96	0.95(0.88~1.00)	1.00(0.89~1.00)	0.76	1.00	1.00	1.00
动脉期	0.89(0.81~0.97)	0.84(0.75~0.90)	0.81	0.89	0.69	0.94	0.92(0.82~1.00)	0.91(0.77~0.98)	0.92	0.91	0.82	0.96
静脉期	0.90(0.84~0.97)	0.82(0.72~0.88)	0.75	0.96	0.65	0.98	0.89(0.75~1.00)	0.82(0.68~0.93)	0.92	0.82	0.69	0.91
延迟期	0.88(0.80~0.96)	0.80(0.71~0.88)	0.76	0.89	0.64	0.94	0.92(0.82~1.00)	0.82(0.68~0.93)	0.96	0.82	0.69	0.91
联合序列	0.94(0.89~1.00)	0.91(0.83~0.95)	0.92	0.89	0.84	0.95	0.96(0.90~1.00)	0.91(0.77~0.98)	0.96	0.91	0.82	0.96
平扫序列个性化模型	0.94(0.90~0.99)	0.87(0.79~0.93)	0.86	0.89	0.75	0.94	0.99(0.96~1.00)	1.00(0.89~1.00)	0.96	1.00	1.00	1.00
联合序列个性化模型	0.97(0.94~1.00)	0.94(0.87~0.98)	0.93	0.96	0.87	0.98	0.98(0.94~1.00)	1.00(0.89~1.00)	0.92	1.00	1.00	1.00

注:AUC:曲线下面积;95%CI:95%CI 可信区间;PPV:阳性预测值;NPV:阴性预测值

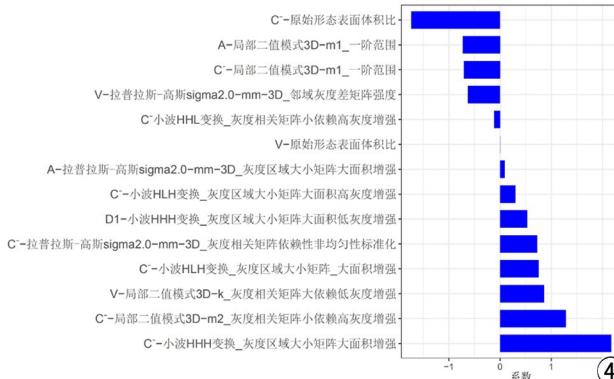


图 4 联合序列影像组学标签的纹理特征及权重。

分析,平扫序列与联合序列影像组学标签均有相对更好的预测效能。AUC 在训练组中均为 0.94,在验证组中分别为 0.95、0.96(表 2),经 DeLong 检验各序列影像组学标签间差异均无统计学意义($P > 0.05$),平扫序列及联合序列影像组学标签与临床模型间差异有统计学意义($Z = 3.739, 3.298, P < 0.001, P = 0.001$)。

4. 建立影像组学预测模型

平扫和联合序列影像组学标签预测效能相对较高,本研究将平扫和联合序列影像组学标签分别与临床资料及 CT 特征通过多因素 Logistic 回归分析建立个性化预测模型。建立的平扫序列个性化模型预测效能较高,但校正曲线经 Hosmer-Lemeshow 检验拟合效果较差(训练组 $\chi^2 = 34779, P < 0.001$, 验证组 $\chi^2 = 6.941, P = 0.543$),因此仅对联合序列个性化模型进行结果分析。联合序列个性化预测模型得分 = $8.483 - 4.515 \times \text{血钙} + 2.619 \times \text{边缘} + 1.300 \times \text{联合序列影像组学标签}$ 。结果显示联合序列影像组学标签($OR = 3.668, P < 0.001$)及边缘($OR = 13.719, P = 0.033$)为预测早期 AP 患者疾病进展的独立危险因子(表 3)。通过 ROC 曲线分析,在训练组和验证组中联合序列

