

论 著

18F-FDG PET/CT量化代谢预测结直肠癌淋巴结转移*

苏晓丽^{1,*} 钱威¹ 周洁琼²秦伟²

1.上海中医药大学附属龙华医院核医学科

2.上海中医药大学附属龙华医院放射科

(上海 200032)

【摘要】目的 分析¹⁸F-脱氧葡萄糖(FDG)正电子发射/计算机断层扫描(PET/CT)量化代谢预测结直肠癌淋巴结转移(LNM)的应用价值。**方法** 107例结直肠癌患者依据LNM分为LNM组(n=49)、Non-LNM组(n=58)。比较两组的一般资料、¹⁸F-FDG PET/CT参数水平,以Logistic回归分析¹⁸F-FDG PET/CT参数与LNM的关系,采用受试者工作特征(ROC)曲线分析¹⁸F-FDG PET/CT参数对结直肠癌患者LNM的预测价值。**结果** LNM组最大标准化摄取值(SUVmax)水平低于Non-LNM组,肿瘤代谢体积(MTV)、总病变糖酵解(TLG)水平高于Non-LNM组(P<0.05); Logistic显示SUVmax、MTV、TLG为结直肠癌患者LNM的影响因素(P<0.05); ROC显示SUVmax、MTV、TLG的曲线下面积(AUC)分别为0.716、0.773、0.721,以MTV的AUC最高,其敏感度和特异度分别为61.22%、86.21%(P<0.05);联合后可提升AUC为0.887,敏感度和特异度分别为73.47%、91.38%(P<0.05)。**结论** SUVmax、MTV、TLG预测结直肠癌LNM的效能较高,尤其是MTV,且联合诊断可进一步提升预测效能。

【关键词】 结直肠癌; ¹⁸F-氟代脱氧葡萄糖; 淋巴结转移; 正电子发射/计算机断层扫描

【中图分类号】R574.63

【文献标识码】A

【基金项目】上海市卫生健康委员会项目(2023S4KY00329)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.12.048

Quantitative Metabolic Parameters of ¹⁸F-FDG PET/CT Predicting Lymph Node Metastasis in Colorectal Cancer*

SU Xiao-li^{1,*}, QIAN Wei¹, ZHOU Jie-qiong², QIN Wei².

1.Department of Nuclear Medicine, Longhua Hospital, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200032, China

2.Department of Radiology, Longhua Hospital, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200032, China

ABSTRACT

Objective To analyze the application value of quantitative metabolic parameters of ¹⁸F-FDG PET/CT in predicting LNM in colorectal cancer. **Methods** According to the presence/absence of LNM, 107 patients with colorectal cancer were divided into LNM group (n=49) and non-LNM group (n=58). Inter-group comparisons were made on general information and ¹⁸F-FDG PET/CT parameters. The relationship between ¹⁸F-FDG PET/CT parameters and LNM was analyzed. ROC curves were used to analyze the predictive value of ¹⁸F-FDG PET/CT parameters for LNM in colorectal cancer. **Results** SUVmax in the LNM group was lower than that in the non-LNM group. MTV and TLG were greater than those in the non-LNM group (P<0.05). SUVmax, MTV, and TLG were factors influencing LNM in colorectal cancer (P<0.05). ROC showed that AUCs of SUVmax, MTV, and TLG were 0.716, 0.773, and 0.721. The AUC of MTV was the largest. Its sensitivity and specificity were 61.22% and 86.21% (P<0.05). The AUC of combination of above parameters increased to 0.887. The sensitivity and specificity were 73.47% and 91.38% (P<0.05).

Conclusion SUVmax, MTV, and TLG demonstrate relatively high efficacy for predicting LNM in colorectal cancer, especially MTV. Combined use of these parameters can further improve predictive efficacy.

Keywords: Colorectal Cancer; ¹⁸F-Fluorodeoxyglucose; Lymph Node Metastasis; Positron Emission Tomography/Computed Tomography

