

DOI: 10.12025/j.issn.1008-6358.2024.20240601

· 标准与规范 ·

神经内分泌肿瘤 ^{68}Ga -DOTATATE 联合 ^{18}F -FDG 两日法全身 PET/CT 显像操作规范专家共识

余浩军^{1△}, 顾宇参^{1△}, 杨志², 王瑞民³, 吴湖炳⁴, 赵新明⁵, 朱小华⁶, 程召平⁷,
樊卫⁸, 武志芳⁹, 李思进^{9*}, 石洪成^{1,10,11,12*}

1. 复旦大学附属中山医院核医学科, 上海 200032
2. 北京大学肿瘤医院核医学科, 北京 100142
3. 中国人民解放军总医院核医学科, 北京 100853
4. 南方医科大学南方医院 PET 中心, 广州 510515
5. 河北医科大学第四医院核医学科, 石家庄 050011
6. 华中科技大学同济医学院附属同济医院核医学科, 武汉 430030
7. 山东第一医科大学第一附属医院核医学科, 济南 250014
8. 中山大学肿瘤防治中心核医学科, 广州 510060
9. 山西医科大学第一医院核医学科, 太原 030001
10. 复旦大学核医学研究所, 上海 200032
11. 上海市影像医学研究所, 上海 200032
12. 复旦大学附属中山医院肿瘤防治中心, 上海 200032

[摘要] ^{68}Ga -DOTATATE 联合 ^{18}F -FDG 两日法低剂量全身 PET/CT (total-body PET/CT, TB PET/CT) 显像, 对神经内分泌肿瘤的诊断、预后评价及异质性评估具有互补作用。国内多家应用 TB PET/CT 的医疗机构共同制定了两日法联合显像操作规范专家共识。

[关键词] 神经内分泌肿瘤; 全身 PET/CT; ^{18}F -FDG; ^{68}Ga -DOTATATE; 操作规范; 专家共识

[中图分类号] R 445.3 **[文献标志码]** A

Expert consensus on operational guideline for ^{68}Ga -DOTATATE/ ^{18}F -FDG two-day total-body PET/CT imaging of neuroendocrine neoplasms

YU Haojun^{1△}, GU Yushen^{1△}, YANG Zhi², WANG Ruimin³, WU Hubing⁴, ZHAO Xinming⁵, ZHU Xiaohua⁶, CHENG Zhaoping⁷,
FAN Wei⁸, WU Zhifang⁹, LI Sijin^{9*}, SHI Hongcheng^{1,10,11,12*}

1. Department of Nuclear Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China
2. Department of Nuclear Medicine, Peking University Cancer Hospital & Institute, Beijing 100142, China
3. Department of Nuclear Medicine, Chinese People's Liberation Army General Hospital, Beijing 100853, China
4. Nanfang PET Center, Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong, China
5. Department of Nuclear Medicine, The Fourth Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050011, Hebei, China
6. Department of Nuclear Medicine, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430030, Hubei, China
7. Department of Nuclear Medicine, The First Affiliated Hospital of Shandong First Medical University, Ji'nan 250014, Shandong, China
8. Department of Nuclear Medicine, Sun Yat-sen University Cancer Center, Guangzhou 510060, Guangdong, China

[收稿日期] 2024-06-04 **[接受日期]** 2024-06-23

[基金项目] 国家临床重点专科建设项目 (YWP2022-007), 长轴向、超高时间分辨 PET/CT 整机系统攻关项目 (CEIEC-2022-ZM02-0219), 上海市经济与信息化委员会创新医疗器械应用示范项目 (23SHS01200)。Supported by the Chinese National Key Clinical Specialty Construction Project (YWP2022-007), the Whole System Research Program of Long-axial and Ultra-high Time Resolution PET/CT (CEIEC-2022-ZM02-0219), the Innovative Medical Device Application Demonstration Program of Shanghai Municipal Economic and Informatization Commission (23SHS01200).

