

doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2019.07.027

View this article at: http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2095-6959.2019.07.027

^{18}F -FDG-PET/CT 在肺结核诊断及疗效评估中的应用

王毅翔

(香港中文大学医学院影像及介入放射科, 香港 999077)

[摘要] 结核病仍为目前世界上传染病死亡的第一诱因。人体对结核分枝杆菌的免疫反应可导致非常不同的临床表现, 因此临床和影像学评估常常有困难。 ^{18}F 标记脱氧葡萄糖(flucose-18 fluorodeoxyglucose, ^{18}F -FDG)正电子发射断层扫描(positron emission tomography, PET)/CT可以进行全身成像并提供感染病变的代谢图, 从而有效地评估疾病严重程度。 ^{18}F -FDG-PET/CT扫描尤其适用于检出未知部位的结核感染, 为选择最合适的活检部位提供指导。 ^{18}F -FDG-PET/CT在评估结核病变对治疗的早期反应也非常有用, 这点尤其在无法获得常规微生物学检查结果的患者以及耐药结核或肺外结核病的疗效评估特别有帮助。值得注意的是, 结核患者临床治愈后及部分陈旧肺结核病灶仍然可以表现 ^{18}F -FDG摄取增高, 但这些代谢活跃的部位不一定代表活动性疾病, 更可能是反映宿主免疫反应与结核菌复制之间的平衡, 但也同时代表结核病发展的风险增加。另外, ^{18}F -FDG-PET/CT常常不能可靠地区分活动性结核病变与恶性肿瘤, 且其他感染或炎症状况也可以引起类似的 ^{18}F -FDG-PET高摄取。 ^{18}F -FDG-PET也无法区分淋巴结结核和淋巴结转移性肿瘤。缺乏特异性是 ^{18}F -FDG-PET/CT临床应用中的一个缺陷, 因此在解释 ^{18}F -FDG-PET/CT结果时必须密切参考其他临床资料。

[关键词] 结核; ^{18}F 标记脱氧葡萄糖; 治疗反应; 正电子发射断层扫描

Clinical application of ^{18}F -FDG-PET/CT for tuberculosis evaluation and therapeutic monitoring

WANG Yixiang

(Department of Imaging and Interventional Radiology, Faculty of Medicine, Chinese University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China)

Abstract Tuberculosis (TB) is currently the world's leading cause of infectious mortality. The complex immune response of the human body to mycobacterium tuberculosis results in a wide array of clinical manifestations, thus the clinical and radiological diagnosis are challenging. ^{18}F -FDG-PET/CT images the whole body and provides a metabolic map of the infection, enabling clinicians to assess the disease burden. ^{18}F -FDG-PET/CT scan is particularly useful in detecting the disease in previously unknown sites, and allows the most appropriate site of biopsy to be selected. ^{18}F -FDG-PET/CT is also very valuable in assessing early disease response to therapy, and play an important role in cases where conventional microbiological methods are unavailable and for monitoring response to therapy in cases

收稿日期 (Date of reception): 2019-05-28

通信作者 (Corresponding author): 王毅翔, Email: yixiang_wang@cuhk.edu.hk

of undecided treatment duration such as multidrug-resistant TB or in extrapulmonary TB. High ¹⁸F-FDG uptake focus can also be seen in clinically cured patients and in old fibrotic scarring. Thus, high uptake of ¹⁸F-FDG by PET may both represent ongoing active disease, or simply the host immune system activity that will ultimately prevail. ¹⁸F-FDG-PET/CT cannot reliably differentiate active TB lesion from malignant lesions and false positives can also be due to other infective or inflammatory conditions. ¹⁸F-FDG PET is also unable to distinguish tuberculous lymphadenitis from metastatic lymph node involvement. The lack of specificity is a limitation for ¹⁸F-FDG-PET/CT in TB management. The interpretation of ¹⁸F-FDG-PET finding must be carefully correlated with clinical data.

