

¹⁸F-FDG PET/CT 在前列腺癌中的应用进展

王朋 崔邦平 代文莉 邓鹏裔 田金玲 胡伟

443003 宜昌, 三峡大学第一临床医学院, 宜昌市中心人民医院核医学科, 宜昌市核医学分子影像重点实验室

通信作者: 崔邦平, Email: yccbp@126.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2016.04.008

【摘要】 前列腺癌是临床常见的恶性肿瘤之一, 在我国的发病率呈逐年上升趋势。¹⁸F-FDG 是一种广谱的肿瘤非特异性显像剂, 在多数肿瘤的临床应用中都具有重要价值。但临床实践表明, ¹⁸F-FDG PET/CT 显像在前列腺癌早期诊断中的价值是有限的。随着认识的深入, 人们发现其在前列腺癌临床分期、疗效评价、预后评估等方面仍具有重要价值。笔者将对 ¹⁸F-FDG PET/CT 在前列腺癌中的应用进展予以综述。

【关键词】 前列腺肿瘤; 正电子发射断层显像术; 体层摄影术, X 线计算机; 氟脱氧葡萄糖 F18

基金项目: 湖北省科技厅项目(2014CFC1036); 湖北省卫计委项目(WJ2015MB181); 宜昌市科学研究与开发项目(A13301-12)

Progress in the application of ¹⁸F-FDG PET/CT in prostate cancer Wang Peng, Cui Bangping, Dai Wenli, Deng Pengyi, Tian Jinling, Hu Wei

Yichang Key Laboratory of Nuclear Medicine and Molecular Image, Department of Nuclear Medicine, Yichang Central People's Hospital, the First College of Clinical Medical Science, China Three Gorges University, Yichang 443003, China

Corresponding author: Cui Bangping, Email: yccbp@126.com

【Abstract】 Prostate cancer has become one of the most common clinical malignant tumors worldwide, and the incidence of prostate cancer in our country is rising. ¹⁸F-FDG is a broad-spectrum nonspecific tumor imaging agent with important value in numerous tumors. According to clinical practice, the value of ¹⁸F-FDG PET/CT imaging in the diagnosis of early prostate is limited. Recent studies found that ¹⁸F-FDG PET/CT is still crucial in the clinical staging, curative effect evaluation, and prognostic evaluation of prostate cancer. This paper mainly introduces the application and progress of PET/CT in prostate cancer.

【Key words】 Prostatic neoplasms; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Fluorodeoxyglucose F18

Fund programs: Hubei Provincial Science and Technology Department Project (2014CFC1036); Hubei Provincial Health and Family Planning Commission Project(WJ2015MB181); Yichang Scientific Research and Development Project (A13301-12)

1 前列腺癌的现状与传统诊断方法

前列腺癌的发病率有明显的地域和种族差异, 在世界范围内其发病率位居男性所有恶性肿瘤的第二位^[1-2]。我国原属于前列腺癌低发国家, 但许多统计结果显示, 我国前列腺癌的发病率也在显著升高^[2-3]。

用于前列腺癌诊断的方法很多, 各有优缺点。前列腺特异性抗原(prostate specific antigen, PSA)

联合直肠指检是目前公认的早期筛查前列腺癌的最佳方法^[2]。PSA 筛查前列腺癌有较高的阳性率, 直肠指检对发生于外周带的前列腺癌诊断具有重要价值, 二者具有较好的互补作用。但一些良性前列腺增生和前列腺炎也会出现 PSA 阳性的结果, 联合直肠指检对于中央区的前列腺癌无法检出。经直肠超声对前列腺癌诊断的特异度较低, 而且很多前列腺肿瘤表现为等回声, 在超声上不能发现, 因此, 目前经直肠超声主要用于引导前列腺穿刺活检^[2,4]。

