

Australas Radiol, 1989, 33(1): 93-96.

- [3] 张凯军, 张永学, 安锐, 等. ^{99m}Tc -MDP 在女性全身骨骼分布随年龄相关改变初探. 中国临床医学影像杂志, 2001, 12(2): 120-122.
- [4] Chan KW, Merrick MV, Mitchell R. Bone SPECT to assess mandibular invasion by intraoral squamous-cell carcinomas. J Nucl Med, 1996, 37(1): 42-45.
- [5] Bianchi L, Baroli A, Marzoli L, et al. Prospective dosimetry with ^{99m}Tc -MDP in metabolic radiotherapy of bone metastases with ^{153}Sm -EDTMP. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2009, 36(1): 122-129.
- [6] Landoni C, Gianolli L, Lucignani G, et al. Comparison of dual-head

coincidence PET versus ring PET in tumor patients. J Nucl Med, 1999, 40(10): 1617-1622.

- [7] 姚红霞, 刘生, 张金山. 鼻咽癌 ^{99m}Tc -MDP SPECT/CT 颅底显像阳性的探讨. 影像诊断与介入放射学, 2009, 18(5): 225-227.
- [8] 程元芝, 胡超苏, 周正荣. 鼻咽癌颅底骨质侵犯的 CT 与 MRI 对比检测. 中国癌症杂志, 2005, 15(2): 167-168.
- [9] 宾怀有, 滕才钧. 59 例早期鼻咽癌与鼻咽炎的 CT 对比分析. 广西医学, 2005, 27(2): 234.
- [10] 程南生. 鼻咽癌的 CT 诊断和鉴别诊断. 中国中西医结合耳鼻喉科杂志, 2006, 14(5): 292, 296-297.

(收稿日期: 2010-12-03)

^{11}C -乙酸盐在肿瘤 PET 或 PET-CT 中的应用

马文超 徐文贵

【摘要】 ^{18}F -FDG 是临床上应用最多、范围最广的正电子显像剂, 但其对于某些肿瘤的诊断缺乏敏感性和特异性。 ^{11}C -乙酸盐与 ^{18}F -FDG 相比, 有不同的体内分布方式及细胞摄取机制, 是近年来众多研究证实很有希望在某些方面弥补 ^{18}F -FDG 显像不足的正电子显像剂。该文综述了目前 ^{11}C -乙酸盐 PET 或 PET-CT 的机制、研究领域及最新进展。

【关键词】 乙酸盐类; 碳放射性同位素; 肿瘤; 正电子发射断层显像术; 体层计算机, X 线计算机

The application of ^{11}C -acetate PET or PET-CT for tumors MA Wen-chao, XU Wen-gui. Department of Molecule Image and Nuclear Medicine to Diagnose and Treat, Tianjin Medical University Cancer Institute and Hospital, Tianjin 300060, China

Corresponding author: XU Wen-gui, Email: wenguixy@tom.com

【Abstract】 ^{18}F -FDG is generally used for tumors' PET, and it is the most and widest useful positron radiopharmaceutical in the clinic. But it does not have enough sensitivity and specificity for some kinds of tumors. ^{11}C -acetate has different distribution in body and uptaken mechanism by cell from ^{18}F -FDG. Many studies have confirmed that ^{11}C -acetate has the potential value to make up the insufficiency of ^{18}F -FDG. The researches on ^{11}C -acetate PET or PET-CT are reviewed in this paper, including the mechanism, research area and the newest progress.

