

# 影响 PET 图像质量的几个相关因素

王骏, 赵海恩 综述

【中图分类号】R817 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2006)02-0197-03

正电子发射断层扫描(positron emission tomography, PET)现今已常规应用于临床,使得人体深部的病变诊断得到了完善<sup>[1]</sup>。在行 PET/CT 成像过程中, PET 扫描器作为一个外源性的放射源绕患者旋转行透射扫描,无需改变体位,同时可获得功能、解剖于一体的影像。另外利用 CT 扫描来为衰减影像采集必要的信息时,在很大程度上缩短了检查时间<sup>[2]</sup>。PET 的图像质量受诸多的因素影响<sup>[3,4]</sup>。

## 设备和成像

氟脱氧葡萄糖(fluorodeoxyglucose, FDG)成像是通过专门的 PET 仪来实施的, PET 有 20 cm 的轴向视野(field of view, FOV), 59.5 cm 的横向 FOV, 包括由 21 504 个排成的 32 环 BGO 晶体, 可提供 63 层 2D 影像。由光电倍增管发出的信号被传递到晶体所在的位置, 通过使用 15 ns 的同步时间窗, 使  $\gamma$  光子在这里与晶体相撞。适时校正探测器的非线性位置和非均匀能量。在 2D 模式里, 从 1 到 8 可控制轴向吻合路径验收获得最佳的敏感性和轴向分辨率。这种系统内含 1 mm 厚和 55 mm 长的屏蔽板用于 2D 模式。在 2D 模式里, 可存贮 63 幅图在一个大容量的记忆系统里(1 GB)。在记忆中适时校正静止时间和放射性同位素的物理衰减。一个 185 MBq 的外部  $^{68}\text{Ge}$ - $^{68}\text{Ge}$  源定在 640 mm 半径的轨道里来测量空扫描和透射扫描数据。在 SET-2400 W PET 里可以同步实施透射扫描和发射扫描<sup>[5]</sup>。

重建的空间分辨率、敏感性、散射部分和噪声等值信号脉冲率(noise-equivalent count rate, NECR)由以下方式决定: 伴有 FDG 在水里均匀分布的三线源的圆柱形体模和 20 cm $\times$ 20 cm 的圆柱形体模。

同步透射的发射扫描技术应用于 FDG PET 研究中。这种技术分别在透射扫描和发射扫描的 2 维成像模式里, 具有相同的半量子化和探测能力<sup>[6]</sup>。静脉注射药物 185-370 MBq 后 40~50 min, 对每个床位实施同步透射-发射扫描 8 min。所有的发射数据经过了衰减校正的测试。用 OSEM(order subsets expectation maximization)算法对衰减校正 PET 发射数据进行重建。用亚步数为 16, 重复为 1 的 OSEM 算法对 2D 图像进行重建。图像在一个 128 $\times$ 128 的矩阵里进行重建。这个矩阵用截距为 12 和 2 次的巴特沃兹滤波器, 衰减和静止时间校正采集步骤中自动实施<sup>[7]</sup>。

如其它影像研究一样, FDG 影像常常用作定性诊断; 通过与背景组织作比较来识别异常区域。在良性或恶性的病变特

点方面, 利用衰减校正图像、半量参数标准化摄取值(standardized uptake value, SUV)来决定可能会有用。

$$UV = \frac{\text{肿瘤放射性物质浓集}(\text{MBq} \cdot \text{g}^{-1})}{\frac{\text{注射剂量}(\text{MBq})}{\text{体重}(\text{g})}}$$

