

^{68}Ga -PSMA-11 PET/CT 半定量指标对前列腺良恶性病变鉴别诊断的价值

秦露平¹ 吕杰¹ 李名钊² 李建芳¹ 谢良骏¹ 查悦明¹ 蒋永沛¹ 程木华¹

¹中山大学附属第三医院核医学科, 广州 510630; ²中山大学附属第三医院泌尿外科, 广州 510630

通信作者: 程木华, Email: chmarka@163.com

【摘要】 目的 探讨 ^{68}Ga -前列腺特异膜抗原(PSMA)-11 PET/CT 半定量指标对前列腺良恶性病变鉴别诊断的价值。方法 回顾性分析 2017 年 11 月至 2018 年 6 月于本院行 ^{68}Ga -PSMA-11 PET/CT 检查的初诊患者 30 例(年龄 52~86 岁), 检查前 1 周内检测血清总前列腺特异抗原(tPSA)和游离前列腺特异抗原(fPSA)。通过阈值自动分割法测量前列腺病灶 ^{68}Ga -PSMA-11 PET 半定量指标, 包括病灶 PSMA 体积(V_{PSMA})、最大标准摄取值(SUV_{max})、平均标准摄取值(SUV_{mean})、标准摄取值峰值(SUV_{peak})及病灶 PSMA 总量(TLU_{PSMA})。采用 Mann-Whitney u 检验比较前列腺良恶性病变各指标的差异, 用受试者工作特征(ROC)曲线获得鉴别前列腺良恶性病变的最佳阈值。结果 经病理证实, 19 例为前列腺癌, 11 例为前列腺良性病变。前列腺良恶性病变患者之间的 tPSA、 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 、 SUV_{peak} 及 TLU_{PSMA} 差异均有统计学意义(u 值: 17.00~48.00, 均 $P < 0.05$); 而两者之间的 fPSA、fPSA/tPSA 及 V_{PSMA} 差异均无统计学意义(u 值: 64.00~99.00, 均 $P > 0.05$)。tPSA 鉴别前列腺良恶性病变最佳阈值为 18.30 $\mu\text{g/L}$, 对应的灵敏度为 13/17(2 例患者 PSA 信息缺失), 特异性为 9/11, ROC 曲线下面积(AUC)为 0.743。 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 及 SUV_{peak} 鉴别前列腺良恶性病变最佳阈值为分别为 5.50、3.09 及 3.56, 对应灵敏度均为 18/19, 特异性均为 9/11, AUC 分别为 0.902、0.907 及 0.919。 TLU_{PSMA} 鉴别前列腺良恶性病变最佳阈值为 54.81 cm^3 , 对应灵敏度为 14/19, 特异性为 9/11, AUC 为 0.804。结论 ^{68}Ga -PSMA-11 PET/CT 半定量指标 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 、 SUV_{peak} 及 TLU_{PSMA} 对前列腺良恶性病变鉴别有价值, 其中 SUV_{peak} 诊断效能可能更佳。

【关键词】 前列腺肿瘤; 前列腺特异膜抗原; 同位素标记; 镓放射性同位素; 正电子发射断层显像术; 体层摄影术, X 线计算机; 诊断, 鉴别

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.02.002

Value of semi-quantitative indices of ^{68}Ga -PSMA-11 PET/CT in differential diagnosis of malignant and benign prostate lesions

Qin Luping¹, Lyu Jie¹, Li Mingzhao², Li Jianfang¹, Xie Liangjun¹, Zha Yueming¹, Jiang Yongluo¹, Cheng Muhua¹

¹Department of Nuclear Medicine, the Third Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510630, China; ²Department of Urology, the Third Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510630, China

