

DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.06.009

• 辐射监测/论著 •

核医学外照射个人剂量监测单双剂量法初步应用结果分析

丁艳秋¹, 翟贺争^{2,3}, 谭展⁴, 王恺怡¹, 高品¹, 胡爱英¹, 郭文¹

1. 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所辐射防护与核应急中国疾病预防控制中心重点实验室, 北京 100088; 2. 中国医学科学院放射医学研究所, 天津 300192;
3. 天津大学, 天津 300072; 4. 广东省职业病防治院, 广州 510300

摘要: **目的** 分析单双剂量计评估方法在核医学外照射个人监测应用中存在的问题。**方法** 采用问卷调查方法和现场个人剂量监测相结合的方法, 依据 GBZ128 的要求, 对全国 10 家医院 52 名核医学工作人员进行 2 个周期(每个周期 2 个月)的个人剂量监测。**结果** 佩戴双剂量计的核医学工作人员, 使用双剂量计方法估算的有效剂量值大多数小于铅衣内的剂量值; 佩戴单剂量计的核医学工作人员, 有效剂量的最大值为 0.11 mSv; 使用单剂量方法估算的有效剂量基本上都小于双剂量计方法估算的有效剂量。**结论** GBZ 128—2019《职业性外照射个人监测规范》给出的核医学人员单剂量计或双剂量计估算公式有待进一步完善。

关键词: 核医学; 外照射; 个人剂量监测

中图分类号: R144.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2021)06-0701-05

Preliminary application of single and double dosimeter methods for monitoring personal dose of external irradiation in nuclear medicine workers

DING Yanqiu¹, ZHAI Hezheng^{2,3}, TAN Zhan⁴, WANG Kaiyi¹, GAO Pin¹, HU Aiyong¹, GUO Wen¹

1. Key Laboratory of Radiological Protection and Nuclear Emergency, China CDC, National Institute for Radiological Protection, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100088 China; 2. Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences, Tianjin 300192 China; 3. Tianjin University, Tianjin 300072 China; 4. Guangdong Province Hospital for Occupational Disease Prevention and Treatment, Guangzhou 510300 China

Abstract: **Objective** To analyze the problems in the application of single and double dosimeter methods for monitoring personal dose of external radiation in nuclear medicine workers. **Methods** Both questionnaires and on-site personal dose monitoring were used to monitor the personal dose of 52 nuclear medicine workers in 10 hospitals in China according to GBZ 128 for two periods (for 2 months each period). **Results** Most of the effective doses calculated by the double dosimeter method were lower than the dose in lead clothing. For workers wearing the single dosimeter, the maximum effective dose was 0.11 mSv. The effective doses estimated by the single dosimeter method were generally lower than those estimated by the double dosimeter method. **Conclusion** The estimation formula of single or double dosimeter for nuclear medicine workers described in GBZ 128—2019 (*Specifications for individual monitoring of occupational external exposure*) needs to be further improved.

Keywords: Nuclear Medicine; External Irradiation; Personal Dose Monitoring

Corresponding author: GUO Wen, E-mail: guowen_cn@126.com

核医学是利用放射性核素或其标记的化合物进行疾病诊断、疗效观察、病情预后、脏器功能判断、疾病治疗和医学研究的学科, 目前在国内外医疗系统中应用广泛。然而放射性药物属于非密封放射源, 放射工作人员在淋洗、配置、分装和给病人注射或分发口服的过程中以及同用药后患者的近距离接触也会受

到辐射照射。对放射工作人员及公众的健康产生潜在危害。中华医学会核医学分会关于国内在用核医学设备情况的调查显示: 2018 年核医学科单光子发射计算机断层成像设备比 2015 年增加了 11.9%, 越来越多的医疗机构采用核医学设备检查和治疗相关疾病, 从事核医学专业相关工作的科室较 2015 年增

作者简介: 丁艳秋 (1979—), 女, 河南信阳人, 硕士, 副研究员, 主要从事个人剂量监测、辐射检测与评价工作, E-mail: dingyanqiu79@126.com

