

# MRI 评价糖尿病患者胰腺改变的研究进展

张钰玲, 季倩

**【摘要】** 糖尿病是一种进行性代谢疾病,全球发病率极高。胰腺在糖尿病发病机制中居中心地位,在发病的不同时期,内、外分泌胰腺会出现一系列病理性改变,影像学方法已应用于评估糖尿病患者的胰腺变化。本文对 MRI 评价糖尿病患者胰腺形态学改变、脂肪沉积、血流量、炎症/纤维化、硬度等方面的研究进展进行综述,以期对早期诊断、监测糖尿病提供信息。

**【关键词】** 磁共振成像;糖尿病;胰腺;脂肪沉积;血流量

**【中图分类号】** R445.2;R587.1 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)11-1472-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.11.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



糖尿病(diabetes mellitus, DM)是一种以慢性高血糖为特征的进行性代谢疾病,具有病程长、并发症多等特点,血糖的持续升高将导致多器官多系统出现病理性改变,如果无法快速控制高血糖,患者有可能会永久性地失去分泌胰岛素的能力<sup>[1]</sup>。目前全世界有超过 10 亿人患有 DM,尤其是 2 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM),已成为现代医学的一项严峻挑战,极大地威胁着人们的生命安全。胰腺在 DM 发病机制中居中心地位,在发病的不同时期,胰腺内、外分泌部会发生不同程度的变化<sup>[2]</sup>,包括形态<sup>[3]</sup>、脂肪沉积<sup>[4]</sup>、炎症<sup>[5]</sup>、血流量<sup>[6]</sup>等。目前 DM 的诊断和监测多依赖于实验室检测,但其易受诸多因素影响;高血糖钳夹实验虽是“金标准”却无法反映胰腺功能改变;口服糖耐量实验是常用方法但无法发现早期胰岛 β 细胞及胰腺实质的改变,甚至部分患者确诊时已出现不可逆转的并发症<sup>[7]</sup>,因此早期识别、长期监测 DM 进展意义重大。近年来,磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)技术的进步使无创实时监测 DM 成为可能,已应用于表征 DM 患者胰腺实质及功能改变<sup>[8]</sup>。既往研究主要集中在 DM 患者胰腺的形态学改变、脂肪沉积、血流量、炎症/纤维化、硬度等五方面,本文就以上方面进行综述,旨在为诊断、监测 DM 提供信息。

## 胰腺形态学改变

超声(ultrasound, US)评估胰腺组织时易受肠道气体干扰;计算机断层扫描(computed tomography, CT)测量结果可靠性优于 US,但辐射问题不可忽视;

MRI 无电离辐射,软组织分辨力高,描绘胰腺与邻近器官的边界有明显优势,适用于量化胰腺大小及轮廓,可重复性高。

胰腺形态在正常人群中并不是一成不变的,随年龄增长会有锯齿状的边界<sup>[9]</sup>。文献报道成人胰腺体积(pancreas volume, PV)的正常范围是 71~83 cm<sup>3</sup>,男女之间无显著差异<sup>[8]</sup>。30~39 岁时 PV 达峰值,此后随年龄增长胰腺逐渐萎缩,尤其是 60 岁后<sup>[10]</sup>。DM 患者也存在胰腺形态学变化<sup>[2,11,12]</sup>。胰岛仅占 PV 的 1%~2%,但 DM 患者 PV 减小通常是比较明显的,且在 1 型糖尿病(type 1 diabetes mellitus, T1DM)和 T2DM 患者中都观察到胰腺外分泌功能受损,即 PV 的减小主要是外分泌部减小所致<sup>[9]</sup>。对于 T1DM 患者,研究一致认为胰腺呈萎缩趋势,但萎缩的程度、时间说法不一:有研究提出 PV 比正常人减小约 19%~50%<sup>[2]</sup>;随访研究发现 T1DM 风险的个体胰腺会有所减小<sup>[11]</sup>,确诊后随着 T1DM 病程延长, PV 逐渐减小<sup>[13]</sup>。与成人不同的是,儿童 T1DM 患者 PV 的减小与病程并不相关<sup>[12]</sup>,或许是 PV 的减小已被器官的生理性生长所抵消。与上述观点均不同的是,一项针对儿童的横断面研究提到大部分 T1DM 患者胰腺萎缩发生在临床发作之前,并且外源性胰岛素给药可减缓发作后的 PV 减小<sup>[13]</sup>。对于 T2DM 患者,不同研究 PV 减小程度不同,约为 7%~33%<sup>[9,14]</sup>。多数研究认为 T2DM 状态造成了胰腺形态的改变,因为在测量中发现通过低能量饮食、减重等方式使胰岛素分泌能力正常后, PV 是可以增加的,胰腺边缘的不规则也可有一定程度的恢复<sup>[15]</sup>。此外,有研究对 T1DM 和 T2DM 患者的 PV 进行了比较:一项荟萃分析显示 T1DM 患者 PV 小于 T2DM 患者,可能是由于病理生理的差异所致<sup>[16]</sup>,如胰岛素缺乏的程度,外分泌胰腺的免疫破坏,胰腺内脂肪沉积等。Desouza 等<sup>[17]</sup>认为