[作者简介] 余浩军, 副主任技师. E-mail: yu.haojun@zs-hospital.sh.cn; 顾宇参, 副主任技师. E-mail: gu.yushen@zs-hospital.sh.cn

[△]共同第一作者 (Co-first authors).

^{*}通信作者 (Corresponding authors). E-mail: lisjnm123@163.com; E-mail: shi.hongcheng@zs-hospital.sh.cn

9. Department of Nuclear Medicine, First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, Shanxi, China

10. Institute of Nuclear Medicine, Fudan University, Shanghai 200032, China

11. Shanghai Institute of Medical Imaging, Shanghai 200032, China

12. Cancer Prevention and Treatment Center, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

[Abstract] ^{68}Ga -DOTATATE/ ^{18}F -FDG two-day low-dose total-body PET/CT imaging is increasingly employed to facilitate the diagnosis, prognosis, and heterogeneity assessment of neuroendocrine neoplasms. We present a consensus on operational guideline for a two-day combined imaging from experts in low-dose/ultra-low-dose total-body PET/CT from several domestic medical institutions.

[Key Words] neuroendocrine neoplasms; total-body PET/CT; ^{18}F -FDG; ^{68}Ga -DOTATATE; procedural guideline; expert consensus

神经内分泌肿瘤 (neuroendocrine neoplasms, NEN) 是异质性较高的肿瘤, 常见于胃肠道、胰腺和肺等部位。NEN 分为神经内分泌瘤 (neuroendocrine tumor, NET), 如 NET G1、G2 和 G3, 以及神经内分泌癌 (neuroendocrine carcinoma, NEC) [1-2]。由于 NEN 原发肿瘤部位和转移灶的多样性, 传统影像学检查 (如超声、CT 和 MR) 具有局限性, 难以准确、全面地诊断和分期 [3]。 ^{18}F -FDG PET/CT 显像对增殖活跃的 G2、G3 级 NET 和 NEC 具有良好的诊断灵敏度及分期评估价值, 在选择治疗方案和判断患者预后等方面也发挥了重要作用。 ^{68}Ga 标记的生长抑素类似物 (somatostatin analogs, SSA) 通过靶向生长抑素受体 (somatostatin receptors, SSTR) 进行 PET/CT 显像, 在 G1、G2 级及部分 G3 级 NET 的定性诊断、临床分期、病理分级、疗法选择和疗效评估方面均有明显优势 [2]。 ^{68}Ga -DOTATATE 主要靶向 SSTR2, 是目前使用最广泛的 SSTR 显像剂。 ^{68}Ga -DOTATATE 和 ^{18}F -FDG PET/CT 显像可以提供不同角度的肿瘤生物学行为信息, 在 NEN 诊断、预后预测及异质性评估中具有互补作用, 联合显像可以提高 NEN 病灶检出率, 利于充分评价肿瘤异质性, 并准确分期、指导活检、选择治疗方案 [4-7]。

^{68}Ga -DOTATATE 与 ^{18}F -FDG 双显像剂联合显像 (简称联合显像), 需要注射 2 次放射性显像剂, 进行 2 次诊断 CT 扫描。常规 PET/CT 的轴向视野为 15~35 cm, 受制于其灵敏度, 故采用常规全剂量显像。而全身 PET/CT (total-body PET/CT, TB PET/CT) 具备自身独特优势, 其轴向视野为 194 cm, 有效计数率是轴向视野为 22 cm 的常规 PET/CT 的 40 倍 [8], 使得低剂量 PET 显像成为可能。多项临

床研究 [9-12] 结果证实, 低剂量 PET 显像具有可行性。自 2019 年 4 月全球首台 TB PET/CT 在复旦大学附属中山医院投入临床使用, 已完成超 3 万例患者检查, 积累了丰富的经验。目前, 全球约安装 20 台 TB PET/CT, 如何充分发挥其效能, 一直是专家们普遍关心的话题。

