

影像定量分析预测直肠癌淋巴结转移的价值

蒯玉娴 葛继元 王振 杨剑 左长京

224006 盐城市第一人民医院 CT 室(蒯玉娴);200433 上海长海医院核医学科(葛继元、杨剑、左长京),放射科(王振)

通信作者:左长京, Email: changjing.zuo@ qq.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.06.003

【摘要】 目的 探讨 ^{18}F -脱氧葡萄糖(FDG) PET/CT 和 MRI 定量分析参数在直肠癌淋巴结转移预测中的价值。**方法** 选取 2013 年 5 月至 2015 年 10 月间上海长海医院的直肠癌患者 80 例(男 63 例、女 17 例,年龄 37~85 岁),所有患者均于术前行 MRI-弥散加权成像(DWI)及 ^{18}F -FDG PET/CT 检查,且均有术后病理结果。采用多阈值自动分割法测量原发病灶 ^{18}F -FDG PET/CT 代谢参数,采用总体勾画法测量表观弥散系数(ADC)值。分别以最大标准摄取值(SUV_{max})=2.5、20% SUV_{max} 、30% SUV_{max} 、40% SUV_{max} 、50% SUV_{max} 为阈值(依次为阈值 1~5),由系统勾画感兴趣区(ROI)并计算相对应的平均标准摄取值(SUV_{mean})1~ SUV_{mean} 5、代谢体积(MTV)1~MTV5 和病灶糖酵解总量(TLG)1~TLG5。使用 χ^2 检验及多因素 logistic 回归分析直肠癌淋巴结转移同患者临床病理特征、 ^{18}F -FDG PET/CT 代谢参数及 ADC 值的相关性。**结果** 80 例患者中,44 例(55%)发生淋巴结转移。有淋巴结转移组原发病灶 ^{18}F -FDG PET/CT 代谢参数均大于无淋巴结转移组,差异有统计学意义(u 值:152.0~555.0,均 $P<0.05$);有淋巴结转移组原发病灶 ADC 值 $[0.96(0.93, 1.02)\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}]$ 小于无淋巴结转移组 $[1.07(1.01, 1.11)\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}]$,差异有统计学意义($u=249.0, P<0.05$)。单因素分析显示 T 分期、 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 1~ SUV_{mean} 5、MTV1~MTV5、TLG1~TLG5、ADC 值同直肠癌淋巴结转移有相关性(χ^2 值:7.730~48.198,均 $P<0.05$);多因素分析示,仅 MTV1[比值比(OR)=0.110,95% CI :0.014~0.840]、MTV2(OR =0.075,95% CI :0.007~0.852)及 ADC 值(OR =0.034,95% CI :0.003~0.381)为淋巴结转移的危险因素(均 $P<0.05$),其预测淋巴结转移的最佳阈值分别为:20.26 cm^3 、18.47 cm^3 和 $1.00\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 。**结论** 由 ^{18}F -FDG PET/CT 测得的体积代谢参数 MTV1、MTV2 及 MRI-DWI 测得的 ADC 值为直肠癌淋巴结转移的危险因素,对直肠癌淋巴结转移有预测价值。

【关键词】 直肠肿瘤;肿瘤转移;淋巴结;正电子发射断层显像术;体层摄影术,X 线计算机;磁共振成像;脱氧葡萄糖

Predictive value of quantitative image analysis for lymph node metastasis in patients with rectal cancer Kuai Yuxian, Ge Jiyuan, Wang Zhen, Yang Jian, Zuo Changjing

CT Room, the First People's Hospital of Yancheng, Yancheng 224006, China (Kuai YX); Department of Nuclear Medicine, Changhai Hospital of Shanghai, Shanghai 200433, China (Ge JY, Yang J, Zuo CJ); Department of Radiology, Changhai Hospital of Shanghai, Shanghai 200433, China (Wang Z)