Corresponding author: Cheng Muhua, Email: chmarka@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the value of semi-quantitative indices of ^{68}Ga -prostate specific membrane antigen (PSMA)-11 PET/CT in differentiating malignant and benign prostate lesions. **Methods** From November 2017 to June 2018, 30 patients (age: 52–86 years) who underwent ^{68}Ga -PSMA-11 PET/CT imaging in the Third Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University were retrospectively analyzed, and the serum total prostate specific antigen (tPSA) and free prostate specific antigen (fPSA) were examined within 1 week before PET/CT imaging. Semi-quantitative indices of ^{68}Ga -PSMA-11 PET/CT on prostate lesions were measured by automatic segmentation algorithm method, including PSMA-related lesion volume (V_{PSMA}), maximum standardized uptake value (SUV_{max}), mean standardized uptake value (SUV_{mean}), peak standardized uptake value (SUV_{peak}) and total lesion uptake value of PSMA (TLU_{PSMA}). The indices were compared between malignant and benign prostate lesions, and the optimal cut-off values for differentiating malignant and benign prostate lesions were obtained by receiver operating characteristic (ROC) curve analysis. **Results** According to the pathological results, 19 patients had malignant lesions and 11 were with benign diseases. The differences of tPSA, SUV_{max} , SUV_{mean} , SUV_{peak} and TLU_{PSMA} between malignant and benign

prostate lesions were statistically significant (u values: 17.00–48.00, all $P < 0.05$), but there were no significant differences of fPSA, fPSA/tPSA and V_{PSMA} between 2 groups (u values: 64.00–99.00, all $P > 0.05$). The optimal cut-off value of tPSA was 18.30 $\mu\text{g/L}$ for differentiating malignant and benign prostate lesions, with sensitivity of 13/17 (PSA of 2 patients were missing), specificity of 9/11 and area under curve (AUC) of 0.743. The optimal cut-off values of SUV_{max} , SUV_{mean} and SUV_{peak} were 5.50, 3.09 and 3.56, respectively, with all corresponding sensitivity of 18/19, all specificity of 9/11, and AUC of 0.902, 0.907 and 0.919, respectively. The optimal cut-off value of TLU_{PSMA} was 54.81 cm^3 , with sensitivity of 14/19, specificity of 9/11 and AUC of 0.804. **Conclusion** The semi-quantitative indices of ^{68}Ga -PSMA-11 PET/CT are valuable for differentiating malignant and benign prostate lesions, in which SUV_{peak} is superior to other indices.

【Key words】 Prostatic neoplasms; Prostate-specific membrane antigen; Isotope labeling; Gallium radioisotopes; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Diagnosis, differential
DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.02.002

近年来,我国前列腺癌的发病率及死亡率呈现持续增长趋势,前列腺癌正成为严重影响我国老年男性健康的泌尿系统恶性肿瘤^[1]。传统影像学检查在前列腺癌危险度分层、精确分期及检测低水平前列腺特异抗原(prostate specific antigen, PSA)的生化复发患者等方面存在不足。为了更好地满足临床需求, PET 特异性显像剂 ^{68}Ga -前列腺特异膜抗原(prostate specific membrane antigen, PSMA)-11 开始应用于前列腺癌,但特异性不高,除了前列腺癌中显像阳性,在其他肿瘤或良性疾病中也可呈阳性显像^[2-3]。为了更好地鉴别前列腺良恶性病变,本研究探讨了 ^{68}Ga -PSMA-11 PET/CT 半定量指标的鉴别诊断价值。

资料与方法

1. 研究对象。本研究为回顾性病例对照研究。选取本院 2017 年 11 月至 2018 年 6 月间初诊怀疑前列腺癌的患者 30 例,年龄 52~86 岁。纳入标准:(1)行前列腺穿刺或术前行 ^{68}Ga -PSMA-11 PET/CT 显像;(2)PET/CT 检查前未行任何临床治疗(包括手术、放疗、内分泌治疗等);(3)PET/CT 检查前 1 周内检测血清总 PSA(total PSA, tPSA;正常参考值范围 0~5 $\mu\text{g/L}$)和游离 PSA(free PSA, fPSA;正常参考值范围 0~1 $\mu\text{g/L}$);(4)经病理证实。排除标准:除外非初诊或复诊、未经病理证实及 PET/CT 显像前经过治疗的可疑前列腺癌患者。研究经伦理委员会批准,所有患者签署知情同意书。

