

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2024.12.001

文章编号: 1005-8982 (2024) 12-0001-05

食管癌专题·论著

PET/CT与CT在食管癌精确放射治疗 靶区勾画中的应用研究*

巴尔夏古丽·扎比胡拉, 陆艳荣

[新疆医科大学第三临床医学院(新疆医科大学附属肿瘤医院)胸腹放疗科,
新疆 乌鲁木齐 830011]

摘要: 目的 探究PET/CT与CT在食管癌精确放射治疗(以下简称放疗)靶区勾画中的应用效果。**方法** 采用分层抽样法选取2020年5月—2022年5月在新疆医科大学第三临床医学院放射治疗中心进行食管癌治疗的初治患者40例为研究对象。随机将患者分为对照组与研究组,各20例。对照组采用常规CT进行扫描,研究组采用PET/CT进行扫描,两组均为同一医师操作,医师根据同一固定体位下的CT扫描图像和PET/CT融合图像分别勾画靶区及其危及器官。对比2种成像数据下的临床靶区体积(GTV)和计划靶区体积(PTV)。以95%PTV为规定剂量60 Gy 30次,对比两组影像上的靶区受照剂量,双肺分别照射10 Gy(V_{10})、20 Gy(V_{20})、30 Gy(V_{30})和平均剂量(MLD);以30 Gy的容积(V_{30})照射心脏,同时照射脊髓和气管。**结果** 与对照组相比,研究组勾画的GTV和PTV体积小($P < 0.05$)。研究组GTV Dmean、PTV Dmean均低于对照组($P < 0.05$)。研究组肺 V_{10} 、肺 V_{20} 、肺 V_{30} 、肺MLD、心脏 V_{30} 、脊髓、气管受量均低于对照组($P < 0.05$)。**结论** PET/CT比单纯CT勾画靶区具有更好地针对性和清晰度,可提高靶区定位精度,改善靶区体积及损伤器官受照剂量,对完善我国公共卫生重大疾病防治规划、国家卫生保健体系具有重要意义。

关键词: 食管癌; PET/CT; CT; 放射治疗靶区勾画

中图分类号: R735.1

文献标识码: A

Application of PET/CT and CT in target volume delineation for precision radiotherapy of esophageal cancer*

Baerxiaguli·Zabihula, Lu Yan-rong

[Department of Thoracic and Abdominal Radiation, The Third Clinical Medical College of Xinjiang Medical University (The Affiliated Tumor Hospital of Xinjiang Medical University), Urumqi, Xinjiang 830011, China]

Abstract: Objective To investigate the effectiveness of applying PET/CT and CT in target volume delineation for precision radiotherapy of esophageal cancer. **Methods** A stratified sampling method was used to select 40 treatment-naïve patients who visited the Radiation Therapy Center of the Third Clinical Medical College of Xinjiang Medical University for esophageal cancer treatment from May 2020 to May 2022 as the research subjects. These patients were randomly divided into a control group and a study group, with 20 cases in each group. The patients in the control group underwent conventional CT scans, while those in the study group underwent PET/CT scans. Both groups were operated by the same physician, who delineated the target volumes and the volumes of organs at risk based on CT scan images and PET/CT fusion images taken in the same fixed position. The gross tumor volume (GTV) and the planning target volume (PTV) were compared between the two types of imaging modalities. The prescribed dose was 60 Gy in 30 fractions to cover 95% PTV, and the doses delivered to the target areas were

收稿日期: 2024-02-20

* 基金项目: 新疆维吾尔自治区科技支疆项目计划(No: 2021E02077)

compared between the two groups based on the images. The percentages of the total lung volume exceeding 10 Gy (V_{10}), 20 Gy (V_{20}), and 30 Gy (V_{30}), the mean lung dose (MLD), the percentage of the heart volume exceeding 30 Gy (V_{30}), and the volumes of spinal cord and trachea receiving radiation were evaluated. **Results** Compared with the control group, the GTV and PTV delineated in the study group were smaller ($P < 0.05$). The GTV Dmean and the PTV Dmean in the study group were lower than those in the control group ($P < 0.05$). The lung V_{10} , V_{20} , and V_{30} , MLD, heart V_{30} , and the volumes of spinal cord and trachea receiving radiation in the study group were lower than those in the control group ($P < 0.05$). **Conclusion** PET/CT provides better accuracy and clarity in target volume delineation compared to CT alone. It enhances the positioning accuracy of the target volume, and lowers the target volumes and the volumes of organs at risk. It is of great significance for improving China's prevention and control programs for major public health issues and the national healthcare system.

