

^{18}F -FDG PET/MR 用于宫颈鳞状细胞癌 SUV 与体素内不相干运动成像参数的相关性分析

杜思瑶 孙洪赞 张乐 辛军 史凯宁 郭启勇

110004 沈阳,中国医科大学附属盛京医院放射科(杜思瑶、孙洪赞、张乐、辛军、郭启勇);

100020 北京,飞利浦影像研究学院(史凯宁)

通信作者:孙洪赞, Email: sunhongzan@126.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.04.001

【摘要】 目的 应用 ^{18}F -脱氧葡萄糖(FDG) PET/MR 一体机探讨宫颈鳞状细胞癌(简称鳞癌)原发灶及转移淋巴结标准摄取值(SUV)与体素内不相干运动(IVIM)成像参数的相关性。方法 前瞻性收集盛京医院 2015 年 1 月至 12 月收治的 46 例宫颈鳞癌患者,将患者按病灶分化程度分为高分化(G1 级)组、中分化(G2 级)组及低分化(G3 级)组,在治疗前行盆腔 PET/MR 检查,增加多 b 值弥散加权成像扫描序列。计算最大 SUV(SUV_{\max})、平均 SUV(SUV_{mean})、IVIM 成像参数[慢扩散系数(D)、快扩散系数(D^*)、灌注分数(f)]。采用 Pearson 相关分析评估 IVIM 成像参数与 SUV_{\max} 、 SUV_{mean} 的相关性。结果 G1、G2、G3 级组及转移淋巴结组的 D 分别为 $(0.827 \pm 0.232) \times 10^{-3}$ 、 $(0.640 \pm 0.153) \times 10^{-3}$ 、 $(0.563 \pm 0.090) \times 10^{-3}$ 和 $(0.772 \pm 0.246) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; f 分别为 0.310 ± 0.068 、 0.348 ± 0.073 、 0.287 ± 0.057 和 0.413 ± 0.103 ; D^* 分别为 $(9.241 \pm 2.001) \times 10^{-3}$ 、 $(9.408 \pm 1.927) \times 10^{-3}$ 、 $(9.715 \pm 1.827) \times 10^{-3}$ 和 $(8.830 \pm 1.632) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; SUV_{\max} 分别为 9.988 ± 3.806 、 12.941 ± 5.990 、 14.543 ± 7.050 和 9.890 ± 3.906 ; SUV_{mean} 分别为 5.717 ± 2.830 、 7.094 ± 3.518 、 8.263 ± 4.124 和 4.952 ± 1.343 。G1、G2 级组的 D 与 SUV_{\max} 、 SUV_{mean} 均呈负相关(G1, r 值: -0.816 和 -0.842 ; G2, r 值: -0.528 和 -0.559 ; 均 $P < 0.05$)。G2 级组 f 与 SUV_{\max} 、 SUV_{mean} 呈正相关(r 值: 0.554 和 0.550 , 均 $P < 0.05$)。结论 中-高分化程度宫颈鳞癌原发灶的 SUV 与反映细胞密度的 D 、反映微循环灌注的 f 具有一致性, PET/MR-IVIM 检查可为宫颈癌患者的治疗监测和预后评估等提供重要信息。

【关键词】 宫颈肿瘤; 癌, 鳞状细胞; 正电子发射断层显像术; 磁共振成像; 脱氧葡萄糖

基金项目: 国家自然科学基金(81401438); 辽宁省教育厅科学研究一般项目(L2014308)

Correlation between standardized uptake value and intravoxel incoherent motion parameters of cervical squamous cell carcinoma with ^{18}F -FDG PET/MR Du Siyao, Sun Hongzan, Zhang Le, Xin Jun, Shi Kaining, Guo Qiyong

Department of Radiology, Shengjing Hospital, China Medical University, Shenyang 110004, China (Du SY, Sun HZ, Zhang L, Xin J, Guo QY); Imaging Systems Clinical Science of Philips Healthcare, Beijing 100020, China (Shi KN)

