

论著·临床研究

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2023.19.015

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20230927.1515.002\(2023-09-27\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20230927.1515.002(2023-09-27))

基于 3.0T 磁共振成像的 2 型糖尿病胰腺纹理分析

廖先国¹,段秀萍²,唐伟²,罗小平³

(1. 重庆医科大学附属第一医院合川医院放射科,重庆 401520;2. 川北医学院附属医院放射科,四川南充 637000;3. 重庆医科大学附属第二医院放射科,重庆 400010)

[摘要] 目的 基于 3.0T 磁共振成像分析 2 型糖尿病(T2DM)和血糖正常患者的胰腺纹理特征差异,探究胰腺纹理特征对 T2DM 的诊断效能和临床应用价值。方法 回顾性分析 2017 年 9 月至 2019 年 9 月在重庆医科大学附属第一医院合川医院接受 3.0T 磁共振成像上腹部检查的 24 例 T2DM 患者(T2DM 组)和 31 例血糖正常肝囊肿或肝血管瘤患者(血糖正常组)的影像学数据和临床基本特征。使用 3D Slicer 内置影像组学(radiomics)板块提取胰腺纹理特征并比较两组间差异,采用最小绝对收缩和选择器运算符(Lasso)回归模型对有差异的胰腺纹理特征做进一步筛选,采用受试者工作特征(ROC)曲线分析各胰腺纹理特征对 T2DM 的诊断效能。结果 共获取 107 个胰腺纹理参数,其中 32 个在 T2DM 组和血糖正常组间比较,差异有统计学意义($P < 0.05$)。使用 Lasso 回归模型进一步筛选得出第 10 百分位数、长游程低灰度优势、灰度不均匀性标准化.1 和小面积低灰度优势 4 个胰腺纹理特征更具有代表意义,其 ROC 曲线下面积(AUC)分别为 0.700、0.663、0.664、0.657,其中第 10 百分位数纹理特征诊断 T2DM 的 AUC 最高。结论 胰腺纹理特征对 T2DM 的诊断具有重要价值,在未来人工智能影像精准化诊断的发展中可能提供重要参考依据。

[关键词] 2 型糖尿病;胰腺;磁共振成像;纹理分析;受试者工作特征曲线**[中图法分类号]** R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2023)19-2965-06

Pancreatic texture analysis of type 2 diabetes mellitus based on 3.0T magnetic resonance imaging

LIAO Xianguo¹, DUAN Xiuping², TANG Wei², LUO Xiaoping³

(1. Department of Radiology, Hechuan Hospital, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 401520, China; 2. Department of Radiology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong, Sichuan 637000, China; 3. Department of Radiology, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China)

[Abstract] **Objective** Based on the difference of pancreatic texture characteristics between type 2 diabetes mellitus (T2DM) and normal blood glucose patients analyzed by 3.0T magnetic resonance imaging (MRI), to explore the diagnostic efficacy and clinical application value of pancreatic texture features in the diagnosis of T2DM. **Methods** The imaging data and clinical basic features of 24 patients with T2DM (the T2DM group) and 31 hepatic cyst or hepatic hemangioma patients with normal blood glucose (the normoglycemic group) who underwent 3.0T MRI upper abdominal examination in this hospital from September 2017 to September 2019 were retrospectively analyzed. 3D Slicer built-in radiomics plate was used to extract pancreatic texture features, and the differences were compared between the two groups. Minimum absolute contraction and selector operator (Lasso) regression model was used to further screen the different pancreatic texture features. Receiver characteristic operation (ROC) curve was used to analyze the diagnostic efficacy of pancreatic texture features in T2DM. **Results** A total of 107 texture parameters were obtained, of which 32 texture parameters had statistically significant differences between the T2DM group and the normoglycemic group ($P < 0.05$). The Lasso regression model was used to further screen and obtain four representative features, the 10th percentile, the long run low gray level emphasis, the normalization of gray inhomogeneity. 1, and small area low gray dominance, which were more representative, and their area under ROC curve (AUC) was 0.700, 0.663, 0.664, 0.657, respectively. Texture features in the 10th percentile had the highest AUC in diagnosing T2DM. **Conclusion** The pancreatic texture features have important value in the diagnosis of T2DM, and may provide important reference for the development of accurate diagnosis of artificial intelligence imaging

in the future.

