

DOI:10.16781/j.CN31-2187/R.20210715

• 短篇论著 •

恶性肿瘤患者 PET-CT 检查对环境及相关工作人员的辐射剂量分析

李应堃¹, 侯正松^{2*}

1. 海军军医大学(第二军医大学)第一附属医院虹口院区预防保健科, 上海 200081

2. 海军军医大学(第二军医大学)第一附属医院医学工程科, 上海 200433

[摘要] **目的** 分析恶性肿瘤患者 PET-CT 检查对环境及相关工作人员的辐射剂量。**方法** 选取 2019 年 1 月至 2020 年 8 月在海军军医大学(第二军医大学)第一附属医院虹口院区行 PET-CT 检查的恶性肿瘤患者 62 例, 检测行 PET-CT 检查时受检者周围、相关工作人员及工作场所的辐射剂量, 包括受检者体表垂直距离 1、2、3 m 处的当量剂量率, 候诊室、PET-CT 机房、医师办公室、注射室各监测点的当量剂量率, 以及相关工作人员的年有效剂量。

结果 与受检者距离 1、2、3 m 处的当量剂量率分别为 (4.40 ± 0.64) 、 (1.82 ± 0.61) 、 (0.87 ± 0.35) $\mu\text{Sv/h}$, 与受检者距离 1 m 处的当量剂量率高于 2 m 和 3 m 处 (P 均 < 0.01); 候诊室防护门外表面及注射室通风柜手洞位置、注射台手洞位置、注射台工作人员身位的当量剂量率高于其他监测点, 如防护墙外表面、注射室防护门外表面等 (P 均 < 0.05); 操作技师的辐射年有效剂量为 0.82 mSv, 高于其他相关工作人员, 如候诊人员、辅助操作人员等。

结论 与 PET-CT 受检者距离 1 m 处的当量剂量率高于更远距离, 候诊室防护门外表面及注射室通风柜手洞位置、注射台手洞位置、注射台工作人员身位的当量剂量率高于其他工作场所。

[关键词] 正电子发射断层显像计算机断层摄影术; 恶性肿瘤; 辐射剂量; 环境; 工作人员

[中图分类号] R 817; R 144.1

[文献标志码] A

[文章编号] 2097-1338(2022)02-0229-04

Radiation doses to surroundings and medical staffs during PET-CT examination of malignant tumor patients

LI Ying-kun¹, HOU Zheng-song^{2*}

1. Department of Prevention and Health Care, Hongkou Branch of The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200081, China

2. Department of Medical Engineering, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

[Abstract] **Objective** To analyze the radiation doses to surroundings and medical staffs during positron emission tomography-computed tomography (PET-CT) examination of malignant tumor patients. **Methods** Sixty-two patients with malignant tumors who underwent PET-CT examination in Hongkou Branch of The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University) from Jan. 2019 to Aug. 2020 were enrolled. The radiation doses to the surroundings of patients, medical staffs and the workplaces were detected, including the equivalent dose rates at 1, 2 and 3 m away from the subjects and each monitoring point in the waiting room, PET-CT room, doctor's office and injection room, and the annual effective doses of medical staffs. **Results** The equivalent dose rates at 1, 2 and 3 m away from the subjects were (4.40 ± 0.64) , (1.82 ± 0.61) and (0.87 ± 0.35) $\mu\text{Sv/h}$, respectively, and the equivalent dose rate at 1 m away from the subject was higher than that at 2 and 3 m (both $P < 0.01$). The equivalent dose rates at outer surface of protective door of waiting room, fume hood hand hole of injection room, hand hole of injection table, and positions of injection table staff were higher than those at other monitoring sites, such as outer surface of the protective wall and surface outside the protective door of the injection room (all $P < 0.05$). The annual effective radiation dose of operation technicians was 0.82 mSv, which was higher than that of other involved staffs, such as waiting personnels and auxiliary operators. **Conclusion** The equivalent dose rate at 1 m away from PET-CT subjects is higher than that at a longer distance. The equivalent dose rates at outer surface of protective door of waiting room and fume hood hand hole, hand hole of injection table, and positions of injection table staff of injection room are higher than those of other workplaces.

