

# $^{18}\text{F}$ -FDG PET/MR 多参数模型在胰腺肿瘤良恶性鉴别中的应用

党浩丹 王观筠 刘家金 姚树林 关志伟 王瑞民 徐白莹

解放军总医院第一医学中心核医学科, 北京 100853

通信作者: 徐白莹, Email: xbx301@163.com

**【摘要】** 目的 研究一体化 $^{18}\text{F}$ -脱氧葡萄糖(FDG)PET/MR 多个参数及组合模型在胰腺肿瘤良恶性鉴别诊断中的价值。方法 回顾性选择 2012 年 12 月至 2020 年 9 月间解放军总医院第一医学中心临床怀疑胰腺占位性病变更并行 PET/MR 检查的患者 76 例[男 50 例、女 26 例, 年龄(45.2±18.0)岁], 患者均获得明确诊断。PET/MR 检查序列包括  $T_1$  加权成像(WI; 平扫及增强)、 $T_2$ WI、弥散加权成像(DWI)及 $^{18}\text{F}$ -FDG PET 序列。获得视觉评估病变 MR 形态学特征的 MR 评分; 测量 PET 及 DWI 多个参数, 包括基于直方图获得的标准摄取值(SUV)及表观弥散系数(ADC)纹理参数[最大值(max)、最小值(min)、均数、中位数、标准差(SD)、偏度、峰度和熵]。采用两独立样本  $t$  检验或 Mann-Whitney  $U$  检验分析数据。行受试者工作特征(ROC)曲线分析计算 PET/MR 各参数对胰腺病变良恶性的鉴别诊断效能, 建立基于 logistics 多元逐步回归分析的 PET/MR 多参数模型并评估效能。结果 76 例患者中, 恶性 55 例、良性 21 例。(1) 视觉评估。胰腺恶性肿瘤主要表现为边缘不清晰, 内部 MR 信号及强化异常, ADC 减低, 放射性摄取增高; 胰腺良性肿瘤病变主要表现为边缘清晰, 信号及强化均匀, ADC 未见减低, 放射性摄取减低。(2) 诊断效能。依据 logistic 分析建立的多参数模型纳入指标为  $\text{SUV}_{\max}$ 、 $\text{SUV}_{\text{SD}}$ 、 $\text{ADC}_{\text{偏度}}$  及  $\text{ADC}_{\text{峰度}}$ 。良恶性鉴别诊断效能依次为多参数模型> $\text{ADC}_{\text{偏度}}$ >MR 评分> $\text{SUV}_{\max}$ > $\text{SUV}_{\text{SD}}$ > $\text{ADC}_{\text{峰度}}$ ; 多参数模型的诊断效能最好, 曲线下面积(AUC)为 0.86, 灵敏度为 69.1%(38/55), 特异性为 100%(21/21)( $z=-8.73, P<0.001$ )。结论 基于 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/MR 获得的 MR 评分及多个定量参数及纹理参数可以不同程度鉴别诊断胰腺肿瘤良恶性; 而多参数模型可进一步有效提高诊断效能。

**【关键词】** 胰腺肿瘤; 正电子发射断层显像术; 磁共振成像; 脱氧葡萄糖; 诊断, 鉴别

**基金项目:** 科技部国家重点研发计划(2016YFC0103908)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20210407-00098

## Application of multiparametric diagnostic model based on the $^{18}\text{F}$ -FDG PET/MR in the differential diagnosis of benign and malignant pancreatic tumors

Dang Haodan, Wang Guanyun, Liu Jiabin, Yao Shulin, Guan Zhiwei, Wang Ruimin, Xu Baixuan