Keywords tuberculosis; fluorine-18 fluorodeoxyglucose; treatment response; positron emission tomography and computed tomography

结核分枝杆菌生长相对缓慢，可以在患者体内严酷环境中处于静止状态存活。人类个体暴露于结核菌后，20%~25%会被感染。世界上四分之一的人口潜伏有结核菌感染，3%~5%的受感染者在其一生中会发展为活动性结核病^[1]。超过80%的结核病例为肺部病变，而约20%的病例发生肺外结核，但在免疫抑制人群例如艾滋病患者中，超过50%的病例可发生肺外结核^[2]。结核病可通过淋巴、血源或直接从感染病灶扩展传播。活动性结核病的表现可以非常多样化，可能从无症状到如结核性脑膜炎危及生命。早期准确诊断结核病及早期治疗对于最大限度地阻断发病率和病死率以及降低疾病传播非常重要。

活动性结核病灶中有激活的巨噬细胞和淋巴细胞，因而葡萄糖利用水平较高。¹⁸F标记脱氧葡萄糖(flurine-18 fluorodeoxyglucose, ¹⁸F-FDG)摄取反映细胞内糖酵解，在结核、其他肉芽肿炎症、肿瘤细胞中均增高。¹⁸F-FDG摄取速率一般以标准摄取值(standardized uptake value, SUV)表示，由区域¹⁸F-FDG放射性浓度除以注射总剂量并接受试者体重加以调整。结核病灶对于¹⁸F-FDG的高摄取是¹⁸F-FDG-PET用于结核成像的基础。¹⁸F-FDG高摄取与疾病活动程度有较高的相关性，但结核病灶的SUV_{max}(¹⁸F-FDG示踪剂给药后的最大SUV)也取决于若干其他因素，如宿主免疫状态、有无其他并发临床疾病、结核菌亚组特点等。¹⁸F-FDG-PET/CT在结核患者的临床处理中可以发挥非常重要的作用，对于痰培养阴性及肺外结核的患者尤其如此^[3-5]。缺乏特异性是¹⁸F-FDG-PET/CT应用的一个限制，因此解释¹⁸F-FDG-PET/CT扫描结果时必须参考其他临床信息。本文描述结核病患者

临床处理应用¹⁸F-FDG-PET/CT的最新认识。

1 ¹⁸F-FDG-PET/CT 用于肺结核

基于¹⁸F-FDG-PET/CT的表现，Soussan等^[6]提出结核病可以分为两种模式：肺部病变为主的模式和淋巴病变为主的模式。肺部病变为主的模式一般感染比较局限，病变主要在肺实质，纵隔及肺门淋巴结可稍增大并呈现¹⁸F-FDG中度摄取。淋巴病变为主的模式表现为全身性感染，患者往往有全身性淋巴病灶，结核胸外受累常见，纵隔肺门淋巴结增大更加明显，且有更高的¹⁸F-FDG摄取。结核性胸膜炎引起的胸膜腔¹⁸F-FDG高摄取在某些患者可是结核病的唯一表现。

明确胸片或者CT上显示的肺结核瘤是否有活动性结核对于选择治疗方案有重要意义。这方面基于胸片或者CT的形态学表现常常难以判断，而¹⁸F-FDG-PET/CT可有诊断价值。Kim等^[7]报道双时间点成像¹⁸F-FDG-PET/CT能够区分活动性肺结核瘤和非活动性肺结核瘤。与非活动性肺结核瘤相比，活动性肺结核瘤在1 h和2 h扫描具有更高的SUV_{max}，并且从早期到晚期的SUV_{max}增加幅度更大，其中%ΔSUV_{max}(SUV_{max}的百分比变化)是判断结核瘤活动性的有效预测因子^[7]。

然而，¹⁸F-FDG在炎症和恶性肿瘤中都可以非特异性凝集，结核病灶和恶性肿瘤的SUV测量结果可以互相重叠。现在一般认为¹⁸F-FDG-PET/CT不能可靠地区分结核病和恶性肿瘤^[8-10]。Goo等^[8]发现连续10例肺结核瘤患者中有9例的平均峰值SUV为4.2±2.2。Satheke等^[10]报道双时间点¹⁸F-FDG-PET/CT的SUV测量无法区分肉芽肿性病变与恶性肿瘤。