【Key words】 Acetates; Carbon radioisotopes; Neoplasms; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed

1 前言

目前, ^{18}F -FDG 已广泛用于肿瘤 PET, 其在肿

瘤诊断和鉴别诊断、提供临床分期与再分期、监测治疗效果、寻找原发灶等方面具有优势, 是临床上应用最多、范围最广的正电子显像剂。但是, 由于其无法很好地区分炎症和肿瘤、某些分化好的肿瘤细胞对 ^{18}F -FDG 的摄取较低、在脑、肠道和盆腔中本底过高等因素, 限制了 ^{18}F -FDG 对某些肿瘤的诊断。 ^{11}C -乙酸盐是近年来众多研究证实很有希望在某些方面弥补 ^{18}F -FDG 显像不足的正电子显像剂。

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2011.01.007

基金项目: 天津市自然科学基金重点项目(08JJCZJC23700); 天津市高等学校科技发展基金(20080133)

作者单位: 300060, 天津医科大学附属肿瘤医院分子影像及核医学诊疗科

通信作者: 徐文贵 (Email: wenguixy@tom.com)

2 ^{11}C -乙酸盐显像机制

碳本身是构成生物分子的主要元素之一, ^{11}C 的半衰期约为 20.3 min, 它可以取代内源性或外源性有机分子中任意位置上的 C 原子, 而不引起该分子生物化学性质的改变^[1]。 ^{11}C -乙酸盐最早用于心肌氧化代谢的研究, 1994 年, Shreve 等^[2]提出它可用于肾脏肿瘤显像, 从而开始了其在肿瘤诊断中的研究。尽管 ^{11}C -乙酸盐的确切代谢机制尚未完全清楚, 但其代谢途径与 ^{18}F -FDG 不同, 它参与三羧酸循环和脂肪酸合成。Soloviev 等^[3]研究发现, 正常细胞和肿瘤细胞对 ^{11}C -乙酸盐代谢方式的不同可能是由于乙酰辅酶 A 合成过程中的关键酶——乙酰辅酶 A 合成酶 (acetyl-coenzyme A synthetase, AceCS) 的表达活性不同: AceCS1 催化生成的乙酰辅酶 A 只进行脂肪酸合成, AceCS2 催化生成的乙酰辅酶 A 主要经过三羧酸循环生成 CO_2 和 H_2O 而排出体外; 某些肿瘤细胞中 AceCS1 水平较高, ^{11}C -乙酸盐通过脂肪酸合成反应生成软脂酸盐, 滞留在细胞中; 此外, 血清中 Zn 离子水平增高可能会限制乌头酸酶活性, 抑制三羧酸循环。Yun 等^[4]报道, 用小干扰 RNA 抑制 AceCS1 及 AceCS2 活性, 可降低 ^{11}C -乙酸盐的摄取及细胞活性。关于 ^{11}C -乙酸盐的体内分布, Song 等^[5]于注射显像剂后即刻采集图像, 发现胰腺是摄取 ^{11}C -乙酸盐最多的脏器, 其 SUV 为 11.9 ± 4.3 ; 肝和脾脏均为 7.8 ± 2.9 ; 唾液腺为 5.5 ± 2.8 ; 下颌腺为 5.0 ± 1.9 ; 脑和肺摄取较低, 分别为 1.4 ± 0.4 和 1.7 ± 0.7 ; 肾脏和膀胱对 ^{11}C -乙酸盐的摄取也较 ^{18}F -FDG 低, 分别为 4.3 ± 1.5 和 2.6 ± 2.0 。此外, 女性子宫对 ^{11}C -乙酸盐轻度摄取^[6]。

3 ^{11}C -乙酸盐肿瘤显像的临床应用

目前, 对 ^{11}C -乙酸盐肿瘤 PET-CT 的研究主要涉及前列腺癌、肝细胞肝癌 (hepatocellular cancer, HCC)、泌尿系统肿瘤、非小细胞肺癌、脑胶质瘤、乳腺癌、鼻咽癌、胰腺癌及胸腺瘤等, 尤其是 ^{18}F -FDG 难以诊断的肿瘤领域。 ^{11}C -乙酸盐显像还可应用于头颈部肿瘤及前列腺癌根治术后复发的放疗生物靶区勾画、多发性骨髓瘤的诊断等。