采用仪器为美国雅培公司全自动化学发光免疫分析仪(ARCHITECT i2000SR),行化学发光微粒子免疫检测法检测 tPSA 和 fPSA。

2. ^{68}Ga -PSMA-11 显像。按照患者体质量静脉注射 ^{68}Ga -PSMA-11(广州原子高科同位素药业有限公司提供,放化纯 92%~98%)3.70~5.55 MBq/kg,静息 60 min,并饮用甘露醇稀释液 1 000 ml 充盈胃肠

道,排尿后行 PET/CT(美国 GE 公司 Discovery Elite)显像。扫描范围从头部至大腿中段,先行体部 CT 显像,采用自动电流、电压 120 kV、扫描层厚 2.5 mm;后行体部 PET 显像,100 s/床位,约 9~11 个床位。采用 VUE Point FX 算法进行重建,于后处理工作站 AW 系统打开图像,得到横断位、冠状位、矢状位断层图像及最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)图像。

3. 图像分析。 ^{68}Ga -PSMA-11 PET/CT 图像由 1 位经验丰富的核医学科医师盲法分析。采用三维勾画法在 PET/CT 融合图像上勾画前列腺病灶感兴趣(region of interest, ROI),系统自动计算出前列腺病灶最大标准摄取值(maximum standardized uptake value, SUV_{max})。以 40% SUV_{max} 为阈值,自动勾画 ROI 内标准摄取值(standardized uptake value, SUV)大于上述阈值的部分,同时计算病灶 PSMA 体积(V_{PSMA})、平均 SUV(mean SUV, SUV_{mean})、SUV 峰值(peak SUV, SUV_{peak})及病灶 PSMA 总量(total lesion uptake value of PSMA, TLU_{PSMA}),其中 TLU_{PSMA} 为病灶 SUV_{mean} 与 V_{PSMA} 的乘积。

4. 统计学处理。采用 GraphPad Prism 5 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。2 组间血清学指标 tPSA、fPSA、fPSA/tPSA 及 PET/CT 半定量指标比较采用 Mann-Whitney u 检验;绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,获得各指标鉴别前列腺良恶性病变的最佳阈值;PET/CT 半定量指标与血清学指标之间相关性采用 Pearson 相关分析。 $P < 0.05$ 为差异或相关性有统计学意义。

结 果

1. 病理检查结果。30 例患者中,前列腺癌 19 例(手术病理证实 13 例,细针穿刺病理证实 6 例),前列腺良性病变 11 例(手术病理证实 5 例,细针穿刺

病理证实 6 例)。19 例前列腺癌患者 Gleason 评分为 7、8、9 及 10 分者分别有 3、5、6 和 1 例,另外 4 例因穿刺组织少或其他原因 Gleason 评分不详。11 例前列腺良性病变患者中,前列腺慢性炎性病变 6 例、前列腺增生 3 例、前列腺增生伴慢性炎性病变 1 例、肉芽肿性炎 1 例。

2.前列腺良恶性病变指标比较(表 1)。前列腺癌与良性病变患者 tPSA 间差异有统计学意义($u = 48.00, P < 0.05$),而两者 fPSA 及 fPSA/tPSA 间差异均无统计学意义(u 值:64.00,65.00,均 $P > 0.05$)。前列腺癌与良性病变患者 V_{PSMA} 间差异无统计学意

义($u = 99.00, P > 0.05$),而两者 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 、 SUV_{peak} 及 TLU_{PSMA} 间差异均有统计学意义(u 值:17.00~41.00,均 $P < 0.05$)。典型患者显像图见图 1。

3.不同指标的诊断效能及相关分析。根据 ROC 曲线(图 2),tPSA 鉴别前列腺良恶性病变最佳阈值为 $18.30 \mu\text{g/L}$,对应灵敏度为 13/17(2 例前列腺癌患者 PSA 信息缺失),特异性为 9/11,ROC 曲线下面积(area under curve, AUC)为 0.743(95% CI:0.547~0.940); SUV_{max} 、 SUV_{mean} 及 SUV_{peak} 的最佳阈值为分别为 5.50、3.09 及 3.56,对应灵敏度均为 18/19,特异性均为 9/11,AUC 分别为 0.902(95% CI:0.787~