通信作者: 郭文, E-mail: guowen_cn@126.com

加 4.0%。随着核医学设备的快速发展,核医学职业人员的受照剂量引起广泛关注^[1]。核医学科已成为医疗机构辐射安全与防护管理的重点和难点^[2]。

对于核医学职业性放射工作人员的外照射个人剂量监测,国家职业卫生标准 GBZ 128《职业性外照射个人监测规范》已有相关监测规定^[3-4],主要方法是单剂量或双剂量计方法。然而,尽管该标准已实施多年,但实际监测结果在应用评估方法时存在一些问题:对于单剂量评估方法,如在使用中未正确佩戴剂量计可能导致估算的剂量低于实际受照剂量;对于双剂量计剂量评估方法,由于核医学中辐射能量较高,铅衣如不能有效屏蔽会导致铅衣内外剂量值差异不大,使用双剂量计方法进行估算的结果和铅衣内的值差别不大或者低于铅衣内的剂量值,这些导致了实际应用上的困难。

本文依据 GBZ 128—2019^[4]开展了核医学职业性放射工作人员的外照射个人剂量监测相关调研与实验性监测研究,评估核医学工作人员的监测结果,提出一些核医学监测中剂量评估所面临的问题。

1 材料与方法

1.1 问卷调查 分别在广东、四川、天津随机选取 10 家医院的 52 名核医学工作人员发放调查问卷进行调查。收集有关从事工种、使用核素、使用核医学设备、日等效操作量/月等效操作量以及剂量计佩戴情况等信息。所有参与调查人员均进行统一培训且问卷经过信度和效度的评价。

1.2 监测计划 对 52 名核医学工作人员进行 2 个周期的个人剂量监测,每个周期 2 个月。根据医院的实际佩戴情况,采用双剂量计和单剂量计相结合的方法,双剂量计方法为在铅衣内外各佩戴一枚剂量计,铅衣内的剂量计佩戴位置为左胸处,铅衣外的剂量计佩戴位置为左胸锁骨衣领位置处;单剂量计的方法为在铅衣外左胸锁骨衣领位置处佩戴一枚剂量计。同时发放指环剂量计用于监测手部剂量,指环剂量计佩戴位置为左手食指,监测的量为 $H_p(0.07)$ 。

1.3 剂量计的部分剂量学性能实验 本次监测使用的是北京光润意通公司生产的 TLD 能量鉴别式剂量计 13 片装(A 类型)和 7 片装(B 类型),以及北京光润意通公司生产的指环剂量计。在中国计量科学研究院 X 射线、 ^{137}Cs 参考辐射场进行了非线性响应、变异系数、相对误差、能量响应等方面的剂量学性能实验。A 型和 B 型剂量计在 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ 的

国际标准化组织(ISO)充水组织等效板模上照射。非线性响应使用参考辐射为 ^{137}Cs , 剂量分别为 0.3、1.0、3.0、10 和 20 mSv, 能量响应使用的参考辐射为 40 kV(N40)、60 kV(N60)、100 kV(N100)、200 kV(N200) 的 X 射线和 ^{137}Cs 源, 剂量为 1.0 mSv; 指环剂量计在直径为 19 mm, 高为 300 mm 的 PMMA 指模上照射。指环剂量计的非线性响应使用参考辐射为 ^{137}Cs , 剂量分别为 0.3、1.0、3.0、10 和 30 mSv, 能量响应使用的参考辐射为 40 kV(N40)、60 kV(N60)、100 kV(N100)、150 kV(N150)、200 kV(N200) 的 X 射线和 ^{137}Cs 源, 剂量为 1.0 mSv。

1.4 测量仪器与探测器 热释光读出仪是解放军防化研究院生产的 RGD-3 型, 退火炉是北京核仪器厂生产的 FJ-411 型。选用常规监测用探测器, 分散性为 $\pm 10\%$ 、尺寸 $\Phi 4.5\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$ 的 $\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$ 圆片。

1.5 质量控制 所使用热释光测量系统每年都在中国计量科学研究院进行定期检定, 检定结果均为合格。调查结束后对调查问卷进行复核, 确定检查调查表完整性、逻辑性。测试人员均参加了个人剂量监测相关培训。

