•腹部影像学 •

mDixon Quant 定量评估不同病程 2 型糖尿病患者胰腺脂肪和铁 含量的初步研究

李慧宇,陶征征,马亚杰,张钰玲,季倩

【摘要】 目的:应用 mDixon Quant 定量评估不同病程 2 型糖尿病(T2DM)患者胰腺各部位的脂 肪含量和铁含量。方法:前瞻性收集 2019 年 9 月-2023 年 12 月确诊的糖尿病前期组(n=30)和 T2DM 组(n=63)患者,T2DM 组叉根据患病时间分为≤5 年组(DMa 组,n=31)和>5 年组(DMb 组, n=32);同时纳入40名健康志愿者作为对照组。所有受试者均行腹部 mDixon Quant 序列扫描,获得 胰头、胰体、胰尾的脂肪分数(FF)值和 R2*值。采用单因素方差分析、Kruskal-Wallis 检验比较组间胰 腺各部位 FF 值及 R2* 值的差异,采用 Pearson 或 Spearman、偏相关分析比较各参数值与生化指标的相 关性,以及各参数之间的相关性。采用受试者工作特征曲线(ROC)分析各相关参数鉴别各组的诊断效 能。结果:对照组、前期组、DMa 组内胰腺各部位 FF 值和 R2* 值无显著差异:DMb 组胰头和胰尾、胰体 和胰尾 FF 值和 R2* 值均具有显著差异(P 均< 0.05),且胰尾部 FF 值和 R2* 值均最高。对照组、前期 组、DMa 组与 DMb 组之间胰腺各部位 FF 值和 R2* 值差异均具有统计学意义(P < 0.05),两两比较显 示,除 DMa 组与 DMb 组外,任意两组间胰腺各部位 FF 值和 R2* 值均存在显著差异(P < 0.05)。校正 BMI 后, 胰头、胰体、胰尾 FF 值和 R2* 值与 FPG、2h OGTT、HbA1c 均呈正相关(r 均>0.300, P 均<0.001);胰腺 FF 值和 R2*值呈显著正相关(r=0.675, P<0.001)。ROC 分析结果表明在区分对照组与 前期组、前期组和 T2DM 组时,胰腺各部位 FF 值和 R2*值的诊断效能均较高且没有显著差异。结论: mDixon Quant 可无创、定量评估不同病程 T2DM 患者胰腺脂肪含量和铁含量。糖尿病前期及 T2DM 患者均存在胰腺脂肪含量和铁含量的增加,随着病程进展二者分布不均,胰尾部为著。

【关键词】 磁共振成像; 糖尿病前期; 2 型糖尿病; 脂肪含量; 铁含量

【中图分类号】R445.2;R587.1 【文献标志码】A 【文章编号】1000-0313(2024)11-1494-07 DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.11.011 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



A preliminary study of mDixon Quant quantitatively assessment of pancreatic fat and iron content in patients of type 2 diabetes mellitus with different stages LI Hui-yu, TAO Zheng-zheng, MA Ya-jie, et al. The First Central Clinical School, TianJin Medical University, Tianjin 300070, China

[Abstract] Objective:mDixon Quant was used to quantitatively evaluate the fat content and iron content in different parts of pancreas in patients of type 2 diabetes mellitus (T2DM) with different stages.Methods:Patients in the pre-diabetes group (n=30) and T2DM group (n=63) diagnosed from September 2019 to December 2023 were prospectively collected, and the T2DM group was further divided into the ≤ 5 years group (DMa group, n=31) and the >5 years group (DMb group, n=32) according to the duration of the disease; 40 healthy volunteers were also included as the control group. All participants underwent abdominal mDixon Quant sequence scanning to obtain fat fraction (FF) and R2* values of pancreatic head, body and tail. One-way analysis of variance (ANOVA) and Kruskal-Wallis were used to compare the differences of FF and R2* values in different parts of pancreates as between groups, Pearson or Spearman and partial correlation analysis was used to compare the correlation between each parameter and biochemical indicators, as well as the correlation between each parameter. The diagnostic efficacy of each relevant parameter to identify each group was analyzed using

基金项目:天津市医学重点学科(专科)建设项目(TJYXZDXK-041A);天津市自然科学基金(21JCYBJC01050)