Keywords: esophageal cancer; PET/CT; CT; target volume delineation for radiotherapy

食管癌是一种发生于食管上皮的恶性肿瘤^[1]。症状是吞咽时有哽噎、异物感,胸骨后有疼痛感;若发生转移或侵犯临近器官,可出现疼痛和被累及器官的相应不适。长期吸烟和饮烈性酒、吃热烫食物、饮浓茶、多食辣椒、食物过硬而咀嚼不细等,可引起食管病理生理改变,与其他因素协同食管癌的发生,其中吸烟和饮酒是食管癌发病的主要原因^[2-3]。我国是食管癌高发地区,食管癌的发病率和病死率均很高,严重危害着群众的身体健康^[4]。食管癌是最常见的恶性肿瘤之一,是最常见的恶性肿瘤之一。食管癌的发生与性别相关。男性食管癌发病率和病死率明显高于女性,45~80岁是食管癌的高发年龄;食管癌在乡村的发病率明显高于城镇,而在北部则明显高于南部。

目前,放疗是治疗食管癌最常用的手段。CT与正电子发射计算机断层显像(positron emission tomography-computed tomography, PET/CT)作为放疗准备的基本前提,两者在身体检查方面有着举足轻重的作用。其中,CT以X射线断层扫描准确性高;经过多年发展,因无痛、无痕、高效、快捷等优点,已成为常规医疗检查模式。PET/CT是一种集PET与CT于一体的新型成像仪器,能够精确地显示病变的基因、分子、代谢和功能状况,其基本原理是利用正电子核素标记机体代谢物(如葡萄糖等),在病变部位吸收,反映机体代谢变化,为临床提供机体代谢信息。PET/CT是一种利用PET显像剂在病变部位的摄取,来反映病变的功能性代谢情况,从而在整体上反映机体各个器官的机能、代谢情况和病理生理特点。PET/CT具有更高的检测效率,对病变定位更准确,能观察到微小的结构改变,使PET/CT成为一种定位、定性、定量和周期性的成像

诊断方法。因此,PET/CT常作为手术前的准备。

随着科技进步,放射治疗(以下简称放疗)技术日趋成熟,CT、PET/CT在食管癌放疗中的应用也越来越多^[5-6]。精确勾画靶区是精确放疗的前提,靶区勾画失误将导致治疗失败,并可能带来严重后果。其中,肿瘤总体积(gross tumor volume, GTV)的勾画最重要,其不仅决定临床靶区体积(clinical target volume, CTV)和计划靶区体积(planning target volume, PTV)的勾画形态,并且通过GTV的合理剂量对肿瘤分期和观察疗效也起到重要作用^[7]。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用便利抽样法选取2020年5月—2022年5月在新疆医科大学第三临床医学院放射治疗中心进行治疗的食管癌初期患者40例为研究对象。随机将患者分为对照组和研究组,每组20例。对照组采用常规CT(Discovery ST-16型,荷兰飞利浦公司)进行扫描,研究组采用PET/CT(Discovery ST-16型,荷兰飞利浦公司)进行扫描。对照组男性10例,女性10例,年龄42~69岁,平均(55.22±4.30)岁。研究组男性11例,女性9例,年龄41~70岁,平均(53.33±4.33)岁。两组性别构成、年龄比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性。所有患者及家属知情同意。

1.2 纳入与排除标准

1.2.1 纳入标准 ①年龄>40岁;②符合初期食管癌诊断标准,并经胃镜和病理证实;③经胃镜病理证实,Kamofsky评分 ≥ 70 ^[7];④食管癌初诊患者;⑤每周5次放疗;⑥志愿者;⑦完成本试验治疗和治

