

·综述·

^{11}C -乙酸盐 PET 和 PET/CT 在肿瘤显像中的应用

孙爱君 任茜 刘健 Jens Sörensen

【摘要】 ^{18}F -FDG 是目前应用最广泛的 PET 显像剂, 但其在脑肿瘤、前列腺癌、头颈部肿瘤、肝癌、泌尿系统肿瘤及高分化肺癌等方面的应用存在局限性。肿瘤对 ^{11}C -乙酸盐的摄取基于加速的脂质合成和减弱的氧化代谢, 能够弥补单纯 ^{18}F -FDG PET 的不足。该文综述了 ^{11}C -乙酸盐 PET、PET/CT 的摄取机制及其在上述肿瘤显像中的应用及最新进展。

【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; 体层摄影术, X 线计算机

The application of ^{11}C -acetate PET and PET-CT for tumors SUN Ai-jun*, REN Qian, LIU Jian, Jens Sörensen. *Department of PET Center, Zibo Wanjie Cancer Hospital, Zibo 255213, China
Corresponding author: SUN Ai-jun, Email: sunaijun2006@126.com

【Abstract】 ^{18}F -FDG is currently the most widely used PET tracer. However, its application in the fields of brain tumor, prostate cancer, head and neck cancer, hepatocellular carcinoma, urinary tumor and well differentiated lung cancer exists limitation. Tumor uptake ^{11}C -acetate is based on accelerated lipid synthesis and impaired oxidative metabolism. ^{11}C -acetate PET may overcome the insufficiency of ^{18}F -FDG PET. Uptake mechanism, application of the above tumors and the newest progress of ^{11}C -acetate PET and PET/CT are reviewed in this article.

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

1 前言

^{18}F -FDG PET 已广泛应用于肿瘤良恶性的鉴别、分期和再分期、疗效监测及治疗后复发和坏死的鉴别, 并在肿瘤的治疗决策中发挥着越来越重要的作用。但 ^{18}F -FDG 并不是肿瘤的特异性显像剂。一些炎症组织、良性肿瘤也可以表现为增高的 ^{18}F -FDG 摄取, 而一些分化较好的恶性肿瘤, 如肝癌、肺泡细胞癌则不摄取或摄取很少的 ^{18}F -FDG, 且由于 ^{18}F -FDG 在正常脑组织、胃肠道及泌尿系统的高摄取也限制了其在这些肿瘤中的应用。近年来, 大量的研究证实 ^{11}C -乙酸盐 PET、PET/CT 可以弥补 ^{18}F -FDG 在这些方面的不足, 提高 PET/CT 在肿瘤诊断中的准确率。

2 ^{11}C -乙酸盐的显像机制

乙酸盐是一种正常的生理代谢物, 以 0.2~

0.3 mmol/L 的浓度存在于血液中, 在生命组织的中间代谢中扮演着重要的角色^[1]。 ^{11}C -乙酸盐在各个器官组织的摄取明显不同。胰腺、唾液腺、扁桃体、小肠、脾脏、心脏、骨髓对 ^{11}C -乙酸盐的摄取明显, 肝脏、前列腺中度摄取, 脑、双肺的放射性滞留较低, 泌尿系统的排泄非常少。 ^{11}C -乙酸盐早在 20 世纪 80 年代就开始用于心血管疾病的诊断, 包括心肌的血流灌注和氧化代谢的测量^[2]。近年来人们发现 ^{11}C -乙酸盐在肿瘤中的应用也有非常好的前景。尽管 ^{11}C -乙酸盐在肿瘤中的摄取机制还不是很清楚。静脉注射后, ^{11}C -乙酸盐迅速地从血液中清除, 在单羧酸转运体的作用下进入细胞, 在乙酰辅酶 A 合成酶(acetyl-coenzyme A synthetase, ACS)的作用下转化成 ^{11}C -乙酰辅酶 A。ACS 有两种不同的形式, ACS1 主要存在于胞质, ACS2 主要存在于线粒体。胞质中由 ACS1 催化生成的 ^{11}C -乙酰辅酶 A 主要参与脂质的合成, 如多种肿瘤、肝脏、唾液腺、脾脏^[3]; 线粒体中由 ACS2 催化生成的 ^{11}C -乙酰辅酶 A 主要进入三羧酸循环, 最终代谢为 ^{11}C - CO_2 和水排出体外, 或者参与脂质、氨基酸的合成及其他中间代谢过程。其生成 CO_2 的单指数清除率与