Corresponding author: Zuo Changjing, Email: changjing.zuo@ qq.com

【Abstract】 Objective To evaluate the values of the quantitative parameters obtained from ^{18}F -fluorodeoxyglucose (FDG) PET/CT imaging and MRI in prediction of lymph node metastasis (LNM) in patients with rectal cancer. **Methods** From May 2013 to October 2015, 80 patients with rectal cancer (63 males, 17 females, age range: 37~85 years) that underwent preoperative MRI-diffusion weighted imaging (DWI) and ^{18}F -FDG PET/CT were enrolled. All patients had pathological results. Auto-segmentation methods of various thresholds were selected to determine the FDG metabolic parameters and whole volume region of interest (ROI) method was performed to measure apparent diffusion coefficient (ADC) in lymph node. Maximum standardized uptake value (SUV_{max})=2.5, 20% SUV_{max} , 30% SUV_{max} , 40% SUV_{max} and 50% SUV_{max} were selected as the cut-off values (COV), and named as COV1, COV2, COV3, COV4 and COV5, respectively. ROI was drawn automatically and the corresponding mean standardized uptake value (SUV_{mean})1~ SUV_{mean} 5, metabolic tumor volume (MTV)1~MTV5 and total lesion glycolysis (TLG)1~TLG5 were calculated. χ^2 test and logistic regression analysis were used to analyze the associations between the LNM and pathological factors, as well as ^{18}F -FDG metabolic parameters and ADC. **Results** LNM was found in 55% (44/80) of the patients. The metabolic parameters of primary tumor in patients with LNM were significantly higher than those in patients without LNM (u values: 152.0~555.0, all $P<0.05$); the

ADC was significantly lower in LNM positive cases than that in LNM negative cases: $0.96(0.93, 1.02) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ vs $1.07(1.01, 1.11) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, $u=249.0$, $P<0.05$. Univariate analysis showed that T stage, SUV_{max} , $\text{SUV}_{\text{mean}} 1 - \text{SUV}_{\text{mean}} 5$, $\text{MTV} 1 - \text{MTV} 5$, $\text{TLG} 1 - \text{TLG} 5$, ADC value were associated with pathologic lymph node involvement (χ^2 values: 7.730–48.198, all $P<0.05$). Multivariate analysis indicated that $\text{MTV} 1$ (odds ratio (OR) = 0.110, 95% CI: 0.014–0.840), $\text{MTV} 2$ (OR = 0.075, 95% CI: 0.007–0.852) and ADC (OR = 0.034, 95% CI: 0.003–0.381) of tumor were significant risk factors associated with LNM (all $P<0.05$). The optimal COV of $\text{MTV} 1$, $\text{MTV} 2$ and ADC were 20.26 cm^3 , 18.47 cm^3 and $1.00 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$. **Conclusion** $\text{MTV} 1$, $\text{MTV} 2$ measured by ^{18}F -FDG PET/CT and ADC measured by MRI-DWI of the primary tumor are risk factors of LNM from rectal cancer, and they may be useful to predict LNM in patients with rectal cancer.

[Key words] Rectal neoplasms; Neoplasm metastasis; Lymph nodes; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Magnetic resonance imaging; Deoxyglucose

直肠癌为消化系统常见恶性肿瘤之一,研究^[1]显示有无淋巴结转移为影响直肠癌患者预后的重要因素,无淋巴结转移者 5 年生存率为 60%~80%,有淋巴结转移者仅为 30%。美国国家综合癌症网络(National Comprehensive Cancer Network, NCCN)直肠癌指南中指出,对任何 T 期患者,只要出现区域淋巴结转移,都推荐术前行新辅助治疗^[2]。因此,直肠癌淋巴结转移情况的术前评估对治疗方案制定及预后评价有重要意义。

