

DOI: 10.16781/j.0258-879x.2021.04.0366

· 专题报道 ·

⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT 与全身磁共振成像诊断前列腺癌远处转移的效能比较

吴涵潇^{1△}, 宋子健^{1△}, 程超², 阳青松³, 陈锐¹, 高旭^{1*}

1. 海军军医大学(第二军医大学)长海医院泌尿外科, 上海 200433
2. 海军军医大学(第二军医大学)长海医院核医学科, 上海 200433
3. 海军军医大学(第二军医大学)长海医院影像医学科, 上海 200433

[摘要] **目的** 对比分析以⁶⁸镓(⁶⁸Ga)标记的靶向前列腺特异性膜抗原(PSMA)分子探针PSMA-11为示踪剂的PET-CT(⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT)与全身磁共振成像(WB-MRI)诊断前列腺癌远处转移的效能。**方法** 回顾性分析2019年1月至12月我院收治的行⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT及WB-MRI的52例前列腺癌患者的临床资料。由核医学科及影像医学科主治医师各2名分别对患者的⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT和WB-MRI检查结果进行盲法分析,并以最佳比较标准(BVC)为金标准对患者进行分组。根据结果绘制ROC曲线并计算AUC,对2种检查方法的灵敏度、特异度等进行统计分析。**结果** 入组的52例前列腺癌患者中20例无远处转移、32例发生远处转移。WB-MRI检测远处转移的AUC为0.844(95% CI 0.719~0.968),灵敏度为93.75%(30/32)、特异度为75.00%(15/20);⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT检测远处转移的AUC为0.959(95% CI 0.893~1.000),灵敏度为96.88%(31/32)、特异度为95.00%(19/20),2种方法的灵敏度及特异度差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。远处转移患者中有25例发生骨转移、29例发生淋巴结转移。⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT检测前列腺癌骨转移灶的灵敏度为92.00%(23/25)、特异度为100.00%(27/27),WB-MRI检测灵敏度为60.00%(15/25)、特异度为88.89%(24/27),2种方法灵敏度差异有统计学意义($P=0.04$);2种方法对淋巴结转移检测的灵敏度[89.66%(26/29) vs 86.21%(25/29)]及特异度[95.65%(22/23) vs 91.30%(21/23)]差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。**结论** ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT与WB-MRI检测前列腺癌远处转移均具有较高的诊断效能。在骨转移的诊断方面,⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT的诊断效能优于WB-MRI。

[关键词] 前列腺肿瘤;前列腺特异性膜抗原;正电子发射断层显像计算机体层摄影术;磁共振成像;肿瘤转移

[中图分类号] R 737.25; R 817.47 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2021)04-0366-05

⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT in comparison with whole-body magnetic resonance imaging for diagnosis of distant metastasis in prostate cancer patients

WU Han-xiao^{1△}, SONG Zi-jian^{1△}, CHENG Chao², YANG Qing-song³, CHEN Rui¹, GAO Xu^{1*}

1. Department of Urology, Changhai Hospital, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China
2. Department of Nuclear Medicine, Changhai Hospital, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China
3. Department of Radiology, Changhai Hospital, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

[Abstract] **Objective** To compare the diagnostic efficacies of ⁶⁸gallium-labelled prostate-specific membrane antigen (PSMA) ligand PSMA-11 (⁶⁸Ga-PSMA-11) positron emission tomography-computed tomography (PET-CT) and whole-body magnetic resonance imaging (WB-MRI) for detecting distant metastasis in prostate cancer patients. **Methods** The clinical data of 52 patients with prostate cancer who underwent ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT and WB-MRI in our hospital from Jan. to Dec. 2019 were retrospectively analyzed. The images of ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT and WB-MRI were reviewed with blinding by professional nuclear medicine physicians and radiologists, respectively, and then the patients were grouped according to the best valuable comparator (BVC). The receiver operator characteristic (ROC) curve was drawn according to the result,

[收稿日期] 2020-09-22 **[接受日期]** 2021-02-03

[基金项目] 上海市卫生健康委员会先进适宜技术推广项目(2019SY029),促进市级医院临床技能与临床创新三年行动计划(SHDC2020CR6007). Supported by Advanced and Appropriate Technology Popularization Project of Shanghai Municipal Health Commission (2019SY029) and Three-Year Action Plan to Promote Clinical Skills and Clinical Innovation in Municipal Hospitals (SHDC2020CR6007).

