

• 综述 •

^{18}F -氟代脱氧葡萄糖正电子发射计算机体层摄影-CT 在结核病诊治中的应用价值

胡玉敬 边艳珠

【摘要】 结核病是全球公认的重大公共卫生问题。目前,在结核病诊疗过程中仍面临常规影像学检查难以解决的问题。 ^{18}F -氟代脱氧葡萄糖正电子发射计算机体层摄影 CT(^{18}F -FDG PET/CT)是应用比较成熟的多模态显像,可同时显示解剖和代谢图像,有助于结核病的诊断,尤其在定位隐匿部位的结核病病灶方面优于常规影像学检查技术。另外,病灶的代谢情况能反映炎症细胞的活化程度, ^{18}F -FDG PET/CT 能客观判断结核分枝杆菌的稳定状态和病灶活动性。在抗结核治疗过程中, ^{18}F -FDG PET/CT 可先于常规影像学检测获得优于细菌学评估的早期治疗疗效。 ^{18}F -FDG PET/CT 实现了从代谢角度探讨结核病发生、发展及治疗的机制,提高治疗的安全性和个体化,对整合结核病的医学诊疗模式和治疗策略有重要的价值。笔者对 ^{18}F -FDG PET/CT 显像在结核病诊治中主要应用进行综述,以便进一步探索和挖掘其在结核病诊断和治疗中的潜能。

【关键词】 结核; 正电子发射断层显像术; 体层摄影术,X线计算机; 诊断显像

【中图分类号】 R52; R81

Application value of ^{18}F -FDG PET/CT in diagnosis and treatment of tuberculosis Hu Yujing, Bian Yanzhu.
Department of Nuclear Medicine, Hebei General Hospital, Shijiazhuang 050051, China
Corresponding author: Bian Yanzhu, Email: heyixue8144@126.com

【Abstract】 Tuberculosis is recognized as a major public health problem in the world. However, in the process of tuberculosis diagnosis and treatment, there are still many problems that are difficult to solve with conventional imaging. The uptake of ^{18}F -FDG PET/CT is a relatively widely used multimodal imaging, which can simultaneously display both the anatomical and the metabolic information of the lesion. It is helpful in the diagnosis of tuberculosis, especially in the location of concealed tuberculosis lesions, which is superior to conventional imaging. In addition, the metabolism of lesions can reflect the activation of inflammatory cells, and ^{18}F -FDG PET/CT can provide an objective assessment about the stable state of *Mycobacterium tuberculosis* and the activity of lesions. During the treatment of tuberculosis, ^{18}F -FDG PET/CT has better predictive value than conventional imaging in evaluating the early therapeutic effect. ^{18}F -FDG PET/CT can explore the mechanism of occurrence, development and treatment of tuberculosis from the metabolism perspective, improve the safety and individualization of treatment, and has important value in integrating the medical diagnosis and treatment strategy of tuberculosis. The main application of ^{18}F -FDG PET/CT imaging in the diagnosis and treatment of tuberculosis was reviewed in order to further explore and tap its potential in the diagnosis and treatment of tuberculosis.

【Key words】 Tuberculosis; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Diagnostic imaging

随着环境污染、艾滋病传播及新型冠状病毒感染流行,近两年来全球结核病发病率逐年增高,世界

卫生组织《2022 年全球结核病报告》显示,2021 年全球新发结核病患者 1060 万例,较 2020 年上升 3.6%,160 万例患者死于结核病,结核病仍是全球公认的重大公共卫生问题。我国是全球 30 个结核病高负担国家之一,发病率居全球第三位^[1]。但结核病的病原学确诊率及筛查率低,影像学表现复杂多样,常规影像学检查如胸部 X 线摄影、CT 扫描等难以实现早期诊断和查找隐匿感染灶。

