

## FDG PET-CT 在食管癌放化疗中的应用

顾飞英 蒋晨雪 许亚萍

310022 杭州,浙江省肿瘤医院放疗科 浙江省胸部肿瘤(肺、食管)诊治技术研究重点实验室(顾飞英、许亚萍);325035 温州医科大学第一临床医学院(蒋晨雪)

通信作者:许亚萍,Email:xuyp@zjcc.org.cn

DOI:10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2017.08.024

**【摘要】** 食管癌是最常见的消化道恶性肿瘤之一,放化疗是食管癌多学科综合治疗的重要组成部分。近年来,18 氟脱氧葡萄糖正电子发射断层显像/X 线计算机体层成像技术(<sup>18</sup>FDG PET-CT)被广泛用于食管癌放疗肿瘤靶区的确定、放疗后期局部加量及新辅助放化疗病理缓解率、根治性放化疗疗效及预后预测等各方面。现就<sup>18</sup>FDG PET-CT 在食管癌放化疗中的应用作一综述。

**【关键词】** 体层摄影术,正电子发射型; 氟脱氧葡萄糖; 食管肿瘤/放化疗法

**Application of FDG PET-CT in chemoradiotherapy for esophageal cancer** Gu Feiying, Jiang Chenxue, Xu Yaping

Department of Radiation Oncology, Zhejiang Cancer Hospital, Hangzhou 310022, China (Gu FY, Xu YP); First Clinical Medical School, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325035, China (Jiang CX)

Corresponding author: Xu Yaping, Email: xuyp@zjcc.org.cn

**【Abstract】** Esophageal cancer is one of the most common gastrointestinal cancers, and chemoradiotherapy is an important part of the multidisciplinary treatment for this disease. In recent years, <sup>18</sup>F fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography (FDG PET-CT) is widely used in esophageal cancer for delineation of gross tumor volume, local boost irradiation in the late stage of radiotherapy, and assessment of the pathologic remission rate after neoadjuvant chemoradiotherapy, response to definitive chemoradiotherapy, and prognosis. In this article, we review the application of FDG PET-CT in the chemoradiotherapy for esophageal cancer.

**【Key words】** Tomography, positron, emission; Fluorine-deoxyglucose; Esophageal neoplasms/chemoradiotherapy

食管癌是最常见的消化道恶性肿瘤之一,据《2015 中国癌症统计》报道<sup>[1]</sup>,我国食管癌发病率已跃居全国恶性肿瘤发病第 3 位,死亡居第 4 位。食管癌总体预后较差,5 年生存率仅 15%~25%<sup>[2]</sup>。手术、放疗及化疗等相结合的多学科综合治疗是食管癌的主要治疗模式;随着放疗技术的发展,放化疗在食管癌治疗中扮演着越来越重要的角色。<sup>18</sup>FDG PET-CT 可以将解剖学结构和功能代谢信息有机融合,近年来被广泛用于肿瘤诊断、分期等方面。随着放疗精度要求的增高和精准医疗模式的提出,<sup>18</sup>FDG PET-CT 开始被用于肿瘤放疗计划的制定和对放化疗疗效的评估等方面,在食管癌中,也有不少学者做了研究,现就<sup>18</sup>FDG PET-CT 在食管癌放化疗中的应用作一综述。

一、PET-CT 在食管癌放疗计划制定中的应用

1. 肿瘤靶区确定:在<sup>18</sup>FDG PET-CT 检查中一般 SUV > 2.5 考虑为恶性肿瘤,SUV 值越高恶性程度越高。基于该特性,PET-CT 被用于确定肿瘤范围,从而指导 GTV 勾画。食管癌 GTV 包括原发病灶及转移淋巴结。于金明院士团队研

究了食管镜、钡餐、CT 以及 PET-CT 所示食管癌病变长度与大体标本的相关性,共 32 例患者入组,发现实际病变长度与 PET-CT 最为接近,其中 PET-CT 所示长度由经验医师参考 SUV、FDG 分布特点、CT 提示及临床资料等综合分析后确定<sup>[3]</sup>。Zhong 等<sup>[4]</sup>分别用目测法、SUV<sub>2.5</sub> 以及 40% SUV<sub>max</sub> 对 36 例患者病变长度进行测量,并与术后病理进行比较,发现当 SUV 为 2.5 时显示的病灶长度最为接近在体肿瘤长度;Han 等<sup>[5]</sup>的研究得到了类似结果,合适的 SUV 值为 2.5。以上研究肯定了 PET-CT 在确定食管癌原发病灶 GTV 中存在作用,但样本量小,具体勾画方式并不统一,是否选择 SUV 为 2.5 作为勾画阈值尚需进一步研究。