3.1 ^{11}C -乙酸盐在前列腺癌诊断中的价值

前列腺癌在欧美国家的发病率很高, 在老龄男性中的发病率仅次于肺癌。随着人均寿命的不断增

长, 近年来其在我国的发病率亦迅速增加。然而, 大多数前列腺癌细胞的生长速度相对缓慢, 以致葡萄糖代谢水平较低^[7], 同时, 由于 ^{18}F -FDG 通过泌尿系统排泄, 膀胱及输尿管的高放射性活性容易掩盖前列腺原发肿瘤及局部淋巴结。研究发现, ^{11}C -乙酸盐在肾脏几乎完全被重吸收并大部分在肾皮质内被氧化分解为 $^{11}\text{CO}_2$, 肾盂、输尿管、膀胱内几乎没有或仅有少量放射性尿液滞留。 ^{11}C -乙酸盐的这种独特细胞摄取机制, 使它成为诊断各个阶段前列腺癌的有利工具。 ^{11}C -胆碱与 ^{11}C -乙酸盐对前列腺癌的诊断水平相当^[8]。

Jambor 等^[9]对 21 例经直肠超声穿刺确诊的前列腺癌患者行 PET-CT 及质子磁共振波谱分析后认为, ^{11}C -乙酸盐 PET-CT、增强 MRI 及质子磁共振波谱分析对局限性前列腺癌的诊断水平相当, 但最大 SUV 与前列腺癌的侵袭性及前列腺特异性抗原水平无明显相关。在前列腺特异性抗原水平低于 0.8 mg/L 时, ^{11}C -乙酸盐就能早期发现前列腺肿瘤, 其区分前列腺癌及良性病变的准确率可达 90%^[3]。 ^{11}C -乙酸盐对早期诊断前列腺癌的复发也很有价值, 并可鉴别原发性和复发性前列腺癌, 因为两者对 ^{11}C -乙酸盐的摄取有较大的差别^[10]。这可能与复发性前列腺癌的癌床较小、部分容积效应、不同的细胞膜通道、不同的三羧酸循环路径等造成其 SUV 较低有关^[11]。注射显像剂后, 选择适当的扫描时间可能增加正常细胞和恶性肿瘤细胞的对比度, 更有利于前列腺肿瘤的鉴别诊断。Albrecht 等^[12]比较了早期 (2 min) 和延迟期 (47 min) 显像结果, 发现前列腺癌复发者在延迟扫描中大多数表现为阳性或可疑阳性。

此外, Seppälä 等^[13]的研究表明, ^{11}C -乙酸盐可用于勾画前列腺癌放疗生物靶区。也有人认为: ^{11}C -乙酸盐显示前列腺癌和区域淋巴结转移的效果较好, 但是对远处转移灶的敏感性不如 ^{18}F -FDG, 故需要两者结合^[14]。需要注意的是, ^{11}C -乙酸盐诊断前列腺癌也会出现假阳性结果, 如正常前列腺摄取 ^{11}C -乙酸盐与年龄有关, 年龄越大 SUV 越大; 正常前列腺和前列腺增生症的 SUV 范围可能与前列腺癌重叠, 应该综合分析^[15]。