MRI 对前列腺癌早期诊断的灵敏度优于 CT, 在显示肿瘤对邻近组织器官的侵犯以及盆腔淋巴结转移等方面二者的灵敏度相似^[2]。⁹⁹Tc^m-MDP 全身骨扫描对前列腺癌骨转移的诊断灵敏度较高, 但特异度较差。总之, 上述各种方法在前列腺癌的应用上均有重要价值, 但也存在各自的不足之处。

2 ¹⁸F-FDG PET/CT 对前列腺癌早期诊断的应用价值

¹⁸F-FDG 是葡萄糖的类似物, ¹⁸F-FDG PET/CT 是一种集显示葡萄糖代谢功能影像与 CT 解剖影像于一体的显像设备, 兼具 PET 和 CT 两种设备之所长, 同时又是全身检查, 对病灶检出的灵敏度大大提高, 因而 ¹⁸F-FDG PET/CT 显像在多种肿瘤的临床应用中具有重要价值。恶性肿瘤的特点之一就是葡萄糖代谢水平高于正常组织^[5], 其高代谢与细胞膜的葡萄糖转运蛋白的高表达和己糖激酶活性增强有关^[6]。Effert 等^[7]证实了分化不良的激素非依赖型细胞株葡萄糖转运子 1 的表达水平高于分化良好的激素敏感型细胞株。另有研究表明前列腺癌患者的葡萄糖转运子 1 基因表达水平明显高于其他良性前列腺增生症, 并且与前列腺癌 Gleason 评分呈正相关^[8]。尽管前列腺癌也具有恶性肿瘤的一般生物学特征, 但总体而言, 许多前列腺癌的原发病灶都比较小, 且分化较好, 生长缓慢, 因此, 多数前列腺癌病灶对 ¹⁸F-FDG 的摄取并不是很高, 并且有可能与正常前列腺组织以及同时存在的前列腺增生发生重叠摄取^[9]。由于显像剂通过泌尿系统排泄, 为了排除膀胱尿液的高放射性对前列腺癌显像的干扰, Liu 等^[10]通过利尿等方法来降低膀胱的放射性, 但发现绝大多数局灶性前列腺癌仍然对 ¹⁸F-FDG 没有明显摄取, 灵敏度仅 4.2%(1/24)。von Mallek 等^[11]也得到了类似的研究结果。大量研究也显示, ¹⁸F-FDG PET 对前列腺癌早期诊断的价值是有限的: Watanabe 等^[12]报道 MRI、¹¹C-胆碱 PET、¹⁸F-FDG PET 对前列腺癌原发灶检出的灵敏度分别为 88%(23/26)、73%(19/26)、31%(8/26), 准确率分别为 88%(38/43)、67%(29/43)、53%(23/43); Fricke 等^[13]报道 ¹¹C-乙酸盐 PET、¹⁸F-FDG PET 对前列腺癌的检出率分别为 83%(20/24)和 67%(10/15)。PET/CT 应用以后, 增加了 CT 的解剖信息, 但情况并没有根本改观。Minamimoto 等^[14]研究显示, 在血清

PSA 升高怀疑前列腺癌的患者中, ¹⁸F-FDG PET/CT 总的灵敏度、特异度、阳性预测值分别为 51.9%(27/52)、75.7%(112/148)、42.9%(27/63); 对于前列腺边缘区的病灶, 上述指标分别为 73.3%(22/30)、64.3%(45/70)、46.8%(22/47); 对于中央区的病灶, 上述指标分别为 22.7%(5/22)、85.9%(67/78)、31.3%(5/16)。由此可见, ¹⁸F-FDG PET/CT 对前列腺癌检出的灵敏度不高, 且对中央区病灶的检出率更低。但也有报道显示, 在前列腺良恶性病变中, 病灶 SUV_{max}/本底 SUV_{max} 值存在明显差异^[15], 若以 SUV_{max}>2.5, 且病灶 SUV_{max}/本底 SUV_{max}>2 作为诊断阈值, 则该方法诊断前列腺癌的灵敏度、特异度、准确率、阳性预测值及阴性预测值分别为 87.1%(27/31)、78.3%(18/23)、83.3%(45/54)、84.4%(27/32)、81.8%(18/22)。近年来, 有不少研究发现 ¹⁸F-FDG 摄取与前列腺癌恶性程度密切相关, 在高级别前列腺癌中, 恶性病变的 SUV 明显高于良性病变^[16-17], 另外, 低分化以及乏氧的前列腺癌病灶也会呈现更高的 ¹⁸F-FDG 摄取^[18]。上述现象不仅可以解释雄激素非依赖性前列腺癌比雄激素依赖性前列腺癌有更高的 ¹⁸F-FDG 摄取, 还可以解释雄激素调节激素敏感型前列腺癌的糖代谢水平^[19]。

