

^{18}F -DCFPyL PET/CT 的不同诊断标准 对前列腺癌原发病灶的诊断价值

马乐¹ 张万春¹ 翟洛萍¹ 郝亚新²

¹山西白求恩医院(山西医学科学院 同济山西医院),山西医科大学第三医院核医学科,太原 030032;²山西医科大学医学影像学院,太原 030001

通信作者:张万春, Email: zhang_wanchun@126.com

【摘要】 目的 比较不同前列腺特异膜抗原(PSMA)PET/CT 诊断标准对前列腺癌(PCa)原发病灶的诊断价值。**方法** 回顾性分析 2019 年 5 月至 2021 年 5 月在山西白求恩医院接受 2-(3-(1-羧基-5-[(6- ^{18}F -氟-吡啶-3-羰基)-氨基]-戊基)-脲基)戊二酸(^{18}F -DCFPyL)PET/CT 显像的 78 例可疑 PCa 患者[年龄:(68.5±1.4)岁]影像资料,分别采用 SUV_{max}、PSMA 报告和数据系统(PSMA-RADS)评分、分子成像 PSMA(miPSMA)评分进行盲法诊断,自身对照比较 3 个标准对 PCa 的诊断效能、与疾病危险度的相关性以及结果的一致性。采用 Delong 检验、Spearman 秩相关分析及组内相关系数(ICC)分析数据。**结果** SUV_{max}、PSMA-RADS 评分、miPSMA 评分诊断 PCa 原发病灶的灵敏度均为 93.75%(60/64),特异性分别为 12/14、10/14、12/14;AUC 分别为 0.951、0.862、0.951,SUV_{max} 与 miPSMA 评分的 AUC 差异无统计学意义($z=0.00, P=1.000$),而 PSMA-RADS 评分与 SUV_{max}、miPSMA 评分的 AUC 差异有统计学意义(z 值:2.71、2.93, P 值:0.007、0.030)。SUV_{max}、PSMA-RADS 评分、miPSMA 评分诊断结果与疾病危险度呈正相关[与国际泌尿病理学会(ISUP)分级的 r_s 分别为 0.66、0.62、0.63,均 $P<0.001$;与 D'Amico 分组的 r_s 分别为 0.67、0.64、0.67,均 $P<0.001$]。 ^{18}F -DCFPyL PET/CT 基于 3 个标准诊断 PCa 的结果具有高度一致性(ICC=0.941,95% CI: 0.903~0.967)。**结论** SUV_{max} 与 miPSMA 评分对 PCa 原发病灶具有更高诊断效能、更高的疾病危险度相关性,更适合临床规范化应用。

【关键词】 前列腺肿瘤;前列腺特异膜抗原;尿素;正电子发射断层显像术;体层摄影术,X 线计算机;诊断,鉴别

基金项目:山西省基础研究计划(20210302124177)

DOI:10.3760/ema.j.cn321828-20220531-00180

Diagnostic values of different diagnostic criteria of ^{18}F -DCFPyL PET/CT for primary prostate cancer

Ma Le¹, Zhang Wanchun¹, Zhai Luoping¹, Hao Yaxin²

¹Department of Nuclear Medicine, Shanxi Bethune Hospital, Shanxi Academy of Medical Sciences, Tongji Shanxi Hospital, Third Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030032, China; ²Department of Medical Imaging, Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China