结直肠癌多由腺瘤性息肉演变而来,手术切除以及术后化疗仍是目前主要的治疗方案,但术后的复发率和转移率较高,主要与患者淋巴结转移(LNM)有关^[1-3]。结直肠癌部分患者在初诊时就已出现转移,而传统影像学在诊断结直肠癌患者区域LNM的准确率较低,尤其是微转移的淋巴结,故术前准确判断患者LNM,是制定个体化治疗方案以及提高生存率的关键^[4-5]。¹⁸F-氟代脱氧葡萄糖(FDG)为一常用的显像剂,结构与葡萄糖相似,也会沿着葡萄糖代谢路径分布,而肿瘤细胞的代谢旺盛,会大量摄入葡萄糖,因此¹⁸F-FDG也会大量在肿瘤组织内聚集^[6-7]。基于肿瘤细胞的葡萄糖糖代谢特征,经¹⁸F-FDG正电子发射/计算机断层扫描(PET/CT)检测后,可生成最大标准化摄取值(SUVmax)、肿瘤代谢体积(MTV)等参数,可帮助临床确认LNM、术后复发等情况^[8]。已有研究将其用于乳腺癌、唾液腺癌术前LNM的预测,均显示具有较高的预测效能^[9-10],基于此,现分析其对结直肠癌患者区域LNM的诊断效能,并以病理学检查为金标准验证其预测价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2019年10月至2024年10月上海中医药大学附属龙华医院收治的结直肠癌患者107例。

纳入标准: (1)经接受结直肠癌根治术治疗,且术后病理诊断为原发性结直肠癌; (2)术前未接受特异性治疗者; (3)影像学检查时间为术前一周内。排除标准: (1)PET/CT检查禁忌症; (2)伴有远处转移; (3)图像质量较差。根据术后病理检查结果分为LNM组(n=49)、Non-LNM组(n=58)。

1.2 方法

1.2.1 一般资料 通过查阅患者病历,收集患者的一般资料,包括性别、年龄、病灶位置、分化程度、肿瘤直径、术前癌胚抗原和糖类抗原19-9等指标水平。

1.2.2 ¹⁸F-FDG PET/CT检查方法 采用PHILIPS公司提供的Ingenuity TF型PET/CT扫描仪进行检查。嘱患者检查前空腹6h以上,静注4.0MBq/kg体重的¹⁸F-FDG(上海原子科兴药业有限公司)纯度>95%,静卧60min后扫描,先进行CT扫描,扫描范围为头顶至大腿中部,设置管电压120kV、管电流90mA、层厚3mm,CT图像采集完毕后对PET图像进行衰减校正,PET选用2D模式,采集8~10个床位,1~1.5min/床位,空腹血糖<11.1mmol/L。校正后的PET、CT图像在BLOB-OS-TF进行图像重建。

1.2.3 图像分析 由4年以上工作经验的两名医师共同阅片,通过融合图像逐层分析,并利用PETVCAR软件勾勒感兴趣区(ROI),测量原发病灶的SUVmax、MTV、总病变糖酵解(TLG)水平,取三次结果的平均值。

1.3 统计学方法 SPSS 27.0软件进行数据分析,计数资料采用检验;计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示,t检验。以Logistic回归分析¹⁸F-FDG PET/CT量化代谢参数与结直肠癌LNM的相关性,采用受试者工作特征(ROC)曲线分析代谢参数对结直肠癌LNM的预测价值。检测水

【第一作者】苏晓丽,女,主治医师,主要研究方向:腹部肿瘤影像学研究。E-mail: suxl2050@163.com

【通讯作者】苏晓丽

准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 一般资料比较 两组性别、年龄、分化程度、病灶位置、病理类型、T分期、肿瘤长径、肿瘤宽径、癌胚抗原、糖类抗原19-9水平比较无统计学意义($P>0.05$)，见表1。

2.2 两组¹⁸F-FDG PET/CT参数比较 LNM组SUVmax水平低于Non-LNM组，MTV、TLG水平高于Non-LNM组($P<0.05$)，见表2。

2.3 结直肠癌患者LNM的Logistic分析 以结直肠癌患者是否出现LNM作为因变量(是=1, 否=0)，将SUVmax、MTV、TLG作为自变量，均按原值代入Logistic回归分析，结果显示，SUVmax、MTV、TLG均为结直肠癌患者LNM的影响因素($P<0.05$)，见表3。

2.4 ¹⁸F-FDG PET/CT量化代谢参数对结直肠癌患者LNM的诊断价值 以结直肠癌患者SUVmax、MTV、TLG水平作为检验值，将出现LNM定为阳性，未出现LNM定为阴性，绘制ROC曲线。结果显示，SUVmax、MTV、TLG的AUC分别为0.716、0.773、0.721，以MTV的AUC最高，其敏感度和特异度分别为61.22%、86.21%($P<0.05$)。联合后可提升AUC为0.887，敏感度和特异度分别为73.47%、91.38%($P<0.05$)。见表4、图1。