CT 对于食管癌转移淋巴结的阳性判定标准存在较大争议。多项研究表明 PET-CT 诊断食管癌转移淋巴结的敏感性和特异性均高于 CT<sup>[6-7]</sup>。近期一项 Meta 分析显示 PET-CT 诊断转移淋巴结的敏感性和特异性分别为 55% (95%CI 为 34%~74%) 和 76% (95%CI 为 66%~83%)<sup>[8]</sup>。Wang 等<sup>[9]</sup>对 PET-CT 诊断食管癌淋巴结转移与病理结果进行了比较

研究,手术共清扫了 846 个淋巴结,其中 154 个恶性,当 SUV 阈值分别为 2.5、5.0 时,PET-CT 检出恶性淋巴结分别为 201、173 个,各自的敏感性、特异性、精确性分别为 69.48%、92.71%、83.33% 和 87.66%、94.51%、93.26%,认为  $^{18}\text{F}$ FDG PET-CT 对于诊断食管癌淋巴结转移具有较高的精确性,且 SUV 阈值选择 5.0 较合适,值得在临床推荐。

当然,也有学者认为 PET-CT 用于食管癌 GTV 勾画的价值是有限的。郭延变等<sup>[10]</sup>基于 PET-CT 图像 SUV 阈值  $\geq 2$  及 20% $\text{SUV}_{\text{max}}$  和 4DCT 图像勾画胸段食管癌原发肿瘤 GTV 的相关性分析显示,基于 PET-CT 图像构建的内在 GTV 并不能客观真实反映肿瘤空间位置变化及运动信息,而且单一数值的 SUV 阈值选取也不可靠。Muijs 等<sup>[11]</sup>对 50 项 PET-CT 用于食管癌放疗计划制定的相关研究进行了系统性回顾,认为 PET-CT 虽然可以确定大部分原发肿瘤,但支持靶区勾画有效性依据是有限的,只有 3 项研究发现 PET-CT 为基础的病变长度与病理长度明显相关,而且没有研究表明 PET-CT 用于靶区勾画可以改善 LC 和生存。该研究团队之后进行相关前瞻性研究同样显示虽然 PET-CT 改变了 GTV,但并未降低肿瘤局部区域复发<sup>[12]</sup>。

总之,目前来说, $^{18}\text{F}$ FDG PET-CT 在食管癌 GTV 勾画中的应用没有统一意见,尤其是显像阈值的选择没有公论数据,PET-CT 可以提供生物信息有助于靶区勾画,但如何利用该检查真正提高放疗的精准性和有效性还有待于更深入的研究。

2. 基于 PET-CT 的局部加量:根治性化疗是局晚期或无法手术食管癌患者的标准治疗。食管癌根治性化疗后大约一半患者会出现局部复发,其中 90% 的局部复发发生在 GTV<sup>[13]</sup>。这预示着肿瘤局部剂量不足,但临床实践中往往因 OAR 安全性限制了放疗剂量提高,有学者期望通过  $^{18}\text{F}$ FDG PET-CT 对肿瘤局部区域加量。