2 结果

2.1 调查结果 本次调查了 10 家医院的 52 名核医学工作人员, 共发放调查表 52 份, 收回 52 份, 有 7 人只填写了操作核素总量, 其余信息未填写, 另有 1 人信息不全, 还有 6 人信息不符要求, 均不计入统计结果, 有效调查表为 38 份。其中, 男性 11 人, 女性 27 人; 工作 3 年以内的 20 人, 3~10 年的 8 人, 10 年以上的 6 人, 4 人未填写工作年限。38 人中从事药物分装的有 6 人, 从事药物注射有 6 人, 同时从事药物分装和药物注射的 20 人, 技师 6 人; 38 人均操作 ^{18}F , 有 10 人同时操作 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 。操作的主要设备为 PET-CT 和 SPECT-CT。操作总量在 $37\text{ GBq}(1000\text{ mCi})$ 以下的 16 人, $37\sim 185\text{ GBq}(5000\text{ mCi})$ 的 17 人, $185\text{ GBq}(5000\text{ mCi})$ 以上的 5 人, 最大约为 $356\text{ GBq}(9615\text{ mCi})$ 。

2.2 剂量计的部分剂量学性能实验 表 1 为 3 种剂量计的部分剂量学性能实验结果, 3 种剂量计的非线性响应在 $-9\%\sim 11\%$ 、变异系数小于 5%、相对误差在 $-10\%\sim 10\%$ 、能量响应在 $-29\%\sim 67\%$, 这些均满足 GB/T 10264—2014 和 IEC 62387: 2012 对剂量计的剂量学性能要求^[5-6], 基本满足 $H_p(10)$ 和 $H_p(0.07)$ 监测需求。

表 1 3 种剂量计的部分剂量学性能实验

Table 1 Experiments on the partial dosimetric performances of three types of dosimeters

剂量计类型			剂量计性能				
A	非线性响应	照射约定值/mSv	0.3	1.0	3.0	10	20
		非线性($E_i/E_r - U_{com,i}$)* C_r/C_i	0.93	0.96	0.98	0.93	1.00
	变异系数	非线性($E_i/E_r + U_{com,i}$)* C_r/C_i	1.00	1.01	1.02	0.99	1.07
		变异系数($s_i/E_i/1.77$)	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
	相对误差	变异系数($s_i/E_i/1.24$)	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03
		相对误差($(E_i - U_i) - C_i/C_i$)	-5.3%	-2.7%	-0.4%	-5.0%	1.4%
	能量响应	相对误差($(E_i + U_i) - C_i/C_i$)	0.9%	1.5%	2.7%	-0.2%	7.7%
			-26%~+9%				
B	非线性响应	照射约定值/mSv	0.3	1.0	3.0	10	20
		非线性($E_i/E_r - U_{com,i}$)* C_r/C_i	1.01	0.98	0.97	0.98	0.95
	变异系数	非线性($E_i/E_r + U_{com,i}$)* C_r/C_i	1.07	1.03	1.03	1.05	1.03
		变异系数($s_i/E_i/1.77$)	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03
	相对误差	变异系数($s_i/E_i/1.24$)	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04
		相对误差($(E_i - U_i) - C_i/C_i$)	1.0%	-2.3%	-3.1%	-2.6%	-5.2%
	能量响应	相对误差($(E_i + U_i) - C_i/C_i$)	5.3%	1.2%	1.2%	3.3%	1.4%
			-27%~+3%				
指环	非线性响应	照射约定值/mSv	0.3	1.0	3.0	10	30
		非线性($E_i/E_r - U_{com,i}$)* C_r/C_i	0.92	0.92	0.98	0.99	0.99
	变异系数	非线性($E_i/E_r + U_{com,i}$)* C_r/C_i	0.96	0.97	1.02	1.02	1.02
		变异系数($s_i/E_i/1.77$)	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00
	相对误差	变异系数($s_i/E_i/1.24$)	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01
		相对误差($(E_i - U_i) - C_i/C_i$)	-6.0%	-6.1%	0.8%	2.3%	2.4%
	能量响应	相对误差($(E_i + U_i) - C_i/C_i$)	-1.9%	-1.3%	3.7%	3.4%	3.7%
			-28%~+5%				

2.3 监测结果 10 家医院 52 名核医学工作人员 2 周期的个人剂量监测结果见表 2、表 3, 表中 10 家医院用 A~J 字母表示, 人员用 01~52 编号表示。8 名核医学工作人员佩戴单剂量计, 剩余的 44 名佩戴双剂量计(有 5 名佩戴不规范, 铅衣外剂量计丢失)。在 44 名佩戴双剂量计的工作人员中, 有 5 名未佩戴铅围脖。对于佩戴单剂量计的人员采用 GBZ 128—2019《职业性外照射个人监测规范》中 6.2.3 的单剂量计估算公式估算有效剂量, 对于佩戴双剂量计的人员分别采用 GBZ 128—2019 中 6.2.4 的双剂量计估算公式和 6.2.3 的单剂量计估算公式估算有效剂量。对于 5 名佩戴不规范的人员无法根据 GBZ 128—2019 标准给出合适的估算公式, 无法得出有效剂量的结果。

