

# 低剂量显像剂 PET 显像:从梦想到现实

石洪成

复旦大学附属中山医院核医学科、复旦大学核医学研究所、上海市影像医学研究所,上海 200032

Email: shi.hongcheng@zs-hospital.sh.cn

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20231113-00106

**Low dose radiotracer PET: from dream to reality**

Shi Hongcheng

Department of Nuclear Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University; Nuclear Medicine Institute of Fudan University; Shanghai Institution of Medical Imaging, Shanghai 200032, China

Email: shi.hongcheng@zs-hospital.sh.cn

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20231113-00106

越来越多的证据显示 PET 分子影像在疾病诊疗中发挥了重要作用。随着影像设备性能和普及率的提升,以及新型显像剂的不断涌现,PET 分子影像的临床应用领域还在持续扩展中。放射性核素标记的显像剂是彰显 PET 分子影像内涵的关键因素。证据表明,应用于 PET 显像的放射性核素产生的辐射剂量对人体是安全的,但是显像剂的使用应始终秉承在满足显像质量的前提下能低则低的原则,尤其是对于儿童等特殊人群。随着更多放射性核素标记的显像剂的不断涌现,多种显像剂联合 PET 显像评价疾病的不同生物学行为成为一种新趋势,其临床应用在不断增多。如何最大程度地减少多种显像剂联合应用的辐射总量<sup>[1-2]</sup>,成为新的需求和探索目标。

低剂量 PET 的临床应用,可实现使用有限的显像剂满足更多患者显像需求的目标。长轴向视野(long axial field-of-view, LAFOV) PET 的临床应用使得低剂量 PET 显像成为可能。参照欧洲标准<sup>[3]</sup>, Liu 等<sup>[4]</sup>探索了 1/10 剂量<sup>18</sup>F-FDG LAFOV PET 临床应用的可行性。他们对 2 组健康志愿者注射全剂量或 1/10 剂量显像剂后进行 75 min 动态采集,半定量分析结果显示,2 种剂量的<sup>18</sup>F-FDG 在人体内分布无异。Tan 等<sup>[5]</sup>对 1 组肿瘤患者隔日依次行 1/10 剂量和半剂量 LAFOV PET 动态采集,进行自身对照研究;半定量分析结果证实 2 种剂量<sup>18</sup>F-FDG 显像对肿瘤病灶的探测效率无差异。在此基础之上, Hu 等<sup>[6]</sup>的研究结果证实,1/10 剂量<sup>18</sup>F-FDG LAFOV PET 采集 8 min 与全剂量采集 2 min 的图像质量相当。之后, Yu 等<sup>[7]</sup>发表了首个<sup>18</sup>F-FDG 全身 PET 肿瘤显像的专家共识,阐述了 1/10 剂量、半剂量和全剂