^{18}F -脱氧葡萄糖(fluorodeoxyglucose, FDG) PET/CT 及 MRI-弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)显像技术均可提供组织器官的功能信息,在肿瘤的诊断、分期、疗效评价、预后评估等方面起着重要作用^[3-4]。最近有研究^[5-6]发现,在某些肿瘤中, ^{18}F -FDG PET/CT 相关参数及由 MRI-DWI 得到的表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值同肿瘤的组织病理结果有一定相关性,具有成为某些疾病影像生物标志的潜能。本研究目的为分析直肠癌淋巴结转移的相关危险因素,评估直肠癌原发灶的 ^{18}F -FDG PET/CT 代谢参数及 MRI-DWI 的 ADC 值对淋巴结转移的预测作用,以期对直肠癌淋巴结转移的术前评估提供新辅助方法。

资料与方法

1. 研究对象。选取 2013 年 5 月至 2015 年 10 月间上海长海医院的 80 例直肠癌患者,其中男 63 例、女 17 例,年龄 37~85 岁。纳入标准:(1)患者术前行 MRI 及 ^{18}F -FDG PET/CT 检查;(2)患者术前未行任何放疗;(3)患者接受手术治疗,且采用直肠全系膜切除术;(4)术后病理证实为直肠中分化腺癌。

2. MRI 图像采集。使用德国 Siemens 公司的 Magnetom Trio Tim 3.0 T 超导型 MR,18 通道腹部相控阵线圈,扫描序列:轴位 T_2 加权成像(weighted imaging, WI)及 DWI。 T_2 WI 采用快速自旋回波(turbo spin-echo, TSE)扫描:重复时间(time of repetition, TR)

4 000 ms,回波时间(time of echo, TE) 108 ms,激励次数 2 次,矩阵 320×320 ,视野 $180 \text{ mm} \times 180 \text{ mm}$,层厚 3 mm;DWI 采用脂肪抑制多次激发平面回波成像(echo planar imaging, EPI)扫描:TR 4 900 ms,TE 82 ms,激励次数 5 次,矩阵 170×170 ,视野 $280.0 \text{ mm} \times 197.6 \text{ mm}$,层厚 5 mm, b 值取 $0 \text{ s}/\text{mm}^2$ 与 $1 000 \text{ s}/\text{mm}^2$ 。

3. PET/CT 图像采集。所有患者术前均接受 ^{18}F -FDG PET/CT 检查。检查前至少禁食 6 h,并于检查前测量血糖,确保血糖低于 11.1 mmol/L。按体质量静脉注射 ^{18}F -FDG (上海原子科兴药业有限公司) $3.70 \sim 5.55 \text{ MBq}/\text{kg}$ 。注药后嘱患者安静休息 60 min,并饮清水至少 300 ml 以充盈胃肠道,排尿后行 PET/CT 检查。采用德国 Siemens 公司的 Biograph 64 PET/CT,先行体部 Topogram 定位扫描,电流 35 mA、电压 120 kV、扫描时间 10.5~15.6 s、扫描层厚 0.6 mm;随后进行体部 CT 扫描,电流 170 mA、电压 120 kV、扫描时间 18.67~21.93 s、扫描层厚 3 mm;最后行体部 PET 扫描,采集 5~6 个床位,2.5 min/床位。后处理工作站 TureD 系统进行图像重建,形成横断位、冠状位、矢状位断层图像及三维投影图像。

4. 图像分析。由 1 位经验丰富的放射科医师观察分析获得的 MRI 图像,该医师不知晓患者的临床情况及病理结果。手动勾画感兴趣区(region of interest, ROI),系统同时在 ADC 图像上复制出相应区域,软件自动计算出 ADC 值。ROI 的勾画方式:在 $b=1 000 \text{ s}/\text{mm}^2$ 的 DWI 图像上,沿着肿瘤高信号边界勾画,将包含肿瘤的所有层面均匀画出来,最后取所有层面的平均值。