尽管如此, 一些权威并不强调 SUV 的计算, 因为他们观察到在可见性评估和用 SUV 半量化评估之间无显著性差异<sup>[8]</sup>。

## PET 放射性药剂的影响

PET 对肿瘤新陈代谢的研究经常以葡萄糖的衍生物和氨基酸形式来进行的。 $^{18}\text{F}$ -FDG、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{18}\text{F}$ -DOPA (fluorine-18-dihydroxyphenylalanine) 和  $^{124}\text{I}$  是用于甲状腺肿瘤患者的扫描的放射性药物, 考虑到实用性原则,  $^{18}\text{F}$ -FDG 是临床 PET 研究的主要放射性跟踪剂。 $^{18}\text{F}$  是在回旋加速器里生产的, 而后放射性药物往往由简单的放射化学在特定的地方合成。很多 PET 中心拥有回旋加速器设备和与之相配套的相机, 保证  $^{18}\text{F}$ -FDG 的供应。由于  $^{18}\text{F}$  的半衰期短(110 min), 离 PET 相机远的  $^{18}\text{F}$  的生产会导致一些问题, 代谢过程中捕捉 FDG 激活肿瘤细胞并提供功能成像的基础。

对甲状腺肿瘤病人的评价方面, 在文献中几乎没有研究使用  $^{18}\text{F}$ -PET 和  $^{18}\text{F}$ -DOPA。 $^{124}\text{I}$  是碘的一种正电子发射核素, 它的半衰期是 402 d, 虽然它在临床肿瘤学的应用上受到了限制, 但在高分化甲状腺癌(differentiated thyroid carcinoma, DTC)的患者的应用上,  $^{124}\text{I}$ -PET 的潜在应用前途光明。使用  $^{124}\text{I}$  的 PET 方法受到了一些学者的提倡, 这种方法便于更精确地肿瘤定位<sup>[7,8]</sup>。

## 禁食

FDG 成像是静脉注射药物 40~60 min 后进行的, 而且受检者要禁食。为了减少血糖对 FDG 摄取率的竞争性抑制, 禁食是必要的<sup>[9]</sup>。建议至少禁食 4 h。一些研究在跟踪剂注射前测量血糖; 如果含量超过 200 mg/dl 则延迟 PET 扫描, 直到受检者血糖正常。对于要求作 FDG PET 的糖尿病患者, 在扫描前用口服降糖药或注射胰岛素来有效地控制血糖。在检查前要求受检者排空膀胱, 同时应减少 CT 扫描和 PET 扫描之间的时间间隔, 以减少由于膀胱充盈而引起的误判<sup>[7,10]</sup>。

## 消除紧张

FDG 的用量是 5~6 MBq/kg, 在甲状腺成像的标准模式里, 受检者在注射 FDG 前后应放松。颈部肌肉紧张会增加药物局部摄取, 会导致误诊为淋巴结转移<sup>[11]</sup>。

## 全身扫描

为评估已知恶性肿瘤患者, 常进行全身扫描, 但是转移很

作者单位: 210002 南京, 南京军区南京总医院医学影像中心

作者简介: 王骏(1967-), 男, 江苏南京人, 主管技师, 主要从事医学影像技术学工作。

少见于腿部。人们通常从头颅到股骨中部扫描病人。典型的发射扫描覆盖范围 100 cm, 需要时间 40 min。对于信号的衰减用<sup>68</sup>Ge 对同一区域透射扫描来校正发射扫描。典型的透射扫描需要 18 min, 需要一个 8 mm 的同步发射-透射扫描来行衰减校正。电脑监视器屏幕上从横断面、冠状面及矢状面上显示影像, 可进行所有三维显示融合<sup>[7]</sup>。