3 讨论

通过 10 家医院的 52 名核医学工作人员 2 个监测周期的个人剂量监测结果可以看出, 对于佩戴双剂量计核医学工作人员, 使用双剂量计方法估算的有效剂量大多数小于铅衣内的剂量值。对于佩戴单剂量计的核医学工作人员, 有效剂量的最大值为 0.11 mSv。

使用单剂量方法估算的有效剂量基本上都小于双剂量计方法估算的有效剂量。2 个周期中有效剂量的最大值为 0.23 mSv, 假设工作人员的全年工作负荷基本一致的情况下, 根据 2 个周期的监测结果推算全年可得出有效剂量的最大值为 1.3 mSv, 不超过年有效剂量的限值^[7]。

通过对工作人员手部佩戴指环剂量计监测手部剂量可得到 2 个周期的最大手部剂量为 53 mSv, 推算到全年的结果为 315 mSv, 未超过皮肤的年当量剂量限值 500 mSv^[7-8]。

对 52 核医学工作人员发放了调查问卷, 收回的有效问卷为 38 份, 有效问卷占全部问卷的 73.1%, 根据调查的结果, 操作核素总量和受照剂量的结果不存在明显的正向关联性, 可能是被调查工作人员自己统计每个周期的操作核素总量, 存在统计不全面的情况。

不同于介入诊疗使用较低能量的 X 射线^[9], 核医学职业性外照射的光子能量较高, 特别对于操作 ¹⁸F 的工作人员铅衣内外剂量计结果差别不大, 铅衣的屏蔽效果不明显, 通过表 2、表 3 可以看出使用 GBZ 128—2019《职业性外照射个人监测规范》给出的双剂量估算公式计算的有效剂量值与铅衣内的剂

表 2 佩戴双剂量计的核医学工作人员两周期的个人剂量监测结果 (每个监测周期 2 个月)

Table 2 Monitoring of personal dose of nuclear medicine workers wearing double dosimeter for two periods (for two month seach period)