正电子发射计算机体层摄影-CT(PET/CT)是



开放科学(资源服务)标识码(OSID)的开放科学计划以二维码为入口,提供丰富的线上扩展功能,包括作者对论文背景的语音介绍、该研究的附加说明、与读者的交互问答、拓展学术圈等。读者“扫一扫”此二维码即可获得上述增值服务。

doi:10.19982/j.issn.1000-6621.20220500

作者单位:河北省人民医院核医学科,石家庄 050051

通信作者:边艳珠,Email:heyixue8144@126.com

应用最成熟的多模态影像,能同时获得人体精细的解剖结构和组织代谢信息。 ^{18}F -氟代脱氧葡萄糖(^{18}F -fluorode-oxyglucose, ^{18}F -FDG)为非特异性显像剂,可被巨噬细胞、中性粒细胞等炎性细胞摄取,并且摄取程度与炎性病灶的活动性呈正相关^[2-3]。 ^{18}F -FDG PET/CT 在结核病的临床诊治中发挥着重要的作用,特别对于痰涂片阴性及肺外结核的定位方面效果更佳显著。笔者对 ^{18}F -FDG PET/CT 显像在结核病诊治中的主要应用进行综述,以便进一步探索和挖掘其在结核病诊断和治疗中的潜能。

一、在结核病诊断中的应用

结核病病灶由巨噬细胞和淋巴细胞等组成。这些细胞活化后需大量葡萄糖作为底物进行糖酵解提供能量。活化后的淋巴细胞摄取葡萄糖的能力是静止时的 20 倍。因此,病灶内巨噬细胞和淋巴细胞的活化程度及数量与 ^{18}F -FDG PET/CT 显示病灶的代谢程度呈正相关^[4-5]。

肺是结核病最常累及的器官,肺结核占结核病的 80%。根据 ^{18}F -FDG PET/CT 显示的结核病累及范围,将结核病分为两种类型:肺部病变为主型和淋巴病变为主型。肺部病变为主型结核病病灶主要局限于肺实质内,邻近肺门及纵隔淋巴结 ^{18}F -FDG 代谢轻至中度增高;而淋巴病变为主型结核病病灶分布范围广,常累及全身,当肺门及纵隔淋巴结受累时,淋巴结明显增大, ^{18}F -FDG 代谢程度明显高于肺部病变为主型的淋巴结^[6-7]。

活化后淋巴细胞和巨噬细胞所致代谢增高是非特异性的,难以单纯根据病灶高代谢与肺癌及其他类型肉芽肿相鉴别^[8-10],但通过 ^{18}F -FDG PET/CT 人工智能的影像组学、各种参数组合、不同显像方法等有利于鉴别结核病与恶性肿瘤。Hu 等^[11]应用 ^{18}F -FDG PET/CT 影像组学构建预测模型鉴别肺内孤立性肺结核和肺腺癌,结果显示,训练组和验证组中 PET/CT 影像组学模型应用受试者工作特征曲线(ROC 曲线)曲线下面积均高于 0.86,单纯依靠临床参数建立的临床模型 ROC 曲线下面积均小于 0.68,联合临床参数后建立的复杂模型 ROC 曲线下面积均高于 0.88。因此,基于 ^{18}F -PET/CT 的影像组学模型对鉴别孤立性肺腺癌与肺结核有重要

指导价值。古嘉媚等^[12]分析 64 例肺癌和 74 例肺结核患者的 PET/CT 图像,结果发现两类疾病病灶最大标准化摄取值(SUV_{max})无明显差别,但性别分布、病灶内有无放射性缺损、边缘光滑情况和分叶征差异均有统计学意义。因此,综合患者的性别分布、病灶的代谢分布、边缘特征有助于鉴别活动性肺结核与肺癌。赵军等^[13]研究肺癌和肺良性病变患者的双时相 ^{18}F -FDG PET/CT,结果显示,肺癌组显像病灶的标准化摄取值变化率(ΔSUV)为 $(54.59 \pm 28.96)\%$,良性组 ΔSUV 为 $(18.11 \pm 25.39)\%$,肺恶性病变组的 ΔSUV 略高于包括肺结核在内的良性病变组。