量肿瘤显像的采集参数。以上系列临床探索性研究为低剂量 PET 的临床应用奠定了基础。

本期围绕低剂量 PET 的临床应用组织了“重点号”。高华萍等<sup>[8]</sup>将 34 例初诊肿瘤患者 1/10 剂量(按体质量 0.37 MBq/kg)<sup>18</sup>F-FDG 全身 PET/CT 显像的原始数据分别重建成 15 min 和起始 2 min 的 PET 图像(G15 和 G2),并与病理类型相匹配的 34 例行全剂量(按体质量 3.70 MBq/kg)<sup>18</sup>F-FDG 常规数字化 PET/CT(conventional digital PET/CT, C PET/CT;每个床位扫描 2~3 min)的初诊肿瘤患者的影像资料进行对比分析。结果显示 G15 组、C PET/CT 组和 G2 组信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)依次递减;3 组 PET/CT 均可探测出全部原发病灶和肝脏转移灶,而 G15 和 G2 较 C PET/CT 对淋巴结病灶的检出率高( $\chi^2 = 62.03, P = 0.002$ )。该研究结果表明 1/10 剂量<sup>18</sup>F-FDG 全身 PET/CT 采集 2 min 在临床实践中具有可行性。低剂量 LAFOV PET 的临床应用,实现了儿童低剂量 PET 显像。Zhao 等<sup>[9]</sup>对行常规剂量<sup>18</sup>F-FDG 全身 PET/CT 显像的儿童患者的原始数据进行重建,以模拟低剂量显像,结果显示理论上低剂量(按体质量 0.37 MBq/kg)采集 10 min(相当于常规注射剂量的 1/10)仍可以满足临床诊断需求。Chen 等<sup>[10]</sup>对 100 例 1~13 岁儿童肿瘤患者行半剂量<sup>18</sup>F-FDG 全身 PET/CT 图像分析,结果显示扫描时间可缩短至 1 min(等同于常规注射剂量的 1/20),此时图像质量仍能满足诊断需求。本期“重点号”中,陈琬琦等<sup>[11]</sup>回顾性分析行<sup>18</sup>F-FDG 全身 PET/CT 显像的 0~3 岁婴幼儿共 59 例,结果显示全剂量组(21 例;按体质量 3.70 MBq/kg)和半剂量组(38 例;按体质量 1.85 MBq/kg)患儿肝脏 SNR 分别为 29.5(25.3,39.9)

和 25.8(22.0,30.4), 但差异无统计学意义( $z=1.66, P=0.096$ ); 纵隔血池 SNR 差异也无统计学意义( $z=0.02, P=0.981$ ); 根据剂量时间标准化的 SNR(normalized SNR for administered activity and scan time,  $SNR_{norm}$ ) 随着年龄及体质量增加而减小( $r_s$  值:  $-0.704, -0.647$ , 均  $P<0.001$ ), 表明婴幼儿患者半剂量 $^{18}F$ -FDG 全身 PET/CT 显像的图像质量仍然良好, 图像质量随年龄及体质量增加呈下降趋势。

常规 PET 受制于 15~30 cm 的有限轴向视野, 实现真正意义的低剂量显像还面临诸多挑战。借助于软件, 对低剂量或者采集时间不充分所导致的低计数原始数据进行后处理, 以改善图像质量, 也是目前常规 PET 临床应用中所关注的重点之一。本期中阮伟伟等<sup>[12]</sup>对 $^{18}F$ -FDG 一体化 PET/MR 全身扫描图像具有明显高代谢病灶的 8 例肿瘤患者的 PET 原始数据进行了重建, 以模拟低剂量 PET 显像, 结果显示应用优化贝叶斯惩罚似然算法(Bayesian penalized likelihood, BPL), 对模拟低剂量 PET 采集获得的计数仅为常规剂量 25% 的原始数据进行后处理, 所获得的图像质量与计数为 100% 的原始数据经传统方法重建所获得 PET 图像质量接近, 表明优化 BPL 具有改善低剂量 PET 图像质量的潜质。

影像设备等相关技术的进步使得低剂量 PET 从梦想走到现实, 但是目前还缺乏大样本的临床证据。本期“重点号”2 篇 LAFOV 低剂量 PET 临床应用只是小样本回顾性研究; 另 1 篇常规 PET 低剂量的探索性应用, 还只是模拟研究, 为低剂量 PET 的临床应用再添佐证, 但尚缺乏普适性的显像参数。然而, 无论注射显像剂的剂量如何, 高质量图像都是准确诊断的基石, 是 PET 检查过程中的“制高点”。显像时需要明确与注射剂量相匹配的采集时间, 制订相应的技术规范, 确保图像质量满足诊断需求。因此, 在临床实践过程中, 为了满足不同群体的个性化需求, 在图像质量满足诊断需求的基本原则下, 低剂量和(或)快速扫描, 都是可选择的模式。熟知设备特性、充分了解患者所需, 灵活应用 PET 采集模式, 也是提升 PET 影像服务能力的具体体现。

**利益冲突** 作者声明无利益冲突

**作者贡献声明** 石洪成: 文献调研、论文撰写

## 参 考 文 献

[1] 林禹, 高华萍, 石洪成.  $^{18}F$ -FDG 与  $^{68}Ga$ -DOTATATE 全身 PET/CT 显像在神经内分泌肿瘤中的价值[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2023, 43(11): 644-648. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230619-00177.