监测单位	人员编号	第一周期					第二周期				
		铅衣内剂量值/ mSv	铅衣外剂量值/ mSv	有效剂量 ^a / mSv	有效剂量 ^b / mSv	指环剂量值/ mSv	铅衣内剂量值/ mSv	铅衣外剂量值/ mSv	有效剂量 ^a / mSv	有效剂量 ^b / mSv	指环剂量值/ mSv
A	01	<MDL	0.42	—	0.04	0.55	<MDL	0.17	—	0.02	0.17
	02	<MDL	<MDL	—	—	5.5	/	/	/	/	/
	03	<MDL	<MDL	—	—	3.0	<MDL	<MDL	—	—	2.9
	04	<MDL	<MDL	—	—	8.1	<MDL	<MDL	—	—	2.2
	05	<MDL	<MDL	—	—	3.0	<MDL	<MDL	—	—	2.1
	06	<MDL	0.05	—	<MDL	0.10	<MDL	<MDL	—	—	1.7
B	07	0.06	<MDL	—	—	53	<MDL	0.04	—	<MDL	22.3
	08	<MDL	<MDL	—	—	40	<MDL	<MDL	—	—	39
C	09	0.06	0.10	0.05	0.01	8.4	<MDL	0.02	—	<MDL	2.9
	10	0.04	0.08	0.04	<MDL	7.4	<MDL	0.04	—	<MDL	4.7
	11	0.02	0.16	0.02	0.02	11.0	0.02	0.07	0.02	<MDL	2.1
	12	0.04	0.15	0.04	0.02	7.0	<MDL	0.01	—	<MDL	2.6
D	13	0.06	0.08	0.05	<MDL	12.1	0.02	0.01	0.02	<MDL	9.3
	14	0.01	0.05	0.01	<MDL	6.2	<MDL	<MDL	—	—	/
	15	0.12	0.19	0.10	0.02	11.1	0.08	0.03	0.06	<MDL	11.7
	16	0.06	0.12	0.05	0.01	10.9	<MDL	<MDL	—	—	4.1
	17	0.10	0.19	0.09	0.02	8.3	<MDL	<MDL	—	—	3.5
	18	0.12	0.16	0.10	0.02	0.41	<MDL	<MDL	—	—	<MDL
E	19	0.14	0.24	0.12	0.02	1.92	<MDL	0.05	—	<MDL	0.11
	20	0.19	0.23	0.16	0.02	3.0	<MDL	0.03	—	<MDL	0.10
	21	0.14	0.16	0.12	0.02	5.8	<MDL	<MDL	—	—	2.1
	22	0.17	0.15	0.14	0.02	0.58	<MDL	<MDL	—	—	<MDL
	23	0.15	0.17	0.13	0.02	2.4	<MDL	<MDL	—	—	0.48
	24	0.11	0.14	0.09	0.01	0.63	<MDL	0.11	—	0.01	1.1
	25	0.14	0.08	0.11	<MDL	1.07	<MDL	0.05	—	<MDL	0.53
F	26	0.02	/	—	—	4.7	0.18	0.08	0.15	<MDL	2.4
	27	0.05	/	—	—	8.2	0.18	0.09	0.15	<MDL	5.6
	28	0.03	/	—	—	6.9	0.18	0.14	0.15	0.01	17.9
G	29	<MDL	<MDL	—	—	0.02	0.25	0.17	0.23	0.02	5.1
	30	0.11	0.06	0.09	<MDL	4.8	0.18	0.14	0.17	0.01	0.13
	31	<MDL	0.04	—	<MDL	0.08	0.15	0.13	0.14	0.01	0.14
	32	0.02	0.01	0.02	<MDL	/	0.23	0.15	0.21	0.02	/
	33	0.16	0.05	0.13	<MDL	4.8	0.17	0.14	0.16	0.01	0.29
H	34	0.01	0.06	0.01	<MDL	0.03	0.08	0.02	0.06	<MDL	<MDL
	35	0.03	0.06	0.03	<MDL	0.09	0.08	0.01	0.06	<MDL	<MDL
	36	0.02	0.01	0.02	<MDL	<MDL	0.06	0.02	0.05	<MDL	<MDL
	37	0.09	0.05	0.07	<MDL	<MDL	0.09	0.19	0.08	0.02	0.55
	38	0.05	0.07	0.04	<MDL	0.11	0.06	0.20	0.06	0.02	1.4
	39	0.06	0.31	0.06	0.03	1.14	0.09	0.03	0.07	<MDL	<MDL
	40	0.06	0.16	0.06	0.02	0.82	0.13	0.06	0.11	<MDL	<MDL
I	41	0.11	0.10	0.09	0.01	0.76	0.10	0.06	0.08	<MDL	0.61
	42	0.07	0.07	0.06	<MDL	0.23	0.07	<MDL	—	—	0.10
	43	0.07	/	—	—	0.22	0.04	/	—	—	0.21
	44	0.03	/	—	—	3.8	0.02	/	—	—	1.5

注:MDL为最低可探测水平,本次实验方法的MDL为0.01 mSv。/表示未有该项数据,-表示无法根据剂量估算公式得出有效剂量的结果,有效剂量^a表示使用双剂量估算公式计算的有效剂量结果,有效剂量^b表示使用单剂量估算公式计算的有效剂量结果

表 3 佩戴单剂量计的核医学工作人员两周期的个人剂量监测结果 (每个监测周期 2 个月)

Table 3 Monitoring of personal dose of nuclear medicine workers wearing single dosimeter for two periods(for two month seach period)

监测单位	人员编号	第一周期			第二周期		
		铅衣外剂量值/mSv	有效剂量/mSv	指环剂量值/mSv	铅衣外剂量值/mSv	有效剂量/mSv	指环剂量值/mSv
I	45	0.45	0.05	28.4	0.35	0.04	15.8
	46	0.31	0.02	0.27	0.32	0.03	0.20
J	47	0.12	0.01	21.3	0.16	0.02	27.3
	48	1.13	0.11	0.70	0.56	0.06	0.75
	49	0.06	<MDL	3.5	0.12	0.01	2.1
	50	0.07	<MDL	5.9	0.11	0.01	4.9
	51	0.07	<MDL	4.5	0.04	<MDL	2.4
	52	0.09	<MDL	0.10	0.05	<MDL	0.06