通讯作者:季倩,E-mail:jigiang@alivun.com

receiver operating characteristic (ROC) curve. Results: There were no significant differences in FF and R2* values in each part of pancreas in control group, prediabetes group and DMa group. There were significant differences in the FF and R2* values between the head and tail of pancreas, body and tail of pancreas in DMb group ($P \le 0.05$), and FF and $R2^*$ values in tail of pancreas was the highest. There were statistically significant differences in FF and R2* values at all parts of pancreas between control group, prediabetes group, DMa group and DMb group ($P \le 0.05$). Pairwise comparison showed that there were significant differences in FF and R2* values at all parts of pancreas between any two groups except between the DMa and DMb group ($P \le 0.05$). After correcting for BMI, FF and R2^{*} values of pancreatic head, body and tail were positively correlated with FPG, 2h OGTT and HbA1c (r >0.300, P < 0.001). There was a significant positive correlation between FF and R2^{*} values (r = 0.675, $P \le 0.001$).ROC analysis results showed that the diagnostic efficacy of FF and R2^{*} values in various parts of the pancreas was higher and had no significant difference when differentiating the control group from the earlier group, and the earlier group from the T2DM group.Conclusion: mDixon Quant can be used to quantitatively and noninvasively evaluate pancreatic fat and iron content in patients with different stages of T2DM.Pancreatic fat overload and iron overload were present in both pediabetes and T2DM patients, and were unevenly distributed, especially in the pancreatic tail.

[Key words] Magnetic resonance imaging; Prediabetes; Type 2 diabetes mellitus; Fat content; Iron content

国际糖尿病联合会数据显示,2021年糖尿病人数 超过 5 亿,预计到 2030 年将达到 6.43 亿^[1]。在正常 人群与 2 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM) 患者之间存在一类糖代谢异常人群,即糖尿病前期患 者,包括空腹血糖受损(impaired fasting glucose, IFG) 和糖耐量受损 (impaired glucose tolerance, IGT)。糖尿病前期是糖尿病发展的高危状态,若未及 时进行干预治疗,其进展为 T2DM 的概率高达 70%^[2]。2020版《中国 T2DM 防治指南》提出糖尿病 前期的诊断标准^[3]主要依据空腹血糖(fasting plasma glucose, FPG)、2小时口服葡萄糖耐量实验(2 hour oral glucose tolerance test,2h OGTT)以及糖化血红蛋 白(glycosylated hemoglobin, HbA1c)。但当患者处 于糖尿病前期状态时,其 FPG 和 2h OGTT 具有一定 的不稳定性,增加了单次筛查的假阳性率[4],而糖化血 红蛋白(glycosylated hemoglobin, HbA1c)可能受遗 传、血液和疾病等多种相关因素影响^[5]。有学者认为 胰腺过量的脂肪及铁与 T2DM 的发生发展密切相 关^[6]。胰腺脂肪含量增加会对细胞产生糖脂毒性,并 激活许多有害的级联反应,包括氧化应激、炎症、凋亡、 胰岛灌注不足等,导致β细胞功能损伤和葡萄糖代谢 紊乱^[7]。胰腺铁含量增加会通过氧化应激对胰腺β细 胞造成严重损伤^[8]。因此,糖尿病前期的发生、T2DM 的发展均与胰腺脂肪和铁含量的增加密切相关。

穿刺活检是定量胰腺脂肪及铁含量的"金标准", 但其具有侵入性、可重复性差,并存在一定的难度和风险,难以广泛应用。mDioxn Quant 技术一次屏气可 采集 6 个不同 TE 时间的回波信号,通过脂肪分数(fat fraction,FF)图和 R2*图可以无创评估活体组织有无 脂肪浸润和铁过载并对二者进行量化,准确率较 高^[9,10]。但目前关于糖尿病前期胰腺脂肪和铁含量变 化、不同病程 T2DM 患者胰腺各部位脂肪和铁含量的 评估鲜有报道。因此,本研究拟应用 mDixon Quant 技术定量评估对照组、糖尿病前期组及 T2DM 组患者 的胰腺脂肪含量和铁含量,并评估其临床应用价值。