Corresponding author: Sun Hongzan, Email: sunhongzan@126.com

【Abstract】 Objective To assess the correlation between standardized uptake value (SUV) and intravoxel incoherent motion (IVIM) parameters of primary cervical squamous cell carcinoma (CSCC) and pelvic metastatic lymph nodes in the use of hybrid PET/MR. **Methods** Forty-six CSCC patients in Shengjing Hospital from January 2015 to December 2015 were prospectively enrolled and divided into well-differentiated (G1) group, moderate-differentiated (G2) group and poorly-differentiated (G3) group. PET/MR examination with the multi- b -value diffusion-weighted imaging (DWI) sequence was performed before treatment. Maximum SUV (SUV_{\max}) and mean SUV (SUV_{mean}) were calculated. IVIM parameters, including the slow diffusion coefficient (D), fast diffusion coefficient (D^*), perfusion fraction (f) were also measured. Pearson correlation analysis was used to evaluate the correlation between IVIM parameters and SUV (SUV_{\max} , SUV_{mean}). **Results** The D of G1, G2, G3 lesions and metastatic lymph nodes were $(0.827 \pm 0.232) \times 10^{-3}$, $(0.640 \pm 0.153) \times 10^{-3}$, $(0.563 \pm 0.090) \times 10^{-3}$ and $(0.772 \pm 0.246) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ respectively. The f was 0.310 ± 0.068 , 0.348 ± 0.073 , 0.287 ± 0.057 and 0.413 ± 0.103 respectively. The D^* was $(9.241 \pm 2.001) \times 10^{-3}$, $(9.408 \pm 1.927) \times 10^{-3}$, $(9.715 \pm 1.827) \times 10^{-3}$ and $(8.830 \pm 1.632) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ respective-

ly. The SUV_{max} was 9.988 ± 3.806 , 12.941 ± 5.990 , 14.543 ± 7.050 and 9.890 ± 3.906 respectively. The SUV_{mean} was 5.717 ± 2.830 , 7.094 ± 3.518 , 8.263 ± 4.124 and 4.952 ± 1.343 respectively. The D of G1 and G2 lesions had negative correlations with SUV_{max} and SUV_{mean} (G1, r values: -0.816 , -0.842 ; G2, r values: -0.528 , -0.559 ; all $P < 0.05$); the f of G2 lesions had positive correlations with SUV_{max} and SUV_{mean} (r values: 0.554 , 0.550 , both $P < 0.05$). **Conclusions** The SUV_{max} and SUV_{mean} of the well-moderate differentiated CSCC are consistent with D and f , which reflect the cell density and the microvascular perfusion. PET/MR-IVIM could provide important complementary information for treatment-monitoring and prognostic assessment of patients with cervical cancer.

【Key words】 Uterine cervical neoplasms; Carcinoma, squamous cell; Positron-emission tomography; Magnetic resonance imaging; Deoxyglucose

Fund program: National Natural Science Foundation of China(81401438); General Project of Scientific Research of Liaoning Provincial Education Department (L2014308)

宫颈癌是女性生殖系统常见的恶性肿瘤,严重威胁女性健康与生命,其中鳞状细胞癌(简称鳞癌)占 75%~80%^[1]。早期宫颈癌无明显临床症状,一旦患者出现接触性出血等特征性临床表现,一般已属于中晚期。联合放化疗是中晚期宫颈癌的主要治疗方法,但是放化疗敏感性存在个体差异。因此,临床急需一种能早期准确评估患者治疗反应和预后的影像手段,PET/MR 一体机对解决此临床难题具有重要意义。近年来,MR 新技术越来越多地应用于临床,体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)成像技术正是其中之一,其是一种可同时获得反映细胞密度的扩散参数(慢扩散系数 D)和反映微循环灌注的参数(灌注分数 f 和快扩散系数 D^*)的新兴检查手段。PET 和 MR-IVIM 新技术均属于功能成像,可用于联合诊断形态学上未发生变化的病变,两者结合将进一步完善宫颈癌放化疗及预后评估机制。本研究旨在通过 PET/MR 检查联合 IVIM 模型,探讨宫颈癌原发灶及转移淋巴结的细胞密度及微循环灌注参数与糖代谢水平参数之间的相关性,为 PET/MR-IVIM 技术在宫颈癌治疗监测及预后评估等方面的应用提供依据。

资料与方法

1. 研究对象。前瞻性收集中国医科大学附属盛京医院 2015 年 1 月至 12 月收治的 46 例宫颈鳞癌患者,年龄 30~66 岁,平均 (49.1 ± 8.1) 岁。纳入标准:所有患者均具有完整的临床资料及病理活组织检查(简称活检)结果;行盆腔 PET/MR 检查前均未进行任何治疗(手术、放疗、化疗或同步放化疗)。本研究经本院医学伦理审查委员会批准(批准号:2014PS84K),所有患者均签署知情同意书。