疗结束后 4 周的随访。

1.2.2 排除标准 ①其他疾病需要住院治疗, 以及治疗期间有上消化道出血、穿孔或溃疡; ②血液透析患者存在精神障碍和认知功能障碍; ③拒不签署知情同意书; ④病例资料不全; ⑤妊娠和哺乳期女性; ⑥有放、化疗禁忌证。

1.3 方法

1.3.1 CT 定位 对接受放疗的患者, 必须在专门用于放疗的 CT 模拟机下进行扫描。为提高疗效, 医师经常需要采用合适的固定方法, 例如: 面罩、头枕、负压垫、臂架、支架等。对有较大呼吸活动影响的胸腹型肿瘤, 则需采用有限的呼吸(如呼吸门、胸腔压板等), 或采用 4D 影像检查, 以保证放疗的准确性。在此过程中, 医师会在患者的身体表面画出标志线, 以保证患者在 CT 定位及放疗过程中处于同一位置。为保证患者能获得精确的放疗, 必须使用固定架及体表标线^[8]。

1.3.2 PET/CT 融合图像 ①PET/CT 显像及定位: 显像剂为 ^{18}F 标记的脱氧葡萄糖 (fluorodeoxyglucose, FDG), 采用低能高分辨准直器。患者仰卧在 CT 定位时体模或头颈肩模内, 尽量保持与 CT 定位时相同的体位; 缓慢静脉注射 ^{18}F -FDG 后即刻进行图像采集, 获得横断面、冠状面和矢状面的断层图像^[9]。②CT 图像与 PET 断层图像融合方法: PET 图像与 CT 图像融合为非同机图像融合, 需要用手动方法进行图像融合。应用 CT 定位时所做的皮肤标记作为图像融合的参考点, 在行 PET 显像时在该皮肤标记处标记 ^{18}F -FDG, 以在相同部位显像, 并依此进行图像融合。

1.3.3 靶区勾画 患者仰卧位, 用真空垫膜固定体位, 使 CT 扫描范围从 $\text{C}_4 \sim \text{L}_2$, 层厚 5 mm; 剂量为根治 60 ~ 64 Gy, 术前 40 ~ 50 Gy。CTV1 靶区勾画在 GTV 左右前后向外放 0.5 ~ 0.8 cm, 上下外放 2 ~ 3 cm, 外放后遇解剖屏障时做适当调整。PTV1 为 CTV1 外放 0.3 cm。CTV2 的靶区勾画包括上段、下段、中段。其轮廓从上部上界环甲膜的平面至下部突出 2 ~ 3 cm, 包含锁骨上淋巴引流区、下颈、食管旁、气管旁、第 2 区、第 4 区、第 5 区、第 7 区; 自中部锁骨区至贲门区引流区, 包含食管旁、气管旁、锁骨上、第 2 区、第 4 区、第 5 区、第 7 区等; 起自下段锁骨水平气管旁淋巴结的水平面至胃左淋巴

结引流区, 包含对应的纵隔淋巴结引流区, 例如食管旁、气管旁、锁骨上、第 2 区、第 4 区、第 5 区、第 7 区、胃左及贲门淋巴引流区^[10]。PTV2 在 CTV 基础上各外放 0.5 ~ 0.7 cm。

1.3.4 观察指标 ①肿瘤体积; ②受照剂量: 包括 GTV Dmean、PTV Dmean; ③CT 与 PET/CT 勾画靶区危及器官 (organ at risk, OAR) 受量: 包括两肺、心脏、脊髓、气管受量。

1.4 统计学方法

数据分析采用 SPSS 20.0 统计软件。计量资料以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 比较用 t 检验; 计数资料以构成比 (%) 表示, 比较用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组肿瘤体积比较

对照组与研究组 GTV 和 PTV 比较, 经 t 检验, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 研究组 GTV 和 PTV 均小于对照组。见表 1。

表 1 两组肿瘤体积比较 ($n=20$, cm^3 , $\bar{x} \pm s$)