以上事实说明, ¹⁸F-FDG PET/CT 对前列腺癌早期诊断的价值还存在不少争议, 受病例来源、评价标准及其他因素的影响, 不同学者的研究结果差异很大, 但这主要是由前列腺癌本身的生物学特性所决定的。现在人们也逐渐认识到, ¹⁸F-FDG PET/CT 对那些恶性程度高的前列腺癌仍具有较高的诊断价值^[20]。

3 ¹⁸F-FDG PET/CT 对前列腺癌临床分期的应用价值

李杨等^[21]报道, 在 40 例经手术或穿刺活检病理证实为前列腺癌的患者中, ¹⁸F-FDG PET/CT 对原发灶诊断灵敏度为 43%(17/40); 在 17 例淋巴结转移患者中, CT、PET/CT 的检出灵敏度分别为 47.1%(8/17)、88%(15/17), 其中 5 例患者因 PET/CT 检查改变了临床分期以及治疗方案; ¹⁸F-FDG PET/CT 对骨转移诊断的灵敏度与 ⁹⁹Tc^m-MDP 骨显像相近, 但特异度和准确率均明显高于后者, 其中 6 例患者因 PET/CT 检查改变了临床分期, 2 例改变了治疗方案。Beauregard 等^[17]研究发现, 在高级

别的前列腺癌(Gleason 总分 ≥ 8)患者中, ^{18}F -FDG PET/CT对于临床分期、预后分层以及指导个体化治疗等具有重要价值,而这些患者通常面临着治疗失败和生存期缩短的风险。一项5309例的大样本统计结果显示,PET显像对35.1%的前列腺癌患者的临床管理(包括初始分期、再分期、检测疑似复发等)产生了影响:其中25.3%的患者从无需治疗变为需要治疗,9.7%的患者从需要治疗变为无需治疗;有2042例患者涉及初始分期,PET显像对其中32%的患者的临床管理产生了影响;有1477例患者涉及再分期,PET显像对其中34%的患者的临床管理产生了影响^[22]。以上研究说明,与传统影像学检查相比, ^{18}F -FDG PET/CT对前列腺癌的临床分期仍具有明显优势。

4 ^{18}F -FDG PET/CT对前列腺癌疗效评价及预后评估的应用价值

^{18}F -FDG PET/CT显像对转移性前列腺癌患者治疗后的疗效评价也具有重要意义。 ^{18}F -FDG在前列腺癌中的代谢受雄激素调节,因此 ^{18}F -FDG PET可以监测雄激素阻断治疗的反应^[18]。 ^{18}F -FDG在转移病灶中的浓聚提示激素治疗的成功率降低^[19,23]。研究也表明 ^{18}F -FDG PET显像在前列腺癌患者的预后评价中具有潜在的应用价值,SUV高的前列腺癌患者比SUV低的患者的预后差^[24-25]。Jadvar等^[26]研究了87例激素抵抗的转移性前列腺癌患者,结果发现SUV_{max}可作为患者生存期的独立预测因子,并且可用于传统与新兴治疗方法之间的疗效比较。Zukotynski等^[27]报道,在去势抵抗的转移性前列腺癌患者中, ^{18}F -FDG PET/CT显像可鉴别哪些患者能从阿比特龙和卡博替尼胶囊治疗中获益,且可根据治疗前病灶的多少来调整治疗方案以及评估患者的无进展生存期,因此, ^{18}F -FDG PET/CT显像是指导临床合理治疗的一种非常可行的方法。Beauregard等^[17]报道,在活检为高级别前列腺癌(Gleason 总分 ≥ 8)的患者中, ^{18}F -FDG摄取特点与病变的恶性程度和治疗反应有较好的一致性,因此 ^{18}F -FDG PET/CT显像结果对术前分期和预后判断具有重要价值。