2 ^{18}F -FDG-PET/CT 用于肺外结核

虽然肺结核是结核病最常见的部位, 结核病可通过血源性或淋巴传播或邻接传播到身体的任何组织或器官。最常见的肺外结核部位包括淋巴结、胸膜、肌肉骨骼、胃肠道和泌尿生殖道等。在免疫受到抑制的患者比如艾滋病患者, 结核感染发展和发生肺外结核的风险都会增加。虽然通常建议通过微生物学和组织学确定诊断和明确结核活动性, ^{18}F -FDG-PET/CT可有助于早期诊断。 ^{18}F -FDG-PET可以比CT检测到更多的肺外结核病变。 ^{18}F -FDG-PET/CT对检出多病灶受累特别有用, 而其中一些部位例如骨骼结核或胰腺结核等可能不适合多次活检。Stelzmueller等^[11]报道了 ^{18}F -FDG-PET比CT发现更多的可疑病灶, 且在一些患者中, CT提示的形态学改变与 ^{18}F -FDG-PET提示组织高代谢并不完全一致, 因此两者提供的信息互相补充。

肌肉骨骼结核常常累及脊柱。未能及时识别和治疗这些部位的结核可能导致严重的并发症, 例如椎体塌陷和脊髓压迫。在脊柱结核的评估中 ^{18}F -FDG-PET的优越性包括病变检测的高灵敏度以及图像质量不受金属伪影影响等。

肺外结核的常见部位包括淋巴结, 而一些淋巴结结核可能在CT扫描中遗漏而被 ^{18}F -FDG-PET检出^[1]。但是 ^{18}F -FDG-PET/CT区分结核淋巴结受累及淋巴结肿瘤转移常常比较困难。另外艾滋病引起的淋巴结炎也可以表现为高摄取, 难以与结核淋巴结区分^[12]。此外, 在一些炎症性淋巴结病变, 比如结节病、弓形虫病和非特异性淋巴结炎等, 也可以表现为淋巴结 ^{18}F -FDG高摄取。

3 ^{18}F -FDG-PET/CT 用于亚临床结核感染

结核病可以表现为一系列的感染状态, 从潜伏感染到亚临床阶段以及活动性疾病出现症状。人群筛查和流行病学调查发现小部分无症状受试者中有结核病影像学表现或者痰培养发现阳性结核菌^[13]。结核菌感染后在某些个体中通过免疫反应可以完全消除感染, 而在其他个体中一些结核杆菌以非复制形式长期存在为静止感染^[14-16], 另外一小部分患者中免疫反应使结核杆菌在亚临床水平上保持复制, 而在部分其他患者中结核菌感染后产生活动性炎症和临床症状。

结核杆菌限制于肉芽肿内可以引起无症状的潜伏结核感染(latent TB infection, LTBI)。LTBI不

是细菌完全停滞于静止状态, 而是细菌和免疫的动态平衡状态。小鼠模型中观察到LTBI时细菌亚群持续复制, 尽管细菌群体的数量保持稳定^[17]。此外, 结核杆菌也可能在LTBI时期累积遗传突变^[18]。因此LTBI是新发疾病和结核菌传播的源泉之一。结核病流行地区台湾和韩国的2项研究^[19-20]提示: 接受全身 ^{18}F -FDG-PET扫描的一小部分“正常”受试者纵隔淋巴结中的 ^{18}F -FDG摄取增加。LTBI状态可能持续到个体的整个生命过程或通过重新激活感染而进展为活动性结核, 终生风险为5%~10%^[21]。艾滋病导致LTBI患者进展为活动性疾病的数量急剧增加^[3,5]。