[Key words] diabetes mellitus type 2; pancreas; magnetic resonance imaging; texture analysis; receiver-operating characteristic curve

纹理分析作为一种计算机图像处理技术,可以从常规扫描的影像图像中提取大量定量参数,而无须添加额外的新扫描序列^[1-3]。并且,易于加入现有的影像诊断流程,不受医生的主观判断、诊断经验等因素影响,能客观地提供肉眼观察以外的更多图像信息细节。目前,较多研究证实纹理分析能提供大量的定量信息,广泛应用于肿瘤鉴别、疗效和预后评估等方面^[4-5]。但在非肿瘤方面的应用相对较少,目前主要用于评估肝纤维化、骨质疏松等^[6-10]。关于胰腺纹理分析的研究报道主要集中于胰腺肿瘤性病变,而在非肿瘤方面的胰腺纹理分析研究报道较少。有学者研究证实,基于腹部多排螺旋计算机体层摄影(MDCT)断层图像上胰腺纹理分析有助于预测 2 型糖尿病(T2DM)^[11-12]。但在 MRI 上分析胰腺纹理特征与 T2DM 相关性的研究报道较少。因此,本研究在 MRI 上提取胰腺纹理特征,挖掘图像内部信息,探讨 T2DM 患者与血糖正常患者胰腺纹理特征的差异。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2017 年 9 月至 2019 年 9 月经重庆医科大学附属第一医院合川医院临床确诊并接受上腹部或全腹部 3.0T MRI 检查的 T2DM 患者。入组标准:(1)已明确诊断或于本次检查住院期间明确诊断 T2DM;(2)无胰腺炎和胰腺占位等器质性病变;(3)年龄≥18 岁;(4)MRI 上 T2 加权成像(T2WI)序列图像胰腺显示清晰,不影响感兴趣区(ROI)勾画。共纳入符合标准的患者 24 例(T2DM 组),男 13 例,女 11

例;年龄 45~85 岁,平均(64.54±12.38)岁。收集同一时间段接受上腹部或全腹部 3.0T MRI 检查的血糖正常且无胰腺相关疾病的 31 例肝囊肿或肝血管瘤患者作为对照(血糖正常组),男 16 例,女 15 例;年龄 31~83 岁,平均(61.42±14.89)岁。两组性别、年龄比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。

1.2 方法

1.2.1 扫描设备和技术参数

扫描机型为美国 GE 公司 3.0T 超导型 MR 扫描仪(型号:Discovery MR750),体部 32 通道全腹部相控阵列表面线圈。患者检查前禁水、禁食 6~8 h。检查时患者取仰卧位,双臂上举,定位中心位于患者剑突下缘,呼吸门控放于腹部呼吸幅度最大处。扫描序列如下:横断面脂肪抑制三维肝脏容积快速采集(3D liver acquisition with volume acceleration, 3D-LAVA)序列 T1 加权成像(T1WI)、横轴面及冠状面单次激发快速自旋回波(single shot fast spin echo, SS-FSE)序列 T2WI、呼吸触发运动矫正 T2 压脂(RTr T2 fs Propeller)序列 T2WI-FS、磁共振胆胰管成像(MRCP)、同相位(in phase)、反相位(out phase)、LAVA-Flex FAT 序列;LAVA C+ 多期动态增强扫描。用美国 Mallinckrodt 公司 MR 专用双管高压注射器经前臂静脉注射 MR 对比剂钆双胺注射液(Gadodiamide, 上海 GE 药业),浓度为 0.5 mmol/mL, 剂量 0.2 mmol/kg, 不超过 20 mL, 注射速率为 3.0 mL/s, 一般在 5~7 s 注射完毕, 最后用 20 mL 生理盐水灌洗。每一时相采集时间 13~18 s。扫描参数见表 1。