20%的结核病原发于肺外,常见的累及部位依次为淋巴、胸膜、骨骼、消化系统、泌尿系统。免疫功能低下或缺陷的患者,更易发生肺外感染^[14-16]。HIV 感染/AIDS 患者结核分枝杆菌感染率明显增高,且 $>50\%$ 为肺外结核,尤其是在免疫抑制晚期并发结核感染时死亡率高达 67%,是未感染者的 3 倍^[17-18]。风湿免疫疾病患者应用生物抑制剂治疗后感染结核分枝杆菌的风险也明显增加,其肺外结核的患病率是普通人群的 4 倍^[19-21]。

二、判断结核分枝杆菌的稳定状态及病灶的活动性

当实验室检查如 γ -干扰素释放试验、结核菌素皮肤试验(tuberculin skin test, TST)等提示存在结核分枝杆菌感染,但无活动性结核病的临床证据时,为结核分枝杆菌潜伏感染(latent tuberculosis infection, LTBI)。 ^{18}F -FDG PET/CT 代谢显像较常规影像在探测 LTBI 病灶方面有更高的敏感度,并可检出更多的肺外结核病灶。Stelzmueller 等^[22]报道 ^{18}F -FDG PET/CT 较 CT 扫描能检出更多可疑的结核病病灶,并且当 ^{18}F -FDG PET/CT 代谢显像与 CT 扫描解剖形态表现不一致时,两种显像可互补提高诊断效能。Maramattom 和 Santhamma^[23]分析 3 例结核性脑炎患者的 ^{18}F -FDG PET/CT 和增强 MRI,发现增强 MRI 仅显示邻近脑膜的信号异常,而 ^{18}F -FDG PET/CT 不仅显示脑膜高代谢,还能准确提示受累脑实质的部分和范围,显示的受累部位及范围明显优于 MRI。Ghesani 等^[24]对 5 例

LTBI 者行¹⁸F-FDG PET/CT 扫描,发现 4 例 LTBI 者肺门或纵隔淋巴结有异常高代谢,而 CT 扫描相应淋巴结大小、密度及形态无异常,提示可疑结核感染病灶;1 例 LTBI 者无异常¹⁸F-FDG 摄取,CT 扫描发现淋巴结钙化,提示既往结核感染;抗结核治疗后复查 PET/CT,发现肺门及纵隔淋巴结代谢恢复正常,说明¹⁸F-FDG PET/CT 能够早于常规影像学检查识别 LTBI 或活动性结核病灶。

LTBI 可通过自身免疫系统清除结核分枝杆菌而痊愈,也可最终发展为活动性结核病。这主要取决于结核分枝杆菌与患者免疫反应的动态平衡。约 5%~10% 的 LTBI 者可进展为活动性结核病,而 HIV 感染等免疫功能低的患者,进展为活动性结核病的概率剧增。因此,对于高危人群 LTBI 者应进行针对性的抗结核预防性治疗,而尽早准确识别此类人群尤为重要。但仅通过形态学难以判断结核病灶的活动性。