2. 显像方法。采用荷兰 Philips 公司 Ingenuity TF PET/MR 一体机显像。检查前患者禁食 4~6 h,控制血糖 ≤ 11.1 mmol/L,根据患者体质量于平静状态下经肘静脉注射¹⁸F-脱氧葡萄糖(flurodeoxyglucose,

FDG) 250~350 MBq,50~60 min 后行盆腔 PET/MR 显像,扫描序列包括盆腔 PET 图像采集(4 min/床位)和盆腔 MR 扫描。标准序列包:(1)轴向快速自旋回波(turbo-spin echo, TSE) T_2 加权成像(weighted imaging, WI)[重复时间(time of repetition, TR) 2 583 ms,回波时间(time of echo, TE) 90 ms,体素大小=0.36 mm×0.36 mm×5.00 mm,层厚 5 mm,间隔 1.0 mm,信号平均次数 2];(2)冠状位 TSE T_2 WI(TR 1 587 ms, TE 100 ms,体素大小=0.83 mm×0.84 mm×5.00 mm,层厚 5 mm,间隔 1.0 mm,信号平均次数 2);(3)矢状位 TSE T_2 WI(TR 3 408 ms, TE 60 ms,体素大小=0.49 mm×0.49 mm×5.00 mm,层厚 5 mm,间隔 1.0 mm,信号平均次数 2);(4)弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)-MRI 使用单次激发自旋回波成像,在轴向 T_2 WI 后进行:TR 5 000 ms,TE 100 ms,体素大小=1.41 mm×1.04 mm×8.00 mm,层厚 8 mm,间隔 1.0 mm,信号平均次数 3, b 值=0、10、25、50、75、100、125、150、200、300、400、600、800、1 000 s/mm²。确保视野、层厚和间隔与轴向 T_2 WI 相同,以满足图像叠加和配准。

3. 图像分析。由 2 位分别具有 10 年和 20 年妇产科影像诊断经验的放射科医师采用随机自带 Philips EBW 工作站分析图像,意见不一致时协商解决。

对于直径 ≥ 1.0 cm 的原发灶,在轴位 T_2 WI 及 PET 图像上以 40% 最大标准摄取值(maximum standardized uptake value, SUV_{max})^[2] 为阈值自动逐层勾画病灶范围;对于直径 < 1.0 cm 的原发灶及所有纳入的转移淋巴结,手动勾画整个病灶边缘,参照 T_2 WI 图像,调整 PET 各层面图像上的肿瘤边界(避开囊变及坏死区),在每个层面上生成感兴趣区(region of interest, ROI),软件自动计算得到感兴趣体积(volume of interest, VOI)内的 SUV_{max} 和平均标准摄取值(mean standardized uptake value, SUV_{mean})。

另将 IVIM 序列所得数据导入 IVIM 后处理程

序,选择对病灶显示最好的 b 值($b=1\ 000\ \text{s}/\text{mm}^2$),以 T_2 WI、PET 及 PET/MR 融合图像为参照,在 DWI 图像的高信号边缘为界限手动绘制 ROI,使所勾画每个层面的 ROI 与 PET 图像上病灶范围一致,该 ROI 自动生成 D 、 D^* 、 f 伪彩图,计算得到多个 ROI 的平均扩散系数和灌注系数,将多个层面参数取平均值近似得到整个病灶的平均参数(D 、 f 、 D^*)。

4.病理检查。所有宫颈癌病理及活检标本均行 HE 染色,由 2 位具有 15 年以上临床病理诊断经验的病理科医师共同阅片,评估宫颈癌病灶分化程度,并据其将患者分为高分化(G1 级)组、中分化(G2 级)组和低分化(G3 级)组。

5.恶性转移淋巴结的参考标准。经术后病理证实为恶性转移淋巴结;影像上短轴直径 $\geq 1\ \text{cm}$;边缘较光滑规则;具有较高的 ^{18}F -FDG 摄取值;DWI 图像上为相对高信号,表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)图像上为相对低信号。对于直接采取放化疗而无术后病理的患者,采用治疗前后的影像学随访(至少 3 个月)结果作为恶性转移淋巴结的判断依据,不符合参考标准的淋巴结在随后的研究中被剔除。