表 1 30 例前列腺良恶性病变患者指标比较 [$M(P_{25}, P_{75})$]

组别	例数	tPSA ($\mu\text{g/L}$)	fPSA ($\mu\text{g/L}$)	fPSA/tPSA	V_{PSMA} (cm^3)
良性	11	7.09(5.67, 16.20)	1.20(0.51, 3.20)	0.18(0.13, 0.24)	12.82(6.52, 20.32)
恶性	19	24.74(5.01, 93.32)	4.21(0.94, 6.58)	0.15(0.07, 0.19)	14.04(6.87, 26.00)
u 值		48.00	64.00	65.00	99.00
P 值		<0.05	>0.05	>0.05	>0.05

组别	例数	SUV_{max}	SUV_{mean}	SUV_{peak}	TLU_{PSMA} (cm^3)
良性	11	4.64(3.71, 5.18)	2.33(1.97, 3.07)	2.56(2.26, 3.37)	25.21(13.29, 44.94)
恶性	19	12.38(6.99, 26.67)	6.81(4.13, 14.81)	8.68(5.60, 21.14)	86.43(37.42, 176.90)
u 值		20.50	19.50	17.00	41.00
P 值		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

注:tPSA 为游离前列腺特异抗原,PSA 为前列腺特异抗原,PSMA 为前列腺特异膜抗原, SUV_{max} 为最大标准摄取值, SUV_{mean} 为平均标准摄取值, SUV_{peak} 为标准摄取值峰值, TLU_{PSMA} 为病灶 PSMA 总量,tPSA 为血清总 PSA, V_{PSMA} 为病灶 PSMA 体积