### 病情的影响

FDG PET 成像目前被应用于对<sup>131</sup>I 扫描为阴性和甲状腺球蛋白(thyroglobulin, Tg)水平升高了的 DTC 患者的评价, 也应用于怀疑有复发或转移但探测不到 Tg 患者的评价。Feine 等在研究中观察到触发现象, 触发意味着不同分化类型的乳头状和滤泡状甲状腺癌对<sup>131</sup>I 和 FDG 都有自己特有的摄取方式。甲状腺癌及其转移表现为伴有少量 FDG 摄取的碘摄取, 或者表现为高的 FDG 摄取但没有<sup>131</sup>I 的摄取。这些不同反映了肿瘤细胞的分化类型。Feine<sup>[12]</sup> 计算出了 FDG PET 的敏感度和特异度分别为 75% 和 90%, 认为分化良好的癌使用<sup>131</sup>I 扫描可以成功地成像, 而分化相对较差的癌使用 PET 扫描可以更好地成像, Grunwald 等<sup>[13]</sup> 作出了相同的结论。在 Dietlein 等<sup>[14]</sup> 的观察中, 对于不同的器官, FDG PET 的作用各不相同, 在颈部淋巴结的作用最高, 而在小的肺部转移中的作用最低。对使用<sup>99</sup>Tc-二甲基磷酸传统骨闪烁照相与用<sup>18</sup>F-PET 来寻找骨转移的敏感性的比较, Schirrmester 等发现后者更敏感。Chung 等认为 FDG PET 在识别甲状腺癌的复发或转移方面有 93.9% 的准确度。在这项研究中, 15 例有转移的患者 Tg 水平探测不到, 但是 FDG PET 可以发现其中的 14 例不正常。这就表明, FDG PET 不仅对 Tg 升高的患者具有敏感性, 而且对探测不到 Tg 的患者同样敏感。

Conti 等对 24 例患者进行了研究, 这些患者 Tg 升高, 或正在升高, 或以 Tg 抗体形式出现的, 但<sup>131</sup>I 的扫描结果全部为阴性, 而 PET 识别出全部的局部复发和转移。Wang 等对 37 例全身<sup>131</sup>I 扫描为阴性的 DTC 患者行 PET, 发现 FDG PET 具有 70% 的敏感度, 76.5% 的特异度。Muros 等研究了 10 例放射性碘扫描阴性和 Tg 升高的 DTC 患者, 发现 FDG PET 在诊断甲状腺癌的复发和转移的敏感度为 60%。在另外一项研究中, 对 22 例<sup>131</sup>I 扫描为阴性的乳头状甲状腺癌患者作 FDG PET 成像, 发现敏感度和特异度分别为 80% 和 83%。Frilling 等在一组包括<sup>131</sup>I 扫描为阴性和 Tg 升高的 13 例病例研究中, 报道其敏感度为 84.6%。Alnafisi 等报道在促甲状腺激素(TSH)的抑制下 FDG PET 会有效。Helal 等研究了 37 例经初步治疗<sup>131</sup>I 扫描阴性的 DTC 患者, FDG PET 发现其中的 28 例(76%), 对肿瘤的准确定位占总数的 89%。这项研究中, PET 对低分化和高分化的肿瘤都有效<sup>[7]</sup>。

### TSH 的影响

在对 DTC 患者的随访中, 停用甲状腺素或使用外源性促甲状腺素(thyroid stimulating hormone, TSH)行 TSH 刺激的<sup>131</sup>I 全身扫描是最受欢迎的方法, 因为要有效进行放射性碘

闪烁照相术, TSH 升高是必要的。另一方面, 葡萄糖的摄取很可能与细胞的生长有关, 而这些癌细胞的生长是不依赖 TSH 的。然而, 实验证据表明 TSH 可以调节甲状腺癌肿的葡萄糖转运和 FDG 摄取。在培养的甲状腺细胞中, TSH 增加了 Glut 1 的表达和葡萄糖的转运。尽管有这么多实验结果, 但 TSH 刺激能进一步提高 FDG PET 的敏感性的论点仍存在争议。这些论点得到了一部分初期研究的临床支持。Sisson 等首先报道一例甲状腺功能正常而后甲状腺功能减退的患者对 FDG 的较高摄取率, 不过这些是与 Feine 和 Wang 等的结论作对比, 在甲状腺功能正常和甲状腺功能减退的 4 例患者行 PET 扫描未发现临床差异。Grunwald 等同样没有发现伴有 TSH 增高的 FDG 摄取率增加。不过在他们的研究中, 扫描结果是对照组好。最近, Moog 等从系列研究中得出了结果, DTC 的复发和转移对 FDG 摄取依赖于 TSH 的水平, 并且这将会对病灶检查的敏感性产生影响。Van Tol 等也同样得出结论, 诊断 DTC 复发和转移在 TSH 刺激情况下具有更好的 FDG PET 影像质量, 其产生的 PET 影像的病灶对比度较好。最近, Petrich 等的研究发现: 在重组人类 TSH(recombinant human TSH, rhTSH)刺激情况下 FDG PET 的敏感度为 87%, 而在 rhTSH 抑制情况下的敏感度为 53%<sup>[7]</sup>。