Calais 等<sup>[14]</sup>发现食管癌放疗前 FDG 高摄取区域存在更高复发风险,建议将 60% $\text{SUV}_{\text{max}}$  区域作为局部加量的肿瘤亚靶体积。Yu 等<sup>[15]</sup>通过同步加量技术对 25 例食管癌患者放疗前 50% $\text{SUV}_{\text{max}}$  区域进行剂量爬坡研究,加量区剂量可安全递增至 70 Gy,患者急性不良反应耐受良好,随访 8.9 个月,1 年生存率和 LC 率分别为 69.2% 和 77.4%。傅小龙团队进行了一项观察放疗前和放疗中 2 次 PET-CT 所显示的食管原发灶  $^{18}\text{F}$ FDG 高摄取区域空间位置关系的前瞻性研究,发现治疗前后虽然原发灶高代谢区域体积变化很大,但空间位置保持相对稳定,原发灶残留的  $^{18}\text{F}$ FDG 高摄取区域仍然较稳定的落在治疗前原发灶 GTV 及治疗前 PET 上所显示的  $^{18}\text{F}$ FDG 高摄取区域内,提示依据治疗前 PET 图像来选择性对食管癌原发灶部分区域进行局部加量放疗是可行的<sup>[16]</sup>。Nkhali 等<sup>[17]</sup>对 10 例食管鳞癌患者在放疗前和治疗第 21 天行  $^{18}\text{F}$ FDG PET-CT 检查,当接受 66 Gy 照射时,与基线 PET-CT 相比,基于治疗期间 PET-CT 的中位 PTV 明显减小 [ $108\text{ cm}^3$  (62.5~194.0) :  $156\text{ cm}^3$  (68.8~251.0),  $P=0.02$ ], 脊髓  $D_{\text{max}}$  为 44.1 Gy (40.8~44.9) : 44.7 Gy (41.5~45.0),  $P=0.007$  和肺  $V_{20}$  为 23.2% (17.3~27.0) : 26.8% (19.7~

30.2) ( $P=0.006$ ) 也受到了更好保护。

总之,从上述研究中不难发现  $^{18}\text{F}$ FDG PET-CT 在食管癌局部区域加量中存在价值,但具体实施方式有待于研究,如同步推量放疗还是放疗期间再次 PET-CT 检查修正靶区,再次检查时机的选择,加量区 SUV 阈值的选择等。

## 二、评估新辅助放疗化疗疗效

CROSS 研究的发表使新辅助放疗化疗成为食管癌研究热点,但对于新辅助治疗疗效的判定目前还没有十分可靠有效的方法。鉴于 PET-CT 的生物学特性,有不少研究尝试应用  $^{18}\text{F}$ FDG PET-CT 来评估食管癌新辅助放疗化疗疗效。Van 等<sup>[18]</sup>的前瞻性研究发现食管癌新辅助放疗化疗后病理缓解和未缓解组在治疗开始 2 周后  $\text{SUV}_{\text{max}}$  的下降率方面存在明显差异 (30.9% : 1.7%,  $P=0.001$ )。Huang 等<sup>[19]</sup>也认为治疗前后病灶  $\text{SUV}_{\text{max}}$  的变化情况可以作为评估新辅助放疗化疗疗效的工具,当  $\text{SUV}_{\text{max}}$  下降  $>60\%$  时预示 OS 更长。Kukar 等<sup>[20]</sup>对 77 例食管腺癌患者新辅助放疗化疗前后 PET-CT 特征变化与病理完全缓解之间的相关性进行了回顾性研究,病理完全缓解组与未完全缓解组在治疗前平均  $\text{SUV}_{\text{max}}$ 、治疗前后  $\text{SUV}_{\text{max}}$  变化方面有明显差异;其中  $\text{SUV}_{\text{max}}$  减少  $<45\%$  预示肿瘤残留,阳性预测率为 91.7% (95%CI 为 73%~79%,  $P<0.05$ )。Tani 等<sup>[21]</sup>发现与与新辅助放疗化疗后病理应答明显相关的因素有治疗后  $\text{SUV}_{\text{max}}$  ( $P=0.070$ ) 和肿瘤代谢体积 (metabolic tumour volume, MTV) ( $P=0.014$ ),治疗前后  $\text{SUV}_{\text{max}}$  下降率 ( $P=0.017$ ) 和 MTV 下降率 ( $P=0.003$ ),其中 ROC 曲线分析显示原发肿瘤 MTV 下降率是最好的预测因子。另一项最新研究<sup>[22]</sup>利用参数  $\text{SUV}_{\text{max}}$ 、MTV 和病灶糖酵解总量 (total lesion glycolysis, TLG) 来评估食管腺癌新辅助放疗化疗疗效,当各自下降 23.5%、25.5%、44.8% 作为截断值时,其预测病理完全缓解的敏感性和特异性分别为 100% 和 52.6%、80.0% 和 76.3%、100% 和 65.8%,且生存分析显示三者的下降幅度与长期生存呈正相关。

