

文章编号: 1001-098X(2004)02-0049-05

# $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 的特点及其在肿瘤诊断中的应用

王俊起

**摘要** 最近几年,具有高性能 PET 和 CT 的同机 PET/CT 已投入临床,其在肿瘤学中的应用呈迅速增长之势。加入高档 CT 的 PET 较之传统的 PET 在技术和临床方面具有明显优势。CT 扫描一方面为 PET 提供了快速、准确的衰减校正数据,大大缩短采集时间,另一方面为 PET 图像提供了精确的解剖定位,使结果更加肯定,但引入 CT 的 PET 扫描也带来了一些技术上的新问题。PET/CT 在头颈、腹盆肿瘤具有明显优势,即使在生理运动影响较大的胸部也取得了满意的效果。初步临床研究表明, PET/CT 较之单独 CT 或 PET 在临床肿瘤学中具有明显优势, PET/CT 融合显像对肿瘤患者和临床医生具有越来越重要的价值。

**关键词** PET/CT; 临床肿瘤学; 融合显像;  $^{18}\text{F}$ -氟代脱氧葡萄糖

中图分类号 R817.4 文献标识码 A

## The performance and application of $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT in diagnosis of tumor

WANG Jun-qi

(Department of Nuclear Medicine, Tianjin First Central Hospital, Tianjin 300192; PET/CT Center of General Hospital, Tianjin Medical University, Tianjin 300100, China)

**Abstract** Positron emission tomography(PET)/computed tomography(CT)inline scanner combined with high performance PET and CT have been introduced to clinical in recent years. The application of PET/CT in oncology are rapid increasing. The addition of CT to PET offers many advantages, including obtaining a fast and relatively accurate transmission map, shortening the duration of the examination, adding precise anatomical information to PET imaging, and providing additional diagnostic information. However, using CT for attenuation correction can led to some artifacts: quantitative measurements may be altered, high density IV and oral metallic objects may produce artifacts, and the registration of PET and CT may occasionally suboptimal. In head and neck tumor PET/CT offers particular potential advantages as well as abdomen and pelvic tumor. Even in the thorax, which the physical movement may produce unsatisfactory results, offers some advantages also. Preliminary results of PET/CT over PET or CT in oncology are very encouraging. It is clear the PET/CT fusion technology has an more and more impact on both diagnostic and therapeutic aspects of patient management.

**Key Words** positron emission tomography/computed tomography; clinical oncology; fusion imaging;

$^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose

$^{18}\text{F}$ -FDG PET 检查在肿瘤评价上的重要性逐渐被临床认可,它可早期提示肿瘤功能和代谢改变,但其检查费用昂贵、检查时间过长以及存在一些假阳性和假阴性。CT 检查已经相当成熟,但对于鉴别肿瘤的良恶性的特异性差、评价治疗后反应灵敏度不足。

同机 PET/CT 结合了 PET 和 CT 的优点,能在一次扫描中同时获得疾病的生理代谢和解剖信息,提供了真正的解剖代谢图像,为肿瘤诊断、分期、

治疗监测提供一种良好手段<sup>[1]</sup>。

### 1 PET/CT 技术特点及对肿瘤探测的影响

高档 CT 能对 PET 进行快速、准确的衰减校正,精确定位示踪剂摄取,为 PET 显像提供准确解剖信息,但也带来了一定的误差和伪影。

#### 1.1 CT 扫描的作用

##### 1.1.1 精确的衰减校正图

普通 PET 扫描图像通常统计噪声较高,解剖细节和分辨率均有限。CT 图像以 Hounsfield Unit (HU) 代表人体的 X 射线密度,它由穿透人体的

低能高通量的 X 射线获得, 因而空间分辨高和统计噪声低。逻辑上把 HU 转变成衰减系数得到透射图像是可行的, 但 511keV 的光子和 CT 的 X 线光子的衰减系数不同, 因此有必要用数学算法刻度二者之间的不同, 目前临床应用的第二代 PET/CT 采用双线性算法对低密度和高密度组织的衰减进行更准确校正<sup>[2]</sup>。