6.统计学处理。采用 IBM SPSS 22.0 软件,符合正态分布的计量数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示。采用 Pearson 相关分析评估不同分化程度组宫颈鳞癌原发灶及纳入的转移淋巴结 D 、 D^* 、 f 与 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 的相关性。 $P<0.05$ 为相关性有统计学意义。

结 果

46 例宫颈鳞癌患者中,G1 级组肿瘤患者 6 例, D 为 $(0.827\pm 0.232)\times 10^{-3}\ \text{mm}^2/\text{s}$ 、 D^* 为 $(9.241\pm 2.001)\times 10^{-3}\ \text{mm}^2/\text{s}$ 、 f 为 0.310 ± 0.068 、 SUV_{max} 为 9.988 ± 3.806 、 SUV_{mean} 为 5.717 ± 2.830 ;G2 级组肿瘤患者 22 例, D 为 $(0.640\pm 0.153)\times 10^{-3}\ \text{mm}^2/\text{s}$ 、 D^* 为

$(9.408\pm 1.927)\times 10^{-3}\ \text{mm}^2/\text{s}$ 、 f 为 0.348 ± 0.073 、 SUV_{max} 为 12.941 ± 5.990 、 SUV_{mean} 为 7.094 ± 3.518 ;G3 级组肿瘤患者 18 例, D 为 $(0.563\pm 0.090)\times 10^{-3}\ \text{mm}^2/\text{s}$ 、 D^* 为 $(9.715\pm 1.827)\times 10^{-3}\ \text{mm}^2/\text{s}$ 、 f 为 0.287 ± 0.057 、 SUV_{max} 为 14.543 ± 7.050 、 SUV_{mean} 为 8.263 ± 4.124 。46 例中,12 枚(均来自 G3 级组)符合参考标准的淋巴结被纳入研究,PET/MR 将此 12 枚淋巴结全部检出,其 D 为 $(0.772\pm 0.246)\times 10^{-3}\ \text{mm}^2/\text{s}$ 、 D^* 为 $(8.830\pm 1.632)\times 10^{-3}\ \text{mm}^2/\text{s}$ 、 f 为 0.413 ± 0.103 、 SUV_{max} 为 9.890 ± 3.906 、 SUV_{mean} 为 4.952 ± 1.343 。典型患者图像见图 1。

6 例 G1 级组肿瘤患者 D 与 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 呈负相关(r 值: -0.816 和 -0.842 ,均 $P<0.05$), f 与 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 相关性无统计学意义(r 值: 0.695 和 0.726 ,均 $P>0.05$), D^* 与 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 亦未见相关性(r 值: 0.098 和 0.031 ,均 $P>0.05$)。22 例 G2 级组肿瘤患者 D 与 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 呈负相关(r 值: -0.528 和 -0.559), f 与 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 呈正相关(r 值: 0.554 和 0.550),且均有统计学意义(均 $P<0.05$); D^* 与 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 未见相关性(r 值: 0.304 和 0.159 ,均 $P>0.05$)。18 例 G3 级组肿瘤患者 D 、 f 、 D^* 与 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 间均未见相关性(r 值: -0.395 和 -0.316 、 0.459 和 0.396 、 0.315 和 0.357 ,均 $P>0.05$)。12 枚转移淋巴结 D 、 f 、 D^* 与 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 间亦未见相关性(r 值: -0.326 和 -0.396 、 0.131 和 0.386 、 0.258 和 0.220 ,均 $P>0.05$)。

讨 论

1. PET/MR-IVIM 成像技术的优势。PET 和 MR-IVIM 均属功能成像,各有优势。PET 参数标准摄取值(standardized uptake value, SUV)已证实与宫颈癌的治疗反应及预后有关^[3-4],其应用大大提高