对于LTBI患者, 建议对发生活动性疾病的高风险者进行针对性预防性治疗^[22], 其选择方法是单独异烟肼治疗9个月^[23], 因此能够识别具有进展风险的LTBI非常重要。Esmail等^[24]报道了一项涉及35例无症状、无抗病毒治疗史的LTBI同时并发HIV感染的成人病例, ^{18}F -FDG-PET/CT扫描研究发现10例患者有肺部异常, 提示亚临床结核并有可能进展到临床活动性疾病状态; 这10名亚临床活动性患者的结核痰培养、胸部X线片和结核症状筛查均为阴性, 但同时PET/CT显示浸润和/或纤维化瘢痕或活动性结节, 并更可能有纵隔淋巴结 ^{18}F -FDG高摄取。而其余25例肺实质正常或仅有细小离散结节及未显示亚临床结核证据。有或没有亚临床结核依据的受试者临床表现没有显著差异^[24]。此外, Ghesani等^[25]报道了5例无症状、胸片正常而QuantiFERON金检测阳性的病例。5例均无肺部 ^{18}F -FDG异常摄取, 而4例纵隔淋巴结有 ^{18}F -FDG-PET异常摄取, 但是这些淋巴结均没有达到形态学的增大标准。1例没有 ^{18}F -FDG摄取的患者在CT上发现钙化肺肉芽肿和钙化肺门淋巴结。在异烟肼预防治疗期间这些纵隔和肺门淋巴结的 ^{18}F -FDG异常摄取消退^[25]。

4 按临床标准治愈结核的 ^{18}F -FDG-PET/CT 表现

目前尚没有绝对治愈并消除结核的方法。标准治疗期6个月是按照可接受的治疗失败率和停止药物治疗后可接受的疾病复发率来确定的^[26]。在肺结核药物治疗达到痰培养阴性后, 结核菌仍然可能在肺组织中持续存活多年。Malherbe等^[27]报道了一项包含113例HIV阴性的结核病患者的南非和韩国的合作研究, 该研究在抗结核药物治疗之前、期间和之后不同时间点进行了 ^{18}F -FDG-

PET/CT扫描。在治疗结束后,该研究发现已经达到临床治愈的一部分患者可以表现有不同程度的¹⁸F-FDG摄取。一些患者治疗前的高代谢病变在治疗结束后完全消退。在另外一些患者大多数病变消退,但是少数病灶仍然可见稍高于背景参考标准的¹⁸F-FDG摄取。而再有一些患者,虽然达到并维持了临床治愈标准,一些病变比治疗前扫描摄取¹⁸F-FDG更强烈或者出现新的高摄取病变。无论药物敏感或者耐药、持续痰培养阴性、或临床治愈,结核治疗结束时或者治疗结束1年以后,都可以看到这些动态改变。新的结核病变可能是源自于不同结核病病灶的不同治疗反应及病灶中结核亚群的变化。这些发现对解释治疗结束时¹⁸F-FDG扫描的结果提出了挑战。存活的结核菌即使在临床治愈性治疗后也常常持续存在,而且可以引发宿主反应导致¹⁸F-FDG高摄取。

愈合的陈旧肺结核病通常在胸部X线片和CT上显示为纤维化及瘢痕结节,而且这些表现通常在临床治愈后持续存在很长时间。有报道^[28]提示有纤维化瘢痕的LTBI个体再发生活动性结核的风险增高高达15倍。Jeong等^[29]报道了一项研究涉及63名放射学检查显示陈旧性愈合肺结核的患者,其中9名患者在陈旧愈合病变发现¹⁸F-FDG高摄取,其SUV_{max}为1.5或更高^[29]。这些代谢活跃的部位不一定代表活动性疾病,更可能反映宿主免疫反应与结核菌复制之间的平衡,但也同时代表活动性结核病发展的风险增加。

上述证据表明,在解释治疗结束时的¹⁸F-FDG-PET/CT扫描结果时,必须密切参考临床资料。¹⁸F-FDG的高摄取既可能代表持续的活动性疾病,也可能代表宿主免疫活动而且这些免疫活动会最后限制结核的发展。

5 ¹⁸F-FDG-PET/CT 用于评估结核疗效

结核菌生长缓慢,需要较长时间的治疗,这使得治疗可能由于依从性不好而失败。根据WHO指南,无耐药的单纯肺结核或淋巴结结核的标准治疗时间为6个月,复发率小于5%^[30],而肺外结核的治疗时间并不统一。早期评估治疗效果是结核临床处理中关键的一环,这对于没有细菌学诊断证据的患者以及多药耐药(multidrug resistance, MDR)或广泛耐药(extensive drug resistance, XDR)的结核病患者尤为重要。对细菌学阳性的结核病患者,治疗反应观察主要通过连续细菌学检查,而通常通过临床或影像学观察初始细菌学阴性的