^{18}F -FDG PET/CT 图像由 1 位经验丰富的核医学科医师观察分析,该医师同样不知晓患者的临床情况、病理结果及 MRI 影像表现。采用三维勾画法在 PET/CT 融合图像上勾画 ROI,并确保横断位、冠状位及矢状位图像均将病灶包含在内,系统自动计算出最大标准摄取值(maximum standardized uptake

value, SUV_{max})。分别以 $SUV_{max} = 2.5$ 、 $20\%SUV_{max}$ 、 $30\%SUV_{max}$ 、 $40\%SUV_{max}$ 、 $50\%SUV_{max}$ 为阈值(依次为阈值 1、阈值 2、阈值 3、阈值 4、阈值 5),由系统分别自动勾画出 ROI 内标准摄取值(standardized uptake value, SUV)大于上述阈值的部分,同时计算出不同阈值时对应的平均 SUV (mean SUV, SUV_{mean} ; $SUV_{mean1} \sim SUV_{mean5}$ 分别为阈值 1~阈值 5 时的 SUV_{mean} ,下同)、代谢体积(metabolic tumor volume, MTV; MTV1~MTV5)和病灶糖酵解总量(total lesion glycolysis, TLG; TLG1~TLG5)。

5.统计学处理。采用 SPSS 16.0 软件分析数据。不符合正态分布的计量数据以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示。淋巴结阳性组与阴性组间连续变量比较采用 Mann-Whitney u 检验;绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,得出各连续变量预测淋巴结转移的最佳阈值;使用 χ^2 检验分析淋巴结转移情况同自变量间关系,将 χ^2 检验分析符合条件的变量($P < 0.05$)纳入 logistic 多因素回归分析,采用逐步回归法筛选危险因素。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1.患者情况。80 例患者中,低位直肠癌($< 5\text{ cm}$;该数值为肿瘤下缘距肛门距离,下同)28 例,中位直肠癌($5 \sim 10\text{ cm}$)28 例,高位直肠癌($> 10\text{ cm}$)24 例。溃疡型直肠癌 59 例,非溃疡型 21 例。术后病理证实: $T_1 \sim T_2$ 期 25 例, $T_3 \sim T_4$ 期 55 例;有淋巴结转移 44 例,无淋巴结转移 36 例。

2.连续变量分析。有淋巴结转移组原发病灶 SUV_{max} 、 $SUV_{mean1} \sim SUV_{mean5}$ 、MTV1~MTV5、TLG1~TLG5 的值 [17.22 (14.29, 21.63), 6.18 (5.19, 7.15)、7.20 (5.57, 8.62)、8.66 (6.74, 10.28)、9.79 (7.76, 11.85)、5.01 (8.81, 13.45), 32.06 (25.35, 44.99) cm^3 、26.94 (18.76, 32.12) cm^3 、17.02

(11.06, 22.38) cm^3 、10.30 (7.23, 15.21) cm^3 、6.78 (3.99, 10.31) cm^3 、226.67 (137.34, 291.42)、193.37 (130.34, 251.79)、150.37 (98.37, 186.32)、116.18 (70.10, 146.27)、79.28 (43.62, 105.04)] 均大于无淋巴结转移组 [13.34 (8.15, 19.05), 5.14 (4.11, 6.52)、5.39 (3.21, 8.23)、6.61 (3.98, 10.14)、7.58 (4.73, 11.69)、8.78 (5.34, 13.03), 12.73 (7.63, 18.35) cm^3 、14.23 (8.22, 17.78) cm^3 、9.23 (5.28, 12.60) cm^3 、6.26 (3.69, 9.16) cm^3 、4.43 (2.24, 6.22) cm^3 、67.68 (36.65, 110.91)、71.41 (41.98, 100.09)、57.57 (31.58, 86.84)、45.57 (24.97, 70.70)、36.79 (17.52, 53.25)], 差异有统计学意义 (u 值:152.0~555.0, 均 $P < 0.05$)。有淋巴结转移组原发病灶 ADC 值 [0.96 (0.93, 1.02) $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$] 小于无淋巴结转移组 [1.07 (1.01, 1.11) $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$], 差异有统计学意义 ($u = 249.0, P < 0.05$)。