当然,用 PET-CT 预测病理缓解方面也存在不少阴性结果研究。Piessen 等<sup>[23]</sup>对 60 例食管癌放疗前后行 PET-CT 检查未发现 SUV 值或变化程度与病理缓解及长期生存之间的相关性。Stiekema 等<sup>[24]</sup>的研究显示新辅助放疗化疗前后食管癌主要病灶的  $\text{SUV}_{\text{max}}$ 、MTV 和 TLG 在肿瘤退缩明显和退缩轻微患者之间有差异,但在病理完全缓解和未完全缓解患者之间差异不大。在胃食管交界部腺癌中同样没有发现  $\text{SUV}_{\text{max}}$  或  $\text{SUV}_{\text{max}}$  的变化与病理完全缓解、肿瘤退缩分级或  $R_0$  切除相关<sup>[25]</sup>。一项来自韩国的最新研究显示行新辅助治疗的食管癌患者,术前原发肿瘤和区域淋巴结  $\text{SUV}_{\text{max}}$  与病理 N 分期无关,区域淋巴结  $\text{SUV}_{\text{max}}$  与淋巴结病理情况也无相关性<sup>[26]</sup>。这跟未行新辅助治疗患者有所区别,因此作者认为用 PET-CT 来评估新辅助治疗后淋巴结状态需谨慎,尤其对于后续手术等治疗手段的选择要结合其他各种因素。

总之, $^{18}\text{F}$ FDG PET-CT 用于评估新辅助放疗化疗疗效的价值并不明确,各研究病理缓解的定义存在差异,进行 PET-CT 检查的时机也不尽相同,最常选择的评估参数为治疗前后

SUV<sub>max</sub> 下降率,但是阈值各不相同,都需进一步研究来规范和明确。

### 三、在预后预测中的意义

根治性放化疗前行 PET-CT 检查除了用于明确诊断和分期外,还用来研究评估预后。一项<sup>18</sup>F-FDG PET-CT 预测食管鳞癌患者根治性放化疗 LC 率的研究显示<sup>[27]</sup>,治疗前 MTV>16.08 ml 是肿瘤 LC 率的预测因子,预示 3 年 LC 率相对较低 ( $P=0.017$ ,  $RR=1.608$ ,  $95\%CI$  为 1.090~2.371)。Atsumi 等<sup>[28]</sup> 研究显示治疗前 SUV<sub>max</sub> 对 56 例根治性放化疗食管癌患者的预后具有预测价值, SUV<sub>max</sub> ≥ 10 的患者 2 年 OS 率 41%, PFS 率 19%, LC 率 39%, 都明显低于 SUV<sub>max</sub> < 10 的患者 (对应数据分别为 100%、73% 和 71%,  $P$  分别为 0.001、0.000、0.048)。一项评估原发肿瘤和转移淋巴结 SUV<sub>max</sub> 与食管癌患者预后相关性研究中有 107 例患者入组,原发肿瘤和转移淋巴结的平均 SUV<sub>max</sub> 分别为 19.3±8.8 和 10.4±9.1,其中转移淋巴结的 SUV<sub>max</sub> 与生存存在相关性 ( $P=0.014$ )<sup>[29]</sup>。谢彦婷等<sup>[30]</sup> 对 55 例行 PET-CT 放疗定位的食管癌患者进行回顾性研究,发现 SUV<sub>max</sub>、MTV、TLG、PTL (取肿瘤矢状面和冠状面长径中的较大值) 低值组 (SUV<sub>max</sub> < 11.4、MTV < 8.27 cm<sup>3</sup>、TLG < 35.21、PTL < 5.8 cm) 有更好的预后 ( $P=0.002$ 、0.021、0.044、0.000)。