组别	GTV	PTV
对照组	45.12 \pm 4.76	501.15 \pm 4.27
研究组	41.55 \pm 1.56	450.57 \pm 4.16
t 值	6.678	4.844
P 值	0.000	0.000

2.2 两组受照剂量比较

对照组与研究组的 GTV Dmean、PTV Dmean 比较, 经 t 检验, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 研究组 GTV Dmean、PTV Dmean 均低于对照组。见表 2。

表 2 两组受照剂量比较 ($n=20$, cGy, $\bar{x} \pm s$)

组别	GTV Dmean	PTV Dmean
对照组	6 322.12 \pm 211.76	6 000.15 \pm 100.27
研究组	6 000.55 \pm 200.56	5 812.57 \pm 104.16
t 值	5.678	5.844
P 值	0.001	0.001

2.3 两组 CT、PET/CT 勾画靶区 OAR 受量比较

对照组与研究组的肺 V_{10} 、肺 V_{20} 、肺 V_{30} 、肺 MLD、心脏 V_{30} 、脊髓、气管受量比较, 经 t 检验, 差异

均有统计学意义($P < 0.05$); 研究组 OAR 受量比对照组低。见表 3。

表 3 两组 CT、PET/CT 勾画靶区 OAR 受量比较 ($n=20, \bar{x} \pm s$)

组别	肺 V ₁₀ /%	肺 V ₂₀ /%	肺 V ₃₀ /%	肺 MLD/cGy	心脏 V ₃₀ /%	脊髓/Gy	气管/Gy
对照组	40.21±1.87	26.57±0.72	19.69±1.95	1 500.42±100.11	12.78±1.61	43.85±1.55	45.65±1.11
研究组	35.00±1.95	21.88±1.11	15.39±0.48	1 378.45±123.11	10.75±1.04	40.51±1.06	44.82±2.02
t 值	6.436	7.378	4.846	9.936	4.789	6.479	2.722
P 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

3 讨论

人体消化道是一条从口腔开始, 经过咽喉、食管、胃、小肠、大肠, 终于肛门的肌性管道。食管连接口咽和胃部, 通常情况下食管是食物进入胃部的必经通道^[11]。在食管癌的发病初期, 患者难以咽下馒头等固体食物, 继而不能咽下粥类半流质食物, 随着病情进展, 最后严重到不能咽下水和唾液。其中, 进行性加重的吞咽困难是食管癌的典型症状^[12-13]。目前, 放疗是治疗癌症的常规手段。放疗治疗多种恶性肿瘤与手术治疗一样有效, 不仅能够保留器官功能, 而且能达到根治效果, 因其适应性广、疗效好是很多不能手术治疗的肿瘤患者的理想选择^[14]。目前, 放疗已由传统放疗向三维适形调强放疗发展, 使肿瘤定位更加精确, 逐步提高肿瘤局部控制率, 并降低周围器官损伤^[15]。基于 CT 扫描模拟定位的各种精确放疗技术已成为食管癌放疗的主要治疗方式, 其技术关键是 CT 扫描模拟定位、依据治疗计划系统中三维重建勾画的 GTV、PTV, 并以此制订治疗计划为患者实施治疗^[16]。秦颂兵等^[17]研究认为与单纯 CT 图像相比, PET/CT 显像明显提高非小细胞肺癌诊断、分期的准确性, 能更准确地反映肿瘤与正常组织的关系, 从而有助于临床医师在制订放疗计划过程中更精确地勾画靶区。PET/CT 是目前世界上诊断肿瘤先进、准确的医学成像技术, 可以用于模拟定位, 但因其费用昂贵, 至今未能在临床上普及^[18-19]。

本研究结果发现, 研究组勾画的 GTV、PTV 体积均明显小于对照组。可能 CT 在确定食管癌病变长度方面准确性较差, 多数情况下较高地评估了肿瘤病变长度。而 PET/CT 可以精准显示代谢程度的强弱, 代谢活动功能越强, PET/CT 显示就越高, 从而对勾画的 GTV、PTV 体积具有准确性、清晰性、完整性。