[Key words] positron emission tomography-computed tomography; malignant tumor; radiation dose; environment; staff

[Acad J Naval Med Univ, 2022, 43(2): 229-232]

[收稿日期] 2021-07-22 **[接受日期]** 2021-12-17

[作者简介] 李应堃. E-mail: lyk19751122@163.com

*通信作者(Corresponding author). E-mail: hzs_Love@163.com

PET-CT 是一种利用核医学技术在活体分子水平完成生物学显示的影像技术, 不仅可广泛应用于占位性病灶的良恶性鉴别、肿瘤转移灶定位等方面, 而且在冠心病诊疗、阿尔茨海默病诊断与鉴别中也体现出应用价值^[1-3]。PET-CT 检查时需要使用正电子核素示踪剂, 如 ^{18}F - 氟代脱氧葡萄糖 (^{18}F -fluorodeoxyglucose, ^{18}F -FDG) 等, 但注射此类药物会对受检者及接触者产生辐射危害^[4]。虽然针对具有电离辐射的设备有严格的射线防护规定, 但在诊疗过程中尤其是在围检查期与患者近距离接触的多数是家属或医院后勤工作人员, 可能出现防护薄弱环节。本研究分析了恶性肿瘤患者接受 PET-CT 检查时周围环境及相关工作人员受到的辐射剂量, 为日后开展临床辐射防护特别是围检查期环节及相关人员射线防护的补充规定提供参考。

1 资料和方法

1.1 PET-CT 受检者资料 选取 2019 年 1 月至 2020 年 8 月在海军军医大学 (第二军医大学) 第一附属医院虹口院区行 PET-CT 检查的恶性肿瘤患者。纳入标准: (1) 经病理学检查确诊为恶性肿瘤; (2) PET-CT 显示无转移。排除标准: (1) 严重肝、肾功能异常; (2) 脑代谢异常。共纳入 62 例, 其中男 38 例, 女 24 例; 年龄 47~81 岁, 平均 (59.31 ± 6.57) 岁; 体重 58~76 kg, 平均 (57.25 ± 5.71) kg。

1.2 辐射剂量检测方法 受检者注射 ^{18}F -FDG 后留观 1 h, 以减少肌肉和骨骼的吸收。(1) 环境辐射剂量检测: 受检者检查完成后自然站立, 采用 X、 γ 辐射个人剂量当量 HP (10) 监测仪 (美国 Mirion Technologies 公司, 检定证书在有效期内) 检测辐射剂量, 进行远距离测量时使用装有测量 app 的电脑及延长线。分别测量受检者体表垂直距离 1、2、3 m 处的周围当量剂量率, 每处测量 3 次取平均值, 并计算辐射剂量衰减比例 (辐射剂量衰减比例 = 较远处辐射剂量 / 较近处辐射剂量)。分别测量候诊室 (防护门外表面、防护墙外表面)、PET-CT 机房 (工作人员操作位、工作人员防护门外表面、受检者防护装置外表面)、医师办公室 (地面、四周)、注射室 (通风柜手洞位置、通风柜工作人员身位、注射台手洞位置、注射台工作人员身位、注射室防护门外表面) 各监测点的当量剂量率。(2) 相关工作人员辐射剂量检测: 该区域的相关工作人员主要包括 4 名该区域内的后勤工作

人员、2 名医师、1 名操作技师、2 名注射护士。所有受试者均佩戴 RE-2000A 型热释光剂量仪 (美国 Mirion Technologies 公司), 检测周期为 6 个月, 检测完毕后由专人负责回收并递交至检测机构进行测量。年有效剂量 = 6 个月有效剂量累积值 $\times 2$, 后勤工作人员的年有效剂量 = 4 名工作人员年有效剂量之和 / 4, 医师的年有效剂量 = 2 名医师年有效剂量之和 / 2, 注射护士的年有效剂量 = 2 名注射护士年有效剂量之和 / 2。

1.3 统计学处理 采用 SPSS 26 软件对数据进行统计学分析。当量剂量率服从正态分布, 以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用独立样本 t 检验比较不同组间的差异。检验水准 (α) 为 0.05。

2 结果

2.1 受检者周围辐射剂量 与受检者距离 1、2、3 m 处的当量剂量率分别为 (4.40 ± 0.64) 、 (1.82 ± 0.61) 、 (0.87 ± 0.35) $\mu\text{Sv/h}$, 与受检者距离 1 m 处的当量剂量率高于 2 m 和 3 m 处 ($t = 22.977$, $P < 0.01$; $t = 38.104$, $P < 0.01$)。随着距离的增大, 辐射剂量衰减比例逐渐增大, 2 m 处较 1 m 处衰减 64.4%, 3 m 处较 1 m 处衰减 80.02%, 符合国际放射防护委员会建议的剂量限值要求^[5]。

2.2 候诊室、PET-CT 机房、医师办公室、注射室各监测点辐射剂量 候诊室防护门外表面及注射室通风柜手洞位置、注射台手洞位置、注射台工作人员身位的当量剂量率高于其他监测点 (P 均 < 0.05), 见表 1。