2.5 典型病例¹⁸F-FDG PET/CT图像 见图2~3。

表1 一般资料比较[例(%)]

指标	LNM组(n=49)	Non-LNM组(n=58)	t/ χ^2	P
性别			0.399	0.527
男	30(61.22)	32(55.17)		
女	19(38.78)	26(44.83)		
年龄(岁)	58.16±7.43	55.47±8.65	1.708	0.091
分化程度			3.491	0.062
低分化	30(61.22)	25(43.10)		
中分化	19(38.78)	33(56.90)		
病理类型			0.168	0.682
腺癌	38(77.55)	43(74.14)		
黏液腺癌	11(22.45)	15(25.86)		
T分期			1.152	0.562
T2期	9(18.00)	7(12.07)		
T3期	15(30.00)	22(37.93)		
T4期	26(52.00)	29(50.00)		
病灶位置			1.049	0.592
右半结肠	16(32.65)	23(39.66)		
左半结肠	10(20.41)	8(13.79)		
直肠	23(46.94)	27(46.55)		
肿瘤长径(cm)	4.22±0.71	4.08±0.68	1.040	0.301
肿瘤宽径(cm)	3.14±0.59	3.06±0.62	0.680	0.498
癌胚抗原(ng/mL)	6.18±1.86	5.69±1.39	1.557	0.123
糖类抗原19-9(U/mL)	22.93±4.27	21.62±3.73	1.694	0.093

表2 两组¹⁸F-FDG PET/CT参数比较

组别	例数	SUVmax	MTV(cm ³)	TLG(g)
LNM组	49	12.36±4.21	14.52±3.84	154.65±41.59
Non-LNM组	58	16.28±5.32	10.96±3.17	122.76±34.91
t		4.170	5.254	4.313
P		<0.001	<0.001	<0.001

表3 结直肠癌患者LNM的Logistic分析

指标	β	SE	Wald	OR	95%CI	P
SUVmax	-0.251	0.065	15.112	0.778	0.686~0.883	<0.001
MTV	0.306	0.077	15.718	1.358	1.167~1.580	<0.001
TLG	0.030	0.008	13.271	1.030	1.014~1.047	<0.001
常量	-4.431	1.515	8.553	0.012	-	0.012

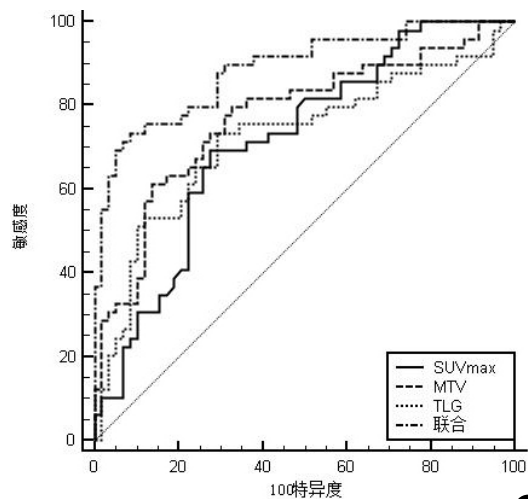


图1 ¹⁸F-FDG PET/CT量化代谢参数对结直肠癌患者LNM的诊断价值。

表4 ¹⁸F-FDG PET/CT量化代谢参数对结直肠癌患者LNM的诊断价值

指标	AUC	95%CI	Z	P	约登指数	临界值	敏感度	特异度
SUVmax	0.716	0.621~0.799	4.354	<0.001	0.418	≤13.30	69.39	72.41
MTV	0.773	0.682~0.848	5.825	<0.001	0.474	>14.11cm ³	61.22	86.21
TLG	0.721	0.626~0.803	4.249	<0.001	0.442	>127.54g	73.47	70.69
联合	0.887	0.811~0.940	12.086	<0.001	0.649	>0.582	73.47	91.38