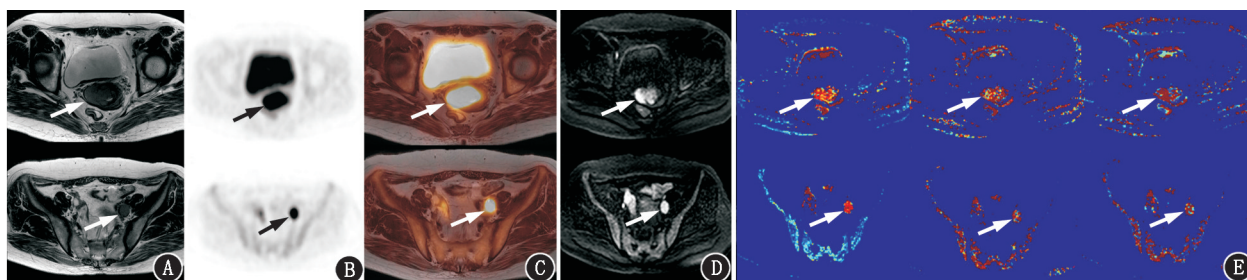


图 1 低分化宫颈鳞状细胞癌患者(52 岁)影像学检查图(箭头示病灶)。A. T_2 加权成像(WI)横断位图像示宫颈癌灶(上)和左侧髂内转移淋巴结(下)稍高信号;B~C. PET 图像(B)和 PET/MR 融合图像(C)上可见较高的 ^{18}F -脱氧葡萄糖摄取;D. 弥散加权成像($b=1\ 000\ \text{s}/\text{mm}^2$)图像示宫颈癌灶(上)和左侧髂内转移淋巴结(下)有明显的扩散受限;E. 从左至右依次为体内不相关运动(IVIM)成像后处理程序处理后慢扩散系数(D)、灌注分数(f)和快扩散系数(D^*)的伪彩图像

了淋巴结的检出率^[5],对宫颈癌的分期有重要价值。MR-IVIM 成像技术可将传统 DWI ADC 中的扩散成分和灌注成分区分开来,提高其诊断疾病的灵敏度和特异性^[6],在预测宫颈癌早期治疗反应方面亦具有重要作用^[7]。PET/MR 一体机的应用可实现信息同步采集,在宫颈癌病灶检测和肿瘤分期等方面均具有较 PET/CT 更高的临床价值^[8-10],尤其对于活检取材无法评估的早期放化疗反应及预后的意义重大。放化疗后,肿瘤的生物特征变化大大早于其形态学变化,PET/MR-IVIM 成像技术可从肿瘤形态学和生物学行为的多个角度来评价其治疗反应,较常规的影像学检查或单一功能成像技术具有更早期、更准确评价的优势,且可明显降低辐射剂量,可用于预后评估过程中的随访。

2. IVIM 成像参数及 SUV 的意义。IVIM 成像参数可提供肿瘤细胞密度及毛细血管灌注情况的相关信息,其中 D 代表纯水分子的扩散运动,当扩散敏感因子 b 值较大时, D 与 ADC 值近似相等; D^* 描述血液在微循环网络中的随机分布,即灌注; f 反映体内灌注效应占总体扩散效应的容积百分数。¹⁸F-FDG PET 可以反映肿瘤的糖代谢情况,其常用参数为 SUV,包括 SUV_{max} 和 SUV_{mean} 。 SUV_{max} 反映的是肿瘤区域的最大代谢值,其可重复性相对好于 SUV_{mean} ;而 SUV_{mean} 反映的是整个肿瘤体积内的平均代谢情况,较单一像素来源的 SUV_{max} 更能反映整个肿瘤的生物特性^[11]。本研究 SUV_{max} 与 SUV_{mean} 两者与 IVIM 成像参数的相关性方向一致,且 r 值相差不大。

3. IVIM 成像参数与 SUV 的相关性。本研究采用更精确拟合的 IVIM 模型,得出中、高分化(G1 与 G2 级)组中, D 与 SUV 均呈负相关,表明了肿瘤代谢活性与细胞结构间的相关性,肿瘤细胞增殖活性增加,需要更多葡萄糖提供能量,病灶对葡萄糖类似物的摄取就会增加,导致 SUV 升高,同时肿瘤细胞核增大,核质比变大,组织内细胞外间隙及细胞内间隙均较正常细胞减小,导致肿瘤组织的水分子的扩散受限, D 降低。而在低分化(G3 级)组中, D 与 SUV 则未见相关性,这可能是因为更高级别肿瘤的局部坏死和囊变区更多,肿瘤组织中游离水的增加导致了水分子扩散受限减轻,这些改变均发生于细胞水平,不能检测到形态学上可见的中心坏死,而相邻层面的肿瘤细胞代谢仍较高,导致 SUV 降低不明显,因此在高级别肿瘤阶段两者的相关性消失。