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2013.04.013

作者单位: 255213, 淄博万杰肿瘤医院 PET 中心(孙爱君, 任茜, 刘健); 75105 Uppsala, Section of Nuclear Medicine, Uppsala University Hospital(Jens Sörensen)

通信作者: 孙爱君(Email: sunaijun2006@126.com)

氧化代谢率成正比。肿瘤摄取 ^{11}C -乙酸盐与加速的脂质合成和减弱的氧化代谢有关^[4-5]。

3 ^{11}C -乙酸盐在临床肿瘤中的应用

3.1 前列腺癌

前列腺癌在美国男性癌症中的发病率高居第二位,仅次于肺癌,是导致患者因癌症而死亡的第二大杀手^[6]。在我国随着人均寿命的不断提高,前列腺癌的发病率也有逐年上升的趋势。近年来 ^{11}C -乙酸盐 PET 在前列腺癌中的应用最为广泛。与 ^{18}F -FDG 相比, ^{11}C -乙酸盐不经泌尿系统排泄,肾、输尿管、膀胱几乎没有或仅有很少的放射性滞留; T/N 值高,可以更好地定位和显示肿瘤。 ^{11}C -乙酸盐在探测原发、复发及淋巴结转移方面明显优于 ^{18}F -FDG,但在探测骨转移方面, ^{18}F -FDG 则优于 ^{11}C -乙酸盐^[7-11]。

^{11}C -乙酸盐 PET 可在前列腺特异性抗原 $<0.8\text{ mg/L}$ 时早期发现前列腺肿瘤,其区分前列腺癌及良性肿瘤的准确率可达 90%^[1]。Mena 等^[12]对 33 例术前确诊的前列腺癌患者进行 ^{11}C -乙酸盐 PET/CT 显像和 MRI 检查后发现,肿瘤的 SUV (4.4 ± 2.05) 明显高于正常前列腺组织 (2.1 ± 0.94),但却不同于良性前列腺增生 (4.8 ± 2.01)。当肿瘤 $\geq 0.5\text{ cm}$ 时, ^{11}C -乙酸盐 PET/CT 的灵敏度、特异度分别为 61.6%、80.0%,而 MRI 分别为 82.3%、95.1%;当肿瘤 $\geq 0.9\text{ cm}$ 时,两者的诊断效能相似。对于较小的肿瘤,受 PET/CT 分辨率的影响, MRI 有更大优势。但当肿瘤治疗后周围组织受到破坏, MRI 也受到限制, ^{11}C -乙酸盐 PET/CT 在监测原发灶治疗效果方面可能更有潜力。利用 ^{11}C -乙酸盐 PET/CT 勾画前列腺癌生物靶区,有利于提高靶区剂量而不增加治疗的不良反应^[13]。

尽管 ^{11}C -乙酸盐可以早期探测复发和转移,在评价疗效和勾画生物靶区方面也越来越受到关注,但前列腺肿瘤和良性前列腺增生对 ^{11}C -乙酸盐的摄取存在重叠,且乙酸盐的摄取也跟患者年龄密切相关^[14],年龄 <50 岁的患者 ^{11}C -乙酸盐的 SUV 明显高于年龄 ≥ 50 岁的 SUV,因此,在进行图像分析时应综合考虑。

3.2 肝癌

众所周知,原发性肝癌 ^{18}F -FDG PET 诊断的准确率不尽如人意,灵敏度只有 50%~60%,主要因为高分化的肿瘤和小肝癌很容易漏诊。 ^{11}C -乙