作者单位:300070 天津,天津医科大学一中心临床学院(张钰玲);300192 天津,天津市第一中心医院放射科(季倩)

作者简介:张钰玲(1996—),女,河南平顶山人,硕士研究生,主要从事腹部影像学研究。

通讯作者:季倩, E-mail: jiqianq@aliyun.com

T2DM 患者的胰腺大小介于 T1DM 患者和正常人之间。除病理生理因素外,患者自身、技术、评定标准等因素的不统一也可能会使研究结果存在差异。

### 胰腺脂肪沉积

胰腺对于脂肪的异位沉积非常敏感<sup>[18]</sup>,沉积的脂肪可分布于腺泡、胰岛细胞内外间质及胰腺小叶间或小叶内<sup>[19]</sup>。脂质异位沉积后,胰岛素抵抗通路被激活,出现胰岛素抵抗,最终进展为 T2DM<sup>[4,20]</sup>。活检只能在尸检和胰腺手术中进行,侵入性强、采样误差大,不能广泛应用于临床。MRI 技术可实现无创定量检测机体的脂肪含量,其中磁共振波谱(magnetic resonance spectroscopy, MRS)<sup>[21]</sup>被认为是体内脂肪和代谢物定量的“金标准”,它通过脂肪峰下面积与水峰和脂肪峰面积之和的比率计算后得到该组织的脂肪含量,测得的脂质成分与组织学脂肪变性高度相关,但是 MRS 对磁场均匀度要求高、耗时长,多应用于科研。

目前 MR 水脂分离技术的应用日趋成熟,各厂家命名不同,且各有优势。Philips 公司的 Dixon 技术利用水和脂肪中质子之间的化学位移差异来分离两者,多回波 Dixon 克服了  $T_2^*$  水脂校正不足的问题,减小了铁沉积对脂肪定量的影响,检测胰腺早期脂肪沉积时具有很高的准确性<sup>[22]</sup>;6 点 Dixon 更适用于量化胰腺等小器官的脂肪含量<sup>[18]</sup>。GE 公司的 IDEAL-IQ (iterative decomposition of water and fat with echo asymmetry and least-square estimation-iron quantitation) 是一种快速屏气技术,根据多回波信号曲线可以消除脂肪定量过程中组织  $T_2^*$  的干扰,可准确得到组织的脂肪分数(fat fraction, FF)<sup>[23]</sup>,并且比 MRS 更适合用于胰腺等较小器官的脂肪定量。Siemens 公司的 LiverLab 用于测量胰腺脂肪含量(pancreatic fat content, PFC)的研究极少。另外,关于感兴趣区(region of interest, ROI)的放置,Skudder-Hill 等<sup>[24]</sup>提出 MR-opsy(放置单个 ROI)能有效避开血管等重要结构,观察者间一致性及结果准确性均较高;但 Chen 等<sup>[25]</sup>认为对整个胰腺进行间隔测量更能够真实地反映 PFC。就目前研究来看,多数研究更认同前者。