结核患者的治疗反应。高达20%的肺结核患者初始细菌学可为阴性,大多数肺外结核患者也无法获得用于细菌学诊断的液体。¹⁸F-FDG-PET/CT可以在结核病X线及CT特征发生改变以前早期评估抗结核治疗反应^[1,31-32]。在一项包含28名多药耐药患者的研究中,Chen等^[33]报道一些影像学指标可以比传统的痰微生物学更敏感地较早期区分治疗成功或不成功,其结果显示¹⁸F-FDG-PET/CT是早期预测治疗结果和长期预后的最佳方法,治疗开始2个月时¹⁸F-FDG-PET/CT预测治疗成功率的敏感性为96%,预测治疗失败的特异性为79%。CT也可以达到类似的预测率,但需要到6个月的扫描才能达到^[33]。

Martinez等^[34]报道了¹⁸F-FDG-PET/CT用于21例HIV阴性的结核病患者治疗评估。他们提出治疗第1个月SUV_{max}降低是病变改善的早期标志,而且对于无细胞学结果的病例可以验证结核病的诊断。如果治疗过程中,重复PET/CT发现SUV_{max}较高,则应考虑缺乏依从性、耐药性或误诊的可能性。Stelzmueller等^[11]报道了35例包括肺结核及肺外结核的患者,在平均治疗16.1个月后,15例患者持续存在病变¹⁸F-FDG摄取,而4例患者出现进展性病变;¹⁸F-FDG-PET和CT在初始评估和随访期间提供了相互补充的信息。Lefebvre等^[35]报道,在18例淋巴结结核患者中,¹⁸F-FDG PET/CT正确识别了9例患者的治愈(治疗后PET扫描无¹⁸F-FDG摄取)和2例患者的治疗失败。应该注意的是,由于测量误差的可能性,SUV_{max}变化量小于20%~25%可能在临床上并没有意义^[36]。

一些没有空洞的肺结核瘤患者可能没有临床症状而且痰培养阴性。虽然大多数肺结核瘤在抗结核治疗期间甚至治疗后变小,但也可以观察到治疗早期的一过性增大^[37-38]。使用¹⁸F-FDG-PET/CT成像可能有助于这些病例的处理。如果病变显示¹⁸F-FDG摄取减少,抗结核治疗可能对结核瘤有效;而如果¹⁸F-FDG PET/CT显示病变摄取增加,则可能需要考虑改变治疗方案。

同时患有结核与艾滋病的患者可能抗结核治疗在先,然后开始抗病毒治疗。抗病毒治疗诱发的免疫反应可能导致结核病灶的炎症反应加重,这在¹⁸F-FDG-PET/CT上可能被误读为抗结核治疗反应效果欠佳^[3,39]。对于这样的情况需仔细了解开始抗病毒治疗的时间,以正确解释用于评估抗结核治疗的¹⁸F-FDG-PET/CT图像。另外需要注意的是,结核病淋巴结对¹⁸F-FDG的摄取在艾滋病病毒感染者可明显高于无艾滋病的结核患者^[40]。

因此, ^{18}F -FDG-PET/CT不仅是一种有用的临床工具, 还有助于了解结核的病理生理学和结核感染的自然动态过程。 ^{18}F -FDG-PET/CT在结核分期、肺外结核定位、识别亚临床结核患者及评估早期治疗反应方面具有重要价值。然而, ^{18}F -FDG-PET/CT成本高并且涉及辐射暴露, 而且对于定性病变诊断常常缺乏特异性, 因此并非所有结核患者均需要使用这个检查。尽管其作用日益增大, 但 ^{18}F -FDG-PET/CT在结核病诊疗中的临床应用指南尚未制定。