[作者简介] 吴涵潇,博士生. E-mail: 870560271@qq.com;宋子健,硕士生. E-mail: drsongzj@163.com

△共同第一作者(Co-first authors).

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-31161718, E-mail: gaouxu.changhai@foxmail.com

and the area under the curve (AUC) was calculated. The sensitivity and specificity of the two tests were statistically analyzed.

Results Of the 52 patients, 20 were diagnosed without distant metastasis, 32 with distant metastasis. The AUC of WB-MRI and ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT in detecting distant metastasis were 0.844 (95% CI 0.719-0.968) and 0.959 (95% CI 0.719-0.968), respectively; the sensitivity and specificity were WB-MRI (93.75% [30/32], 75.00% [15/20]) and ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT (96.88% [31/32], 95.00% [19/20]), showing no significant differences (all $P>0.05$). There were 25 cases of bone metastasis and 29 cases of lymph node metastasis in patients with distant metastasis. The sensitivity and specificity in detecting bone metastasis were ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT (92.00% [23/25], 100.00% [27/27]) and WB-MRI (60.00% [15/25], 88.89% [24/27]), showing significant difference in sensitivity ($P=0.04$). The sensitivity and specificity of the two tests in detecting lymph node metastasis were (89.66% [26/29] vs 86.21% [25/29]) and (95.65% [22/23] vs 91.30% [21/23]), showing no significant differences (both $P>0.05$). **Conclusion** Both ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT and WB-MRI have high diagnostic efficacy for the detection of distant metastasis. ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT is significantly more advantageous compared to WB-MRI for the detection of bone metastasis.

[**Key words**] prostatic neoplasms; prostate-specific membrane antigen; positron emission tomography-computed tomography; magnetic resonance imaging; neoplasm metastasis

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2021, 42(4): 366-370]

前列腺癌是男性最常见的恶性肿瘤之一, 据统计 2020 年美国前列腺癌在男性恶性肿瘤中发病率居第 1 位, 病死率居第 2 位^[1]。中国前列腺癌发病率也在逐年上升, 这一疾病正严重威胁着我国老年男性的健康^[2]。前列腺癌晚期常会发生局部浸润与远处转移, 转移患者生存情况不佳, 对不同转移情况的患者治疗策略也大不相同, 因此, 全面、准确地评估前列腺癌是否发生远处转移十分重要。目前临床上用于评估前列腺癌转移的手段主要有 PET-CT、MRI 等。

前列腺特异性膜抗原 (prostate-specific membrane antigen, PSMA) 是一种高表达于前列腺上皮细胞膜的 II 型跨膜蛋白, 在癌细胞中的表达水平为正常细胞的 100~1 000 倍^[3]。目前, 以 ^{68}Ga 等标记的靶向 PSMA 分子探针 PSMA-11 为示踪剂的 PET-CT (^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT) 越来越多地被应用于前列腺癌的诊断、分期和肿瘤根治性切除术治疗或放射治疗后的生化复发评估。本研究回顾性分析我院 52 例行 ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 及全身磁共振成像 (whole-body magnetic resonance imaging, WB-MRI) 检查的前列腺癌患者临床资料, 评估这 2 种方法对前列腺癌远处转移的诊断效能。

1 资料和方法

1.1 临床资料 回顾性纳入 2019 年 1 月至 12 月海军军医大学 (第二军医大学) 长海医院泌尿外科收治的 52 例行 ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 及 WB-MRI 检查的前列腺癌患者, 包括初诊患者 26 例和治疗

后病情发生变化的患者 26 例。所有患者的前列腺癌病灶均通过病理检查确诊。临床 TNM 分期按照 2017 年第 8 版美国癌症联合委员会 (American Joint Committee on Cancer, AJCC) 标准^[4] 执行。按最佳比较标准 (best valuable comparator, BVC)^[5] 将患者分为有远处转移组和无远处转移组^[1]。BVC 结果由泌尿外科、影像科及核医学科主治医师对患者影像学检查及 6 个月随访时的综合情况进行讨论后决定。本研究经海军军医大学 (第二军医大学) 长海医院伦理委员会审批 (CHEC 2019-090)。