关于 DM 患者 PFC 的研究多集中于 T2DM 患者,既往报道结论不一。首先,胰腺内脂肪分布是否均质是个极具争议的话题;Li 等<sup>[26]</sup>发现胰腺头、体、尾部的 FF 值有显著差异;Nadarajah 等<sup>[27]</sup>认为胰尾的脂肪沉积最明显,推测可能与  $\beta$  细胞的不均匀分布以及胰尾的  $\beta$  细胞密度较高有关。但李淑豪等<sup>[28]</sup>发现 T2DM 与正常组胰腺各部位 FF 值均无差异。产生上述分歧的原因可能与各研究中患者病程、样本量大小、ROI 的选取等不同有关<sup>[29]</sup>。另外,Lin 等<sup>[30]</sup>发现了胰

腺脂肪分布的模式,即随着年龄和肥胖的增加,胰腺脂肪沉积的异质也随之增加,且在年龄较小时脂肪更倾向沉积于胰尾,随后在整个胰腺不均匀分布。但在 T2DM 患者中是否遵循这种模式仍需探讨。其次,关于胰腺脂肪沉积与 T2DM 的关系,研究提出胰腺 FF 值是糖耐量异常的危险因素<sup>[26]</sup>,有胰腺脂肪浸润的人群 T2DM 发病率更高<sup>[31]</sup>。对于 T2DM 患者,PFC 随空腹血糖<sup>[24]</sup>的增加而增加,与  $\beta$  细胞功能障碍和胰岛素抵抗以及年龄<sup>[19]</sup>、性别<sup>[20]</sup>、肥胖正相关,且会随 T2DM 病程进展而增加。Petrov 等<sup>[32]</sup>发现在病程较短的中心性肥胖男性 T2DM 患者中更明显,这些患者在体重减轻后  $\beta$  细胞功能恢复正常,推测与 PFC 下降有关。

### 胰腺血流量评估

内分泌胰腺拥有致密的毛细血管网络,接收的血流量比外分泌胰腺要高得多,胰岛血流通常与血糖水平和胰岛素释放的需求相关,在葡萄糖不耐受和 T2DM 时常会受到干扰<sup>[33]</sup>。实验动物胰腺血流量(pancreas blood flow, PBF)测量的金标准是微球技术,但技术难度高。动态增强 MRI(dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)可评估组织微循环和内皮细胞完整性,评估健康受试者胰腺血流是可行的<sup>[34]</sup>,但其对比剂用量高,尚未普及应用。动脉自旋标记(arterial spin labeling, ASL)通过标记磁化的血液达到示踪剂的效果,可反映整个胰腺的微血管密度及各部位微血管分布差异,但易受呼吸运动等因素的影响,仍需更多改进从而提高图像质量和可重复性<sup>[35]</sup>。体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)对于毛细血管内的微观灌注较敏感,已应用于区分胰腺良恶性病变和测量 DM 动物的 PBF<sup>[34]</sup>,但易受到图像采集和后处理的影响,标准化问题有待解决。血氧水平依赖(blood oxygen level dependent, BOLD)MRI 依赖于氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的顺磁性不同,无需外源性对比剂即可监测血氧水平,能够无创量化葡萄糖刺激期间胰腺血流的氧合变化,但目前研究极少<sup>[36]</sup>,作者发现葡萄糖刺激后,正常人胰岛的氧耗增加,故其认为 BOLD 有潜力无创评估胰岛  $\beta$  细胞功能。

目前国内外关于应用 MRI 评估 DM 患者 PBF 的研究较少且结论不一。一项高血糖钳夹实验<sup>[14]</sup>认为 T1DM 患者与正常人 PBF 无明显差异,高血糖也不会影响 PBF。Sztokowska 等<sup>[37]</sup>认为 DM 肥胖者与糖代谢正常肥胖者之间血流灌注没有差异,但脂肪堆积会使胰腺灌注受损。Yu 等<sup>[38]</sup>则发现 T2DM 患者胰腺内皮细胞通透性增加,血浆容量减少;DM 病史超过

10 年的患者内皮细胞通透性进一步增加。虽然两者均使用 DCE-MRI 排除了技术的差异,但前者均为肥胖人群,而后者研究对象 BMI 均在正常范围内,可见 BMI 及 PFC 对灌注的影响也不应忽略,未来研究中应进一步明确 BMI、PFC 与 PBF 的关系。