### 1.1.2 减少采集时间

通过 CT 透射扫描减少发射扫描图像的噪声, 因而允许每个床位 3min 采集时间。对于常规全身 LSO(硅酸镓)晶体 PET 扫描, 从颅底到大腿近段需要 5~7 个床位, 每个床位发射扫描需要 2~3min, 总的检查时间为 10~20min。CT 采集从颅底到大腿的时间一般小于 1min, 因而透射扫描时间明显减少, 这使得总的检查流量增加 50%。

### 1.1.3 提供精确的解剖定位图

基于 CT 扫描的衰减图像, 由于减少了在衰减校正中的噪声而具有高的统计质量和低噪声水平。为了获得有诊断质量的 CT 图像和使病人接受尽可能小的辐射剂量, CT 的管电流在二者之间折衷。用于 PET/CT 扫描时 CT 管电流最初固定为 80mA, 但有些病人图像质量下降, 因此 CT 管电流应根据病人体重进行调整。

### 1.1.4 CT 对 PET/CT 的附加诊断信息

进行 PET/CT 检查时由 CT 偶然发现病变虽然不是很常见, 但却是很重要的问题。在对 250 例 PET/CT 检查中的 CT 进行单独分析的回顾性研究中, 未进行增强扫描时发现了 7 个临床重要病变, 包括肾占位、肾囊肿、腹主动脉瘤、硬化性骨转移和肝硬化门脉高压等<sup>[3]</sup>。这些病变单独由 PET 未能发现, 因而 PET 扫描正常时 2.8% 会有 CT 异常, 表明 PET/CT 中的 CT 图像应仔细观察。

## 1.2 误差和伪影分析

### 1.2.1 定量测量

应用 CT 图像进行衰减校正通常是足够的。然而, 通过 CT 衰减校正有可能高估病灶真正 <sup>18</sup>F-FDG 摄取。Nakamoto Y 等<sup>[4]</sup>认为, 在骨活性定量测量上, CT 衰减校正比 <sup>68</sup>Ge 校正的活性高 11%, 对于软组织 CT 衰减校正图高估 2.1%。因此, 在评价经 CT 衰减校正图像的定量和半定量分析时必须考虑二者的不同。

### 1.2.2 口服、静脉注射造影剂和金属伪影

口服低密度造影剂会对肠道中的放射性产生轻度高估。腹部 CT 扫描时应用口服造影剂是很有用的。在 PET/CT 中, 低密度口服造影剂易于给予又不产生明显伪影, 如果在造影剂区有高放射性摄取必须察看未经校正的图像。静脉增强剂有利于提高 CT 诊断效能, 但这种图像用于衰减校正会在高增强区产生高放射性摄取伪影, 因此应先进行常规 PET/CT 采集, 之后再行增强 CT 扫描。金属物体在以 X 射线能量进行测量和按 511keV 能量进行衰减校正时会过高估计病灶放射性摄取。察看全身轮廓图来发现金属异物会有帮助。在金属异物区出现高放射性摄取可能是伪影, 这时应观察未校正图像来鉴别真正的放射性摄取, 以防止做出物体周围感染、炎症、或有恶性转移的判断<sup>[5, 6]</sup>。

### 1.2.3 PET 和 CT 数据配准误差

同机 PET/CT 扫描提供了方便的图像融合方式, 但胸部 PET 和 CT 扫描情况不同, 在膈区 PET 和 CT 的采集差异会在肺下界产生伪影(在进行 CT 校正时); 有些病人的肝脏转移在融合图像上会出现在肺底上。近来有人评价了 PET 和 CT 的误配情况, 一般肺中央区结节的误配为 7.6mm, 而在肺部误配明显增加。Hany TF 等<sup>[7]</sup>报告, CT 采集时用正常呼吸频率, 可提供较好的 PET 配准图像。肝转移明显误配是不常见的, 而且容易识别, 因为 PET 图像上有肺局部摄取而 CT 图像上没有相应的结节发现。呼吸门控技术提高肿瘤配准已经被广泛研究<sup>[8]</sup>。