Corresponding author: Zhang Wanchun, Email: zhang_wanchun@126.com

【Abstract】 Objective To compare the diagnostic values of different diagnostic criteria of prostate specific membrane antigen (PSMA) PET/CT for primary prostate cancer (PCa). **Methods** From May 2019 to May 2021, 2-(3-(1-carboxy-5-((6- ^{18}F -fluoro-pyridine-3-carbonyl)-amino)-pentyl)-ureido)-pentanedioic acid (^{18}F -DCFPyL) PET/CT images of 78 patients (age: (68.5±1.4) years) with clinically suspected PCa in Shanxi Bethune Hospital were retrospectively collected and blind diagnosed by the three criteria of SUV_{max}, PSMA reporting and data system (PSMA-RADS) score and molecular imaging PSMA (miPSMA) score. The diagnostic efficacy for PCa, the correlation between the diagnostic results and disease risk, and the consistency of the diagnostic results of the three criteria were compared. Delong test, Spearman rank correlation analysis, and intra-class correlation coefficient (ICC) were used to analyze data. **Results** The sensitivities of SUV_{max}, PSMA-RADS score and miPSMA score for PCa were all 93.75% (60/64) and the specificities were 12/14, 10/14 and 12/14 respectively; AUCs of the three criteria were 0.951, 0.862 and 0.951, with no significant difference between SUV_{max} and miPSMA score ($z=0.00, P=1.000$), while there were significant differences between PSMA-RADS score and SUV_{max} or miPSMA score (z values: 2.71, 2.93, P values: 0.007, 0.030). There were positive correlations between the diagnostic results of the three criteria and the disease risk (International Society of Urological Pathology (ISUP) grading; r_s values: 0.66, 0.62, 0.63, all $P<0.001$; D'Amico grouping; r_s values: 0.67, 0.64, 0.67, all $P<0.001$). The diagnostic results of the three criteria were highly consistent (ICC=0.941, 95% CI: 0.903-0.967). **Conclusion** The SUV_{max}

and miPSMA score have higher diagnostic efficiency and correlation of disease risk, which are more suitable for clinical application.

【Key words】 Prostatic neoplasms; Prostate-specific membrane antigen; Urea; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Diagnosis, differential

Fund program: Basic Research Program of Shanxi Province (20210302124177)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20220531-00180

前列腺特异膜抗原 (prostate specific membrane antigen, PSMA) PET/CT 是以 PSMA 为靶点的分子显像技术,整合了病灶分子功能和解剖形态学信息,能够早期识别前列腺癌 (prostate cancer, PCa) 并精确定位,其在 PCa 的初始诊断及分期、生化复发监测、疗效评估等方面的价值已被大量研究证实,并写入指南^[1-2]。目前 PSMA PET/CT 诊断 PCa 的标准主要包括定量指标 SUV_{max} 以及 2 个评分标准 [PSMA 报告和数据系统 (PSMA reporting and data system, PSMA-RADS) 评分和分子成像 PSMA (molecular imaging PSMA, miPSMA) 评分]。上述这 3 个标准的诊断原理不同,各有优缺点,哪个对 PCa 原发病灶的诊断价值更高鲜有相关研究。

本研究采用回顾性自身对照研究,分析比较了上述 3 个诊断标准在 2-(3-(1-羧基-5-[(6-¹⁸F-氟-吡啶-3-羰基)-氨基]-戊基)-脲基) 戊二酸 {2-(3-(1-carboxy-5-[(6-¹⁸F-fluoro-pyridine-3-carbonyl)-amino]-pentyl)-ureido)-pentanedioic acid, ¹⁸F-DCFPyL} PET/CT 显像中对 PCa 原发病灶的诊断效能、与疾病危险程度的相关性,以及诊断结果之间的一致性和差异性,旨在找出其中对 PCa 规范化诊断价值最高的方法。

资料与方法

1. 研究对象。回顾性分析 2019 年 5 月至 2021 年 5 月在山西白求恩医院接受 ¹⁸F-DCFPyL PET/CT 显像的临床可疑 PCa 患者的影像资料。排除随访中无前列腺穿刺病理或病理为淋巴瘤、转移瘤等非 PCa 患者。共纳入 78 例受检者,年龄 (68.5±1.4) 岁,其中 64 例经前列腺穿刺病理确诊为 PCa,14 例为前列腺良性病变。本研究经山西医学科学院医学伦理委员会批准 (批件号:YXLL-2019-116),并取得患者知情同意。