表 1 候诊室、PET-CT 机房、医师办公室、注射室各监测点的当量剂量率

$(\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}), n=62, \bar{x} \pm s$		
场所	监测点位置	当量剂量率
候诊室	防护门外表面	2.51 ± 0.38
	防护墙外表面	$0.62 \pm 0.12^*$
注射室	通风柜手洞位置	1.64 ± 0.31
	通风柜工作人员身位	$0.86 \pm 0.15^*$
	注射台手洞位置	16.5 ± 1.88
	注射台工作人员身位	1.58 ± 0.24
PET-CT 机房	注射室防护门外表面	$0.19 \pm 0.02^*$
	工作人员操作位	$0.20 \pm 0.03^*$
	工作人员防护门外表面	$0.18 \pm 0.03^*$
	受检者防护装置外表面	$0.34 \pm 0.11^*$
医师办公室	地面	$0.24 \pm 0.07^*$
	四周	$0.21 \pm 0.05^*$

* $P < 0.05$ 与候诊室防护门外表面、注射室通风柜手洞位置、注射台手洞位置、注射台工作人员身位比较。PET-CT: 正电子发射计算机断层显像。

2.3 相关工作人员辐射剂量 后勤工作人员、医师、操作技师、注射护士的年有效剂量分别为0.38、0.44、0.82、0.50 mSv,其中操作技师的年有效剂量最高。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)^[6],职业照射及公众照射的限值均为mSv级别,上述测量结果均符合要求。

3 讨论

随着医学技术的发展和进步,核医学被广泛应用于疾病的诊断、治疗和医学研究中,在临床医学中具有重要的地位。PET-CT是核医学诊断中较为常见的一种显像诊断方法,特别是在肿瘤的临床诊断、分期、监测治疗和评估复发中广泛应用^[7-8]。PET-CT检查过程中患者注射的示踪剂中含有放射性核素¹⁸F,该物质作为可移动的放射源对相关工作人员及接触者产生辐射^[9]。有研究指出,患者注射放射性显像药物后在不同时间、不同方向和距离处的周围当量剂量率存在一定的差异,并且其相关接触人员周围辐射场的剂量分布随时间变化而产生相应变化^[10-11]。本研究发现,与受检者距离1、2、3 m处的当量剂量率分别为 (4.40 ± 0.64) 、 (1.82 ± 0.61) 、 (0.87 ± 0.35) $\mu\text{Sv/h}$,与受检者距离1 m处的当量剂量率高于2 m和3 m处,说明PET-CT检测患者周围辐射剂量率与距离有关,距离越近其辐射剂量率越高,同时随着距离的增加辐射剂量的下降程度迅速增大,距离受检者3 m以外区域辐射剂量下降超过80%。孔令海等^[12]通过检测PET-CT受检者周围辐射剂量证实辐射剂量与受检者距离有关,与本研究结果相同。

在PET-CT检查时,不同的工作制度、防护策略及药物用药剂量可影响患者和相关工作人员的受照射量,药物用药剂量过大会使患者和相关工作人员受到不必要的照射、增加辐射危害,用量过低则会影响临床诊断^[13-15]。因此,临床医师在进行PET-CT检测时应制订严谨的用药计划,注射放射性药物后应尽量增加留观时间,待患者体内放射性物质衰变一段时间后再返回普通病房,还应告知患者在注射示踪剂后尽量减少或避免在公共场所活动,并减少家属及看护者的近距离看护时间,避免相关人员受到不必要的照射。

PET-CT将功能成像和解剖显像同机融合,他

人与受检者接触时会受到外界照射而产生辐射危害,由于辐射强度较高、穿透能力较强,患者接受给药与扫描的时间、地点复杂,使得工作场所的辐射剂量计算有一定难度且差异较大^[16-18]。本研究发现,候诊室防护门外表面及注射室通风柜手洞位置、注射台手洞位置、注射台工作人员身位的当量剂量率高于其他监测点,说明注射室内的辐射剂量高于其他工作场所。其中注射台手洞位置放射剂量最高,当量剂量率达 (16.5 ± 1.88) $\mu\text{Sv/h}$,其次为防护门外表面,为 (2.51 ± 0.38) $\mu\text{Sv/h}$ 。原因可能如下:注射台手洞处因为在注射区域,与放射性药物接触概率较高,可能出现药物外溅或蒸发;防护门外表面由于受检者进出频率较高(尤其是在注射过药物后出门、接触门外表面)或防护薄弱导致射线辐射剂量较大。本研究还发现操作技师的年有效剂量高于其他相关工作人员,这可能与其距离受检者近、与受检者接触较多有关。因此,在进行PET-CT检查时,在保证检查质量的同时应增加照射距离、减少照射时间,减少与受检者的不必要接触,增加注射室内的屏蔽辐射防护,并考虑在高辐射区域进行标识以避免无关人员聚集;应完善辐射防护管理制度,实行轮班制来分担相关工作人员受照射剂量。

