

·论著·

# $^{18}\text{F}$ 正电子放射性药物生产及使用中医务人员的受照剂量研究

张巍 杨珂

**【摘要】 目的** 研究以使用  $^{18}\text{F}$ -FDG 为代表的正电子放射性药物过程中医务人员的受照剂量水平,为临床辐射防护提供参考数据。**方法** 应用热释光个人剂量对山东省两家医院 PET/CT 中心的工作人员进行监测。工作人员分别通过佩戴胸部剂量计、眼晶体和指环剂量计,监测其有效剂量当量和从事分装、注射人员的眼晶体剂量和手部剂量。**结果** 两家医院 PET/CT 中心的 17 名工作人员的平均年有效剂量当量范围为 0.09~2.03 mSv,不同工作环节外照射个人累积剂量当量存在较大差别,受照剂量由高到低的操作依次为药物分装、注射、摆位、扫描或药物制备。受到较高剂量照射的操作人员的眼晶体剂量当量分别为 0.38 mSv/a(分装)和 0.27 mSv/a(注射),手部剂量分别为 43.90 mSv/a(分装)和 17.75 mSv/a(注射)。**结论** 在现有工作条件和工作负荷的情况下,PET/CT 中心工作人员的平均年剂量当量水平符合国家标准中关于有效剂量、眼晶体和手部剂量限值的要求。

**【关键词】** 正电子发射断层显像术;体层摄影术,X线计算机;辐射剂量;辐射防护;氟脱氧葡萄糖 F18

**The research of radiation dose of  $^{18}\text{F}$ -FDG to PET/CT related personnel** Zhang Wei, Yang Ke.  
Institute of Radiological Protection and Safety, Shandong Center for Disease Control and Prevention, Jinan 250014, China

Corresponding author: Yang Ke, Email: ayyangke@163.com

**【Abstract】 Objective** To measure the personal radiation dose for medical staff in PET/CT center and to offer the reference data for clinical radiation protection. **Methods** Apply TLD methods to monitor the radiation workers' dose of 2 PET/CT center in Shandong Province. Chest dosimeter for body, lens dosimeter for eyes and ring dosimeter for fingers during distribution and injection. **Results** Higher dose of the procedures are distribution, injection, positioning, drug preparation and scanning in descending order. Eye dose are 0.38 mSv/a and 0.27 mSv/a for distribution and injection; finger dose are 43.90 mSv/a and 17.75 mSv/a for distribution and injection. The average dose for one scanning can be calculated by workload. **Conclusion** Under the workload in the research, the doses received by staff members do not exceed the annual limit for professional persons. When the workload is dramatically higher per year, the dose may exceed the national radiation safety standards(GBSS) on occupational annual dose limit.

**【Key words】** Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Radiation dosage; Radiation protection; Fluorodeoxyglucose F18

正电子放射性药物是以正电子核素制备核医学示踪剂,结合正电子发射扫描仪(PET/CT),以解剖影像的形式显示活体生物活动或先于组织器官结构变化而发生的代谢改变,主要用于临床诊断。目前最常用的正电子放射性药物是  $^{18}\text{F}$ -FDG,因其物理学特性使其在生产和使用过程中工作人员会受到辐射而备受关注。

本研究选择工作人员全身、眼晶体及手指作为监测部位,对 17 名从事正电子放射性药物生产和使用的医务人员的受照剂量进行监测和分析,以评估工作人员实际工作中的辐射影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

热释光剂量计(thermoluminescent dosimetry,简称 TLD 剂量计)、指环剂量计和眼晶体剂量计均使用  $\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$  片状探测器,分散性 <3%,

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2015.05.016

作者单位: 250014 济南,山东省疾病预防控制中心辐射防安全所

通信作者: 杨珂(Email: ayyangke@163.com)

TLD 剂量计经计量科学研院校准,在有效期内使用。指环剂量计和眼晶体剂量计均经中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所校准刻度。

## 1.2 仪器

TLD3500 阅读器,美国 Harshaw 公司生产;退火炉,北京康科洛公司生产。测量条件:预热140℃,10 s;测量 240℃,13 s;退火 240℃,10 min。

## 1.3 实验对象

选择两家医院的 PET/CT 中心工作人员作为研究对象,记录他们的姓名、分工、工作负荷等基本资料,了解工作场所的布局和工作程序。两家医院分别简称为 A、B 医院。A 医院有工作人员 8 名,其中制药 2 名、分装(质控)2 名、注射 2 名、摆位 2 名;B 医院有工作人员 9 名,其中制药、分装、摆位各 2 名,注射 3 名,两家医院人均分装时间约为 35 s,注射时间约为 25 s。