表 1 上腹部 3.0T 磁共振扫描序列参数

序列	TR (ms)	TE (ms)	翻转角 (°)	层厚 (mm)	层间距 (mm)	矩阵	FOV(cm)
AX 3D LAVA T1WI	4	2	12	4.2~5.2	2.1~2.6	260×192	(34~40)×(34~40)
AX SSFSE T2WI	1 500~3 500	120	90	4.0~6.0	5.0~8.0	320×256	34×34
COR SSFSE T2WI	1 500~3 500	120	90	4.0~6.0	5.0~7.0	384×256	(34~40)×(34~40)
AX fs T2 RTr propeller	2 609	90~100	110	6.0	7.0	384×384	(34~40)×(34~40)
MRCP	3 500~5 000	800~1 000	90	50.0	50.0	384×256	(34~40)×(34~40)
Inphase	4	2	12	4.2~5.2	2.1~2.6	260×192	(34~40)×(34~40)
Outphase	4	1	12	4.2~5.2	2.1~2.6	260×192	(34~40)×(34~40)
AX lava flex FAT	4	2	12	4.2~5.2	2.1~2.6	260×192	(34~40)×(34~40)
AX 3D lava C+	4	2	12	4.2~5.2	4.2~5.2	224×192	(34~40)×(34~40)

TR:重复时间;TE:回波时间;FOV:视野。

1.2.2 胰腺 ROI 勾画及纹理特征提取

将入组患者平扫 T2WI 图像横断面 dicom 格式图像导入 3D slicer4.11 软件,由一名具有 3 年工作经验的放射科医师在不知道患者临床诊断信息的情况下,

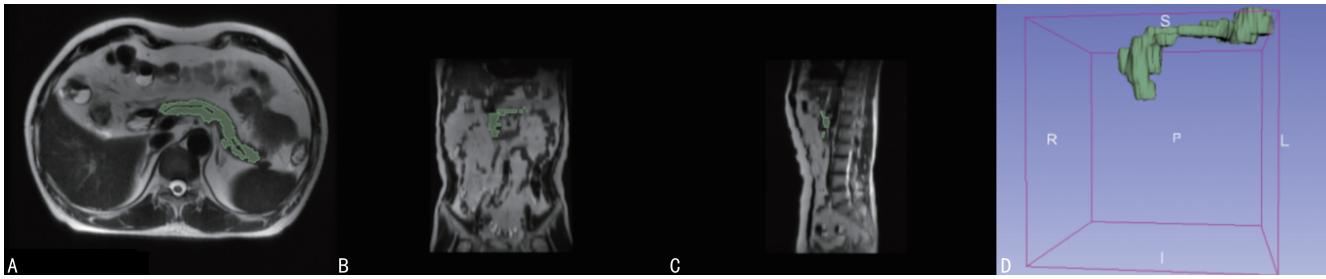
沿胰腺边缘半自动逐层勾画 ROI(图 1),勾画过程中避开周围血管及主胰管。勾画结束后选择 3D slicer 软件内置 radiomics 模块对获得的 ROI 提取纹理特征,包括形状特征、一阶直方图特征和二阶特征

参数。其中形状特征反映 ROI 内胰腺组织的大小和形状,如最大径、表面积、体积等特征;一阶直方图特征描述 MRI 图像 ROI 内胰腺组织的强度信息,如百分位数、标准差、均数、方差等特征;二阶特征参数是从原始图像的小波变换中得到的统计特征和纹理特征。

1.2.3 数据预处理

为了消除指标之间的量纲和取值范围差异的影

响,需要进行标准化处理,将数据按照比例进行缩放,使之落入一个特定的区域,便于进行综合分析。Z-score 标准化是常用的标准方式^[13],本研究选用 Z-score 标准化对数据进行预处理后再进行下一步分析。Z-score 标准化即原始数据距离其均值多少个标准差的量化分数。在均值之上,则得到一个正的量化分数,在均值之下,则得到一个负的量化分数。