参考文献

- World Health Organization. Tuberculosis[EB/OL]. [2019-05-22]. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/tuberculosis>.
- Ramírez-Lapausa M, Menéndez-Saldaña A, Noguerado-Asensio A. Extrapulmonary tuberculosis: an overview[J]. *Rev Esp Sanid Penit*, 2015, 17: 3-11.
- Ankrah AO, Glaudemans AWJM, Maes A, et al. Tuberculosis[J]. *Semin Nucl Med*, 2018, 48: 108-130.
- Vorster M, Sathekge MM, Bomanji J. Advances in imaging of tuberculosis: the role of ^{18}F -FDG PET and PET/CT[J]. *Curr Opin Pulm Med*, 2014, 20: 287-293.
- Ankrah AO, van der Werf TS, de Vries EF, et al. PET/CT imaging of mycobacterium tuberculosis infection[J]. *Clin Transl Imaging*, 2016, 4: 131-144.
- Soussan M, Brillet PY, Mekinian A, et al. Patterns of pulmonary tuberculosis on FDG-PET/CT[J]. *Eur J Radiol*, 2012, 81: 2872-2876.
- Kim IJ, Lee JS, Kim SJ, et al. Double-phase ^{18}F -FDG PET-CT for determination of pulmonary tuberculoma activity[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2008, 35: 808-814.
- Goo JM, Im JG, Do KH, et al. Pulmonary tuberculoma evaluated by means of FDG PET: Findings in 10 cases[J]. *Radiology*, 2000, 216: 117-121.
- Sathekge M, Maes A, Kgomomo M, et al. Impact of FDG PET on the management of TBC treatment. A pilot study[J]. *Nuklearmedizin*, 2010, 49: 35-40.
- Sathekge MM, Maes A, Pottel H, et al. Dual time-point FDG PET-CT for differentiating benign from malignant solitary pulmonary nodules in a TB endemic area[J]. *S Afr Med J*, 2010, 100: 598-601.
- 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[J]. *Clin Nucl Med*, 2016, 41: e187-e194.
- Ankrah AO, Glaudemans AW, Klein HC, et al. The role of nuclear medicine in the staging and management of human immune deficiency virus infection and associated diseases[J]. *Nucl Med Mol Imaging*, 2017, 51: 127-139.
- Salgame P, Geadas C, Collins L, et al. Latent tuberculosis infection--Revisiting and revising concepts[J]. *Tuberculosis (Edinb)*, 2015, 95: 373-384.
- Barry CE 3rd, Boshoff HI, Dartois V, et al. The spectrum of latent tuberculosis: rethinking the biology and intervention strategies[J]. *Nat Rev Microbiol*, 2009, 7: 845-855.
- Lin PL, Flynn JL. Understanding latent tuberculosis: a moving target[J]. *J Immunol*, 2010, 185: 15-22.
- Via LE, Schimel D, Weiner DM, et al. Infection dynamics and response to chemotherapy in a rabbit model of tuberculosis using ^{18}F -2-fluoro-deoxy-D-glucose positron emission tomography and computed tomography[J]. *Antimicrob Agents Chemother*, 2012, 56(8): 4391.
- Gill WP, Harik NS, Whiddon MR, et al. A replication clock for mycobacterium tuberculosis[J]. *Nat Med*, 2009, 15: 211-214.
- Ford CB, Lin PL, Chase MR, et al. Use of whole genome sequencing to estimate the mutation rate of Mycobacterium tuberculosis during latent infection[J]. *Nat Genet*, 2011, 43: 482-486.
- Kwan A, Seltzer M, Czernin J, et al. Characterization of hilar lymph node by ^{18}F -fluoro-2-deoxyglucose positron emission tomography in healthy subjects[J]. *Anticancer Res*, 2001, 21(1B): 701e6.
- Kim DW, Kim CG. Dual-time point positron emission tomography findings of benign mediastinal lymph nodes in a tuberculosis-endemic region[J]. *Jpn J Radiol*, 2011, 29(10): 682-687.
- Kumar A, Farhana A, Guidry L, et al. Redox homeostasis in mycobacteria: the key to tuberculosis control?[J]. *Expert Rev Mol Med*, 2011, 13: e39.
- Sterling TR, Villarino ME, Borisov AS, et al. Three months of rifapentine and isoniazid for latent tuberculosis infection[J]. *N Engl J Med*, 2011, 365: 2155-2166.
- Latent tuberculosis infection: a guide for primary health care providers[EB/OL]. [2019-05-22]. <https://www.cdc.gov/tb/publications/ltbi/treatment.htm>.
- Esmail H, Lai RP, Lesosky M, et al. Characterization of progressive HIV-associated tuberculosis using, 2-deoxy-2- ^{18}F -fluoro-D-glucose positron emission and computed tomography[J]. *Nat Med*, 2016, 22: 1090-1093.
- Ghesani N, Patrawalla A, Lardizabal A, et al. Increased cellular activity in thoracic lymph nodes in early human latent tuberculosis infection[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2014, 189: 748-750.
- Cox HS, Morrow M, Deutschmann PW. Long term efficacy of DOTS regimens for tuberculosis: systematic review[J]. *BMJ*, 2008, 336: 484-487.
- Malherbe ST, Shenai S, Ronacher K, et al. Persisting positron emission tomography lesion activity and Mycobacterium tuberculosis mRNA