Department of Nuclear Medicine, First Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Corresponding author: Xu Baixuan, Email: xbx301@163.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the value of multiple parameters and the combined model based on  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose (FDG) PET/MR in the differential diagnosis of benign and malignant pancreatic tumors. **Methods** A total of 76 patients (50 males, 26 females, age (45.2±18.0) years) with clinically suspected pancreatic tumor who underwent PET/MR between December 2012 and September 2020 in First Medical Center of Chinese PLA General Hospital were retrospectively selected. All patients had definitive diagnoses. PET/MR sequences included  $T_1$  weighted imaging (WI; convention and contrast enhancement),  $T_2$ WI, diffusion weighted imaging (DWI) and  $^{18}\text{F}$ -FDG PET sequences. Morphological characteristics and scores of lesions in MRI were evaluated. Parameters including parameters of PET and DWI, as well as parameters derived from histogram analysis of apparent diffusion coefficient (ADC) and standardized uptake value (SUV) (maximum (max), minimum (min), mean, median, standard deviation (SD), skewness, kurtosis, entropy) were measured. Independent-sample  $t$  test or Mann-Whitney  $U$  test were used for data analysis. PET/MR combined model was measured based on logistic regression analysis. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was used to calculate the differential diagnosis efficacy of PET/MR multiparameters and combined model for benign and malignant lesions. **Results** Among 76 patients, 55 were malignant and 21 were benign. (1) Visual evaluation. The main manifestations of pancreatic cancer

were unclear margin, abnormal internal MR signal and enhancement, decreased ADC signal and increased radioactive uptake. The main manifestations of benign tumor lesions of pancreas were clear margin, even signal and enhancement, no reduction of ADC, decreased radioactive uptake. (2) Diagnostic efficacy. Multiparameter model established based on logistic regression analysis included  $SUV_{max}$ ,  $SUV_{SD}$ ,  $ADC_{entropy}$  and  $ADC_{skewness}$ . The efficiency of differential diagnosis for benign and malignant pancreatic tumors were shown as follows: multiparametric diagnostic model  $> ADC_{entropy} > MR \text{ score} > SUV_{max} > SUV_{SD} > ADC_{skewness}$ . The multiparametric diagnostic model had the best diagnosis efficiency with the area under curve (AUC) of 0.86, the sensitivity of 69.1% (38/55), and the specificity of 100% (21/21) ( $z = -8.73$ ,  $P < 0.001$ ). **Conclusions** MR score and multiple quantitative parameters obtained from  $^{18}F$ -FDG PET/MR can be used to differentiate benign and malignant pancreatic tumors. Compared with independent parameter of PET/MR, multiparametric model can further improve the diagnostic efficiency.

**【Key words】** Pancreatic neoplasms; Positron-emission tomography; Magnetic resonance imaging; Deoxyglucose; Diagnosis, differential

**Fund program:** National Key Research and Development Program (2016YFC0103908)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20210407-00098

胰腺癌是全球癌症相关死亡的主要原因之一<sup>[1]</sup>,其发病率居我国恶性肿瘤发病率第 10 位<sup>[2]</sup>。影像学可以提高对恶性胰腺肿瘤的早期检出率,有效辅助临床决策。 $^{18}F$ -脱氧葡萄糖 (fluorodeoxyglucose, FDG) PET 在肿瘤诊断方面应用广泛,标准摄取值 (standardized uptake value, SUV) 是 PET 检查中评价放射性摄取最常见的半定量指标<sup>[3]</sup>。但胰腺良恶性肿瘤 SUV 范围重叠较多,依据 SUV 诊断胰腺病变良恶性的准确性不高<sup>[4]</sup>。MR 弥散加权成像 (diffusion weighted imaging, DWI) 及其表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC) 可以反映分子在肿瘤微环境的扩散率,在胰腺肿瘤诊断方面有附加价值<sup>[5-6]</sup>。近年来, PET/MR 为肿瘤的形态及生物学特性评价提供了一站式多元化信息。本研究旨在探讨 PET/MR 多参数及组合模型在胰腺肿瘤良恶性鉴别诊断中的价值。