## 1.4 实验方法

每位工作人员左胸位置佩戴 1 枚剂量计,佩戴 3 个月收回测量,共测量 1 年。个人剂量当量 Hp(10)在全身受照均匀且剂量低于年限值时,可以作为全身有效剂量<sup>[1]</sup>。从事分装和注射的人员除佩戴胸部剂量计外,另佩戴头部眼晶体剂量计和指环剂量计各 1 枚,眼晶体剂量计佩戴在两眼之间,指环剂量计佩戴在左手食指上,佩戴 2 个月收回测量,共测量 6 个月。根据工作负荷,计算平均操作 1 例患者的工作人员的有效剂量,眼晶体和手部所接受的辐射剂量(胸部剂量计佩戴时间为 2013 年 7 月至 2014 年 6 月,眼晶体剂量计和指环剂量计佩戴时间为 2014 年 3 月至 2014 年 8 月)。

## 1.5 统计学处理

采用 Excel2000 和 SPSS16.0 软件对数据进行统计学分析。

# 2 结果

## 2.1 不同工作环节的工作人员年剂量当量分析

PET/CT 中心的主要工作有回旋加速器制药、分装(药物质控)、药物运送、注射、摆位和扫描。A 医院全年启动回旋加速器制药约为 180 次,诊断患者为 1586 例;B 医院全年启动回旋加速器制药约为 150 次,诊断患者为 1262 例。通过佩戴胸部 TLD 测量两家医院 PET/CT 中心所有工作人员的有效剂量当量可见,分装人员的平均剂量当量最高

[(2.03±0.12) mSv/a]、其次为注射[(1.21±0.10) mSv/a]、摆位操作[(0.55±0.07) mSv/a]、制药[(0.09±0.01) mSv/a]和扫描[(0.11±0.01) mSv/a]的剂量当量水平很低。

## 2.2 分装、注射人员的眼晶体和手部平均剂量当量

A 医院从事 <sup>18</sup>F-FDG 分装和注射人员各 2 名,每个测量周期(2 个月)内每位工作人员分别为 132 例患者进行药物分装和注射操作;B 医院从事分装人员 2 名、注射人员 3 名,每个测量周期内每位分装人员为 105 例患者进行药物分装、每位注射人员为 75 例患者进行注射操作。两家医院相应操作人员 2 个月内眼晶体的剂量当量范围为(0.02~0.11) mSv。综合工作负荷因素,两家医院相应操作人员的眼晶体平均剂量当量无统计学差异。从事药物分装人员的手部剂量当量较高,A 医院显著高于 B 医院,差异有统计学意义。每位工作人员的双月平均剂量当量<sup>[2]</sup>和年有效剂量当量估算值见表 1。

表 1 操作人员眼晶体和手部双月平均剂量当量和年剂量当量估算值(mSv)

Table 1 Bimonthly and annual average dose equivalent of workers' lens and hands(mSv)

工作环节	部位	A 医院	B 医院	年剂量当量估算值
		双月平均剂量当量	双月平均剂量当量	
分装	眼晶体	0.09±0.01	0.04±0.01	0.38
	* 手部	9.36±8.56	5.28±0.70	43.90
注射	眼晶体	0.06±0.02	0.03±0.01	0.27
	手部	3.24±0.56	2.68±0.41	17.75

注:A 医院与 B 医院手部双月平均剂量当量比较,\*t=5.45,P<0.05。

## 2.3 分装、注射人员检查 1 例患者的受照剂量当量

已知 <sup>18</sup>F 药物分装和注射是 PET/CT 中心工作人员接受剂量较高的操作,根据两家医院 6 个月中相关人员的累积受照剂量当量和工作负荷,计算分装、注射操作人员平均检查 1 例患者的有效剂量当量,眼晶体和手部受照剂量当量(表 2)。通过结果,可以进一步估算出不同工作负荷下工作人员的

表 2 分装、注射人员检查 1 例患者的受照剂量当量(μSv)

Table 2 The operators' personnel dose during 1 patient's packaging and injection(μSv)

工作环节	全身剂量当量	眼晶体		手部	
		剂量当量范围	平均剂量当量	剂量当量范围	平均剂量当量
分装	0.70	0.28~0.83	0.52±0.17	41.27~78.69	60.29±11.74
注射	0.42	0.29~0.64	0.46±0.11	23.14~46.67	32.45±9.31

受照剂量当量。

### 3 讨论

对于 PET/CT 中心工作人员的有效剂量当量国内外学者做过大量研究<sup>[3-4]</sup>。但针对眼晶体和手部剂量当量的研究因受个人剂量计校准等条件限制,国内所见不多。国外有学者通过佩戴 TLD 剂量计或者通过器官剂量估算,对工作者的手指、眼晶体、甲状腺等部位或器官的受照剂量进行监测或研究<sup>[5-6]</sup>。对于检查 1 例患者的受照剂量,有研究者借助现场监测设备进行剂量率估算或者通过直读式剂量计进行测试<sup>[7-8]</sup>,但这种监测方式在实际应用中有一定局限性。本研究通过 3 种剂量计的应用,分别对工作人员有效剂量当量和眼晶体、手部的受照剂量进行监测,并结合工作负荷对检查 1 例患者的受照剂量进行计算,研究结果可对从事 <sup>18</sup>F 放射性药物操作人员的受照剂量和防护措施提供有益的补充和参考。