2. PET/CT 显像。¹⁸F-DCFPyL 采用 MINItacer 回旋加速器和 Tracelab FxFN 全自动合成模块 (均为美国 GE 公司) 合成。患者按体质量静脉注射显像剂 4.44 MBq/kg,注射后 1.5 h 排空膀胱进行 PET/CT 图像采集。显像仪为 Discovery™ Elite PET/CT 仪 (美国 GE 公司),采集范围为颅顶至大腿上段,每个床位采集 1.5 min (采集 8~9 个床位);

CT 扫描参数为管电压 140 kV,管电流 300 mA,层厚 3.75 mm;PET 图像采用 CT 数据进行衰减校正,采用 VUE point HD 迭代法重建,最终获得横断面、矢状面、冠状面 CT、PET 及 PET/CT 融合图像。

3. 影像诊断标准。所有受检者的 ¹⁸F-DCFPyL PET/CT 影像均由 3 名核医学医师分别依据 SUV_{max} 、PSMA-RADS 评分、miPSMA 评分进行盲法诊断。(1) SUV_{max} :前列腺病灶 $SUV_{max} \geq 8.62$ 诊断为 PCa,反之考虑前列腺良性病变^[3]。(2) PSMA-RADS 评分:对有或无显像剂摄取且确定为良性的前列腺病变评分为 1 分,显像剂摄取水平低且可能为良性病灶评分为 2 分,显像剂摄取不明确者评分为 3 分,显像剂摄取水平高但缺乏明确解剖异常的病灶评分为 4 分,显像剂摄取水平高并有相应解剖异常的病灶评分为 5 分;4~5 分诊断为 PCa,3 分为病灶性质不明确,1~2 分为良性病变^[4]。(3) miPSMA 评分:以心血池、肝脏、唾液腺作为参照,分别代表显像剂低度、中度和高度摄取,依据视觉比较或测量前列腺及参照器官 SUV_{mean} 来评估前列腺病灶的摄取水平进行评分;当前列腺病灶摄取程度低于血池时评分为 0 分,病灶摄取高于血池但低于肝脏时评分为 1 分,病灶摄取高于肝脏但低于唾液腺评分为 2 分,病灶摄取高于唾液腺时评分为 3 分;2~3 分诊断为 PCa,0~1 分为良性病变^[5]。

4. 评价指标。自身对照性比较上述 3 个标准对 PCa 的诊断价值:(1) 对 PCa 原发病灶的诊断效能;(2) 与疾病危险程度指标 [国际泌尿病理学会 (International Society of Urological Pathology, ISUP) 前列腺癌分级、D'Amico 风险分组] 的相关性;(3) 将受检者分为 3 组,即 3 个标准诊断结果完全一致且与病理一致 (consistent and true, CT) 组、3 个标准诊断结果完全一致但与病理相反 (consistent and false, CF) 组、3 个标准诊断结果不完全一致 (inconsistent, I) 组,分析 3 个标准诊断结果的一致性和差异性。

5. 统计学处理。采用 IBM SPSS 26.0 进行统计分析,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 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比较采用两独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验;定

性资料以频数(百分比)表示,组间比较采用 χ^2 检验、Wilcoxon 秩和检验;采用 ROC 曲线分析诊断效能,采用 DeLong 检验比较不同 AUC 的差异;采用 Spearman 秩相关分析评估 3 个标准与疾病危险程度的相关性;3 个标准结果的一致性采用组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)描述。 $P < 0.05$ 为差异或相关性有统计学意义。

结 果

1. 患者一般资料。PCa 与前列腺良性病变患者的年龄[(69.8±8.2)和(62.6±8.3)岁; $t = 2.09, P = 0.067$]、前列腺体积[(50.27±3.13)和(57.83±14.27) ml; $t = -0.98, P = 0.340$]差异无统计学意义;PCa 患者的血清总前列腺特异抗原(prostate specific antigen, PSA)明显高于良性病变者[29.86(11.81, 116.51)和(14.18±10.78) $\mu\text{g/L}$; $z = -3.15, P = 0.020$]。PCa 患者中 Gleason 评分 3+3 者 4 例、3+4 者 10 例、4+3 者 8 例、4+4 者 10 例、4+5 者 10 例、5+4 者 14 例、5+5 者 8 例;ISUP 分级 1 级 4 例、2 级 10 例、3 级 8 例、4 级 10 例、5 级 32 例;依据 D'Amico 标准,低危组 4 例、中危组 42 例、高危组 18 例。