## 资料和方法

1. 研究对象。回顾性连续选择 2012 年 12 月至 2020 年 9 月主因胰腺占位性病变于解放军总医院第一医学中心核医学科行 PET/MR 检查的患者。共纳入 76 例,男 50 例,女 26 例,年龄 (45.2±18.0) 岁。研究符合《赫尔辛基宣言》的原则。

纳入标准:(1) 临床怀疑胰腺占位性病变;(2) 患者同意入组本研究, PET/MR 序列完整,图像质量合格;(3) 均获得明确诊断。恶性病变需经肿瘤切除术获得明确病理学诊断,患者在 PET/MR 检查后 4 周内手术;良性病变可根据手术病理诊断或经随访观察获得明确临床诊断。随访诊断标准:(1) 所有随访患者需行大于 12 个月随访观察期及间隔 12 个月的 MR 复查;(2) 随访 MR 影像显示病变形态、大小及强化程度无变化或缩小或消失;(3) 临床症状好转。排

除标准:(1) 既往腹腔手术病史 (排除解剖结构改变或炎性反应所致误诊);(2) PET/MR 伪影较重,无法分析;(3) 最终诊断不明确。

2. PET/MR 检查。PET/MR 检查采用德国 Siemens 公司 PET/MR 仪 (Biograph mMR) 进行。患者在 PET/MR 检查前禁食 4~6 h,注射前测定空腹血糖 (需小于 11 mmol/L),据患者体质量静脉注射  $^{18}F$ -FDG 5.55 MBq/kg (放化纯 >95%,科室自行合成),患者安静休息 45~50 min 行腹部图像采集。PET 采集时间为 4 min/床位。基于 Dixon MR 序列进行 PET 衰减校正,并在 Siemens 工作站重建 PET 数据。PET 扫描同时采集 MR 图像。MR 序列:横轴面三维 T<sub>1</sub> 加权成像 [weighted imaging, WI; 梯度回波容积插值屏气扫描序列 (volumetric interpolated breath-hold examination, VIBE)]; 横轴面 T<sub>2</sub> WI [半傅立叶采集单次激发快速自旋回波序列 (half-Fourier acquisition single-shot turbo spin-echo, HASTE)]; 横轴面 DWI ( $b$  值: 50、800 s/mm<sup>2</sup>), ADC 图由 Siemens mMR 工作站后处理获得。MR 对比剂采用钆喷酸葡胺注射液 (德国先灵公司; 静脉注射, 0.1 mmol/kg), 增强扫描采集动脉期、静脉期和延迟期。

3. 图像评估。PET/MR 图像由 2 名具有放射学及核医学诊断经验的医师共同盲法阅片,分析 MR 评分 (基于 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 平扫及增强序列) 及确定用于定量测量的感兴趣区 (region of interest, ROI) 位置及范围。意见不一致时间隔 2 周洗脱期后共同讨论达成一致。病变形态学特征的 MR 评分采用 5 分法: 1 分, 良性病变; 2 分, 良性可能性较大; 3 分, 不确定; 4 分, 恶性可能性较大; 5 分, 恶性病变。恶性征象包括: 病变形态不规则; MR 平扫病变信号不均匀; 增强扫描病变异常强化 (富血供或乏血供改变); 胰管扩张; 病灶周围血管或脏器侵犯征象; 胰腺周围淋巴结

肿大或视野内出现可疑转移病灶。良性征象包括:病变形态规则;MR 平扫病变信号均匀;增强扫描病变无强化或均匀强化;胰管不扩张;病变周围无侵犯或转移征象。

4. 图像数据处理。将 PET 及 ADC 原始数据以医学数字成像和通信(Digital Imaging and Communications in Medicine, DICOM)形式拷贝至安装 Fire Voxel 软件工作站进行处理。基于 T<sub>1</sub>WI 图像实性部分最大层面获得 ROI,避开瘤周血管、胰管、肿瘤内囊变和坏死区域。基于 ROI 的直方图分析,获得 ADC、SUV 的直方图参数:最大值(max)、最小值(min)、均数(mean)、中位数(median)、标准差(standard deviation, SD)、偏度、峰度、熵。