材料与方法

1.一般资料

本研究前瞻性收集 2019 年 9 月-2023 年 12 月 在本院内分泌科确诊的糖尿病前期(包含 IFG 和 IGT) 患者 30 例(男 13 例, 女 17 例), T2DM 患者 63 例(男 24 例,女 39 例),T2DM 组根据患病时间[11]分 为≤5年组(DMa组,31例,男12例,女19例)和>5 年组(DMb组,32例,男13例,女19例),同时纳入年 龄、性别相匹配的40名健康志愿者作为对照组(男19 例,女 21 例)。纳入标准:①年龄 20~65 周岁;②所有 患者均符合 2020 版《中国 T2DM 防治指南》提出的诊 断标准[3];③健康志愿者无糖尿病、高血压、慢性胰腺 炎等病史,且近一年血糖检查正常;④MRI图像质量 良好。排除标准:①其它类型的糖尿病患者;②合并胰 腺炎、胰腺癌、胰腺脂肪瘤等可导致胰腺实质脂肪含量 增加的疾病;③合并地中海贫血、血色病、反复输血治 疗史等可导致胰腺铁过载的疾病。本研究通过天津市 第一中心医院伦理审查(伦理批号 2017N030KY)。所 有受试者在参与研究前均签署知情同意书,并配合完成影像检查。MRI检查前/后一周内采集空腹静脉血,检测血清肌酐(serum creatinine, Scr)、FPG、2hOGTT、HbA1c、甘油三酯(triglyceride, TG)、胆固醇(cholesterol, CHOL)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)。记录受试者的身高(H,单位:cm)和体重(W,单位:kg),按以下公式计算身体质量指数(body mass index, BMI), BMI=W/H²。

2.MR 设备及参数

采用 Philips Ingenia 3.0T 超导型 MRI 扫描仪, 32 通道相控阵体线圈。所有受检者取仰卧位,头先 进,检查前进行呼吸训练,呼吸门控放置于腹部呼吸运 动幅度最大处。扫描序列为 mDixon Quant,梯度回波 序列, 3D 横轴面扫描,呼吸触发。扫描参数:TR 6.0 ms,每个 TR 采集 6 个回波,TE 11.04 ms,余回波 间隔 0.8 ms,层厚 6 mm,激励次数(NSA)1,体素大小 3 mm \times 3 mm \times 6 mm,视野(FOV) 200 mm \times 400 mm \times 105 mm。

3.数据测量

MRI 扫描结束后,将原始图像传输至 Philips ISP 工作站,分析得到水图、FF 图及 R2*图,并手动生成 伪彩图。由两名分别具有 2 年和 10 年工作经验的腹 部放射学医师于水图绘制感兴趣区(region of interest,ROI),ROI 放置于胰头、胰体、胰尾部,在避开周 围大血管和胰管的情况下,确保 ROI 绘制面积尽可能 大,并将该 ROI 复制黏贴于同层 FF 图和 R2*图,得 到 FF 值和 R2*值(图 1)。每个部位测量 3 次,取平均 值。对两位观察者测量的数据进行一致性检验,在一 致性良好的前提下,取两位观察者测量的平均值作为 最终结果。

4.统计学分析

采用 SPSS 25.0(IBM,美国)、MedCalc 19.8(比利时)进行统计学分析。符合正态分布的连续性资料采用均数±标准差(x±s)表示,非正态分布的计量资料用中位数(四分位数间距)表示。采用卡方检验、单因

素方差分析比较对照组、前期组、DMa 组及 DMb 组患 者间一般临床资料的差异。采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)比较两名医师所测 参数的一致性,ICC<0.4 为一致性差,0.4≤ICC≤0.75 为一致性一般,ICC>0.75 为一致性良好。采用单因 素方差分析、Kruskal-Wallis 检验比较对照组、前期 组、DMa组与 DMb组内及四组间胰头、胰体、胰尾 FF 值和 R2* 值的差异,两两比较采用 LSD 检验(方差齐) 或 Games-Howell 检验(方差不齐)。采用 Pearson 或 Spearman 相关分析检测胰头、胰体、胰尾 FF 值和 R2* 值与生化指标之间的相关性,并采用偏相关分析 以排除其它因素的干扰。采用受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析胰腺各 部位 FF 值及 R2* 值对不同病程 T2DM 的诊断效能, 并计算 ROC 曲线下面积(area under curve, AUC),采 用 Delong 检验比较各 AUC 值之间差异。以 P < 0.05为差异具有统计学意义。

结 果

1.组间一般资料比较

四组受试者的体重、BMI、FPG、2h OGTT、 HbA1c差异有统计学意义(P均<0.001)。两两比较显示,与前期组相比,DMa组、DMb组的体重、BMI、 FPG、2h OGTT、HbA1c均明显升高(P均<0.05);与 对照组相比,前期组、DMa组、DMb组的体重、BMI、 FPG、2h OGTT、HbA1c均明显升高(P均<0.05);与 DMa组相比,DMb组的2hOGTT明显升高(P均<0.05);与