2. 3 个标准对 PCa 原发病灶的诊断效能。3 个标准诊断 PCa 与前列腺良性病变的差异均有统计学意义(z 值: -5.26~-3.22, 均 $P < 0.05$; 表 1)。ROC 曲线分析示 SUV_{max} 诊断 PCa 的阈值为 9.35;3 个标准诊断 PCa 原发病灶的诊断效能见表 2。 SUV_{max} 与 miPSMA 评分的 AUC 差异无统计学意义($z = 0.00, P = 1.000$),而 PSMA-RADS 评分与 SUV_{max} 、miPSMA 评分的 AUC 差异有统计学意义(z 值: 2.71、2.93, P 值: 0.007、0.030)。

3. 3 个标准与疾病危险程度的相关性。

SUV_{max} 、PSMA-RADS 评分、miPSMA 评分诊断结果与 ISUP 分级的 r_s 分别为 0.66、0.62、0.63(均 $P < 0.001$);与 D'Amico 分组的 r_s 分别为 0.67、0.64、0.67(均 $P < 0.001$)。

4. 3 个标准结果的一致性及其差异性。 ^{18}F -DCFPyL PET/CT 基于 3 个标准诊断 PCa 的结果具有高度一致性(ICC=0.941, 95% CI: 0.903~0.967);3 个标准诊断结果一致占 97.44%(76/78),其中 CT 组 70 例(60 例真阳性和 10 例真阴性),CF 组 6 例(2 例假阳性和 4 例假阴性),I 组 2 例(均为 SUV_{max} 、miPSMA 评分为真阴性结果,而 PSMA-RADS 评分为假阳性结果)。CT 组及 I 组典型病例见图 1、2。

Gleason 评分 4+3 以上的 50 例 PCa 患者均为 CT 组;Gleason 评分 3+3、3+4 的 26 例患者中,6 例为 CF 组(4 例 3 个标准诊断结果为假阴性、2 例 3 个标准诊断结果为假阳性),其余 20 例为 CT 组。

讨 论

PSMA PET/CT 在 PCa 中的临床应用日益广泛,在 SUV_{max} 、PSMA-RADS 评分和 miPSMA 评分中找到 1 个兼具高诊断价值和利于规范化结果的诊断标准至关重要。目前关于不同影像诊断标准的比较研究较少,主要为阅片者间一致性分析,鲜有诊断效能的直接比较。本研究在同一显像剂、同一患者条件下,自身对照比较了 3 个诊断标准对 PCa 原发病灶的诊断价值,包括对 PCa 的诊断效能、与疾病危险度的相关性以及结果的一致性和差异性多个方面,研究结果发现 SUV_{max} 与 miPSMA 评分对 PCa 原发病灶具有更高诊断效能、更高的疾病危险度相关性,优于 PSMA-RADS 评分,更适合临床规范化应用。

表 1 前列腺癌和前列腺良性病变患者的 ^{18}F -DCFPyL PET/CT 影像不同诊断标准分析结果

| 类型 | 例数 | SUV_{max} | PSMA-RADS 评分(例) | | | | | miPSMA 评分(例) | | | |
|---------|----|---------------------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|--------------|-----|-----|--------|
| | | | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 5 分 | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 |
| 前列腺癌 | 64 | 20.70(11.48, 39.70) | 4 | 0 | 0 | 34 | 26 | 0 | 4 | 12 | 48 |
| 前列腺良性病变 | 14 | 5.60±2.27 | 0 | 10 | 0 | 4 | 0 | 0 | 12 | 2 | 0 |
| z 值 | | -5.26 | | | | | | | | | -4.26 |
| P 值 | | <0.001 | | | | | | | | | <0.001 |