绘制 ROC 曲线,预测直肠癌淋巴结转移的各连续变量最佳阈值分别为: $SUV_{max} = 14.09$, $SUV_{mean1} \sim SUV_{mean5}$ 分别为 5.25、5.37、6.66、7.66 和 7.36, MTV1~MTV5 分别为 20.26、18.47、13.00、12.32 和 5.13 cm^3 , TLG1~TLG5 分别为 118.94、126.19、95.14、74.90 和 58.91, ADC = $1.00 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ (图 1)。

3.单因素和多因素分析结果。单因素分析显示, T 分期、 SUV_{max} 、 $SUV_{mean1} \sim SUV_{mean5}$ 、MTV1~MTV5、TLG1~TLG5、ADC 值对直肠癌淋巴结转移均有预测价值 (χ^2 值:7.730~48.198);将其纳入 logistic 多因素回归分析,仅 MTV1 [比值比 (odds ratio, OR) = 0.110, 95% CI: 0.014~0.840]、MTV2 (OR = 0.075, 95% CI: 0.007~0.852) 及 ADC 值 (OR = 0.034, 95% CI: 0.003~0.381) 为直肠癌淋巴结转移的危险因素 (均 $P < 0.05$)。

讨 论

淋巴结转移为直肠癌患者根治性切除术后局部

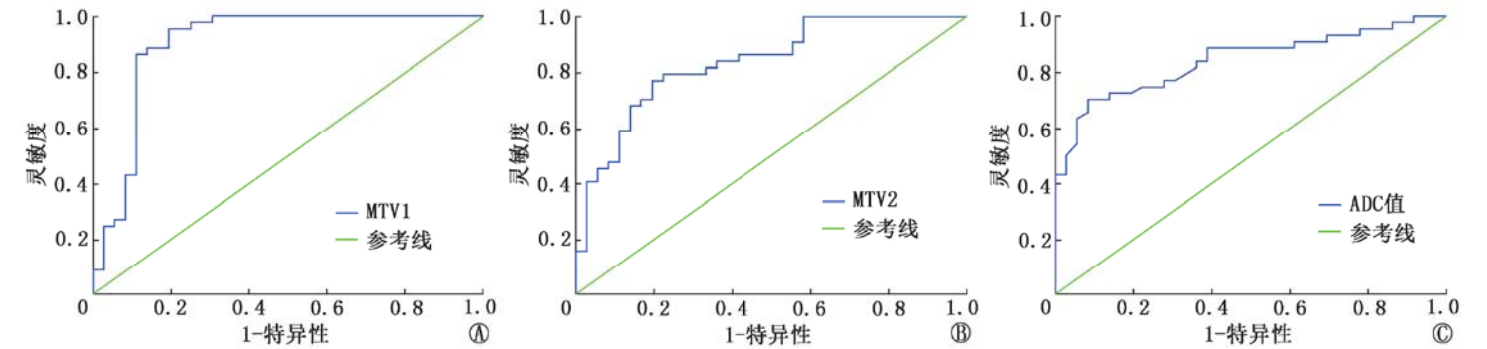


图 1 80 例直肠癌患者原发病灶各参数预测淋巴结转移受试者工作特征 (ROC) 曲线。A. 所用参数为以最大标准摄取值 (SUV_{max}) = 2.5 为阈值时的代谢体积 (MTV, 即 MTV1); B. 所用参数为以 $20\%SUV_{max}$ 为阈值时的 MTV (MTV2); C. 所用参数为表观弥散系数 (ADC) 值