1.2 ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 检查 ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 检查仪 (Biograph 64 型) 购自德国西门子公司, 放射性核素 ^{68}Ga 来自德国 ITG 公司的锗镓发生器, PSMA-11 前体购自德国 ABX 公司, 化学合成模块购自德国 ITG 公司。将制备的 ^{68}Ga -PSMA-11 显像剂经静脉注入 (剂量根据患者体重确定: $<50\text{ kg } 1.11 \times 10^8\text{ Bq}$, $50 \sim <60\text{ kg } 1.30 \times 10^8\text{ Bq}$, $60 \sim <70\text{ kg } 1.48 \times 10^8\text{ Bq}$, $70 \sim <80\text{ kg } 1.67 \times 10^8\text{ Bq}$, $\geq 80\text{ kg } 1.85 \times 10^8\text{ Bq}$), 50 min 后行 PET-CT 扫描, 扫描范围为头颅至股骨上段。扫描参数: 管电压 120 kV, 管电流 170 mA, 每个床位 2 min, 共 6~7 个床位; PET 矩阵 168×168 , CT 矩阵 512×512 ; TrueX 重建, 迭代 3 次, 子集数 21; 高斯滤波, 空间分辨率 4.0 mm。

1.3 WB-MRI 检查 WB-MRI 检查仪为 3.0 T 磁共振成像仪, 购自德国西门子公司, 扫描序列为全身冠状面 T1 加权成像、读出方向分段采样扩散加

权成像 (diffusion-weighted imaging, DWI) (b 值为 0 和 800 s/mm²)、盆腔冠状面 T1 加权成像、脂肪抑制 T2 加权成像和前列腺 DWI (b 值为 1 500 s/mm²)。T1 加权成像扫描参数: 重复时间 709 ms, 回波时间 10 ms, 视野 500 mm×343.8 mm, 层厚 7.0 mm, 体素大小 2.2 mm×2.2 mm×7.0 mm; 短时反转恢复序列成像扫描参数: 重复时间 14 790 ms, 回波时间 97 ms, 反转时间 130 ms, 视野 300 mm×300 mm, 层厚 7.0 mm, 体素大小 1.9 mm×1.3 mm×7.0 mm; DWI 扫描参数: 重复时间 6 300 ms, 回波时间 80 ms, 频率衰减反转恢复脂肪抑制, 视野 430 mm×346.9 mm, 层厚 5.0 mm, 体素大小 2.6 mm×2.6 mm×5.0 mm, b 值为 0 和 800 s/mm²。

1.4 图像分析 由 2 位核医学科主治医师及 2 位影像医学科主治医师分别对所有患者的 ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT 和 WB-MRI 检查结果进行盲法分析。⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT 检查中, 阳性病灶定义为除泪腺、腮腺、颌下腺、肾脏、脾脏、肠管等部位轻度 PSMA 生理性摄取外的其他部位异常 PSMA 浓聚灶。WB-MRI 检查中, 医师在影像归档和通信系统工作站 (Carestream Vue, 美国 Carestream Health 公司) 上进行图像分析, 阳性病灶定义为在 T1 加权成像上为局灶或扩散的低信

号, 同时在短时反转恢复序列成像上表现为对应区域的高信号或在 DWI 上表现为弥散受限的病灶。

1.5 统计学处理 应用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析。呈正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 组间比较采用独立样本 *t* 检验。非正态分布的计量资料以中位数 (下四分位数, 上四分位数) 表示。计数资料以例数和百分数表示, 组间比较采用 χ^2 检验。以 BVC 为金标准进行分组, 计算 ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET-CT 和 WB-MRI 诊断前列腺癌远处转移的灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、一致率和约登指数, 使用 Fisher 确切概率法比较 2 种方法的灵敏度和特异度; 绘制 ROC 曲线并计算 AUC。检验水准 (α) 为 0.05。

2 结果

2.1 患者一般临床特征 52 例患者的确诊年龄为 55~85 (68.00±7.32) 岁, 前列腺特异性抗原 (prostate-specific antigen, PSA) 水平为 39.24(14.76, 95.45) ng/mL。按 BVC 结果, 20 例无远处转移、32 例发生远处转移。无远处转移组与远处转移组患者的确诊年龄、PSA 水平差异均无统计学意义 (*P* 均>0.05), 而 Gleason 评分、临床 T 分期及临床 N 分期分布情况的差异均有统计学意义 (*P*<0.05 或 *P*<0.01), 见表 1。