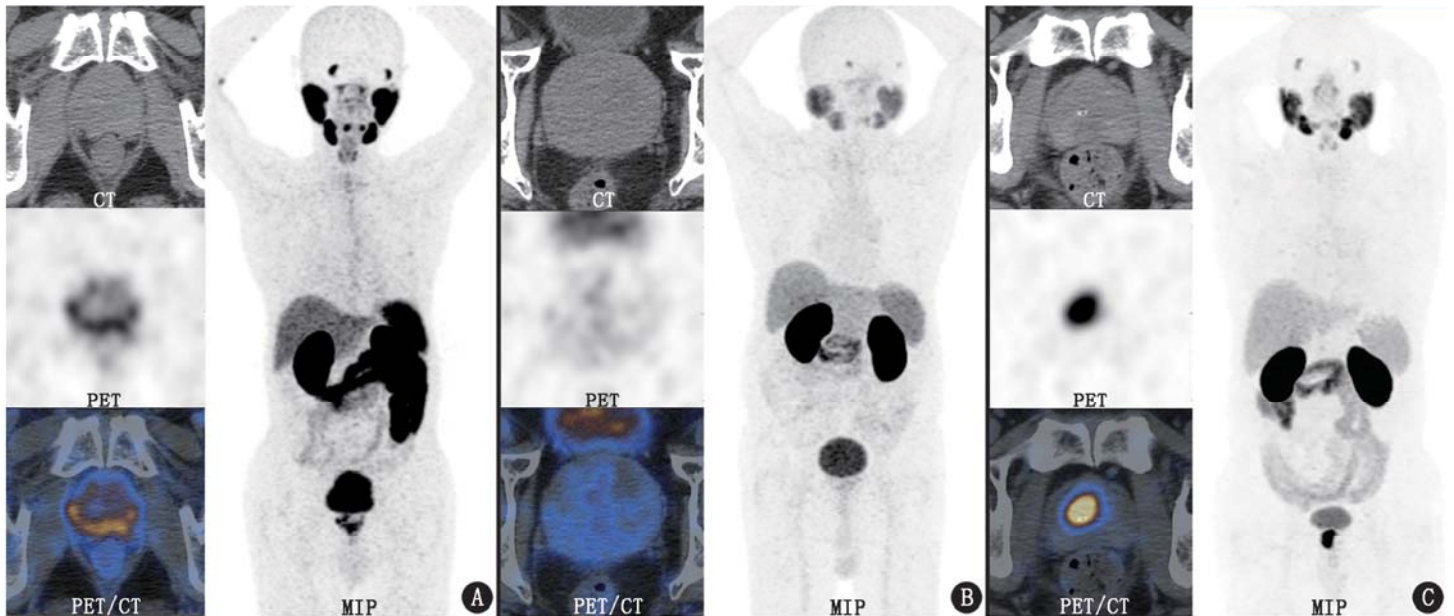


图 1 前列腺良恶性病变患者 ^{68}Ga -前列腺特异膜抗原(PSMA)-11 PET/CT 显像图。A.前列腺癌患者,76 岁。前列腺横断位 CT 未见明显异常密度影,对应的 PET 及 PET/CT 示前列腺弥漫性明显放射性浓聚;最大密度投影(MIP)图示前列腺局部明显放射性浓聚灶,右上肢为注射点少量放射性残留;病灶 PSMA 体积(V_{PSMA})为 15.11 cm^3 、最大标准摄取值(SUV_{max})为 10.08、平均标准摄取值(SUV_{mean})为 5.72、标准摄取值峰值(SUV_{peak})为 8.05、病灶 PSMA 总量(TLU_{PSMA})为 86.43 cm^3 ;B.前列腺慢性炎性病变患者,69 岁。前列腺横断位 CT 示前列腺明显增大,局部未见明显异常密度影,对应的 PET 及 PET/CT 示前列腺弥漫性轻度放射性浓聚;MIP 图示前列腺局部轻度放射性浓聚灶; V_{PSMA} 为 40.29 cm^3 、 SUV_{max} 为 3.84、 SUV_{mean} 为 1.97、 SUV_{peak} 为 2.56、 TLU_{PSMA} 为 79.43 cm^3 ;C.前列腺癌患者,65 岁。前列腺横断位 CT 示前列腺局部见钙化影,对应的 PET 及 PET/CT 示前列腺局灶性明显放射性浓聚,MIP 图示前列腺局部明显放射性浓聚灶; V_{PSMA} 为 5.78 cm^3 、 SUV_{max} 为 23.52、 SUV_{mean} 为 14.81、 SUV_{peak} 为 18.96、 TLU_{PSMA} 为 85.64 cm^3