3.2 ^{11}C -乙酸盐在肝脏肿瘤诊断中的价值

^{18}F -FDG PET-CT 诊断原发性肝癌的假阴性率 (40%~50%) 较高, 主要是对高分化肝癌及小病灶

肝癌缺乏敏感性。原发性肝癌分3种：HCC、胆管细胞癌及混合型肝癌， ^{11}C -乙酸盐的优势主要在对高分化HCC的诊断上。

2003年，Ho等^[16]首次报道用 ^{11}C -乙酸盐PET诊断肝癌，结果发现 ^{11}C -乙酸盐PET对高分化肝癌诊断的敏感性高，而 ^{18}F -FDG PET对肝转移灶及中、低分化肝癌有相当高的敏感性， ^{11}C -乙酸盐和 ^{18}F -FDG PET合用对肝癌的检出率接近100%。但该研究为了统计方便，把高、中分化肝癌归于高分化类，把中、低分化肝癌归于低分化类。Salem等^[17]亦认为，高分化和一些中分化HCC对 ^{18}F -FDG没有明显摄取，而对 ^{11}C -乙酸盐明显摄取。Park等^[18]对99例HCC及13例胆管细胞癌患者行 ^{18}F -FDG显像、 ^{11}C -乙酸盐显像及两者结合显像，结果发现三者对90例HCC患者的110个原发病灶的检出灵敏度分别为69.9%、75.4%和82.7%，对HCC远处转移的灵敏度分别为85.7%、77.2%和85.7%，说明 ^{11}C -乙酸盐的加入增加了原发性HCC检出的敏感性，但对肝外转移的检出无明显益处；该研究还发现， ^{11}C -乙酸盐对高分化肝癌的显像比 ^{18}F -FDG好，但对低分化肝癌的显像两者无明显差别，这与Ho等^[16]的报道有所不同；同时，Park等还认为， ^{11}C -乙酸盐在男性患者、体质好的患者以及乙型肝炎病毒阳性患者中容易高浓聚。对于良性病变， ^{11}C -乙酸盐在鉴别肝局灶结节增生及肝腺瘤方面不能增强 ^{18}F -FDG的作用^[19]。有个案报道，1例肝血管肌脂肪瘤内含大量平滑肌成分，其对 ^{11}C -乙酸盐高摄取，但对 ^{18}F -FDG低摄取，故在诊断高分化肝癌上要慎重^[20]。双时相 ^{11}C -乙酸盐PET有可能鉴别局灶结节增生与HCC，前者延迟显像的SUV减低，HCC延迟显像的SUV升高^[21]。

3.3 ^{11}C -乙酸盐在泌尿系肿瘤诊断中的价值

由于肾对 ^{11}C -乙酸盐几乎完全重吸收，正常输尿管及膀胱内没有放射性浓聚的尿液，从而使泌尿系肿瘤的诊断更直观。

研究显示，肾癌细胞对 ^{11}C -乙酸盐摄取明显，其机制为肾癌细胞摄取 ^{11}C -乙酸盐与正常肾组织相似，但其清除率较正常肾皮质低，注射显像剂后10 min的延迟显像可以将二者鉴别^[2]。肾透明细胞癌的诊断是 ^{18}F -FDG PET的难点，因为透明细胞癌对葡萄糖利用率低，容易出现假阴性。Oyama等^[22]在研究20例可疑肾癌患者的22个病灶时发现，22

个病灶中，19个透明细胞癌病灶中的13个为 ^{11}C -乙酸盐高摄取；1个肾乳头状细胞癌病灶为明显高摄取；2个肾复杂囊肿病灶均为 ^{11}C -乙酸盐阴性。对于良性肿瘤，Ho等^[23]报道，7例肾血管平滑肌脂肪瘤患者的16个病灶均呈 ^{11}C -乙酸盐高摄取，SUV明显高于肾细胞癌，作者认为 ^{11}C -乙酸盐可用于鉴别肾肿瘤的良、恶性。但是，霍力等^[6]在研究肾癌时偶然发现，1例肾脏血管平滑肌脂肪瘤患者的 ^{11}C -乙酸盐SUV并不比肾皮质癌高。此外， ^{11}C -乙酸盐在肾嗜酸粒细胞瘤中也有浓聚，其可能的机制是肿瘤细胞功能失调，造成氧化磷酸化水平上调和脂质生物合成增加，诊断时需结合临床症状及相关检查结果认真分析^[24]。

3.4 ^{11}C -乙酸盐在肺肿瘤诊断中的价值

^{18}F -FDG对高分化肺癌及小于1 cm的病灶的诊断存在不足，因为这类肿瘤的葡萄糖代谢较低。 ^{11}C -乙酸盐在正常肺组织的浓聚程度很低，肺肿瘤能清晰成像。其最佳的图像采集时间是注射 ^{11}C -乙酸盐后20 min，肺肿瘤 ^{11}C -乙酸盐SUV(2.8 ± 0.8)比 ^{18}F -FDG(5.3 ± 1.6)低^[25]。