酸盐 PET 联合 ^{18}F -FDG PET 可弥补单纯 ^{18}F -FDG 显像的不足,大大提高诊断的灵敏度和准确率。Ho 等^[15]发现, ^{11}C -乙酸盐可发现高分化的肝癌, ^{18}F -FDG 可探测中、低分化的肝癌,两者联合可使诊断的灵敏度提高到近 100%。类似的结果也在乙肝病毒诱导的早癌肝癌模型中得到证实^[16]。Park 等^[17]根据原发肿瘤的大小将肝癌患者分成 3 组 ($1\sim 2\text{ cm}$ 、 $2\sim 5\text{ cm}$ 、 $>5\text{ cm}$), ^{18}F -FDG PET/CT 探测的灵敏度分别为 27.2%、47.8%、92.8%, ^{11}C -乙酸盐 PET/CT 的灵敏度分别为 31.8%、78.2%、95.2%。 ^{11}C -乙酸盐的应用提高了诊断的灵敏度,尤其是提高了 $2\sim 5\text{ cm}$ 病灶的检出;且 ^{11}C -乙酸盐对高分化肝癌的检出明显优于 ^{18}F -FDG,但对低分化肝癌两者无明显区别; ^{11}C -乙酸盐并没有增加肝外转移的检出,两者对小肝癌的检出均有局限性。微血管的侵犯是复发肝癌预后较差的指征之一。Chueng 等^[18]证实 ^{18}F -FDG PET 可以预测肝癌术前微血管的侵犯,而 ^{11}C -乙酸盐可以提高 PET 总的探测灵敏度,但不能提高 ^{18}F -FDG 预测微血管侵犯的价值。对于良性肝局灶结节增生、肝腺瘤, ^{11}C -乙酸盐相比 ^{18}F -FDG 没有额外的优势^[19]。另外, ^{11}C -乙酸盐也可以被肝血管肌脂肪瘤摄取,应慎重分析^[20]。

3.3 脑肿瘤

由于 ^{18}F -FDG 在脑组织的本底较高, T/N 值较低,导致了其在脑肿瘤中的应用存在很大的局限性。 ^{11}C -乙酸盐不通过血脑屏障,在脑中的本底很低,可以清楚地显示肿瘤及其边缘。胶质瘤是最常见的原发性脑肿瘤,约占全部脑肿瘤的 50%。Yamamoto 等^[21]发现, ^{11}C -乙酸盐探测胶质瘤的灵敏度为 90%,而 ^{18}F -FDG 只有 40%,且 ^{11}C -乙酸盐的 T/N 值明显高于 ^{18}F -FDG。 ^{11}C -乙酸盐还可以很好地鉴别胶质瘤的恶性级别。高恶性级别胶质瘤的 ^{11}C -乙酸盐的 SUV 和 T/N 值明显高于低级别胶质瘤。Liu 等^[22]对比了 22 例脑膜瘤的 ^{11}C -乙酸盐和 ^{18}F -FDG 显像,发现两种显像剂显示的肿瘤 SUV 没有明显差别,但 ^{11}C -乙酸盐的 T/N 值 (3.46 ± 1.38) 明显高于 ^{18}F -FDG (0.93 ± 1.08);其中 5 例分别于伽玛刀治疗前后行 ^{11}C -乙酸盐和 ^{18}F -FDG 显像,发现 ^{11}C -乙酸盐能更好地探测和显示肿瘤的边界,在立体定向放射治疗疗效监测方面有很大的潜力。 ^{18}F -FDG 比 ^{11}C -乙酸盐能更好地鉴别肿瘤的良恶性,两者优势互补。

3.4 泌尿系统肿瘤

^{11}C -乙酸盐经消化系统排泄,在正常肾脏、输尿管、膀胱中的放射性滞留很低,在泌尿系统肿瘤的诊断中彰显了优势。Shreve等^[23]最早报道了 ^{11}C -乙酸盐 PET 在肾脏疾病中的应用,静脉注射 ^{11}C -乙酸盐后几分钟肾癌的摄取达到峰值,随后的清除率也很低。肾透明细胞癌一直是 ^{18}F -FDG PET 诊断的难题,其假阴性率较高。Oyama等^[24]报道, ^{11}C -乙酸盐 PET 显像在19例受检者中探测到了13例肾透明细胞癌,1例肾乳头状细胞癌也表现为 ^{11}C -乙酸盐的高摄取,而2例肾复杂囊肿不摄取 ^{11}C -乙酸盐。 ^{11}C -乙酸盐 PET 可以用于肾细胞癌的探测以弥补 ^{18}F -FDG PET 的不足。Kotzerke等^[25]则报道了相反的结果,与周围肾实质相比,14例肾透明细胞癌和2例肾乳头状细胞癌表现为低或等摄取 ^{11}C -乙酸盐,而2例良性的肾嗜酸粒细胞瘤的 ^{11}C -乙酸盐摄取增高。分析原因可能与 ^{11}C -乙酸盐摄取的时间不同有关。Ho等^[26]的研究发现了16例肾血管平滑肌脂肪瘤对 ^{11}C -乙酸盐的摄取增高。 ^{11}C -乙酸盐 PET 鉴别肾良恶性肿瘤的效能还需大样本病例的研究。