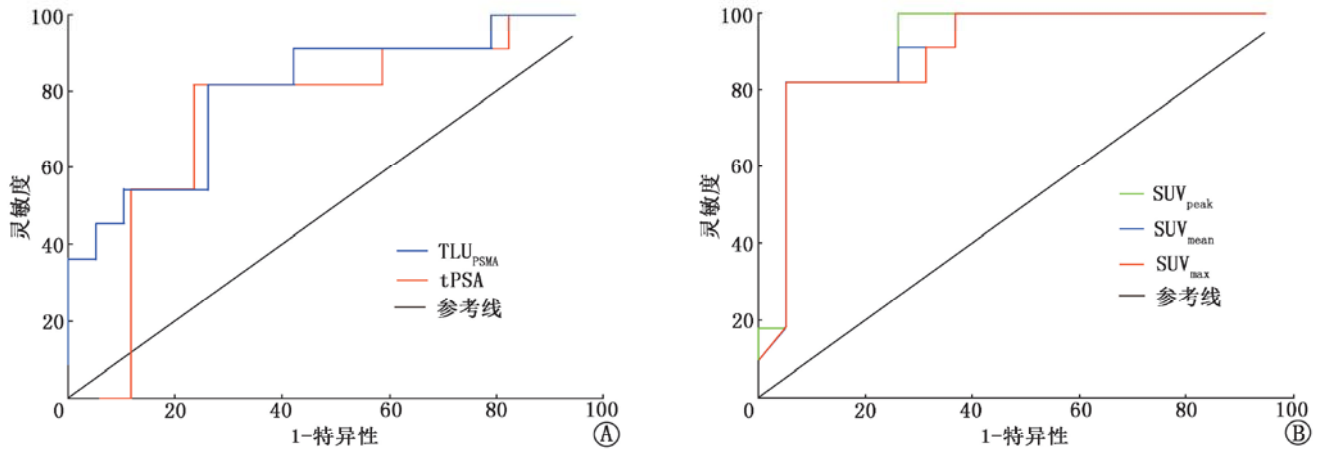


图 2 不同指标鉴别 30 例前列腺良恶性病变患者的受试者工作特征(ROC)曲线。A. 指标分别为血清中总前列腺特异性抗原(tPSA)和病灶前列腺特异性膜抗原总量(TLU_{PSMA})；B. 指标分别为最大标准摄取值(SUV_{max})、平均标准摄取值(SUV_{mean})、标准摄取值峰值(SUV_{peak})

1.017)、0.907(95% CI: 0.795~1.019)及 0.919(95% CI: 0.816~1.021)；TLU_{PSMA}的最佳阈值为 54.81 cm³，对应灵敏度为 14/19，特异性为 9/11，AUC 为 0.804(95% CI: 0.636~0.972)。

PET/CT 半定量指标 V_{PSMA} 、SUV_{max}、SUV_{mean}、SUV_{peak} 及 TLU_{PSMA} 与血清学指标 tPSA、fPSA 及 fPSA/tPSA 之间的相关性均无统计学意义(r_s 值: -0.035~0.254, 均 $P>0.05$)。

讨 论

PSA 是前列腺癌最重要的血清学标志物,本研究显示 tPSA 在前列腺良恶性病变患者中存在明显差异,当 tPSA 阈值为 18.30 μg/L 时,其鉴别前列腺良恶性病变的灵敏度为 13/17,特异性为 9/11,AUC 为 0.743;而 fPSA 及 fPSA/tPSA 在前列腺良恶性病变患者中无明显差异。刘君廷等^[4]的研究显示,当 tPSA>9.5 μg/L 及 fPSA/tPSA≤0.16 时,诊断前列腺癌的灵敏度分别为 67.7% 和 77.4%,特异性分别为 58.8% 和 73.5%,AUC 分别为 0.659 和 0.808。本研究结果与其有一定差异,可能与样本量及纳入的前列腺良性病变人群有关。因此,PSA 对于前列腺良恶性鉴别诊断有一定价值,但在前列腺癌与良性病变间仍存在较大的 PSA 重叠区域。

目前,⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT 在前列腺癌中的应用已有较多报道,但集中于前列腺癌临床分期及探测前列腺癌生化复发方面,关于前列腺癌早期诊断与鉴别诊断方面的研究有限。Koerber 等^[5]的研究显示,在⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT 显像中,以 SUV_{max} 2.73 为阈值鉴别前列腺癌与正常前列腺组织的灵敏度和特异性分别为 100% 和 97.62%。国内外关于⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT 在前列腺癌与前列腺良性病变中的研究较少,且均以半定量指标 SUV_{max} 或

SUV_{ratio}(病灶与本底 SUV_{max} 比值)来分析。蒋翠萍等^[6]报道前列腺癌呈局灶性放射性摄取,前列腺增生常为弥散性摄取或轻度摄取;以 SUV_{max} 7.945 为阈值鉴别两者的灵敏度及特异性分别为 85% 及 84.62%。Lopci 等^[7]报道以 SUV_{max}>4.8 及 SUV_{ratio}>1.8 鉴别前列腺良恶性病变的灵敏度分别为 82.4% 及 94.1%,特异性分别为 72.2% 及 88.9%。本研究不仅分析了 SUV_{max},还研究了其他 PET 半定量指标的鉴别诊断价值。其中, V_{PSMA} 对于前列腺良恶性鉴别无意义,前列腺良恶性病灶肉眼观察均可以表现为局灶性或广泛性放射性摄取,这与蒋翠萍等^[6]的结果存在一定矛盾,原因可能主要与不同研究纳入的人群差异有关。本研究其他 PET 半定量指标 SUV_{max}、SUV_{mean}、SUV_{peak} 及 TLU_{PSMA} 在前列腺良恶性病变中均存在明显差异,灵敏度及特异性均较高,AUC 均在 0.8 以上,其中 SUV_{peak} 的 AUC 高达 0.919。与血清学指标 tPSA 比较,SUV_{max}、SUV_{mean} 及 SUV_{peak} 的灵敏度及 AUC 均更高,对于前列腺良恶性病变的鉴别价值可能更大。