^{11}C -乙酸盐PET对非小细胞肺癌的诊断效果与 ^{18}F -FDG PET相当，而对肺高分化腺癌的诊断敏感性高于 ^{18}F -FDG^[26]。据报道， ^{11}C -乙酸盐能检测到大约1/3 ^{18}F -FDG不能鉴别的肺高分化腺癌。对于毛玻璃样病变（即病灶由不透明絮状结构和实心体部分组成，在组织学上既有高分化也有中分化的腺癌）， ^{11}C -乙酸盐能将其两部分结构都显示出来，而 ^{18}F -FDG仅在实心体部分显示浓聚^[27]。这是因为边缘部分肿瘤沿肺泡隔生长，恶性度低；而实心体部分沿增生的纤维血管生长，恶性度高。同样道理， ^{11}C -乙酸盐可诊断 ^{18}F -FDG不能鉴别的肺毛玻璃样不透明小病灶^[28]。Shibata等^[29]对169例临床IA期肺腺癌和53例良性结节进行 ^{11}C -乙酸盐和 ^{18}F -FDG显像发现， ^{11}C -乙酸盐对细支气管肺泡癌及肺高分化腺癌的敏感性较 ^{18}F -FDG高，对中低分化腺癌两者没有显著区别，但是 ^{18}F -FDG在侵袭性强的肿瘤中的摄取较IA期或没有转移者高，而 ^{11}C -乙酸盐无明显变化。 ^{11}C -乙酸盐能在 ^{18}F -FDG诊断不出的低度恶性肿瘤的诊断中起到补充作用，但是不能反映肺腺癌的恶性级别，而 ^{18}F -FDG可以，在随访中 ^{18}F -FDG摄取阳性的患者的生存时间比摄取阴性或部分阳性的患者短^[18]。

3.5 ^{11}C -乙酸盐在颅脑肿瘤诊断中的价值

由于脑部组织本底较高, ^{18}F -FDG PET-CT 对小病灶尤其是等密度小病灶容易遗漏。 ^{11}C -乙酸盐不能通过血脑屏障, 在脑中本底很低, 可显示较清晰的瘤组织边缘, 因此其敏感性高于 ^{18}F -FDG, 是探测头颈部肿瘤非常有用的示踪剂^[30]。目前, 对 ^{11}C -乙酸盐诊断脑肿瘤的研究主要集中在脑胶质瘤上。脑胶质瘤是最常见的原发性脑肿瘤, 约占全部脑肿瘤的 50%。胶质细胞氧化代谢增加, ^{11}C -乙酸盐 PET-CT 能很好地显像。

据报道, ^{11}C -乙酸盐和 ^{18}F -FDG 诊断脑神经胶质细胞瘤的灵敏度分别为 90% 和 40%, 且前者对高分化胶质瘤比低分化者敏感性高^[31]。 ^{11}C -乙酸盐对脑胶质瘤的分级可能有帮助, 有研究显示, ^{11}C -乙酸盐对不同分化程度胶质瘤的 SUV 不同, 分化程度越高, SUV 越大^[32]。有个案报道, 1 例患者 MRI 提示脑部低分化神经胶质瘤或脑炎, ^{18}F -FDG 明显高摄取, 而 ^{11}C -乙酸盐无摄取, 经抗脑炎治疗后好转^[33]。

3.6 ^{11}C -乙酸盐在其他肿瘤诊断中的价值

鼻咽癌组织对 ^{11}C -乙酸盐的清除率明显小于正常鼻咽组织^[34]。Sun 等^[30] 在研究 ^{11}C -乙酸盐对头颈部鳞癌分期及放疗靶区勾画的应用时发现, 10 个原发病灶中, ^{11}C -乙酸盐摄取全为阳性, 21 个转移淋巴结中, ^{11}C -乙酸盐发现 20 个, 而 ^{18}F -FDG 仅发现 9 个原发病灶和 13 个转移淋巴结; 但是, ^{11}C -乙酸盐描绘的肿瘤体积比 ^{18}F -FDG 大 51%, 因此, ^{11}C -乙酸盐对生物靶区的勾画仍需精确验证后才能应用于临床。