A:胰腺横断位 T1WI MR 图;B:胰腺冠状位 T1WI MR 图;C:胰腺矢状位 T1WI MR 图;D:胰腺 3 维重建图。R:右侧;S:上方;L:左侧;I:下方;P:后方。

图 1 在横断位、冠状位和矢状位 T1WI MR 图上勾画胰腺三维图提取胰腺纹理特征示意图

1.2.4 数据降维及特征筛选

先对所有纹理特征进行显著性分析,对 Z-score 标准化过后的数据进行正态性检验,根据数据是否符合正态分布,使用两独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验进行显著性分析,筛选出有差异的胰腺纹理特征。然后应用最小绝对收缩和选择器运算符(the least absolute shrinkage and selection operator, Lasso)再次筛选,对差异有统计学意义的纹理特征参数进行降维,选择出最具有差异性的纹理参数进行下一步分析。

1.3 统计学处理

采用 SPSS25.0 软件进行统计学分析,符合正态分布的计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,否则以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,计数资料以例数表示。采用 χ^2 检验比较 T2DM 组与血糖正常组性别构成差异。对于定量资料,采用 Shapiro-Wilk(S-W)检验数据是否满足正态分布,对符合正态分布的数据组间比较采用两独立样本的 t 检验比较,否则采用 U 检验。采用受试者工作特征(ROC)曲线分析各纹理特征对 T2DM 的诊断效能。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 纹理特征参数的提取

总共获取纹理特征参数 107 个,包括 14 个形状特征、18 个一阶直方图特征及 75 个二阶特征。其中 75 个二阶特征分为 5 类:(1)灰度共生矩阵(gray lev-

el co-occurrence matrix, GLCM)24 个,反映图像灰度关于方向、纹理特征值提取相邻间隔和变化幅度的综合信号;(2)灰度相关矩阵(gray level dependence matrix, GLDM)24 个,反映图像灰度之间的相关性;(3)灰度游程矩阵(gray level run-length matrix, GLRLM)16 个,反映图像中像素点的数量和灰度级别,得到一个长度矩阵;(4)灰度级带矩阵(gray level size zone matrix, GLSZM)16 个,反映所有相邻灰度值相同的像素个数;(5)邻域灰度差分矩阵(neighborhood gray-tone difference matrix, NGTDM)5 个,反映灰度值与周围相邻灰度值的差异。

2.2 数据降维及特征筛选

特征筛选结果显示,两组间有 32 个特征比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 2。对差异有统计学意义的特征使用 R 语言软件 Lasso 回归模型进一步筛选出 4 个更具有代表意义的特征(图 2):第 10 百分位数、长游程低灰度优势、灰度不均匀性标准化. 1 和小面积低灰度优势。

2.3 胰腺纹理特征对 T2DM 的诊断效能

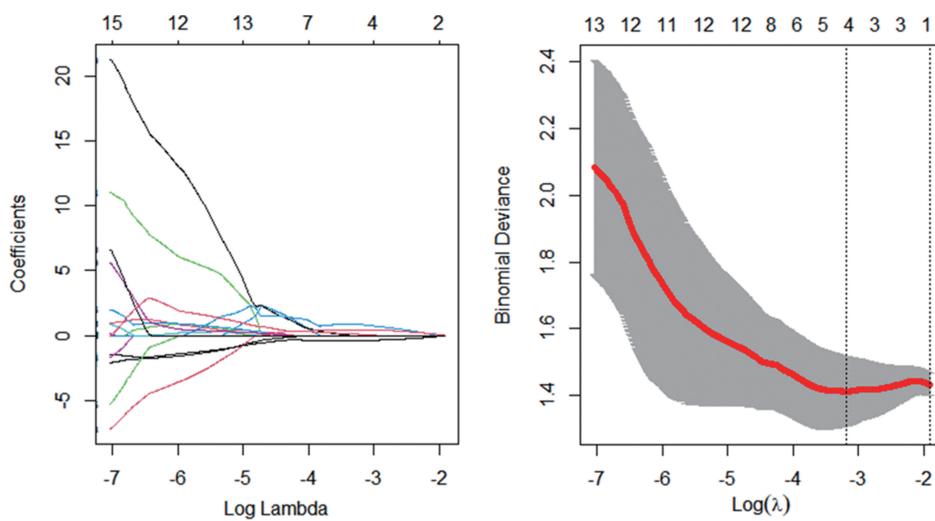
ROC 曲线显示,第 10 百分位数、长游程低灰度优势、灰度不均匀性标准化. 1 和小面积低灰度优势预测 T2DM 的 ROC 曲线下面积(AUC)分别为 0.700、0.663、0.664、0.657,第 10 百分位数的 AUC 最高,对 T2DM 的预测效能优于其他特征,见图 3。