明确结核病灶的活动性对临床制定下一步诊疗措施非常重要。¹⁸F-FDG PET/CT 的代谢程度反映结核病灶细胞的活化情况,可用于评估结核病灶的活动性^[25]。吴立伟等^[26]将痰菌阴性肺结核病变组织病灶按 $SUV_{max} > 3$ 和 ≤ 3 分为代谢增高区域和代谢正常区域,采用酶联免疫吸附试验测定患者外周血浆中候选生物标志物的蛋白水平,结果显示,C1QB、CCL19、CCL5 和 HLA-DMB 的表达水平与痰菌阴性肺结核病变组织的代谢活性相关,且 SUV 增高组患者外周血浆中 C1QB 蛋白水平高于 CT 扫描无病灶组。Jeong 等^[27]纳入 63 例经胸部 CT 扫描诊断为陈旧性肺结核的患者进行研究,入组患者均行¹⁸F-FDG PET/CT 显像。结果显示, SUV_{max} 升高的陈旧性结核病灶进展为活动性结核病的可能性明显增高,并且 SUV_{max} 升高值与 TST 和 γ -干扰素释放试验阳性无关。因此,既往曾有结核分枝杆菌感染的患者 TST 和 γ -干扰素释放试验结果均不同程度升高,不能仅依靠 TST 和 γ -干扰素释放试验结果判断结核病的活动性。但是,PET/CT 的诊断效能受病灶大小的影响。研究显示,对于直径 < 1 cm 的病灶,PET/CT 诊断的准确率明显低于直径 ≥ 1 cm 的病灶。因此,对于直径 $<$

1 cm 的结核病病灶,应联合高分辨 CT 以提高诊断准确率^[28]。

对结核病痊愈后残留纤维瘢痕的患者行¹⁸F-FDG PET/CT 检查有利于发现瘢痕内潜在的活动性结核病灶。一项大样本回顾性研究分析 238 例行 PET/CT 的陈旧性结核病患者资料,其中,22 例复发;复发组病灶的 SUV_{max} 明显高于未复发组,以 2.15 为截断值,ROC 曲线下面积、敏感度、特异度分别为 0.980、90.5%、97.2%,显示出 PET/CT 对预测陈旧性结核病进展为活动性结核病有重要价值^[29]。因此,定期随访未经治疗的陈旧性结核病患者是必要的,如¹⁸F-FDG PET/CT 发现阳性病灶则提示进展为活动性结核病可能性大,临床应积极干预。

三、评估治疗疗效

80% 的肺结核患者可以通过连续的细菌学检查观察其治疗疗效,而 20% 细菌学阴性的肺结核及大多数肺外结核患者仅能通过临床症状或影像学检查判断疗效。但常规影像学检测(CT 扫描、X 线摄影等)的形态变化通常滞后于细菌学检测;而¹⁸F-FDG PET/CT 检测的代谢变化早于形态学变化,病灶 SUV_{max} 降低是抗结核药物治疗有效的指征^[30]。Chen 等^[31]应用 PET/CT 预测结核病患者治疗后早期疗效,结果显示,治疗 2 个月时¹⁸F-FDG PET/CT 预测治疗成功的敏感度和特异度分别为 96% 和 79%,而 CT 扫描要到治疗后 6 个月评估才能达到类似的效果,¹⁸F-FDG PET/CT 较 CT 扫描能更早期预测治疗疗效。Martinez 等^[32]发现 SUV_{max} 在治疗第 1 个月时下降是治疗好转的早期标志,并且有利于无细菌学检查支持而行诊断性抗结核治疗患者结核病的确诊。如发现 SUV_{max} 持续升高则提示治疗效果不佳、出现耐药或误诊等。另外,大多数结核病患者治疗有效后病灶缩小,但也有研究报道结核病经治疗后早期病变在短期内迅速增大^[33]。¹⁸F-FDG PET/CT 的 SUV_{max} 有助于识别治疗后假性进展, SUV_{max} 降低则提示抗结核治疗效果显著,反之,则提示治疗效果欠佳,需改变治疗方案。