个性化模型的预测效能均相对较高,AUC 分别为 0.97、0.98(表 2, 图 2),经 DeLong 检验,联合序列个性化模型与平扫及联合序列影像组学标签间差异无统计学意义($Z = 1.139, 1.265, P = 0.255, 0.206$),与临床模型对比差异有统计学意义($Z = 4.365, P < 0.001$)。训练组和验证组的校正曲线(图 5)经 Hosmer-Lemeshow 检验都显示了良好的拟合效果(训练组 $\chi^2 = 7.481, P = 0.486$, 验证组 $\chi^2 = 9.103, P = 0.334$)。DCA 显示平扫及联合序列个性化模型与平扫及联合序列影像组学标签预测 AP 进展的临床净获益明显优于临床模型(图 6),其中联合序列个性化模型与联合序列影像组学标签更好。

讨 论

本研究结果表明平扫、联合序列影像组学标签及平扫、联合序列个性化模型预测早期 AP 患者病程进展的诊断效能明显优于临床预测模型,有助于临床医生尽早识别可能发生进展的 AP 患者,对其进行密集监测和制定正确干预措施,改善患者的预后。

目前临床评估 AP 患者严重程度及预后常采用 APACHE-II、BISAP 等评分标准,但这些评分标准有自己的缺点,如费用高、项目多、使用繁琐等,所需时间长(约 48h 后)^[16]。BISAP 评分相对简单易行、准确率高,但在本研究中 BISAP 评分在预测 AP 病情进展上

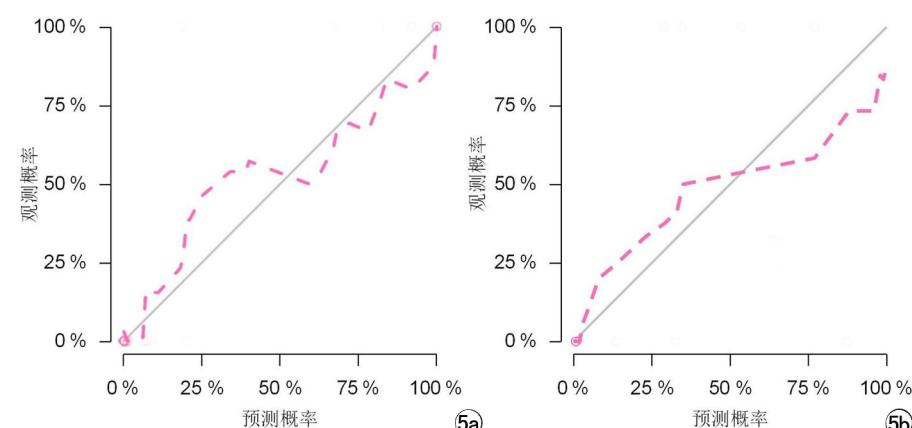


图 5 联合序列个性化模型的校正曲线。a) 训练组;b) 验证组。

表 3 训练组预测急性胰腺炎进展联合序列个性化模型的独立危险因素

因素	系数	标准误	wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
Rad-score	1.300	0.339	14.680	<0.001	3.668	(1.887, 7.131)
边缘	2.619	1.227	4.557	0.033	13.719	(1.239, 151.889)

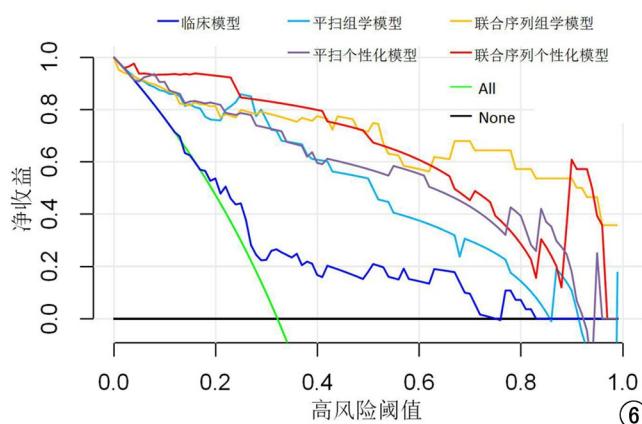


图 6 临床模型、平扫及联合序列影像组学标签和平扫及联合序列个性化模型预测 AP 进展决策曲线。All 表示所有 AP 进展患者, None 表示所有 AP 非进展患者。