应用 TB PET/CT 低剂量双显像剂联合显像, 能有效降低 PET 显像剂的使用剂量, 降低辐射剂量, 尤其是在仅使用较低活度的显像剂时, 也可以完成检查。联合显像可采取两日法或一日法, 二者各有优缺点 [13]。两日法简便易行, 可分别显示肿瘤组织中葡萄糖代谢和 SSTR 表达, 对靶向 SSTR 的肽受体放射性核素治疗具有指导意义; 缺点是耗时较长, 需要进行 2 次 CT 扫描, 患者接受的辐射剂量较大。使用一日法的患者, 整体就诊时间缩短, 但是设备占用时间长, 在工作负荷大的时候难以实施。为了促进两日法显像方案的推广和规范应用, 国内多家应用 TB PET/CT 的医疗机构共同制定此专家共识。

1 基本概念与定义

定义均依据相关指南、规范和专家共识制定 [14-16]。(1) TB PET/CT: 以单床位的方式覆盖患者从颅顶到脚趾的全身影像。(2) ^{18}F -FDG 全剂量为 3.7 MBq/kg, 半剂量为 1.85 MBq/kg, 1/10 剂量为 0.37 MBq/kg。(3) ^{68}Ga -DOTATATE 全剂量为 2 MBq/kg, 半剂量为 1 MBq/kg。(4) 衰减校正 CT (attenuation correction CT, ACCT): 用于生成衰减图 (attenuation map) 的 CT。在临床实践中, 往往采用范围不小于 PET 扫描范围且剂量较低的 CT 图像。(5) 诊断 CT: 使用或不使用

静脉或口服造影剂的 CT 扫描, 通常使用较高的剂量设置进行扫描, 以获得能够清晰显示解剖结构的图像。可以使用自动剂量调制 (automatic dose modulation) 技术, 根据身体的不同部位选择不同的管电流。建议进行头部和躯干部位 CT 扫描, 用于诊断。

2 操作规范

2.1 患者准备及注意事项 ^{18}F -FDG PET/CT 显像的患者准备及注意事项遵循相关指南要求^[14]。 ^{68}Ga -DOTATATE PET/CT 显像前, 患者需停用 3~4 周长效 SSA、12 h 短效 SSA^[16]。

行 ^{18}F -FDG 或 ^{68}Ga -DOTATATE 检查者, 均鼓励在注射前及注射后多喝水, 充分水化, 以促进显像剂排出体外, 减少放射性药物对患者的辐射暴露, 同时降低血液本底, 提高图像质量。上机检查前, 患者常规适度饮水, 充盈胃腔; 并排空小便, 以降低膀胱内的放射性显像剂对患者的辐射暴露以及对图像质量的影响。

疑似幽闭恐惧者, 建议未注射显像剂前, 在设备上模拟采集场景, 评估自身是否能够配合检查, 必要时可以予以镇静。在 PET/CT 扫描仪中开启环境灯光能有助于减轻幽闭恐惧症状, 有利于提升检查质量。

孕妇应避免该项检查, 除非有明确的临床获益。对于哺乳期妇女, 出于谨慎考虑, 相关指南^[14]建议全剂量 ^{18}F -FDG 给药后 12 h 内, 避免与婴幼儿亲密接触, 并中断母乳喂养, 或给药后将母乳吸出至奶瓶, 静置 12 h 后再喂养; 全剂量 ^{68}Ga -DOTATATE 给药后 24 h 内, 中断母乳喂养^[16]。

2.2 扫描协议 ^{18}F -FDG 与 ^{68}Ga -DOTATATE PET/CT 显像常规的扫描协议相同, 依次为 CT 定位片、ACCT、PET 采集、体部诊断 CT 扫描及头部诊断 CT 扫描。值得关注的是, 联合显像的第 2 次 CT 扫描可以只扫协议中 ACCT 部分, 能够有效减少辐射剂量; 不足之处在于, 需要结合前 1 次显像的诊断 CT 图像才可发现必要信息。根据患者身体状况, 可个性化调整扫描协议和显像剂活度。对于危重症或难以长时间静卧者, 可选择半剂量甚至全剂量以缩短 PET 采集时间, 通过 TB PET/CT 快速扫