5. 统计学处理。所有数据均用 R 软件(版本 3.4.2)分析。符合正态分布的定量资料用  $\bar{x} \pm s$  表示,不符合正态分布的定量资料用  $M(P_{25}, P_{75})$  表示;定性资料用频数和(或)百分比表示。采用两独立样本 *t* 检验、 $\chi^2$  检验和 Mann-Whitney *U* 检验分析数据。基于差异有统计学意义的参数,采用 logistics 多元逐步回归分析进一步筛选有效参数,建立 PET/MR 多参数组合模型。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析评价各独立参数及多参数组合模型对胰腺病变良恶性的诊断效能。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

1. 患者一般资料比较。76 例患者中,恶性 55 例(均为组织病理学诊断),其中胰腺癌 36 例、胰腺神经内分泌癌 3 例、实性假乳头状瘤 15 例、胆管癌转移 1 例;良性 21 例(病理诊断 15 例,随访后诊断 6 例),其中胰腺炎 8 例(包括 1 例胰腺结核)、囊腺瘤 13 例。恶性组与良性组患者的性别(男/女:36/19 与 14/7)、年龄[(45.2±18.4)与(45.3±17.7)岁]差异均无统计学意义( $\chi^2 = 0.010, t = -0.359$ , 均  $P > 0.05$ )。

2. PET/MR 表现。(1)胰腺恶性肿瘤。多表现为病变边缘不清晰,内部 MR 信号及强化异常,其中

胰腺癌表现为乏血供改变,神经内分泌癌为富血供改变,实性假乳头状瘤及胆管癌转移为持续强化。13 例胰腺癌患者出现病灶内坏死或周围侵犯、转移的恶性征象。恶性病变放射性摄取差异较大。目视观察中,胰腺癌及神经内分泌癌患者放射性摄取显著增高,实性假乳头瘤病变放射性摄取不显著。

(2)胰腺良性肿瘤。囊腺瘤病变大多边缘清晰,囊壁及分隔 MR 信号及强化均匀,黏液性囊腺瘤部分囊壁及分隔增厚,部分病变囊内放射性摄取轻度增高。胰腺炎边缘不清晰,内部信号不均匀,强化程度减低或持续轻度强化,目视观察放射性摄取呈不同程度增高。

3. 不同参数的诊断效能。良恶性患者的 SUV<sub>min</sub>、SUV<sub>偏度</sub>、SUV<sub>峰度</sub>、SUV<sub>熵</sub>、ADC<sub>max</sub>、ADC<sub>median</sub>、ADC<sub>偏度</sub>、ADC<sub>峰度</sub>、ADC<sub>SD</sub>、ADC<sub>mean</sub> 差异均无统计学意义( $t = -1.510$ ; *W* 值:416.000~732.000; 均  $P > 0.05$ ),余指标间的差异均有统计学意义,具体见表 1。Logistics 多元逐步回归筛选出的有意义参数为 SUV<sub>max</sub>、SUV<sub>SD</sub>、ADC<sub>熵</sub> 及 ADC<sub>偏度</sub>,PET/MR 诊断良恶性病变的多参数组合模型如下:

$$Y = 1 / [1 + e^{(0.343 \times SUV_{max} - 1.358 \times SUV_{SD} - 0.956 \times ADC_{偏度} - 5.150 \times ADC_{熵} + 19.051)}]$$

诊断效能最好的 5 个参数及多参数模型排序为:多参数模型 > ADC<sub>熵</sub> > MR 评分 > SUV<sub>max</sub> > SUV<sub>SD</sub> > ADC<sub>偏度</sub>,其对胰腺良恶性病变诊断效能分析见表 2。多参数组合模型的诊断效能最好,单独参数中 ADC<sub>熵</sub> 的诊断效能最高。典型患者图像见图 1。