### 1.2.4 病人移动

PET/CT 检查时减少病人移动是很重要的。如果病人在 PET 和 CT 扫描之间移动, 融合图像会明显偏差, 这在头颈部最为明显, 因为 CT 从头开始采集, 而 PET 从大腿部开始采集, 15~20min 后到头部。因此, 有必要对病人进行固定, 同时使检查体位尽可能舒适。

## 2 PET/CT 在肿瘤诊断、分期中的应用

单独 CT 可发现 60% 肿瘤病变, 单独 PET 可发现 90% 病变, 而 PET/CT 扫描的诊断准确性提高到 98%, PET/CT 显著提高了医生诊断肿瘤的信心。功能图像与解剖图像的融合, 有效降低了单纯 PET 或 CT 的假阳性和假阴性, 使肿瘤诊断和治疗上了一个新台阶<sup>[9]</sup>。Hany TF 等<sup>[7]</sup>用 PET/CT 评价了 53 例

患者的多种肿瘤：在按病灶分析时，单独 PET 的敏感性为 90%，特异性为 93%，而 PET/CT 的敏感性为 98%，特异性为 99%；在按患者分析时，单独用 PET 诊断准确性为 72%，而 120mA 电流的 PET/CT 使 92% 患者取得正确诊断。Beyer T 等<sup>[10]</sup> 应用 PET/CT 对 110 例不同肿瘤(肺癌、食道癌、淋巴瘤、头颈肿瘤)进行显像，结果显示 PET/CT 融合图像对肿瘤诊断、分期及治疗反应的评价均具有重要价值。

### 2.1 头颈部肿瘤

Pittsburgh 大学的研究组对 5 例头颈部肿瘤的初步研究认为，PET/CT 有特殊作用，能够区分生理性摄取与恶性摄取<sup>[11]</sup>。由于头颈部正常结构会有代谢活性而增加摄取，准确的解剖结构定位有助于鉴别单靠 PET 不能区分的正常生理性摄取、正常变异、良性病变和治疗后反应。头颈部区域解剖结构复杂，通过增强 CT 扫描有助于准确定位 PET 活性摄取，从而能够鉴别是血管结构还是淋巴结和恶性转移<sup>[12]</sup>。Cohade C<sup>[13]</sup>报道，应用 <sup>18</sup>F-FDG PET/CT 可以鉴别锁骨上区脂肪、肌肉及心脏外脂肪(误认为纵隔淋巴结转移)：347 例患者的 359 次检查发现 49 例 (14.1%) 锁骨上区异常 <sup>18</sup>F-FDG 摄取，其中 14 例 (4.0%) CT 显示为脂肪组织引起的 <sup>18</sup>F-FDG 摄取，其 SUV(标准化摄取值)与淋巴结 SUV 无明显差异。Heller MT 等<sup>[14]</sup>报道，PET/CT 能准确确定对侧声带麻痹造成的病理性声带放射性摄取增加，有效区分生理性摄取和原发或继发头颈部肿瘤。

### 2.2 肺癌

PET/CT 可精确定位 <sup>18</sup>F-FDG 摄取的病灶是在纵隔还是胸壁，为侵入性外科治疗提供有效帮助。在肺脏 <sup>18</sup>F-FDG 浓聚区判断时应考虑与 CT 所发现病灶之间的差别。在炎症和感染情况下，CT 异常在一周内会有明显变化，此时 PET/CT 的 CT 图像与原来的 CT 图像比较有助于判定是否是感染或炎症。一项研究评价了非小细胞肺癌在定位和肯定诊断方面 PET/CT 优于 PET 的影响：PET/CT 减少了 32% 可能性的诊断，使 41% 患者准确定位；系统和彻底地观察肺窗 CT 图像有助于发现 PET 阴性的肺结节，这种结节有可能是低糖代谢或小于 PET 的分辨率<sup>[15]</sup>。Keidar Z 等<sup>[16]</sup>评价了 PET/CT 诊断 26 例肺癌复发的作用：PET/CT 为 56% 患者提供重要的额外诊断信息，包括准确定位、鉴别生理摄取、发