描使得此类患者获益, 或者参照指南^[15]调整 PET 和诊断 CT 的扫描顺序。儿童患者, 推荐采用半剂量或 1/10 剂量方案。根据患者情况, 联合显像的 CT 扫描可采用一日 ACCT, 一日诊断 CT, 或两日采用 ACCT。

2.3 显像剂的注射和剂量优化 ^{18}F -FDG 及 ^{68}Ga -DOTATATE 均应在建立静脉通道后, 缓慢推注显像剂, 避免显像剂渗漏。推荐的 ^{18}F -FDG 注射剂量为 1/10 剂量或半剂量, ^{68}Ga -DOTATATE 注射剂量为半剂量, 允许推荐剂量的误差 $\leq 10\%$ 。

2.4 图像采集与重建

2.4.1 患者体位 ^{18}F -FDG 和 ^{68}Ga -DOTATATE PET/CT 显像均推荐患者双臂抱头, 2 次显像体位尽可能保持一致。手臂无法上举者, 可放在身体两侧, 但可能会出现 CT 射束硬化伪影及截断伪影。在采集系统中使用自适应滤波函数并将重建视野调整至 700 mm, 可以减少伪影。

2.4.2 采集时间窗 推荐的 PET 采集时间窗: ^{18}F -FDG 注射后 55~75 min 进行图像采集^[14,17]; ^{68}Ga -DOTATATE 注射后 40~90 min 进行图像采集^[16], 推荐于注射后 45~60 min 开始采集^[18-19]。

2.4.3 采集参数 CT 采集参数 (表 1): ACCT 用于衰减校正, 使用较低的剂量设置进行扫描。体部及头部诊断 CT 扫描用于生成诊断图像, 使用较高的剂量设置进行扫描。

表 1 推荐的 CT 采集参数

Table 1 The recommended acquisition settings of CT

Setting	ACCT	Diagnostic CT (body)	Diagnostic CT (head)
Voltage/kV	120	120	120
Tube current/mAs	10	automatic dose modulation	200
Collimation width/mm	40	40	20
Pitch	1.012 5	0.962 5	0.675 0
Rotation time/s	0.5	0.5	0.8

ACCT: attenuation correction CT.

PET 采集参数: 采集范围自颅顶到脚趾, 使用 3D 列表模式。 ^{18}F -FDG PET 采集时长及对应的辐射剂量 (表 2) 遵循相关专家共识^[15]。半剂量的 ^{68}Ga -DOTATATE PET 常规扫描时间推荐为 3~5 min^[11]。

2.4.4 重建参数 体部及头部 CT 的推荐重建参数见表 3。PET 图像重建的最佳参数取决于患者本身

和探测器等因素^[18]。推荐重建矩阵为 192×192 ，选择有序子集最大期望值法（ordered subset expectation maximization, OSEM）重建算法，迭代3次、20个子集，经衰减、散射、随机和归一化校正，飞行时间（time of flight, TOF）和点扩散函数（point spread function, PSF）选项应用于所有重建。矩阵大小的选择需要权衡图像分辨率与灵敏度。

表2 3种不同注射剂量的¹⁸F-FDG PET推荐采集时间和辐射剂量

Table 2 The recommended acquisition time and the radiation exposure of three different doses of ¹⁸F-FDG for PET scan

Dose	Regular scan/ min	Fast scan/min	Radiation exposure/mSv
Full dose	0.5~2.0	0.5~1.0	~6 ^[20]
Half dose*	3~5	2~4	~1.83 ^[21]
1/10 dose	7~15	6~8	~0.419 ^[22]

*e.g., weight = 70 kg, effective dose = 0.014 1 mSv/MBq.