2.观察者间一致性分析

两名医师所测胰头、胰体、胰尾 FF 值一致性一般 至良好,其 ICC 值(95% CI)分别为 0.983(0.977~ 0.988)、0.993(0.991~0.995)、0.991(0.988~0.994); 胰头、胰体、胰尾 R2*值一致性良好,其 ICC 值分别为 0.864(0.814~0.902)、0.870(0.822~0.906)、0.902 (0.865~0.929)。

3.组内及组间胰腺各部位 FF 值及 R2* 值比较



图1 胰腺尾部 ROI 放置示意图。a) 水图; b) FF 图; c) R2* 图。

表1 四组之间人口统计学及临床生化指标比较

参数	对照组 (n=40)	前期组 (n=30)	DMa 组 (n=31)	DMb 组 (n=32)	统计量	P 值
年龄/岁	50.85 ± 13.32	49.03 ± 7.44	45.00 ± 13.89	49.47±7.78	1.674	0.176
性别(男/女)	19/21	13/17	12/19	17/15	$\chi^2 = 1.439$	0.696
病程/年	_	_	2.41 ± 1.80	13.25 ± 5.65	103.410	<0.001
身高/cm	170.57 ± 9.95	167.16 ± 8.88	170.38 ± 7.96	170.17 ± 9.28	0.980	0.404
体重/kg	72.01 ± 9.92	70.10 ± 15.40	$82.45 \pm 12.76^{a \# b *}$	$83.49 \pm 15.32^{a*b*}$	8.808	<0.001
$BMI/kg/m^2$	24.39 ± 2.09	24.95 ± 3.67	$28.48 \pm 3.77^{*b#}$	$28.71 \pm 4.01^{a*b#}$	15.208	<0.001
FPG/mmol/L	5.44 ± 0.99	$6.33 \pm 0.36^{a\#}$	$8.54 \pm 2.34^{a * b *}$	$7.54 \pm 1.36^{a * b #}$	30.990	<0.001
2h OGTT/mmol/L	7.11 ± 1.12	$8.86 \pm 0.95^{a^{\#}}$	$13.99 \pm 4.36^{a * b *}$	$10.94 \pm 2.19^{a * c * b \#}$	48.271	<0.001
HbA1c/%	5.38 ± 0.74	$6.48 \pm 0.60^{a*}$	$8.55 \pm 1.78^{a * b *}$	$8.93 \pm 2.38^{a * b *}$	42.487	< 0.001
TG/mmol/L	_	2.03 ± 0.89	2.16 ± 1.34	2.87 ± 2.00	2.880	0.061
CHOL/mmol/L	_	5.04 ± 1.18	5.14 ± 1.40	5.16 ± 1.25	0.086	0.918
LDL-C/mmol/L	_	3.28 ± 0.98	3.54 ± 0.93	3.34 ± 1.12	0.526	0.592
HDL-C/mmol/L	—	1.32 ± 0.24	1.25 ± 0.28	1.25 ± 0.30	0.718	0.491

注:BMI:体重指数;FPG:空腹血糖;2h OGTT:2小时口服葡萄糖耐量实验;HbA1c:糖化血红蛋白;Scr:血清肌酐;TG:甘油三脂;CHOL:总胆固醇;LDL-C:低密度脂蛋白胆固醇;HDL-C:高密度脂蛋白胆固醇;"代表与对照组相比;^b代表与前期组相比;^c代表与 DMa 组相比;[#]表示 P < 0.05; *为 P < 0.001; χ^2 为卡方检验。

组内比较显示:对照组、前期组及 DMa 组胰腺各 部位 FF 值及 R2* 值差异均无统计学意义(P 均> 0.05),DMb 组胰腺各部位 FF 值及 R2* 值差异均具有 统计学意义(P 均<0.05)。两两比较显示,胰头与胰 体、胰头与胰尾 FF 值及 R2* 值差异具有统计学意义 (P 均<0.05),且胰尾部 FF 值及 R2* 值均最高。

组间比较显示:四组间胰头、胰体、胰尾 FF 值及 R2*值差异均具有统计学意义(P 均<0.01),两两比 较显示,对照组分别与前期组、DMa 组、DMb 组之间, 前期组分别与 DMa 组、DMb 组之间的 FF 值及 R2* 值差异均具有统计学意义(P 均<0.05),且四组间 FF 值及 R2*值逐渐增高。其余指标之间差异均无统计 学意义(P 均>0.05)。见表 2,图 2。