表 2 T2DM 组和血糖正常组 MRI T2WI 纹理参数比较

特征名称	T2DM 组($n=24$)	血糖正常组($n=31$)	t/U	P
第 10 百分位数($\bar{x} \pm s$)	1.04 ± 0.37	0.82 ± 0.37	2.105	0.011
第 90 百分位数($\bar{x} \pm s$)	1.04 ± 0.28	0.87 ± 0.30	2.097	0.022
能量($\bar{x} \pm s$)	0.95 ± 0.51	0.73 ± 0.58	2.128	0.030

续表 2 T2DM 组和血糖正常组 MRI T2WI 纹理参数比较

特征名称	T2DM 组($n=24$)	血糖正常组($n=31$)	t/U	P
均值绝对偏差($\bar{x} \pm s$)	1.01 ± 0.29	0.88 ± 0.34	2.087	0.043
平均数($\bar{x} \pm s$)	1.04 ± 0.29	0.87 ± 0.30	2.144	0.017
中位数($\bar{x} \pm s$)	1.04 ± 0.28	0.88 ± 0.29	2.090	0.021
稳健平均绝对偏差($\bar{x} \pm s$)	0.99 ± 0.28	0.88 ± 0.38	2.103	0.049
均方根($\bar{x} \pm s$)	1.04 ± 0.29	0.87 ± 0.30	2.466	0.021
总能量($\bar{x} \pm s$)	0.95 ± 0.51	0.73 ± 0.58	2.062	0.030
均匀度($\bar{x} \pm s$)	0.86 ± 0.24	1.02 ± 0.31	2.007	0.048
集群阴影 [$M(Q_1, Q_3)$]	$0.28(0.19, 0.77)$	$0.18(0.03, 0.34)$	311.000	0.040
集群趋势 [$M(Q_1, Q_3)$]	$0.81(0.54, 1.02)$	$0.45(0.32, 0.76)$	305.000	0.032
联合能量($\bar{x} \pm s$)	0.72 ± 0.41	0.99 ± 0.50	-2.087	0.043
平方和 [$M(Q_1, Q_3)$]	$1.02(0.77, 1.24)$	$0.81(0.66, 0.97)$	285.000	0.015
灰度方差($\bar{x} \pm s$)	0.92 ± 0.63	0.69 ± 0.57	2.301	0.042
高灰度优势($\bar{x} \pm s$)	0.98 ± 0.60	0.73 ± 0.46	2.301	0.042
低灰度优势($\bar{x} \pm s$)	0.50 ± 0.33	0.88 ± 0.85	-1.940	0.047
小相关性高灰度优势($\bar{x} \pm s$)	0.95 ± 0.71	0.64 ± 0.50	2.501	0.038
灰度不均匀性标准化($\bar{x} \pm s$)	0.86 ± 0.24	1.02 ± 0.31	-1.940	0.047
灰度方差.1($\bar{x} \pm s$)	0.93 ± 0.63	0.69 ± 0.56	2.401	0.042
高灰度游程优势($\bar{x} \pm s$)	0.98 ± 0.60	0.73 ± 0.46	2.001	0.040
长游程低灰度优势 [$M(Q_1, Q_3)$]	$0.36(0.25, 0.52)$	$0.58(0.35, <1.00)$	290.000	0.018
低灰度游程优势($\bar{x} \pm s$)	0.51 ± 0.33	0.89 ± 0.83	2.103	0.049
短游程高灰度优势($\bar{x} \pm s$)	0.98 ± 0.60	0.72 ± 0.46	2.001	0.040
短游程低灰度优势 [$M(Q_1, Q_3)$]	$0.46(0.33, 0.63)$	$0.68(0.43, 1.15)$	293.000	0.020
灰度不均匀性标准化.1($\bar{x} \pm s$)	0.87 ± 0.22	1.02 ± 0.28	-2.110	0.039
灰度方差.2($\bar{x} \pm s$)	0.95 ± 0.64	0.70 ± 0.51	2.310	0.045
高灰度区优势($\bar{x} \pm s$)	0.99 ± 0.59	0.72 ± 0.45	2.001	0.040
大面积高灰度优势 [$M(Q_1, Q_3)$]	$0.01(0, 0.22)$	$0.02(0.01, 0.06)$	306.000	0.033
低灰度区优势($\bar{x} \pm s$)	0.56 ± 0.36	0.93 ± 0.75	-1.940	0.047
小面积高灰度优势($\bar{x} \pm s$)	0.98 ± 0.64	0.69 ± 0.47	2.001	0.040
小面积低灰度优势($\bar{x} \pm s$)	0.62 ± 0.35	0.96 ± 0.66	-1.940	0.047