特殊情形下推荐的重建参数^[23]：患者体质指数（body mass index, BMI） $<29.9\text{ kg/m}^2$ ，3次迭代OSEM重建即可满足临床诊断需求。BMI $\geq 30\text{ kg/m}^2$ ，推荐使用贝叶斯惩罚似然重建算法（HYPER Iterative）， β 值为0.3~0.5，以确保一致的视觉图像质量和定量评估。

表3 CT的推荐重建参数

Table 3 The recommended reconstruction settings of CT

Setting	Diagnostic CT (body)	Diagnostic CT (head)
Slice thickness/mm	1	2
Slice increment/mm	1	2
Matrix	512 $\times$ 512	512 $\times$ 512
Horizontal FOV/mm	500	300

FOV: field of view.

2.5 设备质控 技术人员应熟悉设备性能，严格按照操作规范执行质控程序，确保设备工作状态正常。包括执行必要的日质控（如球管预热、PET无源校正等）和数据管理（如检查本地数据库及PET重建机剩余空间等）；执行包括PET有源校正、空气校正、系统重启等周质控。

3 挑战与展望

低剂量¹⁸F-FDG/⁶⁸Ga-DOTATATE双显像剂

TB PET/CT显像的联合应用，满足了临床诊疗所需，较常规PET/CT降低了放射性核素的辐射剂量，但没有改变诊断CT的辐射剂量。如果注射其中1种显像剂后采集静态图像，完成后保持体位不变，立即注射另1种显像剂，并连续动态采集60 min，期间只采集1次诊断CT，实现“一体化双显像剂TB PET/CT显像”^[24]，可以进一步降低辐射剂量，但是受检者需要静卧超过60 min，具有一定的挑战性，普适性欠佳。借助人工智能技术，基于首次CT检查的数据，对第2次PET图像进行衰减校正并提供诊断信息，有望给双显像剂或多显像剂的PET/CT临床实践带来更多契机。

伦理声明 无。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献 余浩军、顾宇参：共识执笔人，负责文献资料检索、共识撰写及修改；杨志、王瑞民、吴湖炳、赵新明、朱小华、程召平、樊卫、武志芳：共识专家组成员，提出具体的指导意见；李思进、石洪成：共识发起人，明确共识的框架和观点，共识修改及审核。

参考文献

- [1] RINDI G, METE O, UCCELLA S, et al. Overview of the 2022 WHO classification of neuroendocrine neoplasms[J]. Endocr Pathol, 2022, 33(1): 115-154.
- [2] 中国抗癌协会神经内分泌肿瘤专业委员会. 中国抗癌协会神经内分泌肿瘤诊治指南(2022年版)[J]. 中国癌症杂志, 2022, 32(6): 545-580.
The Society of Neuroendocrine Neoplasm of China Anti-Cancer Association. China Anti-Cancer Association guideline for diagnosis and treatment of neuroendocrine neoplasm (2022 edition)[J]. China Oncol, 2022, 32(6): 545-580.
- [3] PELLEGRINO F, GRANATA V, FUSCO R, et al. Diagnostic management of gastroenteropancreatic neuroendocrine neoplasms: technique optimization and tips and tricks for radiologists[J]. Tomography, 2023, 9(1): 217-246.
- [4] BASU S, SIROHI B, SHRIKHANDE S V. Dual tracer imaging approach in assessing tumor biology and heterogeneity in neuroendocrine tumors: its correlation with tumor proliferation index and possible multifaceted implications for personalized clinical management