4.胰腺各部位 FF 值及 R2* 值与生化指标的相关 性

四组间 BMI 差异具有统计学意义(*P*<0.05)。校 正 BMI 后结果显示,胰头、胰体、胰尾 FF 值和 R2*值 与 FPG、2h OGTT、HbA1c 均呈正相关(*r* 均>0.300, P < 0.001),见表 3 和图 3。胰腺 FF 值与 R2* 值呈显 著正相关(r = 0.675,P < 0.001)。

5.胰腺各部位 FF 值及 R2* 值的诊断效能

区分对照组与前期组时,胰头、胰体、胰尾 FF 值的 AUC 分别为 0.763、0.802、0.849,差异无统计学意义(P>0.05);胰头、胰体、胰尾 R2* 值的 AUC 分别为 0.813、0.859、0.842,差异无统计学意义(P>0.05)。

区分前期组与 T2DM 组时,胰头、胰体、胰尾 FF 值的 AUC 分别为 0.922、0.925、0.908,差异无统计学 意义(P>0.05);胰头、胰体、胰尾 R2* 值的 AUC 分别 为 0.813、0.802、0.833,差异无统计学意义(P>0.05)。 见表 4 和图 4。

讨 论

胰腺脂肪含量和铁含量的异常增加不仅影响机体 糖代谢及胰腺β细胞功能,在糖尿病前期进展为 T2DM过程中也发挥重要作用^[12,13]。有研究指出

表 2 四组内及四组间胰腺各部位 FF 值和 R2* 值比较

分组/参数	胰头	胰体	胰尾	F 值	P 值	
对照组						
FF/%	5.78 ± 1.19	5.73 ± 1.22	5.89 ± 1.24	0.171	0.843	
R2 * / HZ	23.67 ± 4.69	22.72(21.51,27.78)	23.02 ± 5.78	0.279	0.870	
前期组						
FF/ %	7.07 ± 1.23	7.13 ± 1.07	7.53 ± 1.04	1.471	0.235	
R2 * / HZ	29.12(27.94,30.09)	30.07(28.36,30.59)	30.47(28.51,31.50)	5.823	0.054	
DMa 组						
FF/ %	10.20 ± 1.91	11.34(8.19,12.25)	12.39(8.39,13.06)	5.482	0.065	
R2 * / HZ	31.61 ± 3.33	32.43 ± 3.23	32.77 ± 3.29	1.017	0.366	
DMb 组						
FF/ %	10.67 ± 1.99	11.20 ± 1.94	12.61(11.57,13.51)	11.365	0.003	
R2 * / HZ	32.59 ± 3.21	32.93 ± 3.56	34.86(32.94,36.50)	6.725	0.035	
F * 值	76.509	89.757	89.475			
P * 值	<0.01	<0.001	<0.001			
F ⁻ 值	69.116	71.103	77.210			
P ⁻ 值	<0.001	<0.001	<0.001			

注:FF:脂肪分数; R^{2*} :表观自旋-自旋弛豫率;F*值和 P*值、F值和 P值分别表示四组间胰腺各部位 FF 值和 R^{2*} 值比较结果。



图2 四组内和四组间胰腺各部位 FF 值和 R2* 值比较箱式图。a)四组内 胰腺各部位 FF 值比较箱式图:b)四组内胰腺各部位 R2*值比较箱式图: c)四组间胰腺各部位 FF 值比较箱式图;d)四组间胰腺各部位 R2* 值比较 箱式图。* P<0.05,** P<0.01。

T2DM 患者的胰腺组织存在脂肪浸润及铁过载^[14], 目 胰腺脂肪含量和铁含量过高是 T2DM 发展的潜在危 险因素,可以作为预测血糖异常的指标[15]。然而既往 相关研究^[16,17]大多采用 2 点或 3 点 Dixon 技术,且对