### 呼吸的影响

伴随着 PET/CT 的引进, 对利用<sup>68</sup>Ge 源的常规透射扫描来说, 利用低剂量的 CT 扫描对衰减影像的获取是一种选择方式, 即使低剂量的 CT 扫描也可以产生一幅高质量的衰减影像<sup>[14,15]</sup>。由于利用现代 CT 扫描仪的高速采集数据, 受检者的运动伪影就很少。与之相反, 对一个视野要获取常规衰减影像要几分钟的时间, 这段时间平均超过了呼吸周期。这种平均水平在 PET 发射扫描和透射扫描是相似的, 只要受检者在发射扫描和透射扫描时不动, 这并不会降低最终衰减校正的 PET 图像的质量。基于 CT 的衰减校正通过一台高效的 CT 扫描仪来完成, 这种技术可以在受检者的某一呼吸时间点对其身体作快速照相。这种在非常简短时间里的数据获取可以导致 CT 衰减数据和 PET 发射图像之间的不协调。近期有研究表明<sup>[16]</sup>, 正常呼气进行的 CT 扫描数据要比那些浅呼吸所行的 CT 扫描数据更好地与 PET 图像匹配, 而在最大吸气末获取的 CT 数据不能与发射扫描获取的 PET 数据最佳匹配。此外, 这些 CT 数据不会为 PET 图像的校正产生适当的衰减影像。因为在正常呼吸周期里, 呼气相占的时间相对较长, 所以在 PET 图像里, 上腹部器官、心脏和下部纵隔的位置和在呼气相时很相近。结果, 如果 CT 扫描是在最大吸气时进行的, 这个区域测量到的衰减就会太低。

如果膈肌周围区域是在吸气相扫描的, 就会产生呼吸感应伪影。一组衰减校正不完全的数据将会引起膈肌上部区域比身体其它部位要亮。这些伪影将会引起这个区域病变的误判, 并且导致对 FDG 浓集的错误测定, 伴随着在疾病或正常组织区域内的低密度值的假象。因此, CT 数据的获取应最佳地去适应 PET 发射扫描。由于使用一种由最大吸气相采集 CT 数

据所产生的不正确的衰减影像,在邻近膈肌的组织上的 FDG 的活性会在 PET 上表现为很大程度的降低。这样不仅会导致对下肺区病灶的误判,而且会对与膈肌相邻的肝脏病变进行误判。因此,在图像融合过程中,如果 CT 图像不能很好地适应 PET 发射图像,上腹部的病变可能会被误定位于下肺区<sup>[10]</sup>。

两种不同衰减校正方法(即基于<sup>68</sup>Ge 的和基于 CT 的)重建的图像存在放射性物质浓集差异<sup>[15]</sup>。在这项研究中,放射性物质在下肺区和心脏组织里的浓集并没有因校正方法的不同而表现出明显差异,这两种方法是常规衰减校正的 PET 图像和正常呼气采集 CT 数据校正的 PET 图像。尽管如此,依赖于吸气的衰减值的改变是 CT 衰减校正方法的一个弊端。这就告诉我们,应该根据受检者呼吸时的情况,制定一个可行的 CT 成像的规程。对受检者作 PET 随访检查时,同一个受检者应该使用同一台扫描仪、使用相同的衰减校正方法。另外,在使用 CT 衰减校正方法的 PET 检查中,对每个受检者在相同的呼吸状态下成像是很关键的。由于,正常呼气后屏气的 CT 扫描模式可以获得与 PET 发射成像匹配的衰减影像,因此,这种 CT 成像模式的使用,可以在随访研究中获得相似的影像质量。

#### 参考文献:

[1] Coleman RE, Laymon CM, Turkington TG. FDG Imaging of Lung Nodules: a Phantom Study Comparing SPECT, Camera-based PET, and Dedicated PET[J]. Radiology, 1999, 210(3): 823-828.