Lin Y, Gao HP, Shi HC. Value of  $^{18}F$ -FDG and  $^{68}Ga$ -DOTATATE total-body PET/CT imaging in patients with neuroendocrine neoplasms[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2023, 43(11): 644-648. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230619-00177.

[2] Liu G, Mao W, Yu H, et al. One-stop [ $^{18}F$ ]FDG and [ $^{68}Ga$ ]Ga-DOTA-FAPI-04 total-body PET/CT examination with dual-low activity: a feasibility study[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2023, 50(8): 2271-2281. DOI:10.1007/s00259-023-06207-2.

[3] Boellaard R, Delgado-Bolton R, Oyen WJ, et al. FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 42(2): 328-354. DOI:10.1007/s00259-014-2961-x.

[4] Liu G, Hu P, Yu H, et al. Ultra-low-activity total-body dynamic PET imaging allows equal performance to full-activity PET imaging for investigating kinetic metrics of  $^{18}F$ -FDG in healthy volunteers[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 48(8): 2373-2383. DOI:10.1007/s00259-020-05173-3.

[5] Tan H, Qi C, Cao Y, et al. Ultralow-dose [ $^{18}F$ ]FDG PET/CT imaging: demonstration of feasibility in dynamic and static images[J]. Eur Radiol, 2023, 33(7): 5017-5027. DOI:10.1007/s00330-023-09389-3.

[6] Hu Y, Liu G, Yu H, et al. Feasibility of acquisitions using total-body PET/CT with an ultra-low  $^{18}F$ -FDG activity[J]. J Nucl Med, 2022, 63(6): 959-965. DOI:10.2967/jnumed.121.262038.

[7] Yu H, Gu Y, Fan W, et al. Expert consensus on oncological [ $^{18}F$ ]FDG total-body PET/CT imaging (version 1)[J]. Eur Radiol, 2023, 33(1): 615-626. DOI:10.1007/s00330-022-08960-8.

[8] 高华萍, 林禹, 谭辉, 等. 十分之一剂量 $^{18}F$ -FDG 全身 PET/CT 肿瘤显像可行性的临床研究[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2023, 43(12): 707-712. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20231105-00095.

Gao HP, Lin Y, Tan H, et al. Feasibility of one-tenth dose  $^{18}F$ -FDG total-body PET/CT in patients with malignant tumors[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2023, 43(12): 707-712. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20231105-00095.

[9] Zhao YM, Li YH, Chen T, et al. Image quality and lesion detectability in low-dose pediatric  $^{18}F$ -FDG scans using total-body PET/CT[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 48(11): 3378-3385. DOI:10.1007/s00259-021-05304-4.

[10] Chen W, Liu L, Li Y, et al. Evaluation of pediatric malignancies using total-body PET/CT with half-dose [ $^{18}F$ ]-FDG[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2022, 49(12): 4145-4155. DOI:10.1007/s00259-022-05893-8.

[11] 陈琬琦, 刘磊, 樊卫, 等. 半剂量 $^{18}F$ -FDG 对婴幼儿全身 PET/CT 图像质量的影响[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2023, 43(12): 713-717. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20231102-00091.

Chen WQ, Liu L, Fan W, et al. Impact of half-dose  $^{18}F$ -FDG on the image quality of total-body PET/CT in infants and toddlers[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2023, 43(12): 713-717. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20231102-00091.

[12] 阮伟伟, 刘芳, 舒华, 等. 优化贝叶斯惩罚似然算法的低计数 PET 重建模拟低剂量 PET 显像[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2023, 43(12): 718-723. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20231016-00073.

Ruan WW, Liu F, Shu H, et al. Optimizing Bayesian penalized likelihood algorithm for low count PET reconstruction to simulate low dose PET imaging[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2023, 43(12): 718-723. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20231016-00073.

(收稿日期:2023-11-13)