复发及远处转移的主要原因之一,对于有淋巴结转移的直肠癌患者,提倡术前行新辅助治疗。目前,术前评估直肠癌淋巴结转移依然面临巨大挑战,原因主要为胃肠道恶性肿瘤较易发生小淋巴结转移^[7],而直肠癌相对其他盆腔肿瘤更易发生淋巴结微转移^[8],易造成漏诊。此外,转移性淋巴结同反应性增生淋巴结也难以鉴别^[9]。因此,有必要综合分析各临床病理因素及影像学参数与淋巴结转移的关系,对淋巴结转移情况加以预测,进而为患者的治疗提供指导。

¹⁸F-FDG PET/CT 为目前常用的功能影像学检查方法,能反映组织器官的葡萄糖代谢情况。 SUV_{max} 为临床常用半定量指标。Kim 等^[10]曾指出鳞状细胞肺癌患者原发病灶 SUV_{max} 为预测隐性淋巴结转移的重要因素,但 SUV_{max} 仅反映 ROI 内 FDG 摄取最高部位的单一像素值,不足以代表肿瘤整体代谢情况^[11]。此外, SUV_{max} 还受患者血糖水平、FDG 摄取时间、肿瘤体积大小等多种因素影响^[12]。因此, SUV_{max} 并不是反映肿瘤代谢情况的最佳指标。本研究中,单因素分析示直肠癌淋巴结转移同原发病灶 SUV_{max} 有关,但 logistic 多因素回归分析显示不具有统计学意义。

最近,¹⁸F-FDG PET/CT 体积代谢参数成为研究热点,相对于 SUV_{max} ,体积参数能更全面地反映肿瘤整体情况^[13-14]。MTV 为病变区域有代谢活性肿瘤体积总和;TLG 为 MTV 同 SUV_{mean} 乘积,既能反映肿瘤活性,又能反映有活性肿瘤体积。本研究通过设定阈值法,系统自动勾画出 ROI 内 SUV 大于阈值的部分,该区域体积即为 MTV。由于肿瘤周围炎症反应及胃肠道生理摄取也会表现为高代谢^[15],影响肿瘤边界划定,故到目前为止尚无统一的、可供直肠癌患者肿瘤体积勾画的阈值。本研究使用以 SUV_{max} 为基础的多种阈值计算体积参数,单因素分析显示各体积参数同淋巴结转移情况均有相关性,但多因素分析结果显示仅 MTV1、MTV2 为直肠癌淋巴结转移的危险因素,且 MTV1 同淋巴结转移的密切程度大于 MTV2。Jo 等^[16]的研究也显示,MTV1 同直肠癌淋巴结转移情况有相关性,其预测淋巴结转移的界值 32.7 cm^3 ;该值大于本研究结果,这可能是因为纳入研究的患者的组织病理学类型不同。

随着影像技术的发展,功能 MRI 逐渐应用于临床,利用水分子的弥散运动特征进行成像的 DWI 为常用功能 MRI 方法^[17]。DWI 通过 ADC 值量化组织内水分子的扩散程度,监测 ADC 值可以间接反映

肿瘤组织的细胞结构及微观变化,进而对肿瘤组织生物学行为进行无创性评估。Curvo-Semedo 等^[18]指出,直肠癌原发病灶 ADC 值同淋巴结转移情况有相关性,发生淋巴结转移者 ADC 值显著低于未转移者。Sun 等^[19]的研究结果显示,直肠癌 $N_0 \sim N_2$ 期各组肿瘤平均 ADC 值差异无统计学意义,但随着 N 分期的增高 ADC 值逐渐减低;由此可见,ADC 值在一定程度上反映了淋巴结转移情况。本研究在相同直肠癌原发病灶处同时测量肿瘤代谢参数及 ADC 值,logistic 多因素回归分析显示 $ADC \leq 1.00 \times 10^{-3}\text{ mm}^2/\text{s}$ 的原发病灶有发生淋巴结转移的可能。尽管组织的细胞结构特点和葡萄糖代谢情况分别代表了肿瘤生物学行为的不同方面,但本研究结果显示直肠癌原发病灶体积参数及 ADC 值对淋巴结转移均有预测作用。相比 PET/CT, DWI 技术不需使用放射性药物和造影剂,费用相对较小,此外 EPI 技术的出现、高场强 MRI 的使用及新扫描序列的研发都加快了 MRI 的成像速度,使 DWI 技术较 PET/CT 在术前预测直肠癌淋巴结转移情况方面可得到更广泛应用。