表 1 52 例前列腺癌患者基本情况

Tab 1 General characteristics of 52 patients with prostate cancer

Characteristic	Total <i>N</i> =52	Without metastasis <i>N</i> =20	With metastasis <i>N</i> =32	<i>P</i> value
Age/year, $\bar{x} \pm s$	68.00±7.32	65.60±5.49	68.13±8.23	0.190
Prostate-specific antigen, <i>n</i> (%)				0.275
<10 ng·mL ⁻¹	7 (13.46)	5 (25.00)	2 (6.25)	
10-<20 ng·mL ⁻¹	10 (19.23)	1 (5.00)	9 (28.13)	
20-<50 ng·mL ⁻¹	14 (26.92)	8 (40.00)	6 (18.75)	
≥50 ng·mL ⁻¹	21 (40.39)	6 (30.00)	15 (46.89)	
Gleason score, <i>n</i> (%)				0.011
3+3	6 (11.54)	3 (15.00)	3 (9.38)	
3+4	6 (11.54)	5 (25.00)	1 (3.13)	
4+3	5 (9.62)	3 (15.00)	2 (6.25)	
4+4/3+5/5+3	12 (23.08)	4 (20.00)	8 (25.00)	
4+5/5+4/5+5	23 (44.23)	5 (25.00)	18 (56.25)	
Clinical T stage, <i>n</i> (%)				<0.01
T1c	3 (5.77)	2 (10.00)	1 (3.13)	
T2	15 (28.85)	12 (60.00)	3 (9.38)	
T3a	7 (13.46)	4 (20.00)	3 (9.38)	
T3b	18 (34.62)	2 (10.00)	16 (50.00)	
T3c	1 (1.92)	0	1 (3.13)	
T4	8 (15.38)	0	8 (25.00)	
Clinical N stage, <i>n</i> (%)				<0.01
N0	26 (50.00)	19 (95.00)	7 (21.88)	
N1	24 (46.15)	0	24 (75.00)	
Nx	2 (3.85)	1 (5.00)	1 (3.13)	

2.2 WB-MRI 和 ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 对前列腺癌远处转移的诊断效能比较 WB-MRI 诊断前列腺癌远处转移的灵敏度为 93.75% (30/32), 特异度为 75.00% (15/20), 阳性预测值为 85.71% (30/35), 阴性预测值为 88.24% (15/17), 一致率为 86.54% (45/52), 约登指数为 68.75%, AUC 为 0.844 (95% CI 0.719~0.968); 测得的转移灶长径为 1.70 (1.57, 2.10) cm。 ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 诊断前列腺癌远处转移的灵敏度为 96.88% (31/32), 特异度为 95.00% (19/20), 阳性预测值为 96.88% (31/32), 阴性预测值为 95.00% (19/20), 一致率为 96.15% (50/52), 约登指数为 91.88%, AUC 为 0.959 (95% CI 0.893~1.000); 测得的转移灶长径为 1.50 (1.00, 1.98) cm。2 种方法的灵敏度和特异度差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。

2.3 WB-MRI 和 ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 对前列腺癌不同转移灶的诊断效能比较 在转移灶的诊断效能方面, 按 BVC 结果, 25 例被诊断为骨转移, ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 对前列腺癌骨转移灶检出灵敏度为 92.00% (23/25)、特异度为 100.00% (27/27), WB-MRI 检出灵敏度为 60.00% (15/25)、特异度为 88.89% (24/27), 2 种检查方法的灵敏度差异有统计学意义 ($P=0.04$), 特异度差异无统计学意义 ($P>0.05$)。按 BVC 结果, 29 例被诊断为淋巴结转移, ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 对前列腺癌淋巴结转移灶检出灵敏度为 89.66% (26/29) 特异度为 95.65% (22/23), WB-MRI 检出灵敏度为 86.21% (25/29)、特异度为 91.30% (21/23), 2 种检查方法的灵敏度和特异度差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。

3 讨论

在前列腺癌的诊疗过程中, 准确判断并评估患者的转移情况非常重要。按照前列腺癌诊断治疗指南, 无转移的局限性前列腺癌患者可采用根治性手术或根治性放射治疗对病灶进行处理, 而转移性前列腺癌患者则主要依靠内分泌治疗控制病情^[6]。诊断出远处转移前后前列腺癌患者的治疗策略及治疗目标有很大差别, 若出现对转移情况的错误评估, 轻则治疗效果不理想、延误患者病情, 重则使患者失去根治性治疗的机会。目前临床常用检查手段中盆腔 MRI 对肿瘤周边组织分辨情况好^[7], 但检查范围较为局限, 评估远处转移的能力不足; 骨