现 CT 未发现的病变。Steinert H<sup>[17]</sup> 评价了 PET/CT 对肺癌术前分期的作用，认为 PET/CT 改善了患者的分期，虽然只改变了 9 例 I、II 期患者中的 1 例分期，却使 6 例 IIIA 患者中的 5 例，6 例 IIIB 中的全部重新分为 IV 期。

### 2.3 腹盆部肿瘤

腹盆部单独 PET 扫描意义有时有限，因为泌尿道和肠道常有不确定放射性分布。PET/CT 在评价腹盆部肿瘤时有助于鉴别泌尿道、肠道和病理性摄取，泌尿道上的摄取有时类似于转移淋巴结，通过 PET/CT 泌尿道的放射性通常在 CT 上有相应的发现。PET/CT 时应用利尿剂是不必要的。一个初步研究评价了 PET/CT 诊断结肠癌优于 PET 的影响：PET/CT 减少了 50% 患者不肯定的诊断(50 对 25)，使准确定位增加 25%(92 对 115)，使患者分期的准确性从 78% 提高到 89%<sup>[18]</sup>。Makhija S 等<sup>[19]</sup>在一个小样本中比较了 PET 和 PET/CT 对 8 例卵巢和输卵管肿瘤检查，结果 PET/CT 发现了 8 处转移中的 5 处(62%)，而 CT 检查全部阴性。静脉增强剂的应用有时会使 CT 发现转移灶，在评价肝转移时静脉造影剂的应用会逐渐增加。

可以预见，PET/CT 在腹盆部肿瘤中的应用将逐渐增加并会成为常规。

### 2.4 指导活检

确定准确的治疗方案首要的是获取肿瘤的病理诊断，因此经常需要对可疑病变进行活检，但活检也很容易产生取样错误。大的肿瘤中常伴有坏死区，活检时如果取材于此将不能产生准确的诊断信息。PET 上的可疑病变可能大小正常，同样 CT 有时会出现假阴性。应用 PET/CT，PET 能发现高 <sup>18</sup>F-FDG 摄取区而进行活检，CT 则可提供活检时的准确解剖细节。

## 3 PET/CT 和放射治疗

PET/CT 能对放射治疗计划和反应监测起重要作用。肿瘤放疗方案的制定一般考虑肿瘤的部位及浸润范围、器官活动影响及放疗剂量分布等。CT 是目前肿瘤放疗定位的主要方法，其缺点是无法准确鉴别肿瘤残留、复发和放疗后改变。PET/CT 在制定放疗计划时根据边缘受累的体积来增加放疗照射野，在避开正常组织的情况下提高肿瘤靶区剂量，降低对肺及食管正常组织的影响，避免无

效放疗, 并可根据治疗反应的需要来改变或终止放疗计划, 从而使放射治疗计划优化。Dizendorf E<sup>[20]</sup> 前瞻性评价了 PET/CT 对 30 例肿瘤患者进行外照射治疗的影响: PET/CT 使 20% 患者从根治变为姑息放疗计划, 30% 患者的照射剂量改变, 40% 患者的靶体积改变。PET/CT 融合显像对于伴有肺不张患者进行放疗时很重要, 因为肺不张和肺癌常常难于鉴别, 因此进行放射治疗时靶体积很难确定, 与单独的 CT 相比, PET/CT 融合图像减少了不确定性。Jeffrey D 等<sup>[21]</sup> 研究表明, 基于 PET/CT 的平均变异系数明显小于单独 CT 的变异系数, PET 确定的生物靶体积改变了 30%~60% 非小细胞肺癌患者的放射治疗体积, 这主要是由于 PET 发现了 CT 没有发现的淋巴结, PET/CT 可显著提高准备放疗患者的准确分期, 提高治疗效果, 从而也越来越要求放射肿瘤学家和影像专家密切合作。生物靶体积的确定允许更积极的治疗的实行, 因此 PET/CT 的出现使核医学影像诊断和放射治疗更加紧密结合, 将成为适形放疗、适形调强放疗的理想工具。