## 讨 论

有研究报道,ADC 和 SUV<sub>max</sub> 在不同的胰腺病变良恶性诊断中诊断效能差异较大,两者诊断准确性分别为 62%~70% 及 69%~91%<sup>[7-8]</sup>。将两者及常规形态学评价的多参数进行对照,建立多参数组合模型来诊断胰腺病变良恶性的研究很少,本研究在这方面进行了探讨。纳入基于直方图获得的统计学参数及纹理参数,在多个维度定量评估肿瘤内部细胞密度及葡萄糖代谢水平。本研究根据回归分析筛选

表 1 胰腺良恶性病变组间差异有意义的 PET/MR 参数 [ $M(P_{25}, P_{75})$ ]

组别	例数	SUV <sub>max</sub>	SUV <sub>mean</sub>	SUV <sub>median</sub>	SUV <sub>SD</sub>	ADC <sub>熵</sub>	ADC <sub>min</sub> (×10 <sup>-3</sup> mm <sup>2</sup> /s)	MR 评分
良性组	21	7.08(5.12, 11.11)	5.79(3.49, 8.70)	5.75(3.69, 8.84)	0.78(0.50, 1.44)	4.19(4.02, 4.34)	0.42(0.28, 0.47)	2.00(1.00, 3.00)
恶性组	55	11.30(7.59, 17.12)	8.79(5.52, 11.21)	8.57(5.58, 11.26)	1.52(0.77, 2.17)	3.98(3.78, 4.12)	0.29(0.00, 0.39)	4.00(2.00, 4.50)
<i>W</i> 值		353.000	390.000	394.000	375.000	848.000	803.000	326.000
<i>P</i> 值		0.009	0.030	0.033	0.019	0.002	0.009	0.003

注:ADC<sub>min</sub> 为最小表观弥散系数,SD 为标准差,SUV<sub>max</sub> 为最大标准摄取值,SUV<sub>mean</sub> 为平均标准摄取值,SUV<sub>median</sub> 为中位标准摄取值

表 2 PET/MR 不同参数及组合诊断模型对 76 例胰腺疾病患者的诊断效能

参数	阈值	曲线下面积 (95% CI)	灵敏度	特异性	准确性	阳性预测率	阴性预测率	约登 指数	z 值	P 值
组合模型	0.785	0.86(0.78~0.94)	69.1%(38/55)	100%(21/21)	77.6%(59/76)	100%(38/38)	55.3%(21/38)	0.690	-8.73	<0.001
ADC <sub>熵</sub>	4.11	0.74(0.61~0.85)	70.9%(39/55)	66.7%(14/21)	69.7%(53/76)	84.8%(39/46)	46.7%(14/30)	0.376	-3.87	<0.001
MR 评分	3.00	0.72(0.59~0.83)	65.5%(36/55)	66.7%(14/21)	65.8%(50/76)	83.7%(36/43)	42.4%(14/33)	0.321	-3.44	<0.001
SUV <sub>max</sub>	3.78	0.69(0.56~0.82)	76.4%(42/55)	66.7%(14/21)	73.7%(56/76)	85.7%(42/49)	51.9%(14/27)	0.430	-2.80	0.005
SUV <sub>SD</sub>	1.60	0.68(0.53~0.81)	47.3%(26/55)	85.7%(18/21)	57.9%(44/76)	89.7%(26/29)	38.3%(18/47)	0.330	-2.55	0.01
ADC <sub>偏度</sub>	0.287	0.63(0.50~0.76)	70.9%(39/55)	61.9%(13/21)	68.4%(52/76)	83.0%(39/47)	44.8%(13/29)	0.328	-1.99	0.05