扫描可较准确地评估骨转移情况, 但对淋巴结转移不灵敏。

近年来 WB-MRI 检查被越来越多地应用于易发生骨转移的肿瘤疾病 (如前列腺癌等) 的诊疗^[8-9]。最近的指南也提高了对 WB-MRI 检查的重视程度^[10]。WB-MRI 检查可以在骨重塑发生前就侦测到恶性细胞对骨髓的浸润, 进而可以比骨扫描等常规检查更早地检测到骨转移的发生^[11]。目前已有多项研究报道了 WB-MRI 检查在前列腺癌转移时的诊断效能^[12-14]。一项 50 例高转移风险前列腺癌患者参与的同样以 BVC 为金标准的研究显示, WB-MRI 检查对骨转移的检出灵敏度和特异度均为 100%^[15], 这与本组观察到的 WB-MRI 检查的灵敏度 60.00% (15/25) 有较大差异, 这可能与本组患者并非全部为初诊患者有关。

近年的欧洲泌尿外科学会指南也提高了对 ^{68}Ga -PSMA PET-CT 检查的重视程度。一项以淋巴结转移为关注点的诊断试验中, ^{68}Ga -PSMA PET-CT 表现出的灵敏度为 75%, 特异度为 99%^[16]; 一项 meta 分析显示 ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 检查应用于评估生化复发患者病情时的灵敏度为 80%、特异度为 97%^[17]。这与本组中 ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 检查淋巴结转移时的灵敏度 89.66% (26/29) 和特异度 95.65% (22/23) 相近。另有研究显示 ^{68}Ga -PSMA PET-CT 检查较传统影像学手段更能精准定位复发灶, 同时可检测出更多的转移灶, 使 27% 的患者诊疗计划发生改变^[18]。

目前, 比较 ^{68}Ga -PSMA PET-CT 与 WB-MRI 检查对前列腺癌远处转移的诊断效能的研究比较少。本研究结果显示, ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 与 WB-MRI 2 种方法在检测前列腺癌远处转移的灵敏度 [96.88% (31/32) vs 93.75% (30/32)] 及特异度 [95.00% (19/20) vs 75.00% (15/20)] 差异均无统计学意义 (P 均 >0.05)。但这 2 种方法各有利弊, 如有的特殊病理类型的前列腺癌 (如神经内分泌前列腺癌等) 病灶中无 PSMA 的浓聚, 不适合采用 ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 检查, 而 WB-MRI 检查则不能用于评估体内有金属植入物 (如心脏起搏器、金属关节等) 的患者。在比较 ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 与 WB-MRI 评估前列腺癌骨或淋巴结转移灶的诊断效能时, 本研究结果显示 ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 检测骨转移灶的灵敏度 [92.00% (23/25)] 优于 WB-MRI [60.00% (15/25)], 差异有统计学

意义 ($P=0.04$)。

综上所述, ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 和 WB-MRI 对前列腺癌远处转移的检测均具有较高的诊断效能,但在对骨转移灶的评估上, ^{68}Ga -PSMA-11 PET-CT 优于 WB-MRI。本研究存在的主要不足是缺乏判断远处转移的金标准,目前这一类型研究的金标准常使用 BVC,但以 6 个月的随访情况来判断 BVC 可能不够充分。其次,本研究样本量小,临床同时完成 2 项检查的患者人数有限。此外,入组患者包括初诊患者和治疗后复查的患者,导致患者的均质性不高,可能影响研究结果。

[参 考 文 献]