有研究^[12]得出原发病灶(包括原发宫颈癌灶和

原发转移淋巴结)的 ADC 与 SUV 存在较强的相关性,而在转移淋巴结病灶中无明显相关,但此研究没有对原发转移淋巴结病灶进行单独分析;Brandmaier 等^[11]的进一步研究得到原发宫颈癌病灶和原发转移淋巴结的 ADC 和 SUV 有弱到中等强度的相关性。与上述 2 个研究相比,本研究采用了双指数模型拟合参数 D 来表征水分子扩散,并对不同级别肿瘤进行了分组分析,所得结果更为准确。

除了宫颈癌灶,淋巴结转移亦是指导分期和影响患者预后的重要因素。Schaarschmidt 等^[13]在 1 项非小细胞肺癌转移淋巴结的研究中发现,原发肿瘤的组织学亚型、肿瘤分期等均会对 ADC 与 SUV 的相关性造成影响,高级别肿瘤造成的淋巴结转移病灶的 ADC 与 SUV 无明显相关性。本研究中纳入的 12 例患者的转移淋巴结病灶均为 G3 级肿瘤,与该研究结果较为一致。此外,Hagemann 等^[14]学者提出:淋巴结微转移酶的基因表达水平与其原发灶的生物性质一致,也可在一定程度上解释转移淋巴结与 G3 级肿瘤的相关性结果一致。

另一个有意义的 IVIM 成像参数是 f ,G2 级组中 f 与 SUV 呈正相关。由于 G1 级患者数较少,两者的相关系数虽高于 G2 级组但却无统计学意义,而 G3 级组和转移淋巴结组则未见相关性,这可能是由于代谢较高的肿瘤组织需要更密集复杂的毛细血管网为其输送养料,而低分化肿瘤恶性程度更高,中心区域生长过快造成血液供应相对减少,选取整个肿瘤作为 ROI 无法排除肿瘤内部的异质性因素,因而没有在低分化组内得到两者的相关性;中-高分化肿瘤组织内部血管相对成熟,分布均匀,异质性较小,使得病灶葡萄糖代谢水平与组织血流量间一致性较好。虽已有许多研究^[3-4,7,15]证明 f 、SUV 在肿瘤诊断、疗效预测等方面具有类似作用,但 f 所代表的灌注成分较复杂^[16], f 与 SUV 间是否具有相关性仍有待于深入研究。本研究中各组 D^* 与 SUV 均未见相关性,这主要是因为 D^* 的可重复性较差^[17-18],本研究中得到的 D^* 标准差也较大。

综上,进行 PET SUV 与 IVIM 成像参数的相关性分析具有重要的临床意义。中-高分化程度宫颈癌原发灶的糖代谢水平参数 SUV 与细胞密度参数 D 、微循环灌注参数 f 具有一致性,PET/MR-IVIM 检查可为宫颈癌患者的治疗监测和预后评估等提供重要的互补信息。但本研究存在很多局限性:(1) G1 级组患者数较少;(2) 纳入的 12 枚淋巴结数量较少且均来自 G3 级肿瘤转移,应收集更多不同级