另外, ^{11}C -乙酸盐可能对胸腺瘤的诊断有帮助。有个案报道, 3 例胸腺瘤患者均摄取 ^{11}C -乙酸盐, 而 ^{18}F -FDG 仅有 1 例摄取阳性^[35]。Shibata 等^[36] 分析 4 例胸腺瘤患者手术前的 ^{11}C -乙酸盐与 ^{18}F -FDG 显像结果发现, ^{18}F -FDG 在 C 型胸腺瘤中的摄取比其他类型高, ^{11}C -乙酸盐在 A 型或 AB 型胸腺瘤中的摄取比其他类型高; 当 $\text{SUV}_{\text{FDG}} < 6.3$ 且 $\text{SUV}_{\text{乙酸盐}} > 5.7$ 时, 提示为 A 型或 AB 型胸腺瘤; ^{11}C -乙酸盐和 ^{18}F -FDG 对肿瘤的侵袭性提示均没有显著意义。

对于乳腺癌, ^{18}F -FDG 显像效果比较好, ^{11}C -乙酸盐对其研究较少。正常胰腺组织能迅速摄取 ^{11}C -乙酸盐, 且其代谢慢, 不受胰腺分泌不足的影响, 而胰腺癌不摄取 ^{11}C -乙酸盐^[37]。Lee 等^[38] 报道, 1

例肝癌患者多发骨破坏, ^{11}C -乙酸盐 PET 为明显高摄取, ^{18}F -FDG PET 疑似骨转移瘤, 病理结果为多发骨髓瘤, 而骨转移的 ^{11}C -乙酸盐显像如何表现并未提及。此外有研究报道, 2 例慢性炎症所致的输尿管狭窄患者, 其 ^{11}C -乙酸盐摄取均为阴性^[6]。该研究虽然例数太少, 但为区分炎症和肿瘤提供了一线希望。

4 小结

^{11}C -乙酸盐 PET-CT 在某些方面能弥补 ^{18}F -FDG 的不足, 对前列腺癌、肾透明细胞癌、输尿管及膀胱肿瘤、高分化 HCC、肺高分化腺癌以及脑部肿瘤的诊断较敏感。在鼻咽癌、胰腺癌、胸腺瘤及乳腺癌方面的研究相对较少, 但也显示了它潜在的价值。至于 ^{11}C -乙酸盐在肌肉及胃肠道肿瘤中的应用至今仍未见报道, 这可能与 ^{11}C -乙酸盐在肌肉、肠道和胃壁中的放射性摄取变化较大有关。

综上所述, ^{11}C -乙酸盐 PET-CT 具有广泛的潜在应用价值, 尤其是作为 ^{18}F -FDG 的补充示踪剂, 能大大提高诊断准确性, 但其具体的临床应用仍有待进一步研究。合适的扫描时间和现代化的 PET-CT 设备的改进会使 ^{11}C -乙酸盐显像更完善。

参 考 文 献

- [1] 于丽娟. PET/CT 诊断学. 北京: 人民卫生出版社, 2009: 23.
- [2] Shreve P, Chiao PC, Humes HD, et al. Carbon-11-acetate PET imaging in renal disease. *J Nucl Med*, 1995, 36(9): 1595-1601.
- [3] Soloviev D, Fini A, Chierichetti F, et al. PET imaging with ^{11}C -acetate in prostate cancer: a biochemical, radiochemical and clinical perspective. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2008, 35(5): 942-949.
- [4] Yun M, Bang SH, Kim JW, et al. The importance of acetyl coenzyme A synthetase for ^{11}C -acetate uptake and cell survival in hepatocellular carcinoma. *J Nucl Med*, 2009, 50(8): 1222-1228.
- [5] Song WS, Nielson BR, Banks KP, et al. Normal organ standard uptake values in carbon-11 acetate PET imaging. *Nucl Med Commun*, 2009, 30(6): 462-465.
- [6] 霍力, 周前, 吴战宏, 等. ^{11}C -乙酸盐 PET 显像在肾脏肿瘤诊断中的作用. *中华核医学杂志*, 2006, 26(4): 205-208.
- [7] Ponde DE, Dence CS, Oyama N, et al. ^{18}F -fluoroacetate: a potential acetate analog for prostate tumor imaging—in vivo evaluation of ^{18}F -fluoroacetate versus ^{11}C -acetate. *J Nucl Med*, 2007, 48(3): 420-428.
- [8] Nanni C, Castellucci P, Farsad M, et al. $^{11}\text{C}/^{18}\text{F}$ -choline PET or $^{11}\text{C}/^{18}\text{F}$ -acetate PET in prostate cancer: may a choice be recommended. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2007, 34(10): 1704-1705.