Esmail 等^[34]研究 27 例应用抗结核预防性治疗的亚临床结核病患者,分别于治疗前及治疗后 6 个

月行¹⁸F-FDG PET/CT 显像检查,病变治疗有效率为 100%,27 例患者结核病灶代谢均较前明显降低。结核病治疗结束后残存病灶与机体持续的抗结核免疫反应有关,¹⁸F-FDG PET/CT 代谢变化在疗效评估中可发挥重要作用。另外,抗病毒治疗引起的免疫反应会加重结核病病灶内的炎性改变,导致¹⁸F-FDG PET/CT 出现假阳性^[35],故对于感染结核分枝杆菌的 HIV 感染/AIDS 患者需先行抗结核治疗,再行抗病毒治疗。因此,判读感染结核分枝杆菌的 HIV 感染/AIDS 患者的¹⁸F-FDG PET/CT 图像时应结合临床表现,明确 HIV 感染/AIDS 患者开始抗病毒治疗的时间,以便于准确解读图像。

四、总结

¹⁸F-FDG PET/CT 不仅在结核病诊断、肺外结核定位、疗效评估及结核分枝杆菌活动状态方面均具有重要的价值,还有助于在正常生理状态下监测结核病活动性变化的自然动态过程。¹⁸F-FDG PET/CT 将传统依靠解剖、细菌学认知结核病的模式转化到代谢模式,早于常规影像学检查获得优于细菌学检测的临床转归情况,实现了从代谢角度探讨结核病发生、发展及治疗的机制,以提高治疗方法的安全性和准确性。但由于¹⁸F-FDG PET/CT 设备和药物的成本较高,且¹⁸F-FDG 为非特异性显像剂,限制了其在临床的常规应用。随着设备和新型正电子药物(如⁶⁸Ga-FAPI)的发展,有利于提高 PET/CT 诊断结核病的特异性和准确性。另外, PET/CT 与其他影像学检查设备、检验技术进行多模态技术联合,建立对结核病在正常生理状态下的全方位的认识,探讨结核病发生、发展及治疗的机制,尤其对构建与整合结核病的医学诊疗和治疗策略具有重要的价值。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献 胡玉敬:文献查阅和文章撰写;边艳珠:文章审校

参 考 文 献

[1] World Health Organization. Global tuberculosis report 2022. Geneva: World Health Organization, 2022.

[2] 吴峰,华丛书,张朝东,等. 21 例疑诊为肺癌的新型隐球菌菌患者的临床探究. 中华胸心血管外科杂志, 2020, 36(6): 346-350. doi:10. 3760/cma. j. cn112434-20191011-00352.

[3] 杨珣,万自芬,饶珊珊,等. 肺腺癌误诊为淋巴瘤及淋巴结核病

1 例. 中国癌症防治杂志, 2020, 12(2): 237-238. doi:10. 3969/j. issn. 1674-5671. 2020. 02. 24.

[4] Reinfeld BI, Madden MZ, Wolf MM, et al. Cell-programmed nutrient partitioning in the tumour microenvironment. *Nature*, 2021, 593(7858): 282-288. doi:10. 1038/s41586-021-03442-1.

[5] 宋其生,路希维. 正电子发射计算机断层摄影-CT 在肺结核临床研究中的应用进展与展望. 中国防痨杂志, 2020, 42(6): 621-625. doi:10. 3969/j. issn. 1000-6621. 2020. 06. 015.

[6] 杨贵生,洪邓辉,陈子鑫,等. 肺外结核 77 例临床特点及¹⁸F-脱氧葡萄糖正电子发射断层摄影术/CT 影像特征分析. 实用医学影像杂志, 2022, 23(4): 360-364. doi: 10. 16106/j. cnki. cn14-1281/r. 2022. 04. 010.

[7] Soussan M, Brillet PY, Mekinian A, et al. Patterns of pulmonary tuberculosis on FDG-PET/CT. *Eur J Radiol*, 2012, 81(10): 2872-2876. doi:10. 1016/j. ejrad. 2011. 09. 002.

[8] Li Q, Li Y, Yuan H, et al. PET morphology helps distinguish solitary and solid pulmonary tuberculosis from non-small cell lung cancer. *Jpn J Radiol*, 2022, 10. doi:10. 1007/s11604-022-01351-5.