5 ^{18}F -FDG PET/CT诊断前列腺癌复发与转移的应用价值

前列腺癌根治性切除术和局部放疗是治疗局限

性前列腺癌最有效的两种主要方法^[28],但术后10年有23%~57%的患者会出现生化复发,表现为血清PSA水平升高^[29]。生化复发的可能原因包括前列腺癌局部复发、区域淋巴结转移或远处转移,当然也包括一些假阳性。选择治疗方案的前提是鉴别局部复发与远处转移^[28-29],而影像学检查的目的正是为了解决上述难题。

Chang等^[30]研究了24例经治疗后生化复发,且全身骨显像阴性、盆腔CT显像诊断不明的患者,将 ^{18}F -FDG PET检查与盆腔淋巴结清扫后的病理结果进行对比,结果: ^{18}F -FDG PET检查对盆腔淋巴结探测的灵敏度、特异度、准确率、阳性预测值、阴性预测值分别为75.0%(12/16)、100.0%(8/8)、83.3%(20/24)、100.0%(12/12)、67.7%(8/12)。Schöder等^[31]报道, ^{18}F -FDG PET检测生化复发前列腺癌的阳性率为31%(28/91),并且检出率与PSA水平呈正相关。Jadvar等^[32]分析了37例生化复发的前列腺癌患者,其中14例最终明确诊断为复发或转移, ^{18}F -FDG PET/CT的灵敏度为21.4%(3/14),其中1例淋巴结转移、2例骨转移。徐慧琴等^[33]报道 ^{18}F -FDG PET/CT诊断前列腺癌复发与转移的灵敏度、特异度、准确率分别为100%(19/19)、75%(3/4)、95%(22/23)。也有研究认为对生化复发的前列腺癌患者来说,在探测隐匿性骨转移方面 ^{18}F -NaF PET/CT较 ^{18}F -FDG PET/CT更有价值^[32]。但是从总体上来讲, ^{18}F -FDG PET/CT在诊断前列腺癌复发及转移方面具有重要价值。

6 小结

除 ^{18}F -FDG以外,还有多种显像剂可用于前列腺癌显像,如 ^{11}C (或 ^{18}F)-乙酸盐、 ^{11}C -胆碱、 ^{18}F -氟乙基胆碱、 ^{18}F -氟丙酸、 ^{68}Ga -前列腺特异性膜抗原等^[34-36],它们的成像原理各有不同,相互之间有一些互补作用,但还没有一种显像剂在前列腺癌的早期诊断、临床分期、疗效评价等方面具有绝对优势。

总体上看, ^{18}F -FDG对前列腺癌早期诊断的价值与期望尚有差距,但与常规影像学检查相比仍具有明显优势,尤其在高级别、低分化或乏氧前列腺癌中具有较好的诊断价值。除此之外, ^{18}F -FDG的代谢特征与病变的恶性程度以及治疗反应有较好的一致性,因此, ^{18}F -FDG对前列腺癌更重要的价值可能在于肿瘤恶性程度评估、疗效评价和预后评估

等方面,即¹⁸F-FDG代谢高意味着病变的恶性程度高、疗效及预后差^[26,37]。因此,只要把握好适应证,¹⁸F-FDG在前列腺癌的应用中仍具有不可替代的重要作用。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,不涉及任何利益冲突。