注: ^{18}F -DCFPyL 为 2-(3-(1-羧基-5-[(6- ^{18}F -氟-吡啶-3-羧基)-氨基]-戊基)-咪基)戊二酸;miPSMA 为分子成像前列腺特异膜抗原;PSMA-RADS 为前列腺特异膜抗原报告和数据分析系统

表 2 ^{18}F -DCFPyL PET/CT 的不同诊断标准对前列腺癌原发病灶的诊断效能($n = 64$)

| 诊断标准 | 灵敏度 | 特异性 | 阳性预测值 | 阴性预测值 | 约登指数 | AUC |
|---------------------------|---------------|-------|---------------|-------|--------|-------|
| SUV_{max} | 93.75%(60/64) | 12/14 | 96.77%(60/62) | 12/16 | 79.46% | 0.951 |
| PSMA-RADS 评分 | 93.75%(60/64) | 10/14 | 93.75%(60/64) | 10/14 | 65.18% | 0.862 |
| miPSMA 评分 | 93.75%(60/64) | 12/14 | 96.77%(60/62) | 12/16 | 79.46% | 0.951 |

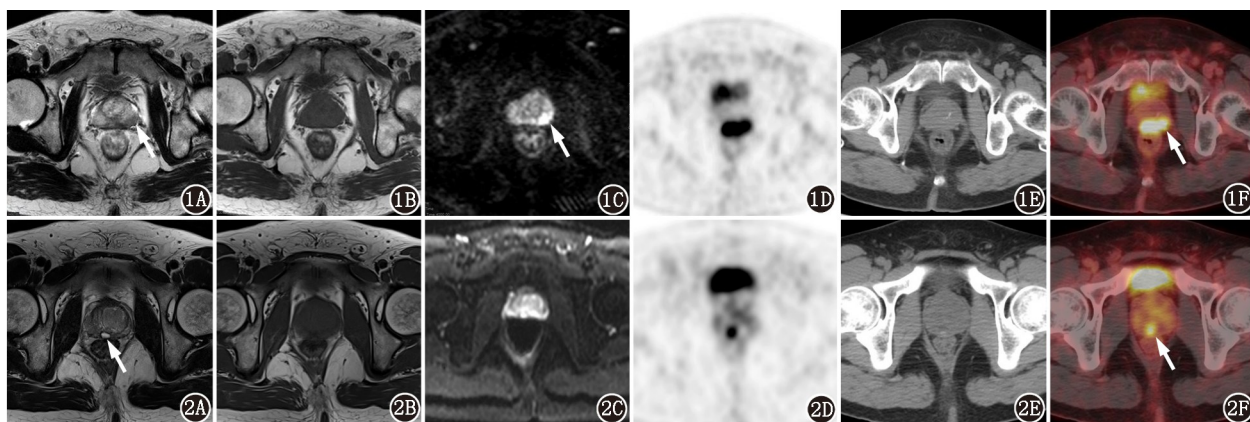


图 1 前列腺癌患者(72岁,血清总前列腺特异抗原 12.63 $\mu\text{g/L}$)影像学检查图(箭头示病灶)。1A~1C. MRI 轴位 T₂ 加权(1A)、T₁ 加权(1B)、弥散加权成像($b=1\ 000\ \text{s/mm}^2$);1C)提示前列腺左侧外周带异常信号影,前列腺癌可能;1D~1F. 2-(3-(1-羧基-5-[$(6\text{-}^{18}\text{F}$ -氟-吡啶-3-羧基)-氨基]-戊基)-咪唑)戊二酸(^{18}F -DCFPyL)PET/CT 显像的轴位 PET(1D)、CT(1E)、PET/CT 融合(1F)图像示,前列腺后部偏左局限性高代谢病灶,与 MRI 所示病灶一致,对应 CT 密度未见明显异常。超声引导下前列腺穿刺活组织检查病理为前列腺癌(Gleason 评分 3+4), SUV_{max} 为 11.4,前列腺特异膜抗原(PSMA)报告和数据库(PSMA-RADS)评分为 4 分,分子成像 PSMA(miPSMA)评分为 3 分,为 3 个标准诊断结果完全一致且与病理结果一致(CT)组 **图 2** 前列腺增生患者(47岁,肉眼血尿,血清总前列腺特异抗原 9.7 $\mu\text{g/L}$)影像学检查图(箭头示病灶)。2A~2C. MRI 轴位 T₂ 加权(2A)、T₁ 加权(2B)、弥散加权成像($b=1\ 500\ \text{s/mm}^2$);2C)显示前列腺移行带左侧异常信号,前列腺影像报告和数据库(PI-RADS)评分 5 分;2D~2F. ^{18}F -DCFPyL PET/CT 显像的轴位 PET(2D)、CT(2E)、PET/CT 融合(2F)图像未发现前列腺左侧异常代谢病灶,前列腺后部有一局限性高代谢灶,对应 CT 密度减低。超声引导下前列腺系统穿刺活组织检查病理为前列腺增生, SUV_{max} 为 6.9、PSMA-RADS 评分为 4 分、miPSMA 评分为 1 分,为 3 个标准诊断结果不完全一致(1)组