注:ADC 为表观弥散系数,SD 为标准差,SUV<sub>max</sub> 为最大标准摄取值,SUV<sub>SD</sub> 为标准摄取值的 SD

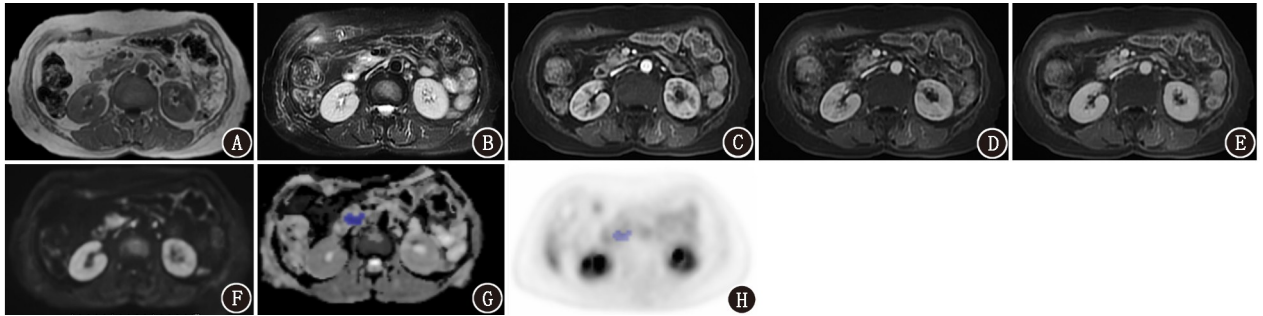


图 1 胰腺癌患者(女,58岁)<sup>18</sup>F-脱氧葡萄糖(FDG)PET/MR 图像。胰腺钩突 T<sub>1</sub> 加权成像(WI)平扫(A)及 T<sub>2</sub>WI(B)可见 11 mm×14 mm 长 T<sub>1</sub> 长 T<sub>2</sub> 信号结节,增强扫描三期[动脉期(C)、静脉期(D)、延迟期(E)]可见轻度持续强化,病灶边缘不清晰,信号不均匀,周围未见明确转移征象,MR 评分 3;病变在弥散加权成像(DWI)序列(F)呈稍高信号,表观弥散系数(ADC)值(G)减低,平均 ADC(ADC<sub>mean</sub>)值为  $0.61 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ , PET(H)示病变放射性摄取较均匀增高,最大标准摄取值(SUV<sub>max</sub>)为 4.42;患者于 2 周后行肿瘤切除手术,术后病理诊断为中分化导管腺癌

建模的参数包括 SUV<sub>max</sub>、SUV<sub>SD</sub>、ADC<sub>熵</sub> 及 ADC<sub>偏度</sub>, ROC 曲线分析证明相较于 PET/MR 各独立参数,多参数组合模型可进一步提高诊断效能(曲线下面积为 0.86,灵敏度为 69.1%,特异性为 100%)。这提示,PET 与 MR 多参数可互相补充,将肿瘤形态、组织扩散微环境及和细胞增殖代谢信息结合起来,一定程度上克服了不同成像方法的缺点,这与既往 PET/MR 研究结果相符<sup>[9-11]</sup>。

在有意义的诊断单独参数中,MR 评分能根据胰腺病变的形态学特征较好地预测良恶性。T<sub>1</sub>WI 增强序列显示多数恶性肿瘤内强化不均匀减低,提示了胰腺恶性肿瘤增殖过快造成内部组织坏死等异质性特征<sup>[12]</sup>。胰周侵犯及转移等间接征象则反映了胰腺癌嗜神经血管及易在周围间隙延伸转移的恶性生物学行为<sup>[13]</sup>。基于 MR 评分的假阳性患者为胰腺炎及胰腺结核患者,病变形态及 MR 信号不规则,因此仅靠 MR 目视诊断价值有限,这与既往研究发现相似<sup>[14]</sup>。