#### 4 结语

PET/CT 扫描机结合最先进的肿瘤影像诊断手段, 实现了功能与解剖显像系统融合, 提供了比二者独自检查更多的价值, 其结果将影响肿瘤诊断与治疗决策, 直至治疗计划的实施和疗效检测, 其在临床肿瘤学中的作用将越加重要: (1) 一次检查完成患者全身的代谢和解剖分期, 减少了扫描时间, 使患者更舒适; (2) 由于减少了患者运动, 可得到近乎理想的代谢、解剖融合图像; (3) CT 提供的解剖标志有利于确定功能异常与解剖结构之间的关系; (4) 人体显像困难的区域(头颈、纵隔、术后腹部)被获得准确的诊断; (5) 融合图像被用来指导定位放射治疗靶区和化疗、手术、放射治疗疗效监测。目前 PET/CT 的应用刚刚开始, 其与 PET、CT 检查的比较需要进一步评价, 但有一点是肯定的, 由于其检查速度快、诊断效果的显著提高及检查费用的逐渐降低, 它必将越来越受重视。

#### 参 考 文 献

[1] David W. PET/CT: Today and tomorrow[J]. J Nucl Med, 2004, 45(1,Suppl): 4s-5s.  
[2] Burger C, Goerres G, Schoenes S, et al. PET attenuation

coefficients from CT images: Experimental evaluation of the transformation of CT into PET 511keV attenuation coefficients[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2002, 29: 922-927.

- [3] Osman M, Cohade C, Fishman EK, et al. Clinically significant incidental findings on non-contrast CT portion of PET-CT studies: Frequency in 250 patients[J]. J Nucl Med, 2002, 43: 307P.
- [4] Nakamoto Y, Osman M, Cohade C, et al. PET/CT: Comparison of quantitative tracer uptake between germanium and CT transmission attenuation-corrected images[J]. J Nucl Med, 2002, 43: 1137-1143.
- [5] Cohade C, Osman M, Marshall LT, et al. Metallic objects artifacts on PET-CT: Clinical and phantom studies [J]. J Nucl Med, 2002, 43: 308P.
- [6] Goerres GW, Hany TF, Kamel E, et al. Head and neck imaging with PET and PET/CT: Artifacts from dental metallic implants [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2002, 29: 367-370.
- [7] Hany TF, Steinart HC, Goerres GW, et al. PET diagnostic accuracy with in-line PET-CT system[J]. Radiology, 2002, 225: 575-581.
- [8] Luc Boucher. Respiratory gating for 3-dimensional PET of the thorax: feasibility and initial results[J]. J Nucl Med, 2004, 45(2): 214-219.
- [9] Klutz PG, Meltzer CC, Villemagne VL, et al. Combined PET/CT imaging in oncology: Impact on patient Management[J]. Clin Positron Imaging, 2000, 3: 223-230.
- [10] Bayer T, Townsend DW, Brun T, et al. A combined PET/CT scanner for clinical oncology[J]. J Nucl Med, 2000, 41: 1369-1379.
- [11] Goerres GW, Von Schulthess GK, Hany TF. Positron emission tomography and PET/CT of the head and neck: FDG uptake in normal anatomy, in benign lesions, and in changes resulting from treatment[J]. Am J Roentgenol, 2002, 179: 1337-1343.
- [12] Kamel EM, Goerres GW, Burger C, et al. Recurrent laryngeal nerve palsy in patients with lung cancer: Detection with PET-CT image fusion-report of six cases[J]. Radiology, 2002, 224: 153-156.
- [13] Cohade C. Uptake in supraclavicular area fat: description on <sup>18</sup>F-FDG PET/CT[J]. J Nucl Med, 2003, 44: 170-176.
- [14] Heller MT, Meltzer CC, Fukui MB, et al. Superphysiologic FDG uptake in the non-paralyzed vocal cord. Resolution of a false-positive PET result with combined PET-CT imaging [J]. Clin Positron Imaging, 2000, 3: 207-211.
- [15] Osman M, Cohade C, Leal J, et al. Direct comparison of FDG-PET and PET-CT imaging in staging and restaging patients with lung cancer[J]. J Nucl Med, 2002, 43: 151P.
- [16] Keidar Z. Hybrid imaging using PET/CT with F-18-FDG in suspected recurrence of lung cancer: Diagnostic value

and impact on patient management[J]. J Nucl Med, 2002, 43(Suppl): A-114.