SUV_{max} 是 PSMA PET/CT 的常用定量诊断指标,具有操作简单、客观性较强的优点,大量研究已证实其对 PCa 原发灶具有高诊断效能,与疾病危险度(PSA、T 分期、Gleason 评分等)呈正相关^[6-7]。但 SUV_{max} 缺点在于其结果受到多种因素的影响,包括不同显像剂(如 ^{68}Ga -PSMA-11、 ^{18}F -DCFPyL、 ^{18}F -PSMA-1007)的物理性能、体内代谢途径^[3,6-11],导致各研究之间缺乏统一阈值、相互参照价值不高。刘大亮等^[10]的研究中, ^{68}Ga -PSMA-617 PET/CT 诊断 PCa 的 SUV_{max} 阈值为 4.85;Kuten 等^[11]的头对头研究显示, ^{18}F -PSMA-1007 与 ^{68}Ga -PSMA-11 诊断 PCa 原发灶的中位 SUV_{max} 分别为 8.73 与 6.94。本研究中 SUV_{max} 诊断标准 ≥ 8.62 参考 Bodar 等^[3] 基于相同显像剂(^{18}F -DCFPyL)且以前列腺根治术后病理为“金标准”的研究结果,但经 ROC 曲线分析发现本研究的真实阈值为 9.35,表明除显像剂因素外, SUV_{max} 结果也受到显像仪器及图像采集参数的影响。因此,笔者建议在单中心研究中有必要探索基于本研究前列腺病理的真实 SUV_{max} 诊断阈值,不应盲目参照其他研究结果;此外,不同研究的 SUV_{max} 也不能直接进行比较。

PSMA-RADS 评分依据病灶显像剂摄取及解剖形态特点将 PCa 的可能性量化为 1~5 分,该评分法有利于结果的解释,但缺点在于诊断主要依赖阅片

者的经验,对可疑病灶显像剂摄取程度的高低并无客观标准,如 2 分(低度摄取)和 4 分(高度摄取)界定困难。本研究发现,PSMA-RADS 评分诊断 PCa 的特异性明显低于 SUV_{max} 和 miPSMA 评分,与疾病危险度相关性也相对较低;在 14 例良性病变患者中有 4 例误诊为 PCa(PSMA-RADS 评分 4 分),其中 1 例为阅片者将局部高代谢的扩张尿道误认为前列腺癌病灶(见图 2)。该标准的阅片者间一致性差,现有研究结果不一致,Demirci 等^[12] 支持该观点,但 Werner 等^[13] 表明不同经验阅片者(经验>3 年与经验<1 年)的诊断结果高度一致($\text{ICC}>0.6$),仍需更多研究数据探讨。总之,PSMA-RADS 评分主观性强,其诊断原理存在局限性,还需要进一步细化。