在前期的研究中,基于 PET 纹理分析对胰腺肿瘤的生物学行为及预后有一定的辅助价值<sup>[15-16]</sup>。本研究 PET 参数中,SUV<sub>max</sub> 和 SUV<sub>SD</sub> 在胰腺病变良

恶性预测诊断中效能最好。SUV<sub>SD</sub> 可反映 FDG 在组织内摄取分布的离散情况,间接体现病变异质性。本研究中,SUV<sub>max</sub> 和 SUV<sub>SD</sub> 诊断的假阳性患者为慢性胰腺炎伴纤维化和胰腺结核。炎性细胞包裹及纤维增生改变等,会增加组织葡萄糖摄取水平及分布异质性,这也是基于单一 PET 方法鉴别胰腺炎和胰腺癌较困难的原因<sup>[4]</sup>。

本研究多个 ADC 参数中,熵和偏度的预测诊断效能最好。绝对值增高的熵和偏度表示胰腺恶性肿瘤内 ADC 分布不符合高斯分布,间接体现了恶性肿瘤组织内细胞密度高、间隙小及微环境复杂等特点,使水分子扩散显著受限<sup>[5,17-18]</sup>。本研究 ADC 参数诊断假阳性患者均为胰腺炎,考虑可能是由于炎性成分混杂,使得病变微环境复杂性增加,降低了 ADC 值<sup>[19]</sup>。

本研究有以下局限性:(1)良恶性组间患者数分布不均衡,统计结果可能存在偏倚;(2)纳入了有潜在恶变风险的囊腺瘤患者,但因样本量有限,未将囊实性病病变行亚组分析;(3)仍有待在今后扩大样本量修正模型并验证其诊断效率。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参 考 文 献