### 胰腺炎症、纤维化

病理研究发现,T2DM 患者胰岛内会出现大量炎症性细胞,进而胰岛质量显著减少,胰腺功能障碍<sup>[39]</sup>。扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)能够反映器官内水分子的随机运动,已应用于胰腺炎症、肿瘤<sup>[40]</sup>及健康胰腺,但在 DM 胰腺中的应用有限。目前相关研究结论尚存在争议:Tokunaga 等<sup>[5]</sup>发现暴发性 T1DM 发作后几天,在内、外分泌部中均有大量炎症细胞,患者胰腺所有部位的 ADC 值均降低,提示患者出现了严重的代谢紊乱。侯珺等<sup>[41]</sup>提出 T2DM 患者胰腺 ADC 值与病程呈负相关,原因可能是随病程延长,患者胰腺组织纤维化加重,限制了水分子的扩散,ADC 值降低。但 Sahan 等<sup>[42]</sup>提出 T2DM 患者出现了明显的腺泡萎缩和胰腺纤维化,从而使胰岛减小,胰腺细胞外间隙体积增大,水扩散增加,即 ADC 值增加;且胰腺平均 ADC 值与年龄、糖化血红蛋白水平、病程有显著相关性。此研究与前文结论相悖的原因可能与前者文中部分患者合并胰腺癌有关,胰腺癌对 ADC 值的影响可能混杂其中,进一步的研究应排除胰腺其他疾病的影响。

### 胰腺硬度评估

DM 是胰腺硬度增加的显著相关因素<sup>[43]</sup>,T2DM 患者及动物的胰腺常出现一系列病理性改变,包括萎缩、脂肪颗粒及胰岛内淀粉样物质沉积、胰岛及其周围出现大量细胞外基质,这些都导致胰腺的质地或硬度发生改变。磁共振弹性成像(magnetic resonance elastography, MRE)通过使用多个相位偏移和运动编码梯度生成描绘剪切波运动的图像,计算得出弹性图像,进而定性定量地分析胰腺硬度<sup>[44]</sup>,已应用于慢性胰腺炎<sup>[14]</sup>和健康人群胰腺硬度评估<sup>[45]</sup>。研究发现,正常人群胰腺硬度无差异,但肥胖人群摄入葡萄糖后胰腺硬度增加,可能是由于灌注增加使胰腺饱满等原因;并且吸烟、酗酒会增加胰腺硬度,脂肪沉积则使胰腺硬度降低<sup>[43,45]</sup>。DM 患者胰腺硬度改变方面的研究很少,仅有 Xu 等<sup>[43]</sup>发现 DM 患者胰腺硬度高于对照组。

### 总结与展望

综上所述,DM 是一种严重的、进行性、长期的代

谢性疾病,对社会、个人影响重大,胰腺在 DM 中起关键作用。借助高分辨率 MRI 研究,有助于了解 DM 患者胰腺的形态学、脂肪沉积、血流量、炎症/纤维化及硬度改变,辅助临床诊断和监测 DM 的发生、发展。但 DM 与胰腺改变的因果关系、胰腺改变与  $\beta$  细胞质量或功能之间的关系、T1DM 和 T2DM 患者胰腺改变的机制尚不明晰,脂肪沉积可能的原因也需要进一步的纵向研究证实。同时还需优化 MR 各种功能序列以提高相关研究结果的可靠性和可重复性。此外,影像组学<sup>[9]</sup>和人工智能<sup>[30]</sup>也已逐渐用于胰腺脂肪的测量、DM 的诊断和预测。相信随着 DM 患者胰腺改变机制的深入探索及影像学的进步,并且借助人工智能手段,MRI 有望为临床 DM 的诊治提供更多有价值的信息。