注: AUC: 曲线下面积。

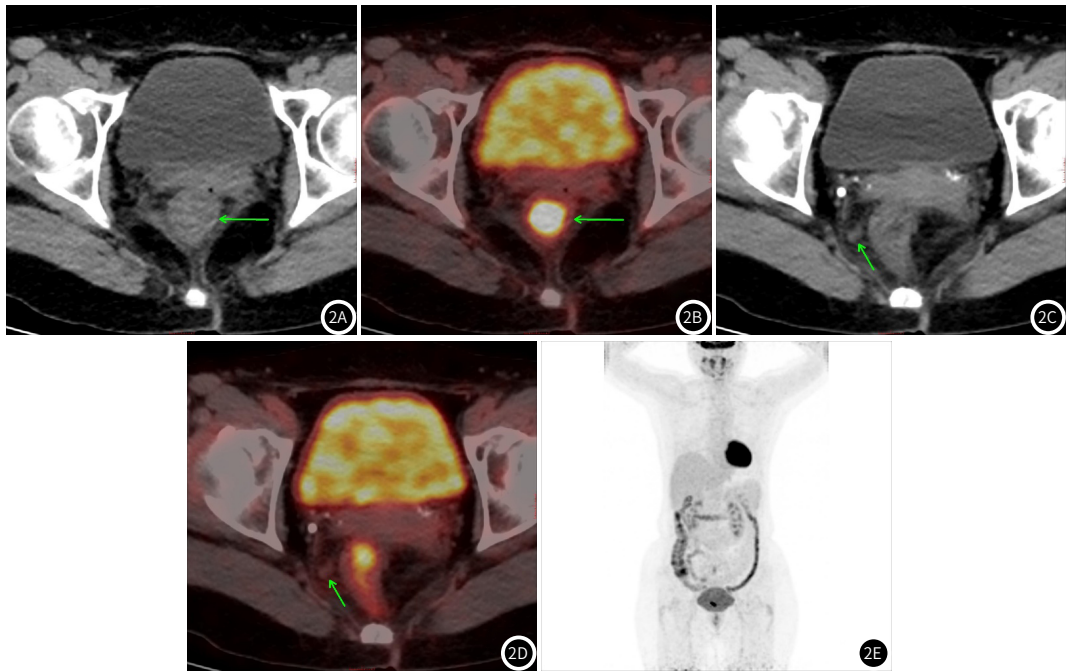


图2 患者女, 61岁, 病理直肠腺癌。图2A、2C CT平扫图, 图2B、2D PET/CT融合图, 图2E 最大密度投影(MIP)图。直肠软组织影伴FDG代谢异常增高, SUVmax 11.89, MTV 3.2cm³, TLG 22.53g。

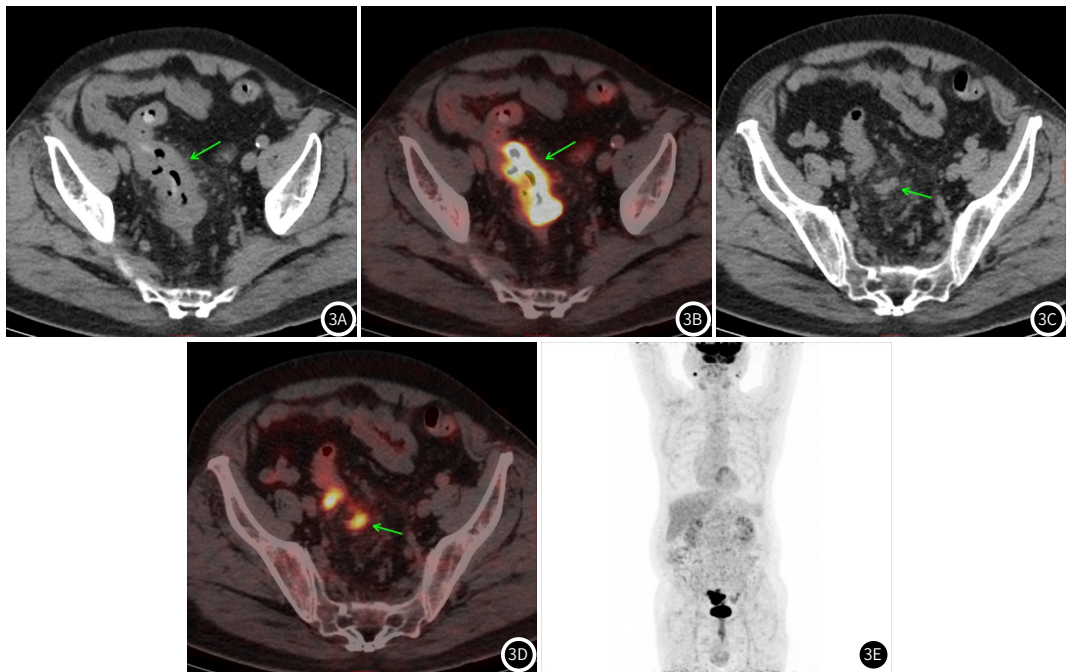


图3 患者男, 66岁, 病理乙状结肠腺癌; 图3A、3C CT平扫图, 图3B、3D PET/CT融合图, 图3E MIP图。乙状结肠壁增厚伴FDG代谢异常增高, SUVmax 20.35, MTV 25.3cm³, TLG 285.9g。