组及 DMa 组胰腺各部位脂肪含量并无差异,但 DMb 组存在脂肪的不均分布,且胰尾部脂肪含量增加最明 显。推测这可能与胰腺的解剖位置有关,胰尾部位于

对于胰腺脂肪含量,有研究指

出^[18]T2DM 患者胰腺异位脂肪浸

润以胰腺体部和尾部较为显著。

梁伟强等[16]采用非对称回波三点

法水脂分离技术,发现根据胰腺脂 肪含量可区分 IGT 和 T2DM 患 者。本研究结果显示对照组、前期

表 3 校正 BMI 后胰腺各部位 FF 值及 R2* 值与临床指标的相关性分析

at at the		FPG		2h OGTT		HbA1c		. G	CHOL		HDL-C		LD	L-C
胰腺夸致	r	Р	r	Р	r	Р	r	Р	r	Р	r	Р	r	Р
胰头 FF 值	0.365	<0.001	0.427	<0.001	0.477	<0.001	0.157	0.135	0.134	0,201	-0.026	0.808	8 0.183	0.080
胰体 FF 值	0.442	<0.001	0.471	< 0.001	0.498	<0.001	0.149	0.158	0.117	0.266	-0.026	0.804	4 0.193	0.065
胰尾 FF 值	0.453	<0.001	0.467	< 0.001	0.518	<0.001	0.196	0.061	0.117	0.267	-0.045	0.673	3 0.167	0.111
胰头 R2*值	0.324	<0.001	0.427	< 0.001	0.449	<0.001	0.153	0.146	0.054	0.609	0.042	0.693	3 0.140	0.184
胰体 R2*值	0.336	<0.001	0.437	< 0.001	0.442	< 0.001	0.083	0.432	0.040	0.702	-0.018	0.865	5 0.105	0.321
_胰尾 R2*值	0.361	<0.001	0.416	<0.001	0.492	<0.001	0.156	0,136	0.010	0.922	-0.002	0.983	3 0.099	0.350
				表	4 胰腺名	S部位 FF	值及 R2	:* 值的诊	断效能					
部估/ 糸 粉		敏感度		特异度	度红众恋		阳性预测值		阴性预测值		AUC		裁断估	
中位/参数		/ 0	%	/ %	小百千	/.	%	/%		(95	5%CI)		截明祖	1 1
区分对照组与前	前期组													
胰头														
FF		50.	.00	93.33	0.815	84	.90	71.3	3	0.763(0.	646~0.8	56)	5.54%	< 0
R2 *		75.	.00	86.67	0.886	80	.84	82.2	2.21 0.813(0.		$702 \sim 0.8$	97)	25.80HZ	< 0.
胰体														
FF		77.	50	70.00	0.861	65	.96	80.5	7	0.802(0.	690~0.8	88)	6.50%	< 0.
R2 *		72.	50	100.00	0.923	100	00.00	82.8	9	0.859(0.	$755 \sim 0.9$	31)	25.40HZ	< 0.
胰尾														
FF		87.	.50	70.00	0.889	68	.63	88.1	8	0.849(0.	744~0.9	24)	7.16%	< 0.
R2 *		75.	.00	86.67	0.904	80	.84	82.2	1	0.842(0.	735~0.9	18)	27.48HZ	< 0.
区分前期组与〔	Γ2DM ≸	组												
胰头														
FF		93.	.33	76.19	0.853	89	.16	84.4	7	0.922(0.	847~0.9	67)	8.99%	< 0.
R2 *		86.	.67	76.19	0.572	88	.43	73.1	3	0.813(0.	719~0.8	86)	30.82HZ	<0.
胰体														
FF		93.	.33	82.54	0.840	91	.81	85.4	9	0.925(0.	851~0.9	69)	8.16%	< 0.
R2*		90.	.00	74.60	0.522	88	.15	78.0	3	0.802(0.	706~0.8	77)	30.98HZ	< 0.
胰尾														
FF		100	.00	79.37	0.777	91	.05	100.0	00	0.908(0.	830~0.9	58)	9.87%	< 0.
R2 *		100	.00	65.08	0.635	85	.74	100.00		0.833(0.	$741 \sim 0.9$	02)	32.46HZ	< 0.



图 3 胰腺各部位 FF 值和 R2* 值与生化指标的相关性分析散点图。a) FF 值与 FBG 的相关性;b) R2* 值与 FBG 的相关性;c) FF 值与 2h OGTT 的相关性;d) R2* 值与 2h OGTT 的相关性;e) FF 值与 HbA1c 的相关性;f) R2* 值与 HbA1c 的相关性。

腹膜内,而胰腺其他部位位于腹膜后,当脂肪含量增加 时,胰尾部更易受到脂肪细胞的浸润^[19]。组间比较显 示,前期组胰腺各部位脂肪含量均高于对照组,低于 DMa 组和 DMb 组;提示糖尿病前期胰腺脂肪含量即 明显增高。胰腺少量的脂肪浸润便可产生较多的脂毒 性物质,损害β细胞功能并影响胰岛素分泌,降低组织 对胰岛素的敏感性^[20]。而胰岛素的减少不仅使体内 血糖升高,还会促进脂肪细胞分解,导致游离脂肪酸增 加,进一步损害β细胞功能及加重胰岛素抵抗^[21]。因 此,糖尿病前期进展为T2DM 期与胰腺脂肪含量的增 加密切相关。