作者贡献声明 王朋主要负责文章立意、思路设计、查阅文献和撰写工作;崔邦平、代文莉主要负责文章立意、思路设计和审校工作;邓鹏裔主要负责查阅文献和审校工作;田金玲主要负责文章立意和查阅文献工作;胡伟主要负责前列腺癌显像技术上的相关指导。

参 考 文 献

- [1] Jemal A, Bray F, Center MM, et al. Global cancer statistics[J]. *CA Cancer J Clin*, 2011, 61(2):69-90. DOI:10.3322/caac.20107.
- [2] 李鸣,孙光,贺大林,等.前列腺癌诊断治疗指南[M].北京:人民卫生出版社,2014:61-89.
Li M, Sun G, He DL, et al. The guide of diagnosis and treatment of prostate cancer[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2014:61-89.
- [3] 姚林,周利群.前列腺癌的间歇性内分泌治疗[J].中华外科杂志,2011,49(2):176-179.
Yao L, Zhou LQ. The intermittent endocrine therapy of prostate cancer[J]. *Chin J Surg*, 2011, 49(2):176-179.
- [4] Ghafoori M, Velayati M, Aliyari Ghasabeh M, et al. Prostate Biopsy Using Transrectal Ultrasonography; The Optimal Number of Cores Regarding Cancer Detection Rate and Complications[J/OL]. *Iran J Radiol*, 2015, 12(2):e13257[2016-05-01]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4457971>. DOI:10.5812/iranradiol.13257.
- [5] Gillies RJ, Robey I, Gatenby RA. Causes and consequences of increased glucose metabolism of cancers[J]. *J Nucl Med*, 2008, 49 Suppl 2:S24-42. DOI:10.2967/jnumed.107.047258.
- [6] Macheda ML, Rogers S, Best JD. Molecular and cellular regulation of glucose transporter (GLUT) proteins in cancer[J]. *J Cell Physiol*, 2005, 202(3):654-662.
- [7] Effert P, Beniers AJ, Tamimi Y, et al. Expression of glucose transporter 1 (Glut-1) in cell lines and clinical specimens from human prostate adenocarcinoma[J]. *Anticancer Res*, 2004, 24(5A):3057-3063.
- [8] Stewart GD, Gray K, Pennington CJ, et al. Analysis of hypoxia-associated gene expression in prostate cancer: lysyl oxidase and glucose transporter-1 expression correlate with Gleason score[J]. *Oncol Rep*, 2008, 20(6):1561-1567.
- [9] 吴敏,赵红光,李英华,等. PET-CT在前列腺癌诊断中的应用现状和展望[J]. *中国实验诊断学*, 2015, 19(3):513-516.
Wu M, Zhao HG, Li YH, et al. The present state and perspectives of PET-CT in the diagnosis of prostate cancer[J]. *Chin J Lab Diagn*, 2015, 19(3):513-516.
- [10] Liu JJ, Zafar MB, Lai YH, et al. Fluorodeoxyglucose positron emission tomography studies in diagnosis and staging of clinically organ-confined prostate cancer[J]. *Urology*, 2001, 57(1):108-111.
- [11] von Mallek D, Backhaus B, Müller SC, et al. Technical limits of PET/CT with ¹⁸F-FDG in prostate cancer[J]. *Aktuelle Urol*, 2006, 37(3):218-221. DOI:10.1055/s-2006-932129.