Orevi等^[27]回顾性分析报道了 ^{11}C -乙酸盐和胆碱对术前膀胱内皮癌及淋巴结转移的探测,结果发现所有的原发肿瘤和转移淋巴结均摄取 ^{11}C -乙酸盐和胆碱,在术前膀胱癌的评价方面 ^{11}C -乙酸盐有很高的阴性预测值,能协助治疗方案的决策。

3.5 头颈部肿瘤

鼻咽癌的 ^{11}C -乙酸盐的清除率明显低于正常鼻咽组织,提示肿瘤的氧化代谢率较正常组织低^[9]。Sun等^[28]在对10例头颈部鳞癌患者的分期研究中发现, ^{11}C -乙酸盐发现了10例原发肿瘤,而 ^{18}F -FDG 只发现了9例,在对21个淋巴结转移的探测中, ^{11}C -乙酸盐发现了20个,而 ^{18}F -FDG 只发现了13个, ^{11}C -乙酸盐 PET 在探测原发和转移的头颈部鳞癌中似乎更灵敏。 ^{18}F -FDG 漏诊的原发灶为舌根部高分化鳞癌。 ^{11}C -乙酸盐勾画的原发灶生物靶区体积比 ^{18}F -FDG 大51%,有可能是 ^{11}C -乙酸盐包绕了更多的浸润性病灶。Sun等^[29]首次应用动态 ^{11}C -乙酸盐 PET 监测头颈部鳞癌放疗前以及放疗后(15、30、55 Gy)的氧化代谢率,结果显示放疗前完全缓解组的氧化代谢率明显高于部分缓解组,而葡萄糖代谢率则明显低于部分缓解组,完全缓解组

更倾向于应用氧化代谢来获取能量;而经15、30 Gy 放疗后,部分缓解组的氧化代谢率明显升高,提示在治疗过程中,靶向药物作用于肿瘤的中间代谢有可能提高治疗效果。而在放疗前及整个放疗过程中,两组患者在 ^{11}C -乙酸盐静脉注射17 min 后的SUV 均无明显变化。动态显像更全面地展示了肿瘤的代谢过程和生物学行为,尽管其临床应用耗时、数据分析繁杂,但仍值得推广。

3.6 肺癌

肺泡细胞癌和高分化肺腺癌的葡萄糖代谢较低, ^{18}F -FDG PET 常易漏诊,造成假阴性,限制了其在这些肿瘤中的应用。有文献报道, ^{11}C -乙酸盐 PET 对非小细胞肺癌的诊断效能与 ^{18}F -FDG PET 相近;但在对146例高分化腺癌的诊断中, ^{11}C -乙酸盐 PET 诊断的灵敏度(68%)明显高于 ^{18}F -FDG PET (37%)^[30-31]。在探测生长缓慢的肺泡细胞癌中, ^{11}C -乙酸盐 PET 的效能同样优于 ^{18}F -FDG PET^[31-32]。 ^{11}C -乙酸盐能在 ^{18}F -FDG 不能发现的低度恶性肿瘤中起到补充诊断的作用。但 ^{11}C -乙酸盐的摄取程度与肿瘤的侵袭性、去分化程度及术后复发不相关。Kaji等^[33]报道 ^{11}C -乙酸盐可同时显示肺组织学上的高分化(即病灶不透明絮状结构)和中分化(实心部分)腺癌病灶,而 ^{18}F -FDG 只能显示实心部分。 ^{11}C -乙酸盐可能比 ^{18}F -FDG 显示了更多的受浸润的病灶,同时也反映了肿瘤的异质性。类似的现象在肝癌、头颈部肿瘤中也有出现,更有利于我们对肿瘤生物学行为的理解。