注:MDL为最低可探测水平,本次实验方法的MDL为0.01 mSv

量值差别不大。可见对于核医学工作人员通过佩戴铅衣进行防护的效果并不明显,也可能有工作量不够大的原因。使用 GBZ 128—2019 标准给出的单剂量计估算公式,如果铅衣外的剂量值本身就不高,再乘以 0.1 的系数,得到的结果就会小于仪器的最低可探测水平。

根据 52 名核医学工作人员 2 个监测周期的个人剂量监测结果,提出一些核医学监测中剂量评估所面临的问题:1)在铅衣外佩戴单剂量计进行监测时,对于铅衣外 $H_p(10)$ 值比较低的情况下,乘以 0.1 的系数时需要设置限制条件才不会低估核医学工作人员的有效剂量;2)在铅衣内外佩戴双剂量计进行监测时,对于铅衣外的 $H_p(10)$ 值和铅衣内的 $H_p(10)$ 值比较接近时,或者铅衣外的 $H_p(10)$ 值小于铅衣内的 $H_p(10)$ 值时,铅衣内外的 $H_p(10)$ 值需要满足一定的比例才能使用估算公式。因此,无论是使用单剂量计或双剂量计估算公式都需要进一步研究和完善。

由于受新冠疫情影响,目前的实验人数以及监测周期数据有限。实验室将进一步扩大研究,增加实验人数以及监测周期,获得足够的实验数据并建立完善的模型,同时进行源项分析、辐射场分布研究和多种方式的剂量模拟计算,给出估算有效剂量的较准确的评估公式。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,排名无争议。文章不涉及任何利益冲突

作者贡献声明 丁艳秋负责实验方案制定,数据的采集、分析和论文的撰写;翟贺争负责实验方案制订和修改论文;谭展负责数据的分析;王恺怡和高品负责数据的采集和记录;胡爱英和郭文负责实验方案制订、数据分析、论文撰写指导

参考文献

- [1] 宋颖,欧向明,刘辉,等.核医学职业人员眼晶状体剂量测量方法研究[J].中国医学装备,2019,16(10):25-27. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2019.10.007.
- Song Y, Ou XM, Liu H, et al. Study on the measurement method for the dose of eye lens of nuclear medical staff[J]. China Med Equip, 2019, 16(10): 25-27. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2019.10.007.
- [2] 张辉. 2009—2013年天津市7家医院临床核医学工作人员个人剂量监测结果分析[J]. 工业卫生与职业病, 2017, 43(4): 309-311. DOI: 10.13692/j.cnki.gywsyzyb.2017.04.019.

Zhang H. Analysis of personal dose monitoring results of clinical nuclear medicine workers in 7 hospitals in Tianjin from 2009 to 2013[J]. Ind Heal Occup Dis, 2017, 43(4): 309-311. DOI: 10.13692/j.cnki.gywsyzyb.2017.04.019.

- [3] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ 128—2016 中华人民共和国国家职业卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- GBZ 128—2016 Specifications for individual monitoring of occupational external exposure[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [4] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GBZ 128—2019 职业性外照射个人监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019
- National Health Commission of the People's Republic of China. GBZ 128—2019 Specifications for individual monitoring of occupational external exposure[S]. Beijing: Standard press of China, 2019.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 10264—2014 个人和环境监测用热释光剂量测量系统[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 10264—2014 Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [6] International Electrotechnical commission. IEC 62387: 2012 Radiation protection instrumentation -Passive integrating dosimetry systems for personal and environmental monitoring of photon and beta radiation[R]. London: IEC, 2012.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 18871—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, 2004
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 18871—2002 Basic standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources[S]. Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [8] 王彬, 高峰, 钱爱君, 等. 核医学科放射工作人员手部剂量监测结果初探[J]. 中国辐射卫生, 2017, 26(6): 633-636. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2017.06.004.
- Wang B, Gao LF, Qian AJ, et al. A preliminary study on the results of hand exposure of nuclear medicine workers[J]. Chin J Radiol Health, 2017, 26(6): 633-636. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2017.06.004.
- [9] International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication NO. 139: Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures[R]. Pergamon: ICRP, 2018.

(收稿日期:2021-06-06)