因此, 通过 PET/CT 融合图像勾画靶区使 GTV、PTV 体积小于 CT 图像^[20-21]。

本研究结果表明, 研究组勾画的 GTV Dmean、PTV Dmean 受照剂量与 CT、PET/CT 勾画靶区 OAR 受量低于对照组。这可能是因为 PET/CT 是一种新型的核医学检测手段, 在 PET/CT 成像之前, 将特定的正电子分子注入患者体内, 观察其对机体代谢的影响^[22-23]。因为人体 80% 能量都是从葡萄糖中获取的, 所以脑组织某个部分的活动程度愈高, 脑组织就会有更多的葡萄糖新陈代谢。PET 可以通过血糖代谢速率的变化, 判断大脑代谢异常的具体位置^[24]。此外, PET/CT 可以通过三维成像, 多维度、多角度地显示肿瘤患者的脑代谢和血流局限异常情况, 然后经一次性全身显像检查便可获得全身各个区域的图像, 通过三维视角更清晰地观察到勾画边界, 减少放疗损害健康组织器官。其次, PET/CT 所需的核素具有一定的放射性, 但使用的核素数量极少, 半衰期极短 (12 ~ 120 min), 其通过物理降解和生物代谢, 在人体内停留的时间极短, 一次正子断层扫描对人体的辐射剂量比传统 CT 的辐射剂量小得多^[25]。因此, 通过 PET/CT 扫描技术使放疗过程中的受照面积与对周围器官的危害小于 CT 扫描技术, 从而提高了患者满意度和治疗疾病的专业程度, 加快 PET/CT 的普及化。

综上所述, PET/CT 融合影像比单纯 CT 勾画靶区具有更好的针对性和清晰度, 可提高靶区定位精度, 改善靶区体积及 OAR 受照剂量, 对完善我国公共卫生应急体系和全民医疗体系具有重要意义。

参考文献:

- [1] 陈宏宏, 王海鹰. 老年中晚期食道癌患者行紫杉醇同步放疗对疗效与安全性的影响[J]. 贵州医药, 2021, 45(2): 206-207.
- [2] LIU L, DONG L, WANG J. Early warning and precontrol of