也有学者通过再次或多次 PET-CT 检查来寻找更加精确的预测方法。Cuenca 等<sup>[31]</sup> 的一项研究中有 59 例食管癌患者在放化疗前及放疗剂量至 20 Gy 时行<sup>18</sup>F-FDG PET-CT 检查,两者平均 SUV 分别为 12.3±6.2 和 6.0±4.1 ( $P<0.001$ ); 用 SUV 下降 50% 来预测生存的敏感性和特异性分别为 0.70 和 0.58; 多因素分析显示 SUV 下降度与 2 年生存率明显相关 ( $P=0.009$ ); 认为可以通过早期 SUV 下降情况来预测放化疗疗效。Vera 等<sup>[32]</sup> 也认为早期代谢改变如 FDG 摄取值的变化等可以提供预后信息。除了 SUV 外, MTV 也是研究较多的参数。Seol 和 Lee<sup>[33]</sup> 对同步放化疗食管癌患者在放疗至 40 Gy 时再次行 PET-CT 检查,发现 MTV 下降 50% 是临床完全缓解的有效预测因子 ( $P=0.016$ )。而 Li 等<sup>[34]</sup> 进行了一项关于相继四次<sup>18</sup>F-FDG PET-CT 检查在食管鳞癌放化疗中作用的回顾性研究,共 160 例患者入组,分别在放化疗前 (PET-1)、放疗剂量至 50 Gy (PET-2)、放疗结束 (PET-3) 以及放疗结束 1 个月 (PET-4) 时行 PET-CT 检查,发现与 PET-1 和 PET-2 相比, PET-3 和 PET-4 的 SUV<sub>max</sub> 下降度对 OS 有预测价值, AUC 为 0.62 至 0.73 之间 ( $P<0.01$ ); 治疗前 MTV 和 TLG 也可用来预测 OS, AUC 均为 0.69 ( $P<0.001$ )。

总之,虽然<sup>18</sup>F-FDG PET-CT 用于评估根治性放化疗疗效和预后的研究很多,但大多为回顾性研究,样本量小,参数种类多样,阈值不一,需要探索的空间很大,期望通过找到相关参数对患者进行危险分层,从而制订个体化治疗方案以改善预后。

### 四、小结

与常规检查手段相比,<sup>18</sup>F-FDG PET-CT 存在生物学优势,除了用于靶区勾画、放疗后期局部加量外,也被用于新辅助放

化疗病理缓解率、根治性放化疗疗效及预后预测等方面。然而,目前大多数研究均为小样本量的回顾性研究,参数总类繁多,没有达成统一认识;因此,作为食管癌高发国家,十分有必要进行<sup>18</sup>F-FDG PET-CT 在食管癌中应用的前瞻性研究。

### 参 考 文 献

- [1] Chen WQ, Zheng RS, Baade PD, et al. Cancer statistics in China, 2015 [J]. CA Cancer J Clin, 2016, 66(2): 115-132. DOI: 10.3322/caac.21338.
- [2] Pennathur A, Gibson MK, Jobe BA, et al. Oesophageal carcinoma [J]. Lancet, 2013, 381(9864): 400-412. DOI: 10.1016/s0140-6736(12)60643-6.
- [3] 袁双虎, 于金明, 于甬华, 等. <sup>18</sup>F-脱氧葡萄糖 PET-CT 检测食管癌病变长度的临床价值 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2006, 15(5): 389-392. DOI: 10.3760/j.issn:1004-4221.2006.05.009. Yuan SH, Yu JM, Yu YH, et al. The clinical value of <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose PET-CT detection of lesion of esophageal carcinoma [J]. Chin J Radiat Oncol, 2006, 15(5): 389-392.
- [4] Zhong XJ, Yu JM, Zhang BJ, et al. Using <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography to estimate the length of gross tumor in patients with squamous cell carcinoma of the esophagus [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 73(1): 136-141. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2008.04.015.
- [5] Han D, Yu JM, Yu YH, et al. Comparison of <sup>18</sup>F-fluorothymidine and <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose PET/CT in delineating gross tumor volume by optimal threshold in patients with squamous cell carcinoma of thoracic esophagus [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 76(4): 1235-1241. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2009.07.1681.
- [6] Yu W, Fu XL, Zhang YJ, et al. A prospective evaluation of staging and target volume definition of lymph nodes by <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in patients with squamous cell carcinoma of thoracic esophagus [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 81(5): e759-e765. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2010.10.065.
- [7] Karashima R, Watanabe M, Imamura Y, et al. Advantages of FDG-PET/CT over CT alone in the preoperative assessment of lymph node metastasis in patients with esophageal cancer [J]. Surg Today, 2015, 45(4): 471-477. DOI: 10.1007/s00595-014-0965-6.
- [8] Shi WD, Wang WC, Wang J, et al. Meta-analysis of <sup>18</sup>F-FDG PET-CT for nodal staging in patients with esophageal cancer [J]. Surg Oncol, 2013, 22(2): 112-116. DOI: 10.1016/j.suronc.2013.02.003.
- [9] Wang GM, Liu DF, Xu YP, et al. PET/CT imaging in diagnosing lymph node metastasis of esophageal carcinoma and its comparison with pathological findings [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2016, 20(8): 1495-1500.
- [10] 郭延雯, 李建彬, 李奉祥, 等. 基于 PET-CT 的 SUV 值与基于 4DCT 的 EE 时相勾画胸段食管癌 GTV 相关性分析 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2015, 24(2): 121-125. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2015.02.005. Guo YL, Li JB, Li FX, et al. Correlation analysis between SUV value and 4DCT based EE delineation of thoracic esophageal carcinoma based on PET-CT and GTV [J]. Chin J Radiat Oncol, 2015, 24(2): 121-125. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2015.02.005.
- [11] Muijs CT, Beukema JC, Pruijm J, et al. A systematic review on the role of FDG-PET/CT in tumour delineation and radiotherapy planning in patients with esophageal cancer [J]. Radiother Oncol, 2010, 97(2): 165-171. DOI: 10.1016/j.radonc.2010.04.024.
- [12] Muijs CT, Beukema JC, Woutersen D, et al. Clinical validation of FDG-PET/CT in the radiation treatment planning for patients with oesophageal cancer [J]. Radiother Oncol, 2014, 113(2): 188-192. DOI: 10.1016/j.radonc.2014.10.016.
- [13] Welsh J, Settle SH, Amini A, et al. Failure patterns in patients with esophageal cancer treated with definitive chemoradiation [J].