3.7 其他肿瘤

^{11}C -乙酸盐 PET 对胸腺瘤、多发骨髓瘤、胰腺癌的诊断也有帮助^[34-36],但大多为个案报道,且病例数较少,尚需大样本的研究证实。

4 小结

^{11}C -乙酸盐 PET、PET/CT 在脑肿瘤、头颈部肿瘤、高分化肺癌、前列腺癌、肝癌、肾透明细胞癌及膀胱肿瘤的诊断中较灵敏,可以弥补单纯 ^{18}F -FDG PET 显像在上述肿瘤诊断中的局限性,两者联合应用,可优势互补,提高诊断的准确率。在上述肿瘤疗效监测及生物靶区勾画方面 ^{11}C -乙酸盐 PET、PET/CT 也有很大的潜力,具有广泛的应用前景。动态 ^{11}C -乙酸盐 PET、PET/CT 显像可以帮助临床更好地理解肿瘤的生物行为,应大力推广。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] Pike VW, Eakins MN, Allan RM, et al. Preparation of $[1-^{11}\text{C}]$ acetate—an agent for the study of myocardial metabolism by positron emission tomography. *Int J Appl Radiat Isot*, 1982, 33(7): 505-512.
- [3] Luong A, Hannah VC, Brown MS, et al. Molecular characterization of human acetyl-CoA synthetase, an enzyme regulated by sterol regulatory element-binding proteins. *J Biol Chem*, 2000, 275 (34): 26458-26466.
- [4] Yoshimoto M, Waki A, Yonekura Y, et al. Characterization of acetate metabolism in tumor cells in relation to cell proliferation: acetate metabolism in tumor cells. *Nucl Med Biol*, 2001, 28(2): 117-122.
- [5] Yeh SH, Liu RS, Wu LC, et al. ^{11}C -acetate clearance in nasopharyngeal carcinoma. *Nucl Med Commun*, 1999, 20(2): 131-134.
- [6] Dusing RW, Drisko JA, Grado GC, et al. Prostate imaging modalities that can be used for complementary and alternative medicine clinical studies. *Urol Clin North Am*, 2011, 38(3): 343-357.
- [7] Oyama N, Kim J, Jones LA, et al. MicroPET assessment of androgenic control of glucose and acetate uptake in the rat prostate and a prostate cancer tumor model. *Nucl Med Biol*, 2002, 29(8): 783-790.
- [8] Jana S, Blafox MD. Nuclear medicine studies of the prostate, testes, and bladder. *Semin Nucl Med*, 2006, 36(1): 51-72.
- [9] Schöder H, Larson SM. Positron emission tomography for prostate, bladder, and renal cancer. *Semin Nucl Med*, 2004, 34(4): 274-292.
- [10] Oyama N, Miller TR, Dehdashti F, et al. ^{11}C -acetate PET imaging of prostate cancer: detection of recurrent disease at PSA relapse. *J Nucl Med*, 2003, 44(4): 549-555.
- [11] 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.
- [12] Mena E, Turkbey B, Mani H, et al. ^{11}C -Acetate PET/CT in localized prostate cancer: a study with MRI and histopathologic correlation. *J Nucl Med*, 2012, 53(4): 538-545.
- [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] Kato T, Tsukamoto E, Kuge Y, et al. Accumulation of $[^{11}\text{C}]$ acetate in normal prostate and benign prostatic hyperplasia: comparison with prostate cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2002, 29(11): 1492-1495.
- [15] Ho CL, Yu SC, Yeung DW. ^{11}C -acetate PET imaging in hepatocellular carcinoma and other liver masses. *J Nucl Med*, 2003, 44(2): 213-221.
- [16] Salem N, Kuang Y, Wang F, et al. PET imaging of hepatocellular carcinoma with 2-deoxy-2 $[^{18}\text{F}]$ fluoro-D-glucose, 6-deoxy-6 $[^{18}\text{F}]$ fluoro-D-glucose, $[1-^{11}\text{C}]$ -acetate and $[N\text{-methyl-}^{11}\text{C}]$ -choline. *Q J Nucl Med Mol Imaging*, 2009, 53(2): 144-156.
- [17] 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.
- [18] Cheung TT, Chan SC, Ho CL, et al. Can positron emission tomography with the dual tracers $[^{11}\text{C}]$ acetate and $[^{18}\text{F}]$ fludeoxyglucose predict microvascular invasion in hepatocellular carcinoma. *Liver Transpl*, 2011, 17(10): 1218-1225.
- [19] Magini G, Farsad M, Frigerio M, et al. C-11 acetate does not enhance usefulness of F-18 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] 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.
- [22] Liu RS, Chang CP, Guo WY, et al. $1-^{11}\text{C}$ -acetate versus ^{18}F -FDG PET in detection of meningioma and monitoring the effect of gamma-knife radiosurgery. *J Nucl Med*, 2010, 51(6): 883-891.
- [23] Shreve P, Chiao PC, Humes HD, et al. Carbon-11-acetate PET imaging in renal disease. *J Nucl Med*, 1995, 36(9): 1595-1601.
- [24] 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.
- [25] Kotzerke J, Linné C, Meinhardt M, et al. $[1-^{11}\text{C}]$ Acetate uptake is not increased in renal cell carcinoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2007, 34(6): 884-888.
- [26] Ho CL, Chen S, Ho KM, et al. ^{11}C -acetate PET/CT in multicentric angiomyolipoma of the kidney. *Clin Nucl Med*, 2011, 36(5): 407-408.
- [27] Orevi M, Klein M, Mishani E, et al. ^{11}C -acetate PET/CT in bladder urothelial carcinoma: intraindividual comparison with ^{11}C -choline. *Clin Nucl Med*, 2012, 37(4): e67-72.
- [28] Sun A, Sörensen J, Karlsson M, et al. $1-^{11}\text{C}$ -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.
- [29] Sun A, Johansson S, Turesson I, et al. Imaging tumor perfusion and oxidative metabolism in patients with head-and-neck cancer using $1-^{11}\text{C}$ -acetate PET during radiotherapy: preliminary results. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2012, 82(2): 554-560.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] Higashi K, Ueda Y, Matsunari I, et al. ^{11}C -acetate PET imaging of lung cancer: comparison with ^{18}F -FDG PET and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI SPET. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2004, 31(1): 13-21.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] Sakurai H, Kaji M, Suemasu K. Thymoma of the middle mediastinum: ^{11}C -acetate positron emission tomography imaging. *Ann Thorac Surg*, 2009, 87(4): 1271-1274.
- [36] Shreve PD, Gross MD. Imaging of the pancreas and related diseases with PET carbon-11-acetate. *J Nucl Med*, 1997, 38(8): 1305-1310.