- unplanned extubation of gastric and duodenal nutrient tubes after esophageal cancer[J]. *Chin J Integr Tradit West Med*, 2019, 5(3): 156-158.
- [3] 杨燕青, 何海娟, 汪小丹. 氢吗啡酮复合罗哌卡因用于胸腹腔镜联合食道癌根治术后硬膜外自控镇痛的效果观察[J]. *中国内镜杂志*, 2021, 27(7): 13-19.
- [4] 郑荣, 何三军, 朱宏才, 等. 食道癌患者血清 CYFRA21-1, CA19-9 和 β -hCG 水平联合检测的诊断价值及与 T 淋巴细胞亚群表达的相关性研究[J]. *现代检验医学杂志*, 2021, 36(1): 51-53.
- [5] 蒋亚齐, 陈丽, 汪步海, 等. PET/CT 与 CT 在食管癌调强精确放疗靶区勾画中的应用比较[J]. *山东医药*, 2014(36): 83-85.
- [6] 李立成, 郭修玉, 张宏斌, 等. ^{18}F -FDG PET/CT 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI G-MPI 双核素显像评估急性心肌梗死后心功能、心肌活力变化研究[J]. *全科医学临床与教育*, 2022, 20(1): 11-14.
- [7] GRÉGOIRE V, HAUSTERMANS K, GEETS X, et al. PET-based treatment planning in radiotherapy: a new standard? [J]. *J Nucl Med*, 2007, 48 Suppl 1: 68S-77S.
- [8] KIRÁLY B, BALÁZSFI D, HORVÁTH I, et al. *In vivo* localization of chronically implanted electrodes and optic fibers in mice[J]. *Nat Commun*, 2020, 11(1): 4686.
- [9] PRATT E C, SKUBAL M, MC LARNEY B, et al. Prospective testing of clinical Cerenkov luminescence imaging against standard-of-care nuclear imaging for tumour location[J]. *Nat Biomed Eng*, 2022, 6(5): 559-568.
- [10] LI B J, ZHOU S M, MURRAY A P, et al. Shape-changing chains for morphometric analysis of 2D and 3D, open or closed outlines[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 21479.
- [11] WANG M, LI Y, XIAO Y Y, et al. Nicotine-mediated OTUD3 downregulation inhibits VEGF-C mRNA decay to promote lymphatic metastasis of human esophageal cancer[J]. *Nat Commun*, 2021, 12(1): 7006.
- [12] 蒋福壮, 安兰花, 付文慧, 等. 影像组学食管癌术前临床分期研究进展[J]. *中国医学影像技术*, 2022, 38(4): 611-614.
- [13] 张柏文, 何丽娜, 涂水平. 食管癌相关多原发癌的研究进展[J]. *实用肿瘤杂志*, 2022, 37(2): 191-195.
- [14] 陈晨, 索菲娅, 贾立群. 中国头颈部癌症患者行放疗后放射性口腔黏膜炎影响因素的 Meta 分析[J]. *现代肿瘤医学*, 2022, 30(3): 422-428.
- [15] 王朋, 陈祥怡, 代文莉. ^{18}F -FDG PET/CT 在骨结核诊断中的应用价值[J]. *华中科技大学学报(医学版)*, 2021, 50(2): 207-213.
- [16] FISCHER B, LASSEN U, MORTENSEN J, et al. Preoperative staging of lung cancer with combined PET/CT[J]. *N Engl J Med*, 2009, 361(1): 32-39.
- [17] 秦颂兵, 徐晓婷, 郭建, 等. PET/CT 显像在非小细胞肺癌放疗中的应用研究[J]. *中国辐射卫生*, 2011, 20(1): 104-106.
- [18] PASINI F, de MANZONI G, PEDRAZZANI C, et al. High pathological response rate in locally advanced esophageal cancer after neoadjuvant combined modality therapy: dose finding of a weekly chemotherapy schedule with protracted venous infusion of 5-fluorouracil and dose escalation of cisplatin, docetaxel and concurrent radiotherapy[J]. *Ann Oncol*, 2005, 16(7): 1133-1139.
- [19] ONBAŞ O, EROGLU A, KANTARCI M, et al. Preoperative staging of esophageal carcinoma with multidetector CT and virtual endoscopy[J]. *Eur J Radiol*, 2006, 57(1): 90-95.
- [20] 高玉杰, 周妮娜, 李囡, 等. $^{11\text{C}}$ -MET PET/CT 诊断脑胶质瘤术后复发残留的初步研究[J]. *实用肿瘤杂志*, 2021, 36(2): 154-159.
- [21] 周星宇, 杨毅, 魏艳, 等. PET/MR 诊断癌症安全性、有效性和经济性文献研究——基于快速卫生技术评估分析[J]. *中国医院管理*, 2021, 41(9): 29-33.
- [22] KIM S H, SONG B I, KIM B W, et al. Predictive value of ^{18}F FDG PET/CT for lymph node metastasis in rectal cancer[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 4979.
- [23] NISSAN E, AMIT U, BARON L, et al. The usefulness of ^{18}F FDG-PET/CT in detecting and managing cancers with unknown primary site depends on histological subtype[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 17732.
- [24] SUGA M, NISHII R, MIWA K, et al. Differentiation between non-small cell lung cancer and radiation pneumonitis after carbon-ion radiotherapy by ^{18}F -FDG PET/CT texture analysis[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 11509.
- [25] 于军, 张莺, 任东栋, 等. PET/MR 与 PET/CT 对 ^{18}F -FDG PET 阳性肝转移瘤灶检出能力的比较[J]. *实用肿瘤杂志*, 2021, 36(4): 342-348.

(童颖丹 编辑)

本文引用格式: 巴尔夏古丽·扎比胡拉, 陆艳荣. PET/CT 与 CT 在食管癌精确放射治疗靶区勾画中的应用研究[J]. *中国现代医学杂志*, 2024, 34(12): 1-5.

Cite this article as: BAERXIAGULI·ZABIHULA, LU Y R. Application of PET/CT and CT in target volume delineation for precision radiotherapy of esophageal cancer[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2024, 34(12): 1-5.