### 参考文献:

- [1] American Diabetes Association. 2. Classification and diagnosis of diabetes; Standards of medical care in diabetes-2021[J]. Diabetes Care, 2021, 44(Suppl 1): S15-S33.
- [2] Alexandre-Heymann L, Mallone R, Boitard C, et al. Structure and function of the exocrine pancreas in patients with type 1 diabetes [J]. Rev Endocr Metab Disord, 2019, 20(2): 129-149.
- [3] Al-Mrabeh A, Hollingsworth KG, Shaw JAM, et al. 2-year remission of type 2 diabetes and pancreas morphology: a post-hoc analysis of the DiRECT open-label, cluster-randomised trial [J]. Lancet Diabetes Endocrinol, 2020, 8(12): 939-948.
- [4] Imai Y, Cousins RS, Liu S, et al. Connecting pancreatic islet lipid metabolism with insulin secretion and the development of type 2 diabetes [J]. Ann N Y Acad Sci, 2020, 1461(1): 53-72.
- [5] Tokunaga A, Imagawa A, Nishio H, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the pancreas of fulminant type 1 diabetes [J]. Diabetol Int, 2018, 9(4): 257-265.
- [6] Garcia TS, Engelholm JL, Vouche M, et al. Decrease in pancreatic perfusion of patients with type 2 diabetes mellitus detected by perfusion computed tomography [J]. J Clin Imaging Sci, 2021, 11: 50.
- [7] Saedi P, Petersohn I, Salpea P, et al. Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections for 2030 and 2045: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas, 9(th) edition [J]. Diabetes Res Clin Pract, 2019, 157: 107843.
- [8] DeSouza SV, Singh RG, Yoon HD, et al. Pancreas volume in health and disease: a systematic review and meta-analysis [J]. Expert Rev Gastroenterol Hepatol, 2018, 12(8): 757-766.
- [9] Zeng N, Wang Y, Cheng Y, et al. Imaging evaluation of the pancreas in diabetic patients [J]. Abdom Radiol (NY), 2022, 47(2): 715-726.
- [10] 王璐, 郑松柏, 贾惠惠, 等. 胰腺大体形态的增龄变化: 191 例胰腺磁共振图像分析 [J]. 中华老年医学杂志, 2021, 40(6): 756-760.
- [11] Campbell-Thompson ML, Filipp SL, Grajo JR, et al. Relative pancreas volume is reduced in first-degree relatives of patients with type 1 diabetes [J]. Diabetes Care, 2019, 42(2): 281-287.
- [12] Regnell SE, Peterson P, Trinh L, et al. Pancreas volume and fat fraction in children with Type 1 diabetes [J]. Diabet Med, 2016, 33(10): 1374-1379.