- [12] Watanabe H, Kanematsu M, Kondo H, et al. Preoperative detection of prostate cancer: a comparison with ¹¹C-choline PET, ¹⁸F-fluorodeoxyglucose PET and MR imaging[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2010, 31(5):1151-1156. DOI:10.1002/jmri.22157.
- [13] Fricke E, Machtens S, Hofmann M, et al. Positron emission tomography with ¹¹C-acetate and ¹⁸F-FDG in prostate cancer patients[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2003, 30(4):607-611. DOI:10.1007/s00259-002-1104-y.
- [14] Minamimoto R, Uemura H, Sano F, et al. The potential of FDG-PET/CT for detecting prostate cancer in patients with an elevated serum PSA level[J]. *Ann Nucl Med*, 2011, 25(1):21-27. DOI:10.1007/s12149-010-0424-4.
- [15] 王治国,郭佳,石庆学,等. ¹⁸F-FDG PET/CT在前列腺癌诊断中的应用价值[J]. *临床军医杂志*, 2014, 42(4):409-411. DOI:10.3969/j.issn.1671-3826.2014.04.26.
Wang ZG, Guo J, Shi QX, et al. Value of ¹⁸F-FDG PET/CT in diagnosis of prostate cancer[J]. *Clin J Med Offic*, 2014, 42(4):409-411.
- [16] Brown AM, Lindenberg ML, Sankineni S, et al. Does focal incidental F-FDG PET/CT uptake in the prostate have significance?[J]. *Abdom Imaging*, 2015, 40(8):3222-3229. DOI:10.1007/s00261-015-0520-y.
- [17] Beauregard JM, Blouin AC, Fradet V, et al. FDG-PET/CT for preoperative staging and prognostic stratification of patients with high-grade prostate cancer at biopsy[J/OL]. *Cancer Imaging*, 2015, 15:2[2016-05-01]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4352558>. DOI:10.1186/s40644-015-0038-0.
- [18] Jadvar H. Molecular imaging of prostate cancer with ¹⁸F-fluorodeoxyglucose PET[J]. *Nat Rev Urol*, 2009, 6(6):317-323.
- [19] Jadvar H. Prostate cancer: PET with ¹⁸F-FDG, ¹⁸F- or ¹¹C-acetate, and ¹⁸F- or ¹¹C-choline[J]. *J Nucl Med*, 2011, 52(1):81-89. DOI:10.2967/jnumed.110.077941.
- [20] 陈雯,姚稚明,张建飞,等.同期¹⁸F-FDG PET/CT及MRI对于前列腺癌的初步对照研究[J]. *临床和实验医学杂志*, 2015, 14(18):1491-1494. DOI:10.3969/j.issn.1671-4695.2015.18.002.
Chen W, Yao ZM, Zhang JF, et al. A primary comparative study of the concurrent ¹⁸F-FDG PET/CT and MRI for the prostate cancer[J]. *J Clin Exp Med*, 2015, 14(18):1491-1494.
- [21] 李杨,齐琳,叶慧. ¹⁸F-脱氧葡萄糖正电子发射计算机断层显像CT检查在前列腺癌诊断和分期中的应用价值[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2011, 32(10):682-684. DOI:10.3760/ema.j.issn.1000-6702.2011.10.013.
Li Y, Qi L, Ye H. Applications value of ¹⁸F-FDG PET/CT in the diagnosis and staging of prostate cancer[J]. *Chin J Urol*, 2011, 32