3 讨论

受居民饮食结构变化的影响, 近年来结直肠癌发病率明显升高, 患者表现为明显的腹痛、腹胀、便血等, 若不及时治疗, 还会导致肠穿孔等严重并发症发生^[11-12]。手术是治疗结直肠癌的主要方式, 可延长患者生存期, 但部分患者术后两年内的复发风险较高, 需联合淋巴清扫术以改善患者预后, 目前对LNM的诊断较为困难^[13]。故术前合理判断患者是否存在LNM对术式的选择和预后的改善均有重要意义。¹⁸F-FDG PET/CT可通过病变组织葡萄糖

吸收情况帮助判断淋巴结性质, 不仅可显示其解剖学信息, 还可显示其代谢信息^[14-15]; 已有研究将其用于乳腺癌、胃癌等疾病LNM的诊断, 显示具有较好的诊断效能^[16-17]。

本研究显示, LNM与Non-LNM患者SUVmax、MTV、TLG水平比较差异有统计学意义, 且SUVmax、MTV、TLG为结直肠癌LNM的危险因素。因肿瘤细胞对葡萄糖的摄取高于正常细胞, 故¹⁸F-FDG经注射后会集中分布于肿瘤组织内, 通过PET可捕捉

^{18}F -FDG释放的正电子信号,反映 ^{18}F -FDG在体内的分布情况,再利用CT可提供解剖图像,融合生成的PET/CT影像可清晰显示代谢异常的部位^[18]。本研究显示SUVmax为13.30是预测LNM的临界值,但其仅代表病灶的最高摄取值,不能反映肿瘤的整体代谢水平,患者血糖水平、注射后成像时间、病变大小等均会影响SUVmax水平,故其AUC较低,仅为0.716。近来已有研究将MTV、TLG引入预测恶性肿瘤预后中。MTV反映的是肿瘤组织中高代谢组织所占体积,考虑到了PET图像上的所有像素体积,从而更好的反映高代谢细胞的水平^[19];而TLG可反映肿瘤解剖、代谢信息^[20]。本研究显示,MTV、TLG均有较高的预测效能,AUC分别为0.773、0.721,均高于SUVmax的AUC水平,显示均有更高的预测价值。蒯玉娟^[21]学者在其研究中也指出,高MTV水平是LNM的危险因子之一。Suzuki Y^[22]等学者的研究也显示结肠直肠癌患者的MTV、TLG水平与N分期具有相关性。Liu J^[23]等学者的研究显示,较高的MTV、TLG水平提示肺癌患者在接受手术切除后,仍具有较高的复发和死亡的风险。本研究将SUVmax、MTV、TLG水平进行联合分析,发现可提升诊断效能,其AUC为0.887,敏感度和特异度分别为73.47%、91.38%,表明 ^{18}F -FDG PET/CT量化代谢参数联合分析,有助于提高对结肠直肠癌患者LNM的诊断。

综上所述, ^{18}F -FDG PET/CT量化代谢参数对结肠直肠癌患者LNM具有较高的预测效能,经过联合后可明显提升诊断效能,可为临床诊断LNM提供更为可靠、精准的定量参数,从而辅助临床其进行医疗决策,具有较高应用价值。