- Cancer, 2012, 118(10):2632-2640. DOI: 10.1002/cncr.26586.
- [14] Calais J, Dubray B, Nkhali L, et al. High FDG uptake areas on pre-radiotherapy PET/CT identify preferential sites of local relapse after chemoradiotherapy for locally advanced oesophageal cancer [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2015, 42(6):858-867. DOI: 10.1007/s00259-015-3004-y.
- [15] Yu W, Cai XW, Liu Q, et al. Safety of dose escalation by simultaneous integrated boosting radiation dose within the primary tumor guided by <sup>18</sup>F-FDG-PET/CT for esophageal cancer [J]. *Radiother Oncol*, 2015, 114(2):195-200. DOI: 10.1016/j.radonc.2014.12.007.
- [16] 刘琪, 余雯, 蔡旭伟, 等. PET-CT 用于评价食管鳞癌放疗中 <sup>18</sup>F-FDG 高摄取区域的空间动态变化的前瞻性研究 [J]. *中国癌症杂志*, 2016, 26(2):161-167. DOI: 10.3969/j.issn.1007-3969.2016.02.008.
- Liu Q, Yu W, Cai XW, et al. PET-CT was used to evaluate the spatial dynamic changes of <sup>18</sup>F-FDG high uptake areas in radiotherapy for esophageal squamous cell carcinoma [J]. *Chin Oncol*, 2016, 26(2):161-167. DOI: 10.3969/j.issn.1007-3969.2016.02.008.
- [17] Nkhali L, Thureau S, Edet-Sanson A, et al. FDG-PET/CT during concomitant chemo radiotherapy for esophageal cancer: reducing target volumes to deliver higher radiotherapy doses [J]. *Acta Oncol*, 2015, 54(6):909-915. DOI: 10.3109/0284186X.2014.973062.
- [18] Van Heijl M, Omloo JM, Van Berge Henegouwen MI, et al. Fluorodeoxyglucose positron emission tomography for evaluating early response during neoadjuvant chemoradiotherapy in patients with potentially curable esophageal cancer [J]. *Ann Surg*, 2011, 253(1):56-63. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3181f66596.
- [19] Huang JW, Yeh HL, Hsu CP, et al. To evaluate the treatment response of locally advanced esophageal cancer after preoperative chemoradiotherapy by FDG-PET/CT scan [J]. *J Chin Med Assoc*, 2015, 78(4):229-234. DOI: 10.1016/j.jcma.2014.11.003.
- [20] Kukar M, Alnaji RM, Jabi F, et al. Role of repeat <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography examination in predicting pathologic response following neoadjuvant chemoradiotherapy for esophageal adenocarcinoma [J]. *JAMA Surg*, 2015, 150(6):555-562. DOI: 10.1001/jamasurg.2014.3867.
- [21] Tani Y, Nakajima M, Kikuchi M, et al. <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography for evaluating the response to neoadjuvant chemotherapy in advanced esophageal cancer [J]. *Anticancer Res*, 2016, 36(1):367-373.
- [22] Kim SJ, Koo PJ, Chang S. Predictive value of repeated F-18 FDG PET/CT parameters changes during preoperative chemoradiotherapy to predict pathologic response and overall survival in locally advanced esophageal adenocarcinoma patients [J]. *Cancer Chemother Pharmacol*, 2016, 77(4):723-731. DOI: 10.1007/s00280-016-2988-8.
- [23] Piessen G, Petyt G, Duhamel A, et al. Ineffectiveness of <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in the evaluation of tumor response after completion of neoadjuvant chemoradiation in esophageal cancer [J]. *Ann Surg*, 2013, 258(1):66-76. DOI: 10.1097/SLA.0b013e31828676c4.