(收稿日期: 2012-10-07)

·综述·

门控心肌灌注显像相位分析在心血管疾病左室机械不同步中的应用

王建锋 王跃涛

【摘要】 左室机械不同步与心功能不全的严重程度密切相关, 准确评估左室机械不同步, 对预测心脏不良事件、指导心脏再同步治疗及预后评估具有重要的临床意义。门控心肌灌注显像(GMPI)相位分析是一项定量评估左室机械不同步的新技术。通过一次 GMPI 检查既可以得到局部心肌血流灌注的定量指标, 同时还能定量分析左室心功能和左室收缩协调性, 在研究心血管疾病左室机械不同步及预后评估中具有广阔的应用前景。该文着重对 GMPI 相位分析在心血管疾病诊疗中的应用进展进行综述。

【关键词】 门控心肌灌注显像; 心血管疾病; 体层摄影术, 发射型计算机, 单光子; 相位分析; 左室不同步

The application of phase analysis of gated myocardial perfusion imaging to assess left ventricular mechanical dyssynchrony in cardiovascular disease WANG Jian-feng, WANG Yue-tao.
Department of Nuclear Medicine, the Third Affiliated Hospital of Suzhou University (the First People's Hospital of Chang Zhou), Changzhou 213003, China

Corresponding author: WANG Yue-tao, Email: yuetao-w@163.com

【Abstract】 Left ventricular mechanical dyssynchrony is closely related to the severity of cardiovascular disease, it is essential to assess left ventricular mechanical dyssynchrony accurately for early prediction of adverse cardiac events and prognosis assessment of the cardiac resynchronization therapy. As a new technology to assess left ventricular mechanical dyssynchrony, the phase analysis of gated myocardial perfusion imaging (GMPI) can get both quantitative indicators of regional myocardial perfusion, evaluation of regional myocardial viability and scar tissue, as well as quantitative analysis of left ventricular function and left ventricular mechanical synchrony, it has broad application prospects in cardiovascular disease to assess left ventricular mechanical dyssynchrony and prognosis assessment. This

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2013.04.014

作者单位: 213003 常州, 苏州大学附属第三医院(常州市第一人民医院)核医学科

通信作者: 王跃涛(Email: yuetao-w@163.com)