Coefficients: Lasso 系数; Log Lambda: 置名函数; Binomial Deviance: 二项偏差损失函数; Log(λ): 调优参数的对数函数。

图 2 胰腺纹理特征 Lasso 降维过程图

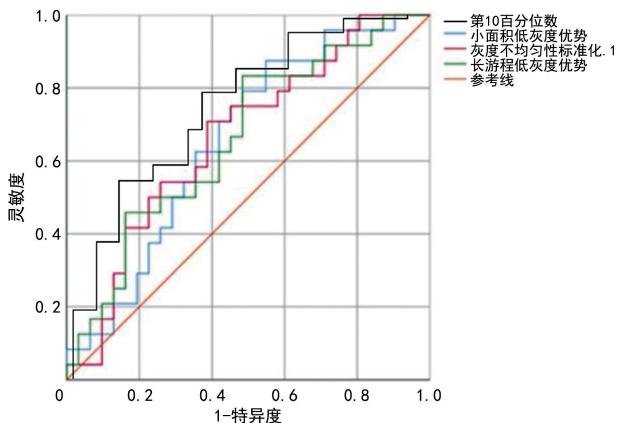


图 3 胰腺纹理特征预测 T2DM 的 ROC 曲线

3 讨 论

纹理分析是指通过图像处理技术提取出一系列纹理参数,获得肉眼不能识别的图像纹理特征量化值,能客观评估器官的异质性或病理改变,并可能反映相关组织的微环境信息,其结果不受评估者的主观意识、工作经验等因素影响^[14-15]。近年来,磁共振纹理分析在临床研究中应用越来越广泛,纹理分析在肿瘤性病变的鉴别诊断、病理亚型分级、临床预后及治疗效果评估等方面的应用均有大量文献报道^[16-18]。这些研究结果说明纹理特征分析在临床研究中较成熟。目前关于 T2DM 的胰腺磁共振纹理分析的文献报道较少,本研究对胰腺整体勾画提取纹理特征,探究胰腺纹理特征在 T2DM 组与血糖正常组的差异。由于随着年龄增长,胰腺实质或间质会发生萎缩或脂肪化^[19];同时,性别对胰腺生理性变化也有一定的影响^[20]。本研究两组患者在年龄和性别构成上无明显差异,减小了年龄、性别等因素对研究结果造成的影响。