- decisions, with focus on PRRT[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2014, 41(8): 1492-1496.
- [5] KAEWPUT C, VINJAMURI S. Role of combined ^{68}Ga dota-peptides and ^{18}F FDG PET/CT in the evaluation of gastroenteropancreatic neuroendocrine neoplasms[J]. *Diagnostics*, 2022, 12(2): 280.
- [6] 赵 帅, 程 超, 左长京. ^{68}Ga -SSA/ ^{18}F -FDG PET/CT 联合显像在神经内分泌肿瘤诊治中的应用价值[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2020, 40(1): 47-51.
- ZHAO S, CHENG C, ZUO C J. The clinical value of combined ^{68}Ga -SSA/ ^{18}F -FDG PET/CT imaging in neuroendocrine neoplasms[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2020, 40(1): 47-51.
- [7] 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.
- LIN Y, GAO H P, SHI H C. 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.
- [8] BADAWI R D, SHI H C, HU P C, et al. First human imaging studies with the EXPLORER total-body PET scanner[J]. *J Nucl Med*, 2019, 60(3): 299-303.
- [9] TAN H, CAI D J, SUI X L, et al. Investigating ultra-low-dose total-body [^{18}F]-FDG PET/CT in colorectal cancer: initial experience[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2022, 49(3): 1002-1011.
- [10] HU Y, LIU G B, YU H J, 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.
- [11] XIAO J, YU H J, SUI X L, et al. A personal acquisition time regimen of ^{68}Ga -DOTATATE total-body PET/CT in patients with neuroendocrine tumor (NET): a feasibility study[J]. *Cancer Imaging*, 2022, 22(1): 78.
- [12] 蔡丹杰, 石洪成. 全身PET/CT 临床研究的现况与展望[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2022, 42(1): 41-43.
- CAI D J, SHI H C. Total-body PET/CT current research and future perspectives[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2022, 42(1): 41-43.
- [13] 石洪成, 刘国兵, 张一秋. 全身PET/CT 临床应用探索[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2023.
- SHI H C, LIU G B, ZHANG Y Q. Total-body PET/CT: its prospective clinical applications[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2023.
- [14] BOELLAARD R, DELGADO-BOLTON R, OYEN W J, 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.
- [15] YU H J, GU Y S, 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.
- [16] HOPE T A, ALLEN-AUERBACH M, BODEI, et al. SNMMI procedure standard/EANM practice guideline for SSTR PET: imaging neuroendocrine tumors[J]. *J Nucl Med*, 2023, 64(2): 204-210.
- [17] Quantitative Imaging Biomarkers Alliance. UPICT V2.0, QIBA FDG-PET/CT imaging protocol [EB/OL]. [2024-05-14]. https://qibawiki.rsna.org/images/7/71/UPICT_Oncologic_FDG-PETCTProtocol_Dec-2014a.pdf.
- [18] 陈 跃, 霍 力, 兰晓莉, 等. ^{68}Ga -DOTA-生长抑素受体PET/CT 神经内分泌肿瘤显像操作指南[J]. *中国医学影像技术*, 2019, 35(9): 1281-1284.
- CHEN Y, HUO L, LAN X L, et al. Guideline of ^{68}Ga -DOTA-conjugated somatostatin receptor PET/CT imaging in neuroendocrine neoplasms[J]. *Chin J Med Imag Technol*, 2019, 35(9): 1281-1284.
- [19] BODEI, AMBROSINI V, HERRMANN K, et al. Current concepts in ^{68}Ga -DOTATATE imaging of neuroendocrine neoplasms: interpretation, biodistribution, dosimetry, and molecular strategies[J]. *J Nucl Med*, 2017, 58(11): 1718-1726.
- [20] VALI R, ALESSIO A, BALZA R, et al. SNMMI procedure standard/EANM practice guideline on pediatric ^{18}F -FDG PET/CT for oncology 1.0[J]. *J Nucl Med*, 2021, 62(1): 99-110.
- [21] HU P C, LIN X, ZHUO W H, et al. Internal dosimetry in F-18 FDG PET examinations based on long-time-measured organ activities using total-body PET/CT: does it make any difference from a short-time measurement?[J]. *EJNMMI Phys*, 2021, 8(1): 51.
- [22] LIU G B, HU P C, YU H J, 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.
- [23] SUI X L, TAN H, YU H J, et al. Exploration of the total-body PET/CT reconstruction protocol with ultra-low ^{18}F -FDG activity over a wide range of patient body mass indices[J]. *EJNMMI Phys*, 2022, 9(1): 17.
- [24] LIU G B, MAO W J, YU H J, 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.