[17] Steinert H. Impact of integrated PET/CT imaging on pre-operative staging of lung cancer patients[J]. J Nucl Med, 2002, 43(Suppl): A-547.

[18] Cohade C, Osman M, Leal J, et al. Direct comparison of FDG PET and PET-CT imaging in colorectal cancer [J]. J Nucl Med, 2002, 43: 22P.

[19] Makhija S, Howden N, Edwards R, et al. Positron emission tomography/computed tomography imaging for the detec-

tion of recurrent ovarian and fallopian tube carcinoma: A retrospective review[J]. Gynecol Oncol, 2002, 85: 53-58.

[20] Dizendorf E. Impact of integrated PET/CT scanning on external beam radiation treatment planning[J]. J Nucl Med, 2002, 43(Suppl): A-118.

[21] Jeffrey D. Implementing biologic target volumes in radiation treatment planning for non-small cell lung cancer [J]. J Nucl Med, 2004, 45: 96s-101s.

(收稿日期: 2004-02-20)

文章编号: 1001-098X(2004)02-0053-04

## 双时相 $^{18}\text{F}$ -FDG PET 在肿瘤良恶性鉴别诊断中的应用

尹立杰

**摘要**  $^{18}\text{F}$ -FDG PET 已较广泛地用于对恶性肿瘤的诊断和临床分期。常规显像一般用单次显像所测 SUV(标准化摄取值)来鉴别良恶性病变,但两者 SUV 之间有一定交叉,存在一定局限性。而依据不同类型细胞  $^{18}\text{F}$ -FDG 摄取速率不同的机制,进行双时相  $^{18}\text{F}$ -FDG PET(早期显像加延迟显像),简单而实用,具有较高的灵敏度、特异性和准确性。

**关键词** 肿瘤;  $^{18}\text{F}$ -氟代脱氧葡萄糖; 标准化摄取值; 正电子发射断层显像

中图分类号 R817.4 文献标识码 A

### Application of dual time point $^{18}\text{F}$ -FDG PET imaging in differentiating malignant from inflammatory lesions

YIN Li-jie

(Department of Nuclear Medicine, The First Hospital Affiliated Suzhou University, Suzhou 215006, China)

**Abstract** The  $^{18}\text{F}$ -FDG PET has been used extensively in the diagnosis and staging of several types of malignancies. In general, standardized uptake values(SUV) in single time point imaging has been used for separating malignant from benign lesions, nevertheless there is considerable overlap between SUV of them, thereby limiting specificity of this method. According to various cell types exhibit varying rates of  $^{18}\text{F}$ -FDG uptake, performing dual time point imaging(scan 1 and scan 2) appears to be useful in differentiating malignant from benign lesions. This protocol is a simple and practical method with high sensitivity, high specificity and good accuracy for detection of malignant lesions.

**Key words** tumor;  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose; standardized uptake value; positron emission tomography

$^{18}\text{F}$ -FDG PET 不仅可以提供肿瘤细胞生物学信息,而且大多具有靶/非靶比率高的特性,目前已广泛用于肿瘤的临床研究<sup>[1]</sup>,并逐渐成为肿瘤诊断和临床分期不可缺少的一个重要手段。常规  $^{18}\text{F}$ -FDG PET 多选用单次显像的 SUV(标准化摄取值)来鉴别良恶性病变,然而良恶性病变 SUV 有相当一部分重叠,导致显像结果分析判断错误。为此,

研究者们探索与改进了多种方法包括多种显像剂联合应用、patlak 值测定等,以提高  $^{18}\text{F}$ -FDG PET 鉴别肿瘤良恶性的效能,双时相 PET 是其中研究较多的方法之一。研究表明,大部分恶性病变延迟显像显示对  $^{18}\text{F}$ -FDG 的摄取均较早期显像有明显增加,而良性病变则随着时间的增加对  $^{18}\text{F}$ -FDG 的摄取轻度下降或相对无明显变化。因此,双时相 PET 用于鉴别病变的良恶性具有良好的临床应用前景。