对于胰腺铁含量,本研究结果与胰腺脂肪含量类 似,即对照组、前期组、DMa组胰腺各部位铁含量并无 差异,但 DMb组胰尾部 R2*值较胰头、胰体明显升 高;前期组胰腺铁含量即明显增高,但仍低于 DMa



图 4 胰腺各部位 FF 值及 R2* 值的 ROC 曲线分析。a)区分对照组与前期 组;b)区分前期组与 T2DM 组。

组。部分结果与李淑豪等^[14]提出的 T2DM 患者存在 胰腺铁过载一致。铁是一种强氧化剂,可促进活性氧 自由基的产生,从而影响胰岛素分泌及葡萄糖代谢。 而胰岛β细胞中的转运铁蛋白表达水平较高,更易积 累铁,过多的铁会诱导氧化应激及诱发β细胞凋亡,增 加胰岛素抵抗的风险^[22]。由于胰腺β细胞主要分布 于胰尾部,其抗氧化酶含量较低,易受到氧化应激的影 响,因此当胰腺铁含量增加时更易引起β细胞的功能 障碍甚至铁死亡^[20]。此外,Alessia等^[23]对糖耐量受 损人群进行了铁螯合治疗后发现,治疗后患者血糖水 平及胰腺铁含量均减低,这也间接反映血糖水平与胰 岛β细胞铁含量密切相关。

6点 mDixon Quant 技术克服了 T2*水脂校正不 足的问题,减小了铁过载对脂肪定量的影响^[10],且该

> 技术空间分辨力较高,测量结果可 信度高,更适合量化胰腺等较小器 官的脂肪含量和铁含量^[24]。本研 究相关性分析结果显示胰腺 FF 与 R2*值呈显著正相关,提示在 T2DM 的不同发展阶段,胰腺脂 肪含量的增加往往伴随铁含量的 升高。胰腺脂肪和体内葡萄糖含 量增加会导致细胞内铁代谢失衡, 沉积的铁会损害细胞线粒体功能、 影响胰岛素原加工,从而降低胰岛 素浓度和分泌^[8,24]。而铁含量的 异常增加也会引发包含脂联素在 内的各种脂肪因子含量改变,最终

又导致脂质代谢紊乱^[8]。同时,校正 BMI 后发现胰腺 FF 值和 R2* 值与 FPG、2h OGTT、HbA1c 均呈正相 关,与既往研究^[16,17]一致,证实随着 T2DM 病程进展, 胰腺的脂肪含量及铁含量随之改变,并可通过 mDixon Quant 技术进行准确定量。

ROC 结果显示胰腺各部位脂肪含量和铁含量在 区分健康人与糖尿病前期、糖尿病前期与 T2DM 患者 之间的诊断效能均较高,且没有显著差异。由于本研 究前期组样本量较少,且未区分 IFG 和 IGT 患者,因 此该结论尚有待更多研究证实。

本研究存在一定的局限性:本研究是初步探索性 横断面研究,糖尿病前期患者样本量较小,且未区分 IFG和IGT两个不同的亚组;T2DM组也未对其进行 更加细致的分层研究;缺乏长期随访数据。后期拟纳 入更多病例,并对其进行定期随访,以进一步验证和丰 富笔者的结果。临床缺乏铁蛋白及β细胞功能的数 据,未来的研究中拟纳入。本研究结论有待更多、更大 样本的研究证实。

总之,应用 mDixon Quant 可以无创、定量评估不同病程 T2DM 患者胰腺脂肪含量和铁含量,糖尿病前期及 T2DM 患者胰腺脂肪含量和铁含量均增加,且随着病程进展以胰尾部增加为著。这为临床实践中对于糖尿病前期及 T2DM 的诊断和管理提供了新的方向,对于糖尿病前期患者建议监测胰腺脂肪含量和铁含量,及时采取相关治疗,或可降低其进展为 T2DM 的风险。

参考文献:

- [1] Herman WH.Prediabetes diagnosis and management[J].JAMA, 2023,329(14):1157.
- [2] Cao Z, Li W, Wen CP, et al. Risk of death associated with reversion from prediabetes to normoglycemia and the role of modifiable risk factors[J].JAMA Network Open, 2023, 6(3): e234989.
- [3] 中华医学会糖尿病学分会.中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版) [J]. 中华糖尿病杂志,2021,13(4):315-409.
- [4] Satman I. Prediabetes and diabetes: Main characteristics [J]. Pol Arch Int Med, 2023, 133(3):16469.
- [5] Echouffo Tcheugui JB, Perreault L, Ji L, et al. Diagnosis and management of prediabetes A review[J].JAMA,2023,329(14): 1206-1216.
- [6] Chin SO, Hwang Y, Cho I.et al.Pancreatic fat accumulation is associated with decreased β-cell function and deterioration in glucose tolerance in Korean adults[J].Diabetes Metab Res Rev, 2021, 37 (7):e3425.
- [7] Sarma MK, Saucedo A, Darwin CH, et al. Noninvasive assessment of abdominal adipose tissues and quantification of hepatic and pancreatic fat fractions in type 2 diabetes mellitus[J]. Magn Reson Imaging, 2020, 72:95-102.
- [8] Díaz-López A, Iglesias-Vázquez L, Pallejà-Millán M, et al. Association between iron status and incident type 2 diabetes: A popula-

tion-based cohort study[J].Nutrients,2020,12(11):3249.

- [9] 蔡齐芳,金科,向永华,等.六回波 Dixon 序列对非酒精性脂肪性肝病儿童肝脏和胰腺脂肪含量的定量研究 [J].放射学实践,2023, 38(4):497-502.
- Henninger B,Zoller H,Kannengiesser S, et al.3D multiecho Dixon for the evaluation of hepatic iron and fat in a clinical setting: Multiecho Dixon for hepatic iron/fat[J].J Magn Reson Imaging, 2017,46(3):793-800.
- [11] Lu T, Wang Y, Dou T, et al. Pancreatic fat content is associated with β-cell function and insulin resistance in Chinese type 2 diabetes subjects[J].Endocr J, 2019, 66(3):265-270.
- [12] Shur J,Kannengiesser SAR,Menezes R,et al.Glucose dysregulation in patients with iron overload: is there a relationship with quantitative pancreas and liver iron and fat content measured by MRI? [J].Eur Radiol,2020,30(3):1616-1623.
- [13] 张钰玲,季倩.MRI评价糖尿病患者胰腺改变的研究进展[J].放射学实践,2023,38(11):1472-1475.
- [14] 李淑豪,喻思思,邹倩,等.MRI IDEAL-IQ 序列评估 2 型糖尿病 患者胰腺铁过载及脂肪化程度的应用价值[J].临床放射学杂志, 2019,38(6):1042-1047.
- [15] Wen Y, Chen C, Kong X, et al. Pancreatic fat infiltration, β-cell function and insulin resistance: A study of the young patients with obesity[J].Diabetes Res Clin Pract, 2022, 187:109860.
- [16] 梁伟强,彭振鹏,高进云,等.磁共振胰脂肪定量测定预测糖耐量异常及2型糖尿病[J].中山大学学报(医学科学版),2021,42 (2):250-256.
- [17] 俞顺, 吕洁勤, 马明平, 等. MR Dixon 技术定量分析胰腺脂肪沉积及其对 2型糖尿病的影响[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36 (12):1891-1895.
- [18] Story JD, Ghahremani S, Kafali SG, et al. Using Free-Breathing MRI to quantify pancreatic fat and investigate spatial heterogeneity in children[J].J Magn Reson Imaging, 2023, 57(2):508-518.
- [19] Lin D, Wang Z, Li H, et al. Automated measurement of pancreatic fat deposition on Dixon MRI using nnU-Net [J].J Magn Reson Imaging, 2023, 57(1): 296-307.
- [20] Wagner R, Eckstein SS, Yamazaki H, et al. Metabolic implications of pancreatic fat accumulation [J]. Nat Rev Endocrinol, 2022,18(1):43-54.
- [21] Heni M, Machann J, Staiger H, et al. Pancreatic fat is negatively associated with insulin secretion in individuals with impaired fasting glucose and/or impaired glucose tolerance: a nuclear magnetic resonance study[J].Diabetes Metab Res Rev, 2010, 26(3): 200-205.
- [22] Liu J, Li Q, Yang Y, et al. Iron metabolism and type 2 diabetes mellitus: A meta-analysis and systematic review [J]. J Diabetes Invest, 2020, 11(4):946-955.
- [23] Desouza SV, Yoon HD, Singh RG, et al. Quantitative determination of pancreas size using anatomical landmarks and its clinical relevance: A systematic literature review[J].Clin Anat, 2018, 31 (6):913-926.
- [24] Grimm A, Meyer H, Nickel MD, et al. Evaluation of 2-point, 3point, and 6-point Dixon magnetic resonance imaging with flexible echo timing for muscle fat quantification[J]. Eur J Radiol, 2018,103:57-64.