[9] 周俊,毛武剑,顾子参,等. ¹⁸F-FDG PET/CT 在局灶性机化性肺炎诊断中的应用. 中华核医学与分子影像杂志, 2020, 40(8): 464-469. doi:10. 3760/cma. j. cn321828-20191205-00287.

[10] Liao F, Huang Z, Xu R, et al. Analysis of misdiagnosis and ¹⁸F-FDG PET/CT findings of lymph node tuberculosis. *J Xray Sci Technol*, 2022, 30(5): 941-951. doi:10. 3233/XST-221195.

[11] Hu Y, Zhao X, Zhang J, et al. Value of ¹⁸F-FDG PET/CT radiomic features to distinguish solitary lung adenocarcinoma from tuberculosis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48(1): 231-240. doi:10. 1007/s00259-020-04924-6.

[12] 古嘉媚,任云燕,陈小慧,等. 肿块型活动性肺结核的¹⁸F-FDG PET/CT 影像表现及其与肺癌的鉴别. 南方医科大学学报, 2020, 40(1): 49-55. doi:10. 12122/j. issn. 1673-4254. 2020. 01. 08.

[13] 赵军,林祥通,管一晖,等. 双时相 PET 显像在肺良恶性病变鉴别诊断中的应用. 中华核医学杂志, 2003, 23(1): 8-10. doi:10. 3760/cma. j. issn. 0253-9780. 2003. 01. 002.

[14] 徐建平,张旭,褚洁,等. 移植肾结核超声表现及相关文献复习. 中华医学超声杂志(电子版), 2020, 17(2): 178-180. doi:10. 3877/cma. j. issn. 1672-6448. 2020. 02. 0017.

[15] 曹瑛,马天丽,李俊,等. 慢阻肺合并肺结核患者免疫功能、凝血功能与肺功能相关因子水平和临床意义. 江苏预防医学, 2021, 32(2): 163-166. doi:10. 13668/j. issn. 1006-9070. 2021. 02. 012.

[16] 高丽,庞学文,万莹,等. 天津市综合医疗机构在四种高危人群中开展结核病确诊相关检查现况调查. 中国防痨杂志, 2022, 44(4): 397-402. doi:10. 19982/j. issn. 1000-6621. 20220018.

[17] 李运葵,何金戈,苏茜,等. 结核病症状筛查在四川省布拖县 HIV 感染/AIDS 患者中发现结核患者的价值. 中国防痨杂志, 2020, 42(9): 937-941. doi:10. 3969/j. issn. 1000-6621. 2020. 09. 010.

[18] 饶立歆,肖筱,陈静,等. 结核病与艾滋病低流行地区 MTB/HIV 双重感染患者发现模式的效果评价. 中国防痨杂志, 2021, 43(3): 240-247. doi:10. 3969/j. issn. 1000-6621. 2021. 03. 009.

[19] Long W, Cai F, Wang X, et al. High risk of activation of latent tuberculosis infection in rheumatic disease patients. *Infect Dis (Lond)*, 2020, 52(2): 80-86. doi:10. 1080/23744235. 2019. 1682187.

[20] 唐果,龙丽,韩雅欣,等. 类风湿关节炎合并结核感染的临床特点及相关因素. 北京大学学报(医学版), 2020, 52(6): 1029-1033. doi:10. 19723/j. issn. 1671-167X. 2020. 06. 007.

[21] Pettipher C, Benitha R. Tuberculosis in biologic users for rheumatic diseases: results from the South African Biologics Registry (SABIO). *Ann Rheum Dis*, 2020, 79(2): 292-299. doi:10. 1136/annrheumdis-2019-216128.