T2DM 早期诊断率低,致残率高,患者经济负担重,因此 T2DM 的早期诊断对临床诊疗及患者预后尤为重要^[21]。但是,在日常诊断工作中,T2DM 患者与血糖正常患者的胰腺在肉眼层面很难鉴别。而纹理分析不同于传统的影像诊断,提供了不同于肉眼诊断的精准数字化诊断思路,有希望对 T2DM 进行早期诊断。在既往的研究中,磁共振胰腺纹理分析主要集中于胰腺肿瘤性病变及胰腺炎等方面^[16,18,22-23]。胰腺的胰岛、腺泡细胞和导管网络分布在不同部位的差异性为胰腺的纹理特征研究提供了解剖基础^[24]。T2DM 的胰岛淀粉样蛋白沉积和相应的外分泌腺体纤维化在整个胰腺呈小叶分布,这种小叶纤维化或淀粉样蛋白沉积分布是不均匀的,即胰腺在生理和病理上具有空间异质性^[25]。胰腺局部 ROI 测量可能并不能准确体现出胰腺的病理变化。因此,本研究勾画整个胰腺组织,可以较准确地反映 T2DM 患者的胰腺纹理特征变化。

本研究通过逐层勾画 ROI,范围涵盖了全胰腺,结果表明:32 个纹理特征在两组间比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),其中 21 个特征纹理 T2DM 组参

数值高于血糖正常组,11 个纹理特征 T2DM 组参数低于血糖正常组,提示在图像微观层面 T2DM 组与血糖正常组的胰腺纹理特征有明显差异。此外,笔者通过对纹理特征进行筛选,最后得到 4 个最具有代表性的纹理特征,分别是第 10 百分位数、长游程低灰度优势、灰度不均匀性标准化.1 和小面积低灰度优势。对筛选后纹理特征绘制 ROC 曲线表明,上述 4 个特征在预测性诊断 T2DM 方面具有重要意义,其中第 10 百分位数的 AUC 最高(0.700),提示其诊断效能相对优于其余 3 项纹理特征。

本研究样本量较小,在今后的研究中应进一步加大样本量,使样本特征更接近于总体样本。此外,本研究仅对 T2WI 序列进行了特征提取,未提取其余磁共振序列纹理特征做进一步讨论,在将来的研究中应进一步增加其他序列,对比讨论最优预测序列。综上所述,胰腺纹理分析在 T2DM 的诊断方面具有重要价值,在未来人工智能影像精准化诊断的发展中可能提供重要参考依据。

参 考 文 献

- VARGHESE B A, CEN S Y, HWANG D H, et al. Texture analysis of imaging: what radiologists need to know[J]. Am J Roentgenol, 2019, 212(3):520-528.
- LUBNER M G, SMITH A D, SANDRASEGARAN K, et al. CT texture analysis: definitions, applications, biologic correlates, and challenges [J]. Radiographics, 2017, 37(5):1483-1503.
- CASTELLANO G, BONILHA L, LI L M, et al. Texture analysis of medical images[J]. Clin Radiol, 2004, 59(12):1061-1069.
- 顾潜彪, 谭显政, 胡小丽, 等. CT 影像组学评估胰腺癌生物学行为的价值[J]. 中国医学影像学杂志, 2020, 28(9):673-677.
- 李京, 李阳, 关可欣, 等. 增强 CT 图像纹理分析技术预测肝癌精准放疗的相关性研究[J]. 中国医疗器械信息, 2021, 27(21):49-50.
- DELEU A L, SATHEKGE M J, MAES A, et al. Characterization of FDG PET images using texture analysis in tumors of the gastro-intestinal tract: a review [J]. Biomedicines, 2020, 8(9):304.
- KAWASHIMA Y, FUJITA A, BUCH K, et al. Using texture analysis of head CT images to differentiate osteoporosis from normal bone density[J]. Eur J Radiol, 2019, 116:212-218.
- BAIDYA KAYAL E, KANDASAMY D, KHARE K, et al. Texture analysis for chemotherapy response evaluation in osteosarcoma using MR ima-