别癌灶的转移淋巴结; (3) 未行增强序列扫描, 仅凭视觉判断病灶边缘及囊变坏死区, 对 ROI 的勾画可能存在一定的偏倚; (4) 仅评估了 SUV 和 IVIM 成像参数间的相关性, 结合多个参数(如肿瘤体积、总扩散率指数和总的糖酵解指数)能提供关于肿瘤的更全面信息。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] 谢幸, 苟文丽. 妇产科学[M]. 8 版. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 304-307.
Xie X, Gou WL. Obstetrics and gynecology[M]. 8th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2013: 304-307.
- [2] Sun H, Xin J, Zhang S, et al. Anatomical and functional volume concordance between FDG PET, and T₂ and diffusion-weighted MRI for cervical cancer; a hybrid PET/MR study[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2014, 41(5): 898-905. DOI:10.1007/s00259-013-2668-4.
- [3] Kunos C, Radivoyevitch T, Abdul-Karim FW, et al. ¹⁸F-fluoro-2-deoxy-D-glucose positron emission tomography standard uptake value ratio as an indicator of cervical cancer chemoradiation therapeutic response[J]. Int J Gynecol Cancer, 2011, 21(6): 1117-1123. DOI:10.1097/IGC.0b013e31821de8b5.
- [4] Kidd EA, Siegel BA, Dehdashti F, et al. The standardized uptake value for F-18 fluorodeoxyglucose is a sensitive predictive biomarker for cervical cancer treatment response and survival[J]. Cancer, 2007, 110(8): 1738-1744. DOI:10.1002/cncr.22974.
- [5] Lv K, Guo HM, Lu YJ, et al. Role of ¹⁸F-FDG PET/CT in detecting pelvic lymph-node metastases in patients with early-stage uterine cervical cancer; comparison with MRI findings[J]. Nucl Med Commun, 2014, 35(12): 1204-1211. DOI: 10.1097/MNM.000000000000198.
- [6] Chandarana H, Lee VS, Hecht E, et al. Comparison of biexponential and monoexponential model of diffusion weighted imaging in evaluation of renal lesions: preliminary experience[J]. Invest Radiol, 2011, 46(5): 285-291. DOI:10.1097/RLI.0b013e3181ffc485.
- [7] Zhu L, Zhu L, Shi H, et al. Evaluating early response of cervical cancer under concurrent chemo-radiotherapy by intravoxel incoherent motion MR imaging[J]. BMC Cancer, 2016, 16: 79. DOI:10.1186/s12885-016-2116-5.
- [8] Kim SK, Choi HJ, Park SY, et al. Additional value of MR/PET fusion compared with PET/CT in the detection of lymph node metastases in cervical cancer patients[J]. Eur J Cancer, 2009, 45(12): 2103-2109. DOI:10.1016/j.ejca.2009.04.006.
- [9] Beiderwellen K, Grueneisen J, Ruhlmann V, et al. [¹⁸F] FDG PET/MRI vs. PET/CT for whole-body staging in patients with recurrent malignancies of the female pelvis; initial results[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 42(1): 56-65. DOI:10.1007/s00259-014-2902-8.
- [10] Queiroz MA, Kubik-Huch RA, Hauser N, et al. PET/MRI and PET/CT in advanced gynaecological tumours; initial experience and comparison [J]. Eur Radiol, 2015, 25(8): 2222-2230. DOI:10.1007/s00330-015-3657-8.
- [11] Brandmaier P, Purz S, Bremicker K, et al. Simultaneous [¹⁸F] FDG-PET/MRI: correlation of apparent diffusion coefficient (ADC) and standardized uptake value (SUV) in primary and recurrent cervical cancer[J]. PLoS One, 2015, 10(11): e0141684. DOI:10.1371/journal.pone.0141684.
- [12] Grueneisen J, Beiderwellen K, Heusch P, et al. Correlation of standardized uptake value and apparent diffusion coefficient in integrated whole-body PET/MRI of primary and recurrent cervical cancer[J]. PLoS One, 2014, 9(5): e96751. DOI:10.1371/journal.pone.0096751.
- [13] Schaarschmidt BM, Buchbender C, Nensa F, et al. Correlation of the apparent diffusion coefficient (ADC) with the standardized uptake value (SUV) in lymph node metastases of non-small cell lung cancer (NSCLC) patients using hybrid ¹⁸F-FDG PET/MRI[J]. PLoS One, 2015, 10(1): e0116277. DOI:10.1371/journal.pone.0116277.
- [14] Hagemann T, Bozanovic T, Hooper S, et al. Molecular profiling of cervical cancer progression[J]. Br J Cancer, 2007, 96(2): 321-328. DOI:10.1038/sj.bjc.6603543.
- [15] Hauser T, Essig M, Jensen A, et al. Prediction of treatment response in head and neck carcinomas using IVIM-DWI: evaluation of lymph node metastasis[J]. Eur J Radiol, 2014, 83(5): 783-787. DOI:10.1016/j.ejrad.2014.02.013.
- [16] Lee EY, Yu X, Chu MM, et al. Perfusion and diffusion characteristics of cervical cancer based on intravoxel incoherent motion MR imaging—a pilot study [J]. Eur Radiol, 2014, 24(7): 1506-1513. DOI:10.1007/s00330-014-3160-7.
- [17] Kakite S, Dyvorne H, Besa C, et al. Hepatocellular carcinoma; short-term reproducibility of apparent diffusion coefficient and intravoxel incoherent motion parameters at 3.0T[J]. J Magn Reson Imaging, 2015, 41(1): 149-156. DOI:10.1002/jmri.24538.
- [18] Andreou A, Koh DM, Collins DJ, et al. Measurement reproducibility of perfusion fraction and pseudodiffusion coefficient derived by intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MR imaging in normal liver and metastases[J]. Eur Radiol, 2013, 23(2): 428-434. DOI:10.1007/s00330-012-2604-1.

(收稿日期:2017-09-19)