- [22] Stelzmueller I, Huber H, Wunn R, et al. ^{18}F -FDG PET/CT in the Initial Assessment and for Follow-up in Patients With Tuberculosis. *Clin Nucl Med*, 2016, 41 (4):e187-94. doi:10.1097/RLU.0000000000001102.
- [23] Maramattom BV, Santhamma SGN. Tuberculous Encephalitis May Be Undetectable on Magnetic Resonance Imaging but Detectable on ^{18}F -Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography-Computed Tomography. *Am J Trop Med Hyg*, 2021, 105(4):1031-1037. doi:10.4269/ajtmh.21-0288.
- [24] Ghesani N, Patrawalla A, Lardizabal A, et al. Increased cellular activity in thoracic lymph nodes in early human latent tuberculosis infection. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014, 189 (6):748-750. doi:10.1164/rccm.201311-1976LE.
- [25] 李多,吕平欣. 正电子发射计算机断层显像-CT 在肺结核活动性评价中的价值. *中国防痨杂志*, 2022, 44(4):409-411. doi:10.19982/j.issn.1000-6621.20210712.
- [26] 吴立伟,王琳,温子禄,等. 基于正电子发射断层显像和转录组学对痰菌阴性肺结核病变组织的活动性生物标志物筛选和初步验证. *中华结核和呼吸杂志*, 2022, 45(6):567-572. doi:10.3760/cma.j.cn112147-20211207-00864.
- [27] Jeong Y, Paeng J, Nam H, et al. (18)F-FDG positron emission tomography/computed tomography findings of radiographic lesions suggesting old healed tuberculosis. *J Korean Med Sci*, 2014, 29(3):386-391. doi:10.3346/jkms.2014.29.3.386.
- [28] 郭玲玲,卢其玲,邵明岩,等. PET-CT 联合 HRCT 扫描对不同大小孤立性肺结节良恶性鉴别的临床价值. *江西医药*, 2018, 53(11):1197-1199, 1218. doi:10.3969/j.issn.1006-2238.2018.11.003.
- [29] Ji Y, Shao C, Cui Y, et al. ^{18}F -FDG Positron Emission Tomography/Computed Tomography Findings of Radiographic Lesions Suggesting Old Healed Pulmonary Tuberculosis and High-risk Signs of Predicting Recurrence: A Retrospective Study. *Sci Rep*, 2019, 9(1):12582. doi:10.1038/s41598-019-49057-5.
- [30] Sood A, Mittal B, Modi M, et al. ^{18}F -FDG PET/CT in Tuberculosis: Can Interim PET/CT Predict the Clinical Outcome of the Patients? *Clin Nucl Med*, 2020, 45(4):276-282. doi:10.1097/RLU.0000000000002968.
- [31] Chen R, Dodd L, Lee M, et al. PET/CT imaging correlates with treatment outcome in patients with multidrug-resistant tuberculosis. *Sci Transl Med*, 2014, 6(265):265ra166. doi:10.1126/scitranslmed.3009501.
- [32] Martinez V, Castilla-Lievre M, Guillet-Caruba C, et al. ^{18}F -FDG PET/CT in tuberculosis: an early non-invasive marker of therapeutic response. *Int J Tuberc Lung Dis*, 2012, 16(9):1180-1185. doi:10.5588/ijtld.12.0010.
- [33] Park I, Ryu J, Shim T, et al. Evaluation of therapeutic response of tuberculoma using F-18 FDG positron emission tomography. *Clin Nucl Med*, 2008, 33(1):1-3. doi:10.1097/RLU.0b013e31815c5128.
- [34] Esmail H, Lai R, Lesosky M, et al. Characterization of progressive HIV-associated tuberculosis using 2-deoxy-2-[F] fluoro-D-glucose positron emission and computed tomography. *Nat Med*, 2016, 22(10):1090-1093. doi:10.1038/nm.4161.
- [35] French M. HIV/AIDS; immune reconstitution inflammatory syndrome: a reappraisal. *Clin Infect Dis*, 2009, 48(1):101-107. doi:10.1086/595006.

(收稿日期:2022-12-20)

(本文编辑:于菲 李敬文)