[2] Beaulieu S, Rubin B, Djang D, et al. Positron Emission Tomography of Schwannomas: Emphasizing its Potential in Preoperative Planning[J]. AJR, 2004, 182(4): 971-974.

[3] Asad S, Aquino SL, Piyavisetpat N, et al. False-positive FDG Positron Emission Tomography Uptake in Nonmalignant Chest Abnormalities[J]. AJR, 2004, 182(4): 983-989.

[4] Cheran SK, Nielsen ND, Patz EF. False-negative Findings for Primary Lung Tumors on FDG Positron Emission Tomography: Staging and Prognostic Implications[J]. AJR, 2004, 182(5): 1129-1132.

[6] Inoue T, Oriuchi N, Kunio M, et al. Accuracy of Standardized Uptake Value Measured by Simultaneous Emission and Transmission Scanning in PET Oncology[J]. Nucl Med Commun, 1999, 20(9): 849-857.

[6] Zhang H, Inoue T, Alyafei S, et al. Tumor Detectability in 2-

Dimensional and 3-Dimensional Positron Emission Tomography Using SET-2400W: a Phantom Study[J]. Nucl Med Commun 2001, 22(3): 305-314.

- [7] Khan N, Oriuchi N, Higuchi T, et al. PET in the Follow-up of Differentiated Thyroid Cancer[J]. Br J Radiol, 2003, 76(910): 690-695.
- [8] Yun M, Kim W, Alnafisi N, et al. 18F-FDG PET in Characterizing Adrenal Lesions Detected on CT or MRI[J]. J Nucl Med, 2001, 42(12): 1795-1799.
- [9] Lindholm P, Minn H, Leskinen-Kallio S, et al. Influence of the Blood Glucose Concentration on FDG Uptake in Cancer: a PET Study[J]. J Nucl Med, 1993, 34(1): 1-6.
- [10] Goerres GW, Burger C, Kamel E, et al. Respiration-induced Attenuation Artifact at PET/CT: Technical Considerations[J]. Radiology, 2003, 226(3): 906-910.
- [11] Cook GJR, Maisy MN, Fogelman I. Normal Variants, Artefacts and Interpretative Pitfalls in PET with 18-Fluoro-2-Deoxyglucose and Carbon-11 Methionine[J]. Eur J Nucl Med, 1999, 26(10): 1363-1378.
- [12] Feine U. Fluoro-18-Deoxyglucose Positron Emission Tomography in Differentiated Thyroid Carcinoma[J]. Eur J Endocrinol, 1998, 138(5): 492-496.
- [13] Grunwald F, Schomburg A, Bender H, et al. Fluorine-18-Fluoro-deoxyglucose Positron Emission Tomography in the Follow-up of Differentiated Thyroid Cancer[J]. Eur J Nucl Med 1996, 23(3): 312-319.
- [14] Dietlein M, Scheidhauer K, Voth E, et al. Fluorine-18 Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography and Iodine-131 Whole-body Scintigraphy in the Follow-up of Differentiated Thyroid Cancer[J]. Eur J Nucl Med 1997, 24(11): 1342-1348.
- [15] Kamel E, Hany TF, Burger C, et al. CT 68Ge Attenuation Correction in a Combined PET/CT System: Evaluation of the Effect of lowering the CT Tube Current[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2002, 29(3): 346-350.
- [16] Goerres GW, Kamel E, Heidelberg TH, et al. PET-CT Image co-Registration in the thorax: influence of respiration[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2002, 29(3): 351-360.

(收稿日期: 2004-12-12 修回日期: 2005-02-28)

## 说 明

本刊 2005 年第 10 期《半月板损伤及撕裂的 MRI 与关节镜或手术对照研究》一文作者宋桂芳的简介为:

作者简介: 宋桂芳(1968—), 女, 合肥人, 安徽马鞍山马钢医院影像科在职硕士研究生, 主治医师, 主要从事骨关节影像诊断工作。