- [9] Jambor I, Borra R, Kempainen J, et al. Functional imaging of localized prostate cancer aggressiveness using ^{11}C -acetate PET/CT and ^1H -MR spectroscopy. *J Nucl Med*, 2010, 51(11):1676–1683.
- [10] Froehner M, Beuthien-Baumann B, Wirth MP. ^{11}C -acetate positron emission tomography for occult prostate cancer. *Urol Oncol*, 2006, 24(5): 410–411.
- [11] Schiepers C, Hoh CK, Nuyts J, et al. $1\text{-}^{11}\text{C}$ -acetate kinetics of prostate cancer. *J Nucl Med*, 2008, 49(2): 206–215.
- [12] Albrecht S, Buchegger F, Soloviev D, et al. ^{11}C -acetate PET in the early evaluation of prostate cancer recurrence. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2007, 34(2): 185–196.
- [13] Seppälä J, Seppänen M, Arponen E, et al. Carbon-11 acetate PET/CT based dose escalated IMRT in prostate cancer. *Radiother Oncol*, 2009, 93(2): 234–240.
- [14] Fricke E, Machtens S, Hofmann M, et al. Positron emission tomography with ^{11}C -acetate and ^{18}F -FDG in prostate cancer patients. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2003, 30(4): 607–611.
- [15] Kato T, Tsukamoto E, Kuge Y, et al. Accumulation of [^{11}C]acetate in normal prostate and benign prostatic hyperplasia: comparison with prostate cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2002, 29(11):1492–1495.
- [16] Ho CL, Yu SC, Yeung DW, et al. ^{11}C -acetate PET imaging in hepatocellular carcinoma and other liver masses. *J Nucl Med*, 2003, 44(2): 213–221.
- [17] Salem N, Kuang Y, Wang F, et al. PET imaging of hepatocellular carcinoma with 2-deoxy-2 [^{18}F] fluoro-D-glucose, 6-deoxy-6 [^{18}F] fluoro-D-glucose, [$1\text{-}^{11}\text{C}$] -acetate and [$\text{N-methyl-}^{11}\text{C}$] -choline. *Q J Nucl Med Mol Imaging*, 2009, 53(2):144–156.
- [18] Park JW, Kim JH, Kim SK, et al. A prospective evaluation of ^{18}F -FDG and ^{11}C -acetate PET/CT for detection of primary and metastatic hepatocellular carcinoma. *J Nucl Med*, 2008, 49(12): 1912–1921.
- [19] Magini G, Farsad M, Frigerio M, et al. C-11 acetate does not enhance usefulness of F- ^{18}F FDG PET/CT in differentiating between focal nodular hyperplasia and hepatic adenoma. *Clin Nucl Med*, 2009, 34(10) : 659–665.
- [20] Lhommel R, Annet L, Bol A, et al. PET scan with ^{11}C -acetate for the imaging of liver masses:report of a false positive case. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2005, 32(5): 629.
- [21] Huo L, Wu Z, Zhuang H, et al. Dual time point C-11 acetate PET imaging can potentially distinguish focal nodular hyperplasia from primary hepatocellular carcinoma. *Clin Nucl Med*, 2009, 34(12): 874–877.
- [22] Oyama N, Okazawa H, Kusukawa N, et al. ^{11}C -Acetate PET imaging for renal cell carcinoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2009, 36(3): 422–427.
- [23] Ho CL, Cheng TKC, Yeung DWC, et al. ^{11}C -acetate PET imaging in the differentiation of renal angiomyolipoma and renal cell carcinoma. *J Nucl Med*, 2005, 46(5): 103.