- [1] Siegel RL, Miller KD, Jemal A. Cancer statistics, 2020[J]. *CA Cancer J Clin*, 2020, 70(1): 7-30. DOI:10.3322/caac.21590.
- [2] 李浩,张师蓉,刘亮,等.胰腺癌综合诊治指南(2018版)解读[J].*中华胰腺病杂志*, 2019, 19(2): 81-84. DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-1935.2019.02.001.
- Li H, Zhang SR, Liu L, et al. Interpretation of comprehensive guidelines for the diagnosis and treatment of pancreatic cancer (2018 version) [J]. *Chin J Pancreatol*, 2019, 19(2): 81-84. DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-1935.2019.02.001.
- [3] Chang J, Schomer D, Dragovich T. Anatomical, physiological, and molecular imaging for pancreatic cancer; current clinical use and future implications [J]. *Biomed Res Int*, 2015, 2015: 269641. DOI:10.1155/2015/269641.
- [4] 刘莉,张建,左长京,等.<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 双时相显像在胰腺癌与胰腺炎性病变鉴别诊断中的价值[J].*中华核医学与分子影像杂志*, 2017, 37(8): 449-455. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.08.001.
- Liu L, Zhang J, Zuo CJ, et al. Clinical value of dual-phase <sup>18</sup>F-FDG PET/CT for differentiating pancreatic cancer from pancreatitis [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2017, 37(8): 449-455. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.08.001.
- [5] 种欢欢,兰晓莉. PET/CT 在胰腺癌诊治中的应用及与增强 CT 和 MRI 的比较[J].*中华核医学与分子影像杂志*, 2017, 37(10): 654-659. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.10.014.
- Chong HH, Lan XL. Application and comparison of PET/CT, contrast enhanced CT and MRI in the clinical management of pancreatic cancer [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2017, 37(10): 654-659. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.10.014.
- [6] 汪建华,马小龙,涂灿,等. MRI 弥散加权成像在自身免疫性胰腺炎与胰腺癌鉴别诊断中的价值[J].*中华核医学与分子影像杂志*, 2014, 34(5): 405-407. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2014.05.016.
- Wang JH, Ma XL, Tu C, et al. Clinical value of diffusion-weighted MRI in differentiation of auto immune pancreatitis [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2014, 34(5): 405-407. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2014.05.016.
- [7] Chen BB, Tien YW, Chang MC, et al. PET/MRI in pancreatic and periampullary cancer; correlating diffusion-weighted imaging, MR spectroscopy and glucose metabolic activity with clinical stage and prognosis [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2016, 43(10): 1753-1764. DOI:10.1007/s00259-016-3356-y.
- [8] Yeh R, Dercle L, Garg I, et al. The role of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT and PET/MRI in pancreatic ductal adenocarcinoma [J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2018, 43(2): 415-434. DOI:10.1007/s00261-017-1374-2.
- [9] Nagamachi S, Nishii R, Wakamatsu H, et al. The usefulness of <sup>18</sup>F-FDG PET/MRI fusion image in diagnosing pancreatic tumor; comparison with <sup>18</sup>F-FDG PET/CT [J]. *Ann Nucl Med*, 2013, 27(6): 554-563. DOI:10.1007/s12149-013-0719-3.
- [10] Joo I, Lee JM, Lee DH, et al. Preoperative assessment of pancreatic cancer with FDG PET/MR imaging versus FDG PET/CT plus contrast-enhanced multidetector CT: a prospective preliminary study [J]. *Radiology*, 2017, 282(1): 149-159. DOI:10.1148/radiol.2016152798.
- [11] Tatsumi M, Isohashi K, Onishi H, et al. <sup>18</sup>F-FDG PET/MRI fusion in characterizing pancreatic tumors; comparison to PET/CT [J]. *Int J Clin Oncol*, 2011, 16(4): 408-415. DOI:10.1007/s10147-011-0202-x.
- [12] 李亮,程三房,乔万海.胰腺癌的多层螺旋 CT 及 MRI 影像学诊断分析[J].*中国 CT 和 MRI 杂志*, 2016, 14(8): 4-6. DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2016.08.002.
- Li L, Cheng SF, Qiao WH. Multislice spiral CT and MRI in the diagnosis of pancreatic cancer [J]. *Chin J CT MRI*, 2016, 14(8): 4-6. DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2016.08.002.
- [13] 王君,马涛,尤胜义.胰腺癌嗜神经侵袭的发生机制及临床意义[J].*中华胰腺病杂志*, 2017, 17(6): 423-425. DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-1935.2017.06.019.
- Wang J, Ma T, You SY. Mechanism and clinical significance of perineural invasion in pancreatic cancer [J]. *Chin J Pancreatol*, 2017, 17(6): 423-425. DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-1935.2017.06.019.
- [14] Sugiyama Y, Fujinaga Y, Kadoya M, et al. Characteristic magnetic resonance features of focal autoimmune pancreatitis useful for differentiation from pancreatic cancer [J]. *Jpn J Radiol*, 2012, 30(4): 296-309. DOI:10.1007/s11604-011-0047-2.
- [15] Yue Y, Osipov A, Fraass B, et al. Identifying prognostic intratumor heterogeneity using pre- and post-radiotherapy <sup>18</sup>F-FDG PET images for pancreatic cancer patients [J]. *J Gastrointest Oncol*, 2017, 8(1): 127-138. DOI:10.21037/jgo.2016.12.04.
- [16] Hyun SH, Kim HS, Choi SH, et al. Intratumoral heterogeneity of <sup>18</sup>F-FDG uptake predicts survival in patients with pancreatic ductal adenocarcinoma [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2016, 43(8): 1461-1468. DOI:10.1007/s00259-016-3316-6.
- [17] 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. DOI:10.1016/j.acra.2019.07.012.
- [18] Guo CG, 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. DOI:10.2147/CMAR.S195376.
- [19] Sandrasegaran K, Nutakki K, Tahir B, et al. Use of diffusion-weighted MRI to differentiate chronic pancreatitis from pancreatic cancer [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2013, 201(5): 1002-1008. DOI:10.2214/AJR.12.10170.

(收稿日期:2021-04-07)