MiPSMA 评分以心血池、腮腺、肝脏为参照,对前列腺可疑病灶显像剂摄取的程度(0~3 分)有着客观明确的定义,给阅片者更多的诊断信心,这是 PSMA-RADS 评分所缺乏的。本研究显示,miPSMA 评分对 PCa 原发病灶有较高的诊断效能,其特异性明显高于 PSMA-RADS 评分(12/14 与 10/14)。多项研究同样证实了 miPSMA 评分的高诊断效能,Liu 等^[14] 的前瞻性研究显示 miPSMA 评分诊断 PCa 的灵敏度为 93.3%、特异性为 75.0%、准确性为 83.9%;刘亚超等^[15] 的回顾性研究显示 miPSMA 评分对 PCa 的灵敏度、特异性、准确性分别为 90.63%、

66.67%、86.84%。除高诊断效能外,miPSMA 评分的量化结果有利于临床、影像医师、患者之间的沟通以及各临床研究之间的相互参考,而且 miPSMA 评分受显像剂种类、检查参数及阅片者经验等因素的干扰小,较 SUV_{max}、PSMA-RADS 评分具有更高的客观性稳定性,这与 Kashyap^[16]的观点一致,应当在 PCa 规范化诊断中广泛应用。

本研究的局限性在于,研究数据来源于单一显像剂¹⁸F-DCFPyL,是否同样适用于¹⁸F-PSMA-1007 以及其他⁶⁸Ga 标记的 PSMA PET/CT 显像剂,还需要进一步研究。有临床意义 PCa (clinically significant PCa, csPCa) 是目前 PCa 诊治的重点,该研究结果是否同样适用于 csPCa 的诊断,也需要进一步研究。总之,基于诊断效能及与疾病危险程度相关性,SUV_{max} 与 miPSMA 评分较 PSMA-RADS 评分更值得在¹⁸F-DCFPyL PET/CT 诊断 PCa 原发病灶的规范化进程中推广应用。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 马乐:研究设计、研究实施、论文撰写;张万春:研究指导、论文修改;翟洛萍:研究设计;郝亚新:统计分析

参 考 文 献

- [1] Mottet N, van den Bergh R, Briers E, et al. EAU-EANM-ESTRO-ESUR-SIOG guidelines on prostate cancer-2020 update. Part 1: screening, diagnosis, and local treatment with curative intent[J]. Eur Urol, 2021, 79(2): 243-262. DOI:10.1016/j.eururo.2020.09.042.
 - [2] Mohler JL, Antonarakis ES, Armstrong AJ, et al. Prostate cancer, version 2.2019, NCCN clinical practice guidelines in oncology[J]. J Natl Compr Canc Netw, 2019, 17(5): 479-505. DOI:10.6004/jncn.2019.0023.
 - [3] Bodar Y, Jansen B, van der Voorn JP, et al. Detection of prostate cancer with ¹⁸F-DCFPyL PET/CT compared to final histopathology of radical prostatectomy specimens: is PSMA-targeted biopsy feasible? The DeTeCT trial[J]. World J Urol, 2021, 39(7): 2439-2446. DOI:10.1007/s00345-020-03490-8.
 - [4] Rowe SP, Pienta KJ, Pomper MG, et al. PSMA-RADS version 1.0: a step towards standardizing the interpretation and reporting of PSMA-targeted PET imaging studies[J]. Eur Urol, 2018, 73(4): 485-487. DOI:10.1016/j.eururo.2017.10.027.
 - [5] Eiber M, Herrmann K, Calais J, et al. Prostate Cancer Molecular Imaging Standardized Evaluation (PROMISE): proposed miTNM classification for the interpretation of PSMA-ligand PET/CT[J]. J Nucl Med, 2018, 59(3): 469-478. DOI:10.2967/jnumed.117.198119.
 - [6] 王一宁,陈若华,周翔,等. ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT 与¹⁸F-FDG PET/CT 在前列腺癌术前 TNM 分期中的对比研究[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2021, 41(11): 647-652. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20200623-00247.
- Wang YN, Chen RH, Zhou X, et al. Comparison of ⁶⁸Ga-PSMA PET/CT and ¹⁸F-FDG PET/CT for preoperative TNM staging of patients with prostate cancer[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging,

2021, 41(11): 647-652. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20200623-00247.