本研究尚有以下不足之处:(1) ROI 的勾画仅使用了总体勾画法,未对不同勾画方式所测得的 ADC 值同淋巴结转移的关系作进一步分析。(2) 仅选择测量 $b = 1\,000\text{ s}/\text{mm}^2$ 的 ADC 值,并未设定多 b 值,探讨不同 b 值对研究结果的影响。(3) 仅将术后病理证实为腺癌的直肠癌患者纳入研究,无法比较不同组织病理类型对研究结果的影响。上述问题均有待在后续研究逐步加以完善和解决。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] 张占文,胡平,张杰,等. 40 层¹⁸F-FDG PET/CT 在直肠癌 N 分期中的应用[J]. 重庆医学, 2011, 40(8): 778-780. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8348.2011.08.021.
Zhang ZW, Hu P, Zhang J, et al. Clinical role of ¹⁸F-FDG PET/CT for nodal staging of rectal cancer [J]. Chongqing Med J, 2011, 40(8): 778-780. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8348.2011.08.021.
- [2] 容蓉,孙晓伟,王霄英,等. MRI 和 CT 对原发直肠癌术前 N 分期的诊断研究[J]. 实用放射学杂志, 2011, 27(10): 1495-1498. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2011.10.011.
Rong R, Sun XW, Wang XY, et al. Diagnostic value of MRI and CT in pre-operative N staging of primary rectal carcinoma [J]. J Pract Radiol, 2011, 27(10): 1495-1498. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2011.10.011.
- [3] Li B, Zhang Y, Hou J, et al. Gastric carcinosarcoma and ¹⁸F-FDG PET/CT[J]. Clin Nucl Med, 2015, 40(11): e506-507. DOI: 10.1097/RLU.0000000000000928.
- [4] Huellner MW, de Galiza Barbosa F, Husmann L, et al. TNM staging of non-small cell lung cancer: comparison of PET/MR and