综上所述,本研究发现与PET-CT受检者距离1 m处的辐射当量剂量率高于其他距离,且候诊室防护门外表面及注射室通风柜手洞位置、注射台手洞位置、注射台工作人员身位的辐射当量剂量率高于其他工作场所。因调查时间较短,本研究未检测患者陪护家属及同病房病友的辐射剂量,有待今后进一步研究。通过检测患者及相关人员受到的辐射剂量,可帮助指导PET-CT的检查工作,降低患者及相关人员受到辐射危害的风险。

[参考文献]

- [1] 刘斌,蒋丽莎,杨晓川,田蓉.¹⁸F-FDG显像患者对公众人群及核医学技师辐射剂量的估算[J].中国医学影像技术,2016,32:134-137.
- [2] YANG L, WU Y F, TANG H, ZHAO J Z, ZHAO D D, YANG S, et al. PET-CT evaluation of the curative effect of crizotinib on malignant myofibroblastoma with rare mutation of ALK R401: a case report and literature review[J]. Onco Targets Ther, 2018, 11: 1921-1927.
- [3] 周丽丽,郑旋,彭友霖. PET-CT的成像原理及其临床应用[J].系统医学,2017,2:162-164.

- [4] 李宁,姚忠强,杨志,杨鸿宇,何正中,廖光星,等. PET-CT检查致前列腺癌患者辐射剂量研究[J]. 中华放射医学与防护杂志,2019,39:465-470.
- [5] CLARKE R H. 国际放射防护委员会新建议书准备工作的进展[J]. 王恒德,译. 辐射防护, 2000: 321-326.
- [6] 国家质量监督检验检疫总局. 电离辐射防护与辐射源安全基本标准:GB 18871-2002[S]. 北京:中国标准出版社,2003:35-36.
- [7] 吴一田,耿建华. PET-CT、SPECT及SPECT-CT受检者辐射水平及其生物效应研究进展[J]. 中国医学装备, 2017,14:141-146.
- [8] 姚颖. 南通市某医院PET-CT中心辐射环境监测与评价[J]. 中国辐射卫生,2017,26:193-195.
- [9] SOLIMAN K, ALENEZI A. Effect of patient bladder voiding on radiation dose rates measured around patients undergoing PET/CT imaging using ^{18}F -FDG[J/OL]. J Nucl Med Radiat Ther, 2016, 7: 1. DOI: 10.4172/2155-9619.1000272.
- [10] 程远,王振光. ^{18}F -FDG PET/CT全身显像辐射剂量估计及风险评价[J]. 中华核医学与分子影像杂志,2017, 37:430-433.
- [11] VERMA S, KHERUKA S C, MAURYA A K, KUMAR N, GAMBHIR S, KUMARI S. Benefits of adopting good radiation practices in reducing the whole body radiation dose to the nuclear medicine personnel during ^{18}F -fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography imaging[J]. Indian J Nucl Med, 2016, 31: 27-30.
- [12] 孔令海,陈玲艳,李雪琴,高艳辉,王晓涛. PET/CT检查中 ^{18}F -FDG所致患者和放射工作人员辐射剂量估算[J]. 中国职业医学,2017,44:646-649.
- [13] PLOUZNIKOFF N, ARSENAULT F. Clinical relevance of ^{18}F -FDG PET/CT lower-limb imaging in patients with malignant cutaneous melanoma[J]. Nucl Med Commun, 2017, 38: 1103-1108.
- [14] HANSEN A E, PETERSEN A L, HENRIKSEN J R, BOERRESEN B, RASMUSSEN P, ELEMA D R, et al. Positron emission tomography based elucidation of the enhanced permeability and retention effect in dogs with cancer using copper-64 liposomes[J]. ACS Nano, 2015, 9: 6985-6995.
- [15] 冉紫蕴,刘晓玲,湛磊. PET/CT检查中医务人员核医学辐射的防护情况调查[J]. 职业与健康,2019,35: 1881-1883,1888.
- [16] 陆皓,程祝忠,青浩渺,江骁,陈世容,肖定琼,等. 呼吸门控技术在PET采集中的应用优势及技师所受辐射剂量分析[J]. 医疗卫生装备,2016,37:88-90.
- [17] KALLIONIEMI E, PALMGREN J E, FRAUNBERG M, KÖNÖNEN M, VANNINEN R, JULKUNEN P. Application of TMS and DTI in pre-radiotherapy planning and the effect of radiation on motor function: a pilot study with two patients[J/OL]. Clin Neurophysiol, 2017, 128: e12-e13. DOI:10.1016/j.clinph.2016.10.134.
- [18] KONG F M, TEN HAKEN R K, SCHIPPER M, FREY K A, HAYMAN J, GROSS M, et al. Effect of midtreatment PET/CT-adapted radiation therapy with concurrent chemotherapy in patients with locally advanced non-small-cell lung cancer: a phase 2 clinical trial[J]. JAMA Oncol, 2017, 3: 1358-1365.

[本文编辑] 孙 岩