- [24] Shriki J, Murthy V, Brown J, et al. Renal oncocytoma on $1\text{-}^{11}\text{C}$ acetate positron emission tomography: Case report and literature review. *Mol Imaging Biol*, 2006, 8(4): 208–211.
- [25] Liang CY, Liu X, Zhang JM, et al. Biodistribution and positron emission tomography imaging of ^{11}C -acetate in murine model of lung carcinoma. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 2008, 88(11): 778–780.
- [26] Nomori H, Shibata H, Uno K, et al. ^{11}C -Acetate can be used in place of ^{18}F -fluorodeoxyglucose for positron emission tomography imaging of non-small cell lung cancer with higher sensitivity for well-differentiated adenocarcinoma. *J Thorac Oncol*, 2008, 3(12) : 1427–1432.
- [27] Kaji M, Nomori H, Watanabe K, et al. ^{11}C -acetate and ^{18}F -fluorodeoxyglucose positron emission tomography of pulmonary adenocarcinoma. *Ann Thorac Surg*, 2007, 83(1): 312–314.
- [28] Nomori H, Kosaka N, Watanabe K, et al. ^{11}C -acetate positron emission tomography imaging for lung adenocarcinoma 1 to 3 cm in size with ground-glass opacity images on computed tomography. *Ann Thorac Surg*, 2005, 80(6) : 2020–2025.
- [29] Shibata H, Nomori H, Uno K et al. ^{11}C -acetate for positron emission tomography imaging of clinical stage IA lung adenocarcinoma: comparison with ^{18}F -fluorodeoxyglucose for imaging and evaluation of tumor aggressiveness. *Ann Nucl Med*, 2009, 23(7): 609–616.
- [30] Sun A, Sörensen J, Karlsson M, et al. $1\text{-}^{11}\text{C}$ -acetate PET imaging in head and neck cancer—a comparison with ^{18}F -FDG-PET: implications for staging and radiotherapy planning. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2007, 34(5): 651–657.
- [31] Yamamoto Y, Nishiyama Y, Kimura N, et al. ^{11}C -acetate PET in the evaluation of brain glioma: comparison with ^{11}C -methionine and ^{18}F -FDG-PET. *Mol Imaging Biol*, 2008, 10(5): 281–287.
- [32] Tsuchida T, Takeuchi H, Okazawa H, et al. Grading of brain glioma with $1\text{-}^{11}\text{C}$ -acetate PET: comparison with ^{18}F -FDG PET. *Nucl Med Biol*, 2008, 35(2): 171–176.
- [33] Wang HC, Zhao J, Zuo CT, et al. Encephalitis depicted by a combination of C-11 acetate and F-18 FDG PET/CT. *Clin Nucl Med*, 2009, 34(12): 952–954.
- [34] Yeh SH, Liu RS, Wu LC, et al. ^{11}C -acetate clearance in nasopharyngeal carcinoma. *Nucl Med Commun*, 1999, 20(2): 131–134.
- [35] Ohtsuka T, Nomori H, Watanabe K, et al. Positive imaging of thymoma by ^{11}C -acetate positron emission tomography. *Ann Thorac Surg*, 2006, 81(3): 1132–1134.
- [36] Shibata H, Nomori H, Uno K, et al. ^{18}F -Fluorodeoxyglucose and ^{11}C -acetate positron emission tomography are useful modalities for diagnosing the histologic type of thymoma. *Cancer*, 2009, 115(11): 2531–2538.
- [37] Shreve PD, Gross MD. Imaging of the pancreas and related diseases with PET carbon-11-acetate. *J Nucl Med*, 1997, 38(8): 1305–1310.
- [38] Lee SM, Kim TS, Lee JW, et al. Incidental finding of an ^{11}C -acetate PET-positive multiple myeloma. *Ann Nucl Med*, 2010, 24(1): 41–44.