- [7] Zhou S, Liu T, Zhu Z, et al. ¹⁸F-DCFPyL PET/CT in newly diagnosed prostate cancer: diagnostic value of intraprostatic PSMA uptake in risk classification of prostate cancer[J]. Front Oncol, 2022, 12: 800904. DOI:10.3389/fonc.2022.800904.
 - [8] Giesel FL, Will L, Lawal I, et al. Intraindividual comparison of ¹⁸F-PSMA-1007 and ¹⁸F-DCFPyL PET/CT in the prospective evaluation of patients with newly diagnosed prostate carcinoma: a pilot study[J]. J Nucl Med, 2018, 59(7): 1076-1080. DOI:10.2967/jnumed.117.204669.
 - [9] 周文瑶,张俊.前列腺癌 PSMA PET 显像剂研究进展[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2020, 40(12): 755-760. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20191202-00284.
- Zhou WY, Zhang J. Research progress of PSMA PET tracers for prostate cancer[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2020, 40(12): 755-760. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20191202-00284.
- [10] 刘大亮,李国权,陈玲,等. ⁶⁸Ga-PSMA-617 PET/CT 与多参数 MRI 诊断前列腺癌的对比研究[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2019, 39(2): 72-76. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.02.003.
- Liu DL, Li GQ, Chen L, et al. Comparative study in diagnostic value of ⁶⁸Ga-PSMA-617 PET/CT and multi-parameter MRI for primary prostate cancer[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2019, 39(2): 72-76. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.02.003.
- [11] Kuten J, Fahoum I, Savin Z, et al. Head-to-head comparison of ⁶⁸Ga-PSMA-11 with ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT in staging prostate cancer using histopathology and immunohistochemical analysis as a reference standard[J]. J Nucl Med, 2020, 61(4): 527-532. DOI:10.2967/jnumed.119.234187.
 - [12] Demirci E, Akyel R, Caner B, et al. Interobserver and intraobserver agreement on prostate-specific membrane antigen PET/CT images according to the miTNM and PSMA-RADS criteria[J]. Nucl Med Commun, 2020, 41(8): 759-767. DOI: 10.1097/MNM.0000000000001219.
 - [13] Werner RA, Bundschuh RA, Bundschuh L, et al. Interobserver agreement for the standardized reporting system PSMA-RADS 1.0 on ¹⁸F-DCFPyL PET/CT imaging[J]. J Nucl Med, 2018, 59(12): 1857-1864. DOI:10.2967/jnumed.118.217588.
 - [14] Liu C, Liu T, Zhang Z, et al. ⁶⁸Ga-PSMA PET/CT combined with PET/ultrasound-guided prostate biopsy can diagnose clinically significant prostate cancer in men with previous negative biopsy results[J]. J Nucl Med, 2020, 61(9): 1314-1319. DOI: 10.2967/jnumed.119.235333.
 - [15] 刘亚超,程诺,李云钢,等. ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT 显像应用 miPSMA 评分诊断前列腺癌的价值[J]. 中国医学影像学杂志, 2021, 29(1): 47-50, 55. DOI:10.3969/j.issn.1005-5185.2021.01.012.
- Liu YC, Cheng N, Li YG, et al. ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT imaging in the diagnosis of prostate cancer with miPSMA score[J]. Chin J Med Imaging, 2021, 29(1): 47-50, 55. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5185.2021.01.012.
- [16] Kashyap R. Incorporation of miPSMA score for interpretation of ⁶⁸Ga PSMA PET/CT scans for standardization and reproducibility of studies[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2020, 47(12): 2741. DOI:10.1007/s00259-020-04770-6.