- [1] SIEGEL R L, MILLER K D, JEMAL A. Cancer statistics, 2020[J]. *CA Cancer J Clin*, 2020, 70: 7-30.
- [2] 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.
- [3] CECI F, CASTELLUCCI P, FANTI S. Current application and future perspectives of prostate specific membrane antigen PET imaging in prostate cancer[J]. *Q J Nucl Med Mol Imaging*, 2019, 63: 7-18.
- [4] AMIN M B, EDGE S B, GREENE F L, BYRD D R, BROOKLAND R K, WASHINGTON M K, et al. *AJCC cancer staging manual*[M]. 8th ed. New York: Springer, 2017: 715-726.
- [5] LECOUVET F E, GEUKENS D, STAINIER A, JAMAR F, JAMART J, D'OTHÉE B J, et al. Magnetic resonance imaging of the axial skeleton for detecting bone metastases in patients with high-risk prostate cancer: diagnostic and cost-effectiveness and comparison with current detection strategies[J]. *J Clin Oncol*, 2007, 25: 3281-3287.
- [6] 中华医学会泌尿外科分会. 前列腺癌诊断治疗指南[J]. *继续医学教育*, 2007, 21: 30-39.
- [7] 李涛,夏春潮,高亮,陈鹏,曹德宏,姚晋,等. 多参数磁共振成像在前列腺癌诊疗中的应用[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2018, 39: 556-558.
- [8] 刘勇,胡华,宋震宇,黄冰峰. 磁共振全身弥散成像在前列腺癌转移灶筛查中的应用[J]. *现代医用影像学*, 2013, 22: 162-164.
- [9] 张敏,王传林,张海青. 磁共振全身类PET技术的临床应用探讨[J]. *中国继续医学教育*, 2018, 10: 63-65.
- [10] PADHANI A R, LECOUVET F E, TUNARIU N, KOH D M, DE KEYZER F, COLLINS D J, et al. METastasis reporting and data system for prostate cancer: practical guidelines for acquisition, interpretation, and reporting of whole-body magnetic resonance imaging-based evaluations of multiorgan involvement in advanced prostate cancer[J]. *Eur Urol*, 2017, 71: 81-92.
- [11] PADHANI A R, KOH D M, COLLINS D J. Whole-body diffusion-weighted MR imaging in cancer: current status and research directions[J]. *Radiology*, 2011, 261: 700-718.
- [12] DYRBERG E, HENDEL H W, HUYNH T H V, KLAUSEN T W, LØGAGER V B, MADSEN C, et al. ^{68}Ga -PSMA-PET-CT in comparison with ^{18}F -fluoride-PET-CT and whole-body MRI for the detection of bone metastases in patients with prostate cancer: a prospective diagnostic accuracy study[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29: 1221-1230.
- [13] JOHNSTON E W, LATIFOLTOJAR A, SIDHU H S, RAMACHANDRAN N, SOKOLSKA M, BAINBRIDGE A, et al. Multiparametric whole-body 3.0-T MRI in newly diagnosed intermediate- and high-risk prostate cancer: diagnostic accuracy and interobserver agreement for nodal and metastatic staging[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29: 3159-3169.
- [14] LARBI A, DALLAUDIÈRE B, PASOGLU V, PADHANI A, MICHOUX N, VANDE BERG B C, et al. Whole body MRI (WB-MRI) assessment of metastatic spread in prostate cancer: therapeutic perspectives on targeted management of oligometastatic disease[J]. *Prostate*, 2016, 76: 1024-1033.
- [15] LARBI A, OMOUMI P, PASOGLU V, MICHOUX N, TRIQUENEAUX P, TOMBAL B, et al. Whole-body MRI to assess bone involvement in prostate cancer and multiple myeloma: comparison of the diagnostic accuracies of the T1, short tau inversion recovery (STIR), and high b-values diffusion-weighted imaging (DWI) sequences[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29: 4503-4513.
- [16] PERERA M, PAPA N, ROBERTS M, WILLIAMS M, UDOVICICH C, VELA I, et al. Gallium-68 prostate-specific membrane antigen positron emission tomography in advanced prostate cancer-updated diagnostic utility, sensitivity, specificity, and distribution of prostate-specific membrane antigen-avid lesions: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Urol*, 2020, 77: 403-417.
- [17] PERERA M, PAPA N, CHRISTIDIS D, WETHERELL D, HOFMAN M S, MURPHY D G, et al. Sensitivity, specificity, and predictors of positive ^{68}Ga -prostate-specific membrane antigen positron emission tomography in advanced prostate cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Urol*, 2016, 70: 926-937.
- [18] FERRARO D A, GARCIA SCHÜLER H I, MUEHLEMATTER U J, EBERLI D, MÜLLER J, MÜLLER A, et al. Impact of ^{68}Ga -PSMA-11 PET staging on clinical decision-making in patients with intermediate or high-risk prostate cancer[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2020, 47: 652-664.

[本文编辑] 魏莎莎, 杨亚红