差异无统计学意义,可能与样本量较少有关。本研究纳入多种有潜在预测价值的临床资料、CT 特征中仅血钙和边缘差异有统计学意义,且二者都是临床模型的独立预测因子。Kawas 等^[17]认为低血钙是 SAP 患者多系统器官功能衰竭的早期敏感指标,本研究中 AP 进展组患者血钙水平低于 AP 非进展组患者。胰腺边缘模糊或毛糙是 AP 最基本的 CT 表现,结果显示进展组患者胰腺边缘模糊的病例数较非进展组的要多,早期阶段胰腺边缘模糊对预测疾病进展存在一定的价值。但基于临床资料、CT 特征建立的临床模型在训练组中的 AUC 为 0.70,准确率 0.62,诊断效能较低。

急性胰腺炎因胰酶破坏腺泡细胞,炎性胰液容易向胰周脂肪间隙及胰腺外脏器扩散、浸润,胰周脂肪间隙可早期受到影响,胰周脂肪间隙的 CT 值及其特征变化可以反映炎症严重程度,由此预测 AP 进展。已有研究^[7-8]证明胰周积液及胰腺外坏死体积对预测 AP 的不良结果有显著价值。但 CT 难以深层细致反映 AP 病理特征,且存在一定的主观性。影像组学特征能够以较低的成本客观定量地获取更多关于胰周脂肪间隙内部异质性的信息,有助于预测临床结果。本研究对胰周脂肪间隙提取纹理特征分别建立平扫、动脉、静脉、延迟及联合序列影像组学标签模型,预测效能都比较好(训练组中 AUC 分别为 0.94、0.89、0.90、0.88、0.94,验证组中 AUC 分别为 0.95、0.92、0.89、

0.92、0.96),其中平扫序列与联合序列影像组学标签诊断效能更好,平扫序列与联合序列影像组学标签效能没有显著性差异($Z = 0.234, P = 0.815$)。由于 AP 进展过程复杂,受多种临床及病理因素影响,我们将平扫及联合序列影像组学标签分别与临床资料及 CT 特征结合建立个性化模型,结果显示没有明显提高诊断效能(平扫及联合序列个性化模型在两组中的 AUC 分别为 0.94、0.99、0.97、0.98),说明临床资料与常规 CT 特征贡献较小。DCA 显示平扫、联合序列影像组学标签与平扫、联合个性化模型临床收益均明显优于临床模型,其中联合序列个性化模型与联合序列影像组学标签更好。单层平扫序列影像组学标签在训练组和验证组中诊断效能均较好,相对简单且无需注射对比剂,在日常工作中易操作实行,可作为生物标志物方便预测 AP 进展。

本研究的局限性:①胰腺周围形态不规则难以准确勾画 ROI,本研究提取的影像组学特征都是基于病变胰腺最大层面的胰腺前方脂肪间隙的二维图像特征,对整个胰腺周围脂肪间隙的 CT 图像进行三维图像特征提取,可能更好反映病变的异质性;②采用回顾性研究,样本可能存在选择偏倚;③样本数还不够大且为单中心研究,还需多中心研究进行验证;④手动勾画 ROI 及评判影像特征受个人主观因素影响。

综上所述,平扫、联合序列影像组学标签及平扫、联合序列个性化模型预测早期 AP 病情进展具有较高的价值,明显优于临床模型,均具有较好的临床收益。平扫序列影像组学标签简便有效,是有潜在的应用前景生物标志物。

参考文献:

- Petrov MS, Yadav D. Global epidemiology and holistic prevention of pancreatitis[J]. Nature Reviews, 2019, 16(3): 175-184. DOI: 10.1038/s41575-018-0087-5.
- 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·沈阳)[J].中华消化杂志, 2019, 39(11): 721-730. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5256.2019.12.013.
- Lee P, Papachristou G. New insights into acute pancreatitis[J]. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 2019, 16(8): 479-496. DOI: 10.1038/s41575-019-0158-2.
- Cho JH, Kim TN, Chung HH, et al. Comparison of scoring systems in predicting the severity of acute pancreatitis[J]. World J Gastroenterol, 2015, 21(8): 2387-2394. DOI: 10.3748/wjg.v21.i8.2387.

- [5] 方旭,边云,王莉,等.胰腺影像学检查在临床决策中的意义及鉴别诊断[J].中华消化外科杂志,2020,19(4):449-454.DOI:10.3760/cma.j.cn115610-20200409-00241.
- [6] Christopher F,Orysya S,Daniel FF,et al.CT imaging,classification, and complications of acute pancreatitis[J].Abdominal Radiology,2020,45(5):1243-1252.DOI:10.1007/s00261-019-02236-4.
- [7] Lankisch PG,Struckmann K,Lehnick D.Presence and extent of extrapancreatic fluid collections are indicators of severe acute pancreatitis[J].International Journal of Pancreatology,1999,26(3):131-136.DOI:10.1385/IJGC:26:3:131.
- [8] Meyrignac O,Lagarde S,Bourret B,et al.Acute pancreatitis:extrapancreatic necrosis volume as early predictor of severity[J].Radiology,2015,276(1):119-128.DOI:10.1148/radiol.15141494.
- [9] Porter KK,Zaheer A,Kamel IR,et al.ACR appropriateness criteria acute pancreatitis[J].J Am College Radiology,2019,16(11):316-330.DOI:10.1016/j.jacr.2019.05.017.
- [10] Gillies RJ,Kinahan PE,Hricak H.Radiomics: images are more than pictures,they are data[J].Radiology,2016,278(2):563-577.DOI:10.1148/radiol.2015151169.
- [11] 杨采薇,蒋涵羽,刘曦娇,等.影像组学在胰腺肿瘤病变影像学评估中的研究进展[J].放射学实践,2019,34(09):963-968.DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.09.006.
- [12] Lin Q,JI XF,Chen Y,et al.Radiomics model of contrast-enhanced MRI for early prediction of acute pancreatitis severity[J].J Magn Reson Imaging,2020,51(2):397-406.DOI:10.1002/jmri.26798.
- [13] Chen Y,Chen TW,Wu CQ,et al.Radiomics model of contrast-enhanced computed tomography for predicting the recurrence of acute pancreatitis[J].Eur Radiology,2019,29(8):4408-4417.DOI:10.1007/s00330-018-5824-1.
- [14] Banks PA,Bollen TL,Dervenis C,et al.Acute pancreatitis classification working group.Classification of acute pancreatitis—2012:revision of the Atlanta classification and definitions by international consensus[J].Gut,2013,62(1):102-111.DOI:10.1136/gutjnl-2012-302779.
- [15] 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.DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.07.002.
- [16] 安文慧,何旭昶,杨婧,等.入院早期评分系统对急性胰腺炎严重程度及预后的预测价值[J].临床肝胆病杂志,2020,36(6):1342-1346.DOI:10.3969/j.issn.1001-5256.2020.06.030.
- [17] Kawa S,Mukawa K,Kiyosawa K.Hypocalcemia < 7.5 mg/dL:early predictive marker for multisystem organ failure in severe acute necrotizing pancreatitis. Proposed by the study analyzing post-ERCP pancreatitis [J]. Am J Gastroenterology, 2000, 95(4):1096-1097.DOI:10.1016/S0002-9270(00)00749-8.

(收稿日期:2020-08-25 修回日期:2021-12-15)