本研究通过 TLD 监测得到了不同工作环节工作人员的年有效剂量当量水平,结果表明剂量水平均低于国家标准规定的职业照射限值<sup>[9]</sup>,其中分装人员的年有效剂量当量最高,其次为注射和摆位人员。用回旋加速器进行制药和 PET/CT 扫描过程中,因为设备自身和房间墙体的屏蔽,工作人员接受的辐射剂量当量很低。现在多数医院不配备回旋加速器,直接购买药物使用,但医务人员仍需视患者情况进行分装操作。本研究中的两家医院均有回旋加速器,制备的核素被自动传到屏蔽箱的合成柜中进行合成,每次合成药物量约为 14.8 GBq。制备好的药物需经过活度测定、质控、分装等操作才可以注射使用。A 医院分装操作在 35 mm 厚铅屏蔽后进行,工作人员每次操作耗时约为 45 s, B 医院分装在 25 mm 厚铅加 5 cm 钢屏蔽的通风橱内操作,每次耗时约为 30 s。两家医院单次最大药物分装量均为 740 MBq。B 医院分装操作中手部剂量当量显著低于 A 医院,其分装防护屏略厚<sup>[10]</sup>及操作熟练是手部剂量偏低的主要原因。两家医院均在约 30 mm 铅防护屏后为患者注射,注射器配有 5 mm 铅防护套,患者经事先留置静脉针以便快速完成注射。研究显示两家医院在注射操作中手部和眼晶体的剂量当量均低于国家标准剂量当量的限值。

为明确单次检查对工作人员的辐射影响,本研究利用工作负荷进行估算,得出 A 和 B 医院为 1 例

患者进行分装和注射,操作者手部平均剂量当量分别为 60.29  $\mu$ Sv 和 32.45  $\mu$ Sv。在现有工作条件和工作负荷下, A、B 两家医院从事药物分装和注射的人员,其有效剂量当量和手部、眼晶体剂量当量远低于国家剂量当量的限值。但当工作量超过每年 8000 例患者时,分装操作者的手部受照剂量接近 500 mSv 的年剂量当量限值<sup>[9]</sup>。这种情况下,医院可通过增加医务人员,减少工作负荷来降低人员的受照剂量。根据全国 PET/CT 使用情况的调查,2009 年检查量最大的医院为 7588 例<sup>[11]</sup>,因此随着医疗事业的发展和辐射技术更为广泛的应用,医护人员应增强防护意识,尽量缩短操作时间,工作中进一步完善屏蔽设施,采用更有效的防护设备等,是降低工作人员受照剂量的重要措施。

### 参 考 文 献

- [1] 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所. GBZ128-2002 职业性外照射个人监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [2] 王彬, 钱爱君, 姚杰, 等. 上海市医疗机构正电子发射断层显像/X 线计算机体层成像仪(PET/CT)工作人员受照剂量调查[J]. 环境与职业医学, 2012, 29(9): 548-551, 555.
- [3] Kuo MJ, Hsu FY, Hsu CH, et al. Dose estimation of the radiation workers in the SK cyclotron center using dual-TLD method[J]. Radiat Meas, 2010, 45(3/6): 691-693.
- [4] 易艳玲. 临床核医学诊疗中的辐射剂量与防护研究[D]. 上海: 复旦大学, 2012.
- [5] Kopec R, Budzanowski M, Budzyńska A, et al. On the relationship between whole body, extremity and eye lens doses for medical staff in the preparation and application of radiopharmaceuticals in nuclear medicine[J]. Radiat Meas, 2011, 46(11): 1295-1298.
- [6] Carnicer A, Sans-Merce M, Baechler S, et al. Hand exposure in diagnostic nuclear medicine with <sup>18</sup>F- and <sup>99m</sup>Tc-labelled radiopharmaceuticals-Results of the ORAMED project[J]. Radiat Meas, 2011, 46(11): 1277-1282.
- [7] 卢宁, 汪静, 乔宏庆, 等. <sup>18</sup>F-FDG PET 显像中受检者周围人员的辐射剂量监测[J]. 中华核医学杂志, 2004, 24(3): 186-188.
- [8] Fujibuchi T, Iimori T, Masuda Y, et al. Evaluation of a real-time semiconductor dosimeter and measurement of finger dose in nuclear medicine departments[J]. Radiol Phys Technol, 2010, 3(1): 53-57.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [10] 李德平, 潘自强. 辐射防护手册第三分册[M]. 北京: 原子能出版社, 1990: 30.
- [11] 中华医学会核医学分会. 全国 PET/CT(PET)配置与使用情况调查简报[J]. 中华核医学杂志, 2009, 29(4): 282-283.

(收稿日期: 2015-03-15)