- PET/CT[J]. *J Nucl Med*, 2016, 57(1): 21-26. DOI:10.2967/jnumed.115.162040.
- [5] Kajúry K, Tökés T, Dank M, et al. Correlation of the value of ^{18}F -FDG uptake, described by SUV_{max} , SUV_{avg} , metabolic tumour volume and total lesion glycolysis, to clinicopathological prognostic factors and biological subtypes in breast cancer[J]. *Nucl Med Commun*, 2015, 36(1): 28-37. DOI:10.1097/MNM.0000000000000217.
- [6] Mori N, Ota H, Mugikura S, et al. Luminal-type breast cancer: correlation of apparent diffusion coefficients with the Ki-67 labeling index[J]. *Radiology*, 2015, 274(1): 66-73. DOI:10.1148/radiol.14140283.
- [7] Choi J, Oh SN, Yeo DM, et al. Computed tomography and magnetic resonance imaging evaluation of lymph node metastasis in early colorectal cancer[J]. *World J Gastroenterol*, 2015, 21(2): 556-562. DOI:10.3748/wjg.v21.i2.556.
- [8] Beets-Tan RG, Beets GL. Rectal cancer: review with emphasis on MR imaging[J]. *Radiology*, 2004, 232(2): 335-346. DOI:10.1148/radiol.2322021326.
- [9] 马二奎,梁宇霆,郑晓丹. MR 扩散加权成像对结直肠癌区域淋巴结转移的诊断价值[J]. *国际医学放射学杂志*, 2013, 36(5): 418-421. DOI:10.3874/j.issn.1674-1897.2013.05.10503.
Ma EK, Liang YT, Zheng XD. DWI in diagnosis of regional lymph node metastasis of colorectal cancer [J]. *Int J Med Radiol*, 2013, 36(5): 418-421. DOI:10.3874/j.issn.1674-1897.2013.05.10503.
- [10] Kim DH, Song BI, Hong CM, et al. Metabolic parameters using ^{18}F -FDG PET/CT correlate with occult lymph node metastasis in squamous cell lung carcinoma[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2014, 41(11): 2051-2057. DOI:10.1007/s00259-014-2831-6.
- [11] 吴增杰,边甜甜,王艳丽,等. ^{18}F -FDG PET/CT 显像 $\text{SUV}_{\text{max}} > 2.5$ 的病灶数及肿瘤代谢体积对多发性骨髓瘤预后评估的价值[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2016, 36(1): 44-47. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2016.01.011.
Wu ZJ, Bian TT, Wang YL, et al. Prognostic value of the number of lesions with $\text{SUV}_{\text{max}} > 2.5$ and metabolic tumor volume assessed by ^{18}F -FDG PET/CT imaging in patients with multiple myeloma [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2016, 36(1): 44-47. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2016.01.011.
- [12] Sarker A, Im HJ, Cheon GJ, et al. Prognostic implications of the SUV_{max} of primary tumors and metastatic lymph node measured by ^{18}F -FDG PET in patients with uterine cervical cancer: a meta-analysis[J]. *Clin Nucl Med*, 2016, 41(1): 34-40. DOI:10.1097/RLU.0000000000001049.
- [13] Kim DH, Son SH, Kim CY, et al. Prediction for recurrence using F-18 FDG PET/CT in pathologic N₀ lung adenocarcinoma after curative surgery[J]. *Ann Surg Oncol*, 2014, 21(2): 589-596. DOI:10.1245/s10434-013-3270-5.
- [14] Lee JW, Kang CM, Choi HJ, et al. Prognostic value of metabolic tumor volume and total lesion glycolysis on preoperative ^{18}F -FDG PET/CT in patients with pancreatic cancer [J]. *J Nucl Med*, 2014, 55(6): 898-904. DOI:10.2967/jnumed.113.131847.
- [15] Jo HJ, Kim SJ, Lee HY, et al. Prediction of survival and cancer recurrence using metabolic volumetric parameters measured by ^{18}F -FDG PET/CT in patients with surgically resected rectal cancer[J]. *Clin Nucl Med*, 2014, 39(6): 493-497. DOI:10.1097/RLU.0000000000000438.
- [16] Jo HJ, Kim SJ, Kim IJ, et al. Predictive value of volumetric parameters measured by F-18 FDG PET/CT for lymph node status in patients with surgically resected rectal cancer[J]. *Ann Nucl Med*, 2014, 28(3): 196-202. DOI:10.1007/s12149-014-0809-x.
- [17] Wagner M, Ronot M, Doblas S, et al. Assessment of the residual tumour of colorectal liver metastases after chemotherapy: diffusion-weighted MR magnetic resonance imaging in the peripheral and entire tumour[J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(1): 206-215. DOI:10.1007/s00330-015-3800-6.
- [18] Curvo-Semedo L, Lambregts DM, Maas M, et al. Diffusion-weighted MRI in rectal cancer: apparent diffusion coefficient as a potential noninvasive marker of tumor aggressiveness[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2012, 35(6): 1365-1371. DOI:10.1002/jmri.23589.
- [19] Sun Y, Tong T, Cai S, et al. Apparent Diffusion Coefficient (ADC) value: a potential imaging biomarker that reflects the biological features of rectal cancer[J]. *PLoS One*, 2014, 9(10): e109371. DOI:10.1371/journal.pone.0109371.

(收稿日期:2017-11-19)