- [13] Virostko J, Williams J, Hilmes M, et al. Pancreas volume declines during the first year after diagnosis of type 1 diabetes and exhibits altered diffusion at disease onset[J]. *Diabetes Care*, 2019, 42(2):248-257.
- [14] Virostko J. Quantitative magnetic resonance imaging of the pancreas of individuals with diabetes[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2020, 11:592349.
- [15] Taylor R, Al-Mrabeh A, Zhyzhneuskaya S, et al. Remission of human type 2 diabetes requires decrease in liver and pancreas fat content but is dependent upon capacity for beta cell recovery[J]. *Cell Metab*, 2018, 28(4):547-556.
- [16] Garcia TS, Rech TH, Leitao CB. Pancreatic size and fat content in diabetes: A systematic review and meta-analysis of imaging studies[J]. *PLoS One*, 2017, 12(7):e0180911.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Kozawa J, Shimomura I. Ectopic fat accumulation in pancreas and heart[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(6):1326.
- [20] Lu T, Wang Y, Dou T, et al. Pancreatic fat content is associated with beta-cell function and insulin resistance in Chinese type 2 diabetes subjects[J]. *Endocr J*, 2019, 66(3):265-270.
- [21] Jones JG. Non-invasive analysis of human liver metabolism by magnetic resonance spectroscopy[J]. *Metabolites*, 2021, 11(11):751.
- [22] Aliyari Ghasabeh M, Shaghghi M, Khoshpouri P, et al. Correlation between incidental fat deposition in the liver and pancreas in asymptomatic individuals[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2020, 45(1):203-210.
- [23] Chen Y, Jiang Z, Long L, et al. Magnetic resonance imaging: proton density fat fraction for assessment of pancreatic fatty infiltration during progression of T2DM bama minipigs[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2019, 50(6):1905-1913.
- [24] Skudder-Hill L, Sequeira IR, Cho J, et al. Fat distribution within the pancreas according to diabetes status and insulin traits[J]. *Diabetes*, 2022, 71(6):1182-1192.
- [25] Chen Y, Long L, Jiang Z, et al. Quantification of pancreatic proton density fat fraction in diabetic pigs using MR imaging and IDEAL-IQ sequence[J]. *BMC Med Imaging*, 2019, 19(1):38.
- [26] Li X, Yang Q, Ye H, et al. Comparison of pancreatic fat content measured by different methods employing MR mDixon sequence[J]. *PLoS One*, 2021, 16(11):e0260001.
- [27] Nadarajah C, Fananapazir G, Cui E, et al. Association of pancreatic fat content with type II diabetes mellitus[J]. *Clin Radiol*, 2020, 75(1):51-56.
- [28] 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.
- [29] 陶征征, 季倩. MRI 在 2 型糖尿病患者脂肪定量中的研究进展[J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(5):565-568.
- [30] 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.
- [31] Zhang Y, Li J, Xu Y. Association of incidence between pancreatic adipose infiltration and metabolic syndrome: A literature review and meta-analysis[J]. *Comput Math Methods Med*, 2021, 2021:5747558.
- [32] Petrov MS, Taylor R. Intra-pancreatic fat deposition: bringing hidden fat to the fore[J]. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, 2022, 19(3):153-168.
- [33] Jansson L, Carlsson PO. Pancreatic blood flow with special emphasis on blood perfusion of the islets of langerhans[J]. *Compr Physiol*, 2019, 9(2):799-837.
- [34] Espes D, Manell E, Ryden A, et al. Pancreatic perfusion and its response to glucose as measured by simultaneous PET/MRI[J]. *Acta Diabetol*, 2019, 56(10):1113-1120.
- [35] Taso M, Papadopoulou F, Smith MP, et al. Pancreatic perfusion modulation following glucose stimulation assessed by noninvasive arterial spin labeling (ASL) MRI[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2020, 51(3):854-860.
- [36] Chen B, Chen W, Chan Q, et al. Functional MRI of human pancreas using BOLD contrast: responses following glucose ingestion[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2017, 46(3):831-836.
- [37] Sztokowska R, Gojda J, Plihalova A, et al. Visceral fat accumulation is related to impaired pancreatic blood perfusion and beta-cell dysfunction in obese women[J]. *Ann Nutr Metab*, 2021, 77(6):344-349.
- [38] Yu CW, Shih TT, Hsu CY, et al. Correlation between pancreatic microcirculation and type 2 diabetes in patients with coronary artery disease: dynamic contrast-enhanced MR imaging[J]. *Radiology*, 2009, 252(3):704-711.
- [39] Noda Y, Goshima S, Tsuji Y, et al. Pancreatic extracellular volume fraction using T<sub>1</sub>-mapping in patients with impaired glucose intolerance[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2020, 45(2):449-456.
- [40] 代博, 王梅云, 闫峰山, 等. MRI 在 G1/G2 胰腺神经内分泌肿瘤病理分级及临床分期中的价值[J]. *放射学实践*, 2022, 37(1):72-78.
- [41] 侯琚, 包陈坚. 2 型糖尿病患者胰腺 MRI 扩散加权成像初步分析[J]. *糖尿病新世界*, 2017, 20(21):55-56.
- [42] Sahan MH, Ozdemir A, Asal N, et al. Pancreas and kidney changes in type 2 diabetes patients: the role of diffusion-weighted imaging[J]. *Turk J Med Sci*, 2021, 51(3):1289-1295.
- [43] Xu Y, Cai X, Shi Y, et al. Normative pancreatic stiffness levels and related influences established by magnetic resonance elastography in volunteers[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2020, 52(2):448-458.
- [44] 周倩, 周纪宇, 郭达, 等. 多模态磁共振成像技术在糖尿病肾病中的研究进展[J]. *放射学实践*, 2021, 36(5):676-680.
- [45] Ji R, Li J, Yin Z, et al. Pancreatic stiffness: response to an oral glucose load in obese adults measured by magnetic resonance elastography[J]. *Magn Reson Imaging*, 2018, 51:113-119.