- [24] Stiekema J, Vermeulen D, Vegt E, et al. Detecting interval metastases and response assessment using <sup>18</sup>F-FDG PET/CT after neoadjuvant chemoradiotherapy for esophageal cancer [J]. *Clin Nucl Med*, 2014, 39(10):862-867. DOI: 10.1097/RLU.0000000000000517.
- [25] Elliott JA, O'Farrell NJ, King S, et al. Value of CT-PET after neoadjuvant chemoradiation in the prediction of histological tumour regression, nodal status and survival in oesophageal adenocarcinoma [J]. *Br J Surg*, 2014, 101(13):1702-1711. DOI: 10.1002/bjs.9670.
- [26] Park JK, Kim JJ, Moon SW. A study about different findings of PET-CT between neoadjuvant and non-neoadjuvant therapy: SUV<sub>max</sub> is not a reliable predictor of lymphatic involvement after neoadjuvant therapy for esophageal cancer [J]. *J Thorac Dis*, 2016, 8(5):784-794. DOI: 10.21037/jtd.2016.03.20.
- [27] Liu Q, Fu XL, Yu W, et al. Potential values of metabolic tumor volume and heterogeneity measured with <sup>18</sup>F-FDG PET/CT pretreatment to evaluate local control for esophageal squamous cell carcinoma treated with nonsurgical therapy [J]. *Nucl Med Commun*, 2015, 36(5):423-429. DOI: 10.1097/MNM.0000000000000267.
- [28] Atsumi K, Nakamura K, Abe K, et al. Prediction of outcome with FDG-PET in definitive chemoradiotherapy for esophageal cancer [J]. *J Radiat Res*, 2013, 54(5):890-898. DOI: 10.1093/jrr/rrt021.
- [29] Vatankulu B, Sanl Y, Kaytan Saglam E, et al. Does metastatic lymph node SUV<sub>max</sub> predict survival in patients with esophageal cancer? [J]. *Mol Imaging Radionucl Ther*, 2015, 24(3):120-127. DOI: 10.4274/mirt.36744.
- [30] 谢彦婷, 郑容, 吴宁, 等. 疗前 FDG PET-CT 代谢参数与食管癌放疗预后关系初步研究 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2016, 25(5):452-456. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2016.05.007.
- Xie YT, Zheng R, Wu N, et al. Preliminary study of the relationship between metabolic parameters of FDG and PET-CT before radiotherapy and prognosis of radiotherapy for esophageal carcinoma [J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2016, 25(5):452-456. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2016.05.007.
- [31] Cuenca X, Hennequin C, Hindié E, et al. Evaluation of early response to concomitant chemoradiotherapy by interim <sup>18</sup>F-FDG PET/CT imaging in patients with locally advanced oesophageal carcinomas [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2013, 40(4):477-485. DOI: 10.1007/s00259-012-2325-3.
- [32] Vera P, Dubray B, Palie O, et al. Monitoring tumour response during chemo-radiotherapy: a parametric method using FDG-PET/CT images in patients with oesophageal cancer [J]. *EJNMMI Res*, 2014, 4(1):12. DOI: 10.1186/2191-219X-4-12.
- [33] Seol KH, Lee JE. PET/CT planning during chemoradiotherapy for esophageal cancer [J]. *Radiat Oncol J*, 2014, 32(1):31-42. DOI: 10.3857/roj.2014.32.1.31.
- [34] Li YM, Lin Q, Luo ZM, et al. Value of sequential <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography (FDG PET/CT) in prediction of the overall survival of esophageal cancer patients treated with chemoradiotherapy [J]. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8(7):10947-10955.

(收稿日期:2016-08-10)