- ging[J]. NMR Biomed, 2021, 34(2):e4426.
- [9] LUBNER M G, MALECKI K, KLOKE J, et al. Texture analysis of the liver at MDCT for assessing hepatic fibrosis[J]. Abdom Radiol (NY), 2017, 42(8):2069-2078.
- [10] OH J, LEE J M, PARK J, et al. Hepatocellular carcinoma: texture analysis of preoperative computed tomography images can provide markers of tumor grade and disease-free survival[J]. Korean J Radiol, 2019, 20(4): 569-579.
- [11] JANG S, KIM J H, CHOI S Y, et al. Application of computerized 3D-CT texture analysis of pancreas for the assessment of patients with diabetes[J]. PLoS One, 2020, 15(1):e0227492.
- [12] HAN S, KIM J H, YOO J, et al. Prediction of recurrence after surgery based on preoperative MRI features in patients with pancreatic neuroendocrine tumors[J]. Eur Radiol, 2022, 32(4): 2506-2517.
- [13] 苍宏宇, 谭宗颖. 国内外信息检索研究热点分析: 基于 Z-Score 标准化的词频[J]. 图书馆建设, 2009, 32(1):93-98.
- [14] DE CECCO C N, GANESHAN B, CIOLINA M, et al. Texture analysis as imaging biomarker of tumoral response to neoadjuvant chemoradiotherapy in rectal cancer patients studied with 3-T magnetic resonance[J]. Invest Radiol, 2015, 50(4):239-245.
- [15] EUN N L, KANG D, SON E J, et al. Texture analysis with 3.0-T MRI for association of response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer[J]. Radiology, 2020, 294(1):31-41.
- [16] GUO C G, REN S, CHEN X, et al. Pancreatic neuroendocrine tumor: prediction of the tumor grade using magnetic resonance imaging findings and texture analysis, with 3-T magnetic resonance[J]. Cancer Manag Res, 2019, 11: 1933-1944.
- [17] KULKARNI A, CARRION-MARTINEZ I, JIANG N N, et al. Hypovascular pancreas head adenocarci-
- noma: CT texture analysis for assessment of resection margin status and high-risk features[J]. Eur Radiol, 2020, 30(5):2853-2860.
- [18] LI X, ZHU H, QIAN X, et al. MRI texture analysis for differentiating nonfunctional pancreatic neuroendocrine neoplasms from solid pseudopapillary neoplasms of the pancreas[J]. Acad Radiol, 2020, 27(6):815-823.
- [19] PETROV M S, TAYLOR R. Intra-pancreatic fat deposition: bringing hidden fat to the fore[J]. Nat Rev Gastroenterol Hepatol, 2022, 19(3):153-168.
- [20] LEGATO M J, GELZER A, GOLAND R, et al. Gender-specific care of the patient with diabetes: review and recommendations[J]. Gend Med, 2006, 3(2):131-158.
- [21] CLOETE L. Diabetes mellitus: an overview of the types, symptoms, complications and management[J]. Nurs Stand, 2022, 37(1):61-66.
- [22] SUN K J, KIM J H, YOO J, et al. Assessment of malignant potential in intraductal papillary mucinous neoplasms of the pancreas using MR findings and texture analysis[J]. European Radiology, 2021, 31(5):3394-3404.
- [23] CHOI M H, LEE Y J, YOON S B, et al. MRI of pancreatic ductal adenocarcinoma: texture analysis of T2-weighted images for predicting long-term outcome[J]. Abdom Radiol (NY), 2019, 44(1):122-130.
- [24] VIROSTKO J. Quantitative magnetic resonance imaging of the pancreas of individuals with diabetes [J]. Frontiers Endocrinol (Lausanne), 2020, 11: 592349.
- [25] KO J, SKUDDER-HILL L, TARRANT C, et al. Intra-pancreatic fat deposition as a modifier of the relationship between habitual dietary fat intake and insulin resistance [J]. Clin Nutr, 2021, 40(7):4730-4737.

(收稿日期:2023-02-18 修回日期:2023-06-22)

(编辑:冯甜)