在以 PSMA 为靶点的显像剂出现前,¹¹C-胆碱一直是前列腺癌研究及应用较多的 PET 显像剂。部分关于¹¹C-胆碱 PET/CT 在前列腺良恶性病变中价值的研究显示,单凭病灶 SUV_{max} 难以有效鉴别良恶性,而病灶与肌肉组织放射性摄取比值对于良恶性鉴别可能有价值^[8-9]。与¹¹C-胆碱比较,⁶⁸Ga-PSMA-11 诊断前列腺癌可能有更高的特异性。在前列腺良恶性病变鉴别方面,本研究也显示由⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT 衍生的不同半定量指标有很高的灵敏度及特异性。

本研究还探讨了患者前列腺病灶的不同⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT 半定量指标与血清学指标之间的关系,发现两者之间均无明显相关性。Schmuck 等^[10]

的研究显示,反映全身肿瘤负荷的⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT 半定量指标肿瘤 PSMA 体积 (PSMA-derived tumor volume, PSMA-TV) 及所有病灶 PSMA 总量 (total lesion PSMA, TL-PSMA) 与 PSA 之间均明显相关,可作为肿瘤负荷的替代标志物;而 SUV_{max} 或 SUV_{mean} 与 PSA 之间没有相关性,因为 SUV_{max} 或 SUV_{mean} 仅代表单个病灶中显像剂摄取强度,不能像 PSMA-TV 及 TL-PSMA 一样用于评估全身肿瘤负荷。本研究⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT 的半定量指标只反映局部前列腺病灶的显像剂摄取强度,而部分前列腺癌患者不仅有淋巴结转移,甚至有多发骨转移瘤的情况,因此,这可能是本研究前列腺病灶的半定量指标与血清学指标无相关性的原因所在。蒋翠萍等^[6]的研究显示前列腺癌病灶 SUV_{max} 与 PSA 之间明显相关,这或许与纳入的前列腺癌人群有关。因为早期前列腺癌患者可能还未发生淋巴结及远处转移,所以局部前列腺癌病灶 SUV_{max} 有可能反映全身肿瘤负荷情况;Schmidkonz 等^[11]的研究也显示,在只有单个病灶的前列腺癌患者中,SUV_{max}、SUV_{mean}、PSMA-TV 及 TL-PSMA 均与 PSA 有相关性。

尽管 PSMA 在绝大多数前列腺癌中有明显表达,但有接近 5% 的前列腺癌 PSMA 表达并不明显^[3],本研究中也观察到 1 例患者前列腺癌病灶 SUV_{max} 仅有 2.12。另外,本研究中有 1 例前列腺增生并慢性炎性病变及 1 例肉芽肿性炎患者 PSMA 表达较高,SUV_{max} 分别为 8.56 及 7.55。许多良性病变包括一些炎性病变以及肉芽肿性病变,PSMA 均可以表达增高,这可能与病灶中新生血管的分布有关^[2-3]。因此,在⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT 的临床应用中,需正确认识⁶⁸Ga-PSMA-11 对于前列腺癌的特异性,而⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT 的半定量指标对于前列腺良恶性鉴别可能有重要参考价值。

本研究病例数较少,有待进一步收集相关病例及进行多中心研究。另外,本研究半定量指标是在 40%SUV_{max} 的条件下勾画 ROI 获得,是否在其他条件下获得的半定量指标有类似结果,值得深入探讨。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

[1] 韩苏军.中国前列腺癌发病及死亡现状和流行趋势分析[D].北京:北京协和医学院,2015.

Han SJ. Analysis of the status and trends of prostate cancer incidence and mortality in China[D]. Beijing: Peking Union Medical College, 2015.