参考文献

- [1] 严征远,卜雪峰,曹能琦,等.增强CT淋巴结形态联合错配修复蛋白表达检测对结肠癌区域淋巴结转移的评估作用[J].中国实验诊断学,2023,27(2):153-157.
- [2] 徐思蕾,莫文慧,何霞,等.PD-1/PD-L1抑制剂在转移性结肠癌中的应用研究进展[J].医药导报,2024,43(8):1251-1258.
- [3] Deng J,Zhou S,Wang Z,et al.Comparison of prognosis and lymph node metastasis in T1-stage colonic and rectal carcinoma:a retrospective study[J].Int J Gen Med,2022,15:3651-3662.
- [4] 万幸,赵心竹,罗敏,等.结肠癌双层探测器光谱CT成像:转移性与非转移性淋巴结的对照研究[J].放射学实践,2021,36(12):1543-1547.
- [5] Suman S,Markovic SN.Melanoma-derived mediators can foster the premetastatic niche:crossroad to lymphatic metastasis[J].Trends Immunol,2023,44(9):724-743.
- [6] Wu G,Wang D,Zhang W,et al.Head-to-head comparison of [68Ga]Ga-FAPI PET and [18F]FDG PET in the detection of bone and lymph node metastasis in various cancers:a systematic review and meta-analysis[J].Eur J Radiol,2024,171:111302.
- [7] 于丽,朱璇璇,魏宁. ^{18}F -FDG PET/CT影像组学对肺腺癌KRAS突变的预测价值[J].中国和MRI杂志,2024,22(1):59-62.
- [8] Zhou Z,Wang Z,Zhang B,et al.Comparison of 68Ga-DOTANOC and ^{18}F -FDG PET-CT scans in the evaluation of primary tumors and lymph node metastasis in patients with rectal neuroendocrine tumors[J].Front Endocrinol (Lausanne),2021,12:727327.
- [9] 陈丹丹,楼云龙,林政. ^{18}F -FDG PET/CT代谢参数预测乳腺癌腋窝淋巴结转移的价值[J].中国医学影像学杂志,2024,32(10):1027-1031.
- [10] 延涵,钟奕伟,王凌霄,等.基于 ^{18}F -FDG PET/CT影像组学治疗前预测唾液腺癌颈部淋巴结转移[J].中华放射医学与防护杂志,2022,42(5):361-366.
- [11] 周军胜,郑静,徐阿巧,等.基于PET/CT的影像组学联合模型预测结肠直肠癌肝转移的价值[J].临床放射学杂志,2024,43(12):2101-2107.
- [12] 黄浩哲,陈红,郑德重,等.基于CT的影像组学诺模图预测结肠癌肺转移射頻消融后的局部肿瘤进展[J].中国癌症杂志,2024,34(9):857-872.
- [13] 王萍,谢丽璇. ^{18}F -FDG PET/CT代谢参数联合血清FOXM1在诊断结肠癌淋巴结转移中的应用[J].影像科学与光化学,2022,40(6):1570-1575.
- [14] Nikolova PN,Hadzhivyska VH,Mladenov KB,et al.The impact of ^{18}F -FDG PET/CT in the clinical management of patients with lymph node metastasis of unknown primary origin[J].Neoplasma,2021,68(1):180-189.
- [15] Sun R,Tang X,Yang Y,et al.(18)FDG-PET/CT for the detection of regional nodal metastasis in patients with head and neck cancer:a meta-analysis[J].Oral Onco,2015,51(4):314-20.
- [16] Dondi F,Albano D,Giubbini R,et al. ^{18}F -FDG PET/CT for the evaluation of male breast cancer:a systematic review[J].Nucl Med Commun,2022,43(2):123-128.
- [17] Qin C,Shao F,Gai Y,et al.68Ga-DOTA-FAPI-04 PET/MR in the Evaluation of Gastric Carcinomas:Comparison with ^{18}F -FDG PET/CT[J].J Nucl Med,2022,63(1):81-88.
- [18] Huang W,Son MH,Ha LN,et al.More than meets the eye:2-[18F]FDG PET-based radiomics predicts lymph node metastasis in colorectal cancer patients to enable precision medicine[J].Eur J Nucl Med Mol Imaging,2024,51(6):1725-1728.
- [19] 孔德贤,宋丽萍,向阳.PET/CT代谢参数与血液炎症标志物对一线化疗的非小细胞肺癌患者预后列线图的构建及临床意义[J].南方医科大学学报,2023,43(12):2139-2144.
- [20] 秦莉琳,易贺庆,王夏婉,等. ^{18}F -FDG PET/CT代谢参数联合肿瘤标志物预测胃腺癌PD-L1表达状态的初步探索[J].临床放射学杂志,2024,43(7):1141-1146.
- [21] 蒯玉娟,葛继元,王振,杨剑,左长京.影像定量分析预测直肠癌淋巴结转移的价值[J].中华核医学与分子影像杂志,2018,38(6):390-394.
- [22] Suzuki Y,Okabayashi K,Hasegawa H,et al.Metabolic tumor volume and total lesion glycolysis in PET/CT correlate with the pathological findings of colorectal cancer and allow its accurate staging[J].Clin Nucl Med,2016,41(10):761-5.
- [23] Liu J,Dong M,Sun X,et al.Prognostic value of ^{18}F -FDG PET/CT in surgical non-small cell lung cancer:a meta-analysis[J].PLoS One,2016,11(1):e0146195.

(收稿日期:2025-04-15)

(校对编辑:姚丽娜)