- (10):682-684.
- [22] Hillner BE, Siegel BA, Shields AF, et al. Relationship between cancer type and impact of PET and PET/CT on intended management: findings of the national oncologic PET registry[J]. J Nucl Med, 2008, 49(12):1928-1935. DOI:10.2967/jnumed.108.056713.
- [23] Oyama N, Akino H, Suzuki Y, et al. FDG PET for evaluating the change of glucose metabolism in prostate cancer after androgen ablation[J]. Nucl Med Commun, 2001, 22(9):963-969.
- [24] Oyama N, Akino H, Suzuki Y, et al. Prognostic value of 2-deoxy-2-[F-18]fluoro-D-glucose positron emission tomography imaging for patients with prostate cancer[J]. Mol Imaging Biol, 2002, 4(1):99-104.
- [25] Meirelles GS, Schöder H, Ravizzini GC, et al. Prognostic value of baseline [¹⁸F]fluorodeoxyglucose positron emission tomography and ^{99m}Tc-MDP bone scan in progressing metastatic prostate cancer[J]. Clin Cancer Res, 2010, 16(24):6093-6099. DOI:10.1158/1078-0432.CCR-10-1357.
- [26] Jadvar H, Desai B, Ji L, et al. Baseline ¹⁸F-FDG PET/CT parameters as imaging biomarkers of overall survival in castrate-resistant metastatic prostate cancer[J]. J Nucl Med, 2013, 54(8):1195-1201. DOI:10.2967/jnumed.112.114116.
- [27] Zukotynski KA, Kim CK, Gerbaudo VH, et al. ¹⁸F-FDG-PET/CT and ¹⁸F-NaF-PET/CT in men with castrate-resistant prostate cancer [J]. Am J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 5(1):72-82.
- [28] Yu CY, Desai B, Ji L, et al. Comparative performance of PET tracers in biochemical recurrence of prostate cancer: a critical analysis of literature[J]. Am J Nucl Med Mol Imaging, 2014, 4(6):580-601.
- [29] Mapelli P, Panebianco V, Picchio M. Prostate cancer recurrence: can PSA guide imaging?[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 42(12):1781-1783. DOI:10.1007/s00259-015-3091-9.
- [30] Chang CH, Wu HC, Tsai JJ, et al. Detecting metastatic pelvic lymph nodes by ¹⁸F-2-deoxyglucose positron emission tomography in patients with prostate-specific antigen relapse after treatment for localized prostate cancer[J]. Urol Int, 2003, 70(4):311-315. DOI:10.1159/000070141.
- [31] Schöder H, Herrmann K, Gönen M, et al. 2-[¹⁸F] fluoro-2-deoxyglucose positron emission tomography for the detection of disease in patients with prostate-specific antigen relapse after radical prostatectomy[J]. Clin Cancer Res, 2005, 11(13):4761-4769.
- [32] Jadvar H, Desai B, Ji L, et al. Prospective evaluation of ¹⁸F-NaF and ¹⁸F-FDG PET/CT in detection of occult metastatic disease in biochemical recurrence of prostate cancer[J]. Clin Nucl Med, 2012, 37(7):637-643. DOI:10.1097/RLU.0b013e318252d829.
- [33] 徐慧琴, 薛杨央, 赵学峰, 等. ¹⁸F-FDG PET-CT 诊断前列腺癌复发与转移的价值[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2011, 35(2):81-84. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2011.02.004. Xu HQ, Xue YY, Zhao XF, et al. Value of ¹⁸F-FDG PET-CT in diagnosis of prostate cancer recurrence and metastasis[J]. Int J Radiat Med Nucl Med, 2011, 35(2):81-84.
- [34] Pillarsetty N, Punzalan B, Larson SM. 2-¹⁸F-Fluoropropionic acid as a PET imaging agent for prostate cancer[J]. J Nucl Med, 2009, 50(10):1709-1714. DOI:10.2967/jnumed.109.064212.
- [35] Castellucci P, Jadvar H. PET/CT in prostate cancer: non-choline radiopharmaceuticals[J]. Q J Nucl Med Mol Imaging, 2012, 56(4):367-374.
- [36] Yu CY, Desai B, Ji L, et al. Comparative performance of PET tracers in biochemical recurrence of prostate cancer: a critical analysis of literature[J]. Am J Nucl Med Mol Imaging, 2014, 4(6):580-601.
- [37] Meirelles GS, Schöder H, Ravizzini GC, et al. Prognostic value of baseline [¹⁸F]fluorodeoxyglucose positron emission tomography and ^{99m}Tc-MDP bone scan in progressing metastatic prostate cancer[J]. Clin Cancer Res, 2010, 16(24):6093-6099. DOI:10.1158/1078-0432.CCR-10-1357.

(收稿日期: 2016-05-10)