[2] Sheikhabaei S, Afshar-Oromieh A, Eiber M, et al. Pearls and

pitfalls in clinical interpretation of prostate-specific membrane antigen (PSMA)-targeted PET imaging[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2017, 44(12): 2117-2136. DOI: 10.1007/s00259-017-3780-7.

[3] Fendler WP, Eiber M, Beheshti M, et al. ⁶⁸Ga-PSMA PET/CT: joint EANM and SNMMI procedure guideline for prostate cancer imaging: version 1.0[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2017, 44(6): 1014-1024. DOI:10.1007/s00259-017-3670-z.

[4] 刘君廷,张文,梁莉.血清 t-PSA、f-PSA/t-PSA、DRE 及 TRUS 对前列腺癌的诊断价值分析[J].中国实验诊断学,2012,16(4): 650-653. DOI:10.3969/j.issn.1007-4287.2012.04.027.

Liu JT, Zhang W, Liang L. Study of the diagnostic value of serum t-PSA, f-PSA/t-PSA, DRE, TRUS in patients with prostate cancer [J]. Chin J Lab Diag, 2012, 16(4): 650-653. DOI:10.3969/j.issn.1007-4287.2012.04.027.

[5] Koerber SA, Utzinger MT, Kratochwil C, et al. ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT in newly diagnosed carcinoma of the prostate: correlation of intraprostatic PSMA uptake with several clinical parameters[J]. J Nucl Med, 2017, 58(12): 1943-1948. DOI:10.2967/jnumed.117.190314.

[6] 蒋翠萍,臧士明,徐磊,等. ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT 对未经治疗前列腺癌的临床决策的影响[J].临床泌尿外科杂志,2018,33(7): 551-555. DOI:10.13201/j.issn.1001-1420.2018.07.011.

Jiang CP, Zang SM, Xu L, et al. Role of ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT in the clinical management of naive prostate carcinoma[J]. J Clin Urology (China), 2018, 33(7): 551-555. DOI:10.13201/j.issn.1001-1420.2018.07.011.

[7] Lopci E, Saita A, Lazzeri M, et al. ⁶⁸Ga-PSMA positron emission tomography/computerized tomography for primary diagnosis of prostate cancer in men with contraindications to or negative multiparametric magnetic resonance imaging: a prospective observational study[J]. J Urol, 2018, 200(1): 95-103. DOI:10.1016/j.juro.2018.01.079.

[8] 李昕,王慕文,刘庆伟,等. ¹¹C-胆碱 PET/CT 显像在前列腺良恶性病变鉴别诊断中的应用[J].中华核医学杂志,2006,26(6): 349-352. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2006.06.009.

Li X, Wang MW, Liu QW, et al. Application of ¹¹C-choline PET/CT imaging for differentiating malignant from benign prostate lesions[J]. Chin J Nucl Med, 2006, 26(6): 349-352. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2006.06.009.

[9] 陈辑,赵勇,金讯波,等.初诊前列腺癌¹¹C-胆碱 PET/CT 显像的临床价值初探[J].泌尿外科杂志(电子版),2013,5(1): 6-10, 17.

Chen J, Zhao Y, Jin XB, et al. Evaluation of ¹¹C-choline PET/CT imaging for primary prostate cancer [J]. J Urol Clin (Electronic Version), 2013, 5(1): 6-10, 17.

[10] Schmuck S, von Klot CA, Henkenberens C, et al. Initial experience with volumetric ⁶⁸Ga-PSMA I&T PET/CT for assessment of whole-body tumor burden as a quantitative imaging biomarker in patients with prostate cancer[J]. J Nucl Med, 2017, 58(12): 1962-1968. DOI:10.2967/jnumed.117.193581.

[11] Schmidkonz C, Cordes M, Schmidt D, et al. ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT-derived metabolic parameters for determination of whole-body tumor burden and treatment response in prostate cancer[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2018, 45(11): 1862-1872. DOI: 10.1007/s00259-018-4042-z.

(收稿日期:2018-12-26)