- after tuberculosis cure[J]. Nat Med, 2016, 22: 1094-1100.
28. Steinbrück P, Dánková D, Edwards LB, et al. Tuberculosis risk in persons with “fibrotic” X-ray lesions[J]. Bull Int Union Tuberc, 1972, 47: 135-159.
29. Jeong YJ, Paeng JC, Nam HY, et al. 18F-FDG positron-emission tomography/computed tomography findings of radiographic lesions suggesting old healed tuberculosis[J]. J Korean Med Sci, 2014, 29: 386-391.
30. World Health Organization. Treatment of tuberculosis guidelines[EB/OL]. [2015-10-11]. <https://www.who.int/tb/publications/2010/9789241547833/en/>.
31. Sathekge MM, Ankrah AO, Lawal I, et al. Monitoring response to therapy[J]. Semin Nucl Med, 2018, 48: 166-181.
32. Coleman MT, Chen RY, Lee M, et al. PET/CT imaging reveals a therapeutic response to oxazolidinones in macaques and humans with tuberculosis[J]. Sci Transl Med, 2014, 6: 265ra167.
33. Chen RY, Dodd LE, Lee M, et al. PET/CT imaging correlates with treatment outcome in patients with multidrug-resistant tuberculosis[J]. Sci Transl Med, 2014, 6: 265ra166.
34. Martinez V, Castilla-Lievre MA, Guillet-Caruba C, et al. 18F-FDG PET/CT in tuberculosis: an early non-invasive marker of therapeutic response[J]. Int J Tuberc Lung Dis, 2012, 16: 1180-1185.
35. Lefebvre N, Argemi X, Meyer N, et al. Clinical usefulness of 18F-FDG PET/CT for initial staging and assessment of treatment efficacy in patients with lymph node tuberculosis[J]. Nucl Med Biol, 2017, 50: 17-24.
36. Wahl RL, Jacene H, Kasamon Y, et al. From RECIST to PERCIST: Evolving considerations for PET response criteria in solid tumors[J]. J Nucl Med, 2009, 50(Suppl 1): 122S-150S.
37. Lee HS, Oh JY, Lee JH, et al. Response of pulmonary tuberculomas to anti-tuberculous treatment[J]. Eur Respir J, 2004, 23: 452-455.
38. Park IN, Ryu JS, Shim TS: Evaluation of therapeutic response of tuberculoma using F-18FDG positron emission tomography[J]. Clin Nucl Med, 2008, 33: 1-3.
39. French MA. HIV/AIDS: immune reconstitution inflammatory syndrome: a reappraisal[J]. Clin Infect Dis, 2009, 48: 101-107.
40. Sathekge M, Maes A, Kgomo M, et al. FDG uptake in lymph-nodes of HIV+ and tuberculosis patients: implications for cancer staging[J]. QJ Nucl Med Mol Imaging, 2010, 54: 698-703.

本文引用: 王毅翔. ¹⁸F-FDG-PET/CT在肺结核诊断及疗效评估中的应用[J]. 临床与病理杂志, 2019, 39(7): 1542-1547. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2019.07.027

Cite this article as: WANG Yixiang. Clinical application of ¹⁸F-FDG-PET/CT for tuberculosis evaluation and therapeutic monitoring[J]. Journal of Clinical and Pathological Research, 2019, 39(7): 1542-1547. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2019.07.027