

# 2021—2023 年上海市外照射个人剂量监测机构能力比对结果与分析

钱爱君<sup>1</sup>, 温学新<sup>2</sup>, 高林峰<sup>1</sup>, 杨范翘楚<sup>3</sup>, 姚杰<sup>1</sup>, 黄敏鹏<sup>1</sup>

- 上海市疾病预防控制中心放射卫生科, 上海 200336
- 上海市虹口区疾病预防控制中心环境与职业卫生科, 上海 200082
- 复旦大学公共卫生学院, 上海 200433



DOI 10.11836/JEOM24064

## 摘要:

**[背景]** 放射工作人员外照射个人剂量监测是法定的监测任务,也是放射工作人员职业病诊断的重要依据,确保监测数据的准确性和可靠性对于保障放射工作人员健康至关重要。

**[目的]** 本研究旨在通过比对评估上海市放射卫生技术服务机构外照射个人剂量监测的能力和水平,规范相关工作流程,并提高监测的准确性和可靠性。

**[方法]** 2021—2023 年间,组织上海市放射卫生技术服务机构进行年度外照射个人剂量监测能力比对。研究对象为上海市辖区内的 19~21 家放射卫生技术服务机构,所有机构均参与了外照射个人剂量监测能力比对。监测对象包括 16 家区级疾病预防控制中心和 13 家第三方检测机构。监测能力通过评定单组性能、综合性能及 Q 值进行分析。比对中,使用热释光剂量测量系统对热释光剂量计 [材料为氟化锂(镁、铜、磷) LiF(Mg, Cu, P)] 进行照射测试,依据 GBZ 207—2016 对 X 射线和 γ 射线在不同剂量和照射条件下的监测数据进行分析。统计方法包括 t 检验和 Kolmogorov-Smirnov 检验,统计学差异设为  $P < 0.05$ 。

**[结果]** 2021—2023 年,参与比对的机构数分别为 19、21 和 19 家,总合格率为 94.9%(56/59)。2022 年、2023 年分别有 2 家和 1 家不合格。单组性能和综合性能到达优秀标准的机构数分别为 9、12 和 13 家,最终评定优秀的机构分别为 3、7 和 8 家,总优秀率为 30.5%(18/59),优秀转化率为 52.9%。单组性能和综合性能的合格率均为 98.3%。X 射线监测结果中,负偏差组数为正偏差组数的 1.86 倍,γ 射线的负偏差组数为正偏差组数的 1.10 倍,X 射线在  $< 1.0$  mSv 和  $> 1.0$  mSv 的偏差差异有统计学意义( $P=0.01$ ),而相同剂量下,X 射线和 γ 射线的单组性能偏差无统计学意义。2021 年和 2022 年的 X 射线报告值与参考值的差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),2023 年无统计学意义( $P > 0.05$ );γ 射线三年的报告值与参考值的差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

**[结论]** 连续三年,上海市放射卫生技术服务机构的外照射个人剂量监测能力比对结果显示,合格率持续保持在较高水平,且优秀率逐年上升。尽管如此,仍有部分机构的监测能力有待提高,需加强机构间的合作和技术人员的培训,进一步提升上海市外照射个人剂量监测的能力和规范化水平。

**关键词:** 个人剂量;监测;比对;单组性能;综合性能

**Intercomparison of institutions providing individual external exposure monitoring services in Shanghai from 2021 to 2023** QIAN Aijun<sup>1</sup>, WEN Xuexin<sup>2</sup>, GAO Linfeng<sup>1</sup>, YANGFAN Qiaochu<sup>3</sup>, YAO Jie<sup>1</sup>, HUANG Minpeng<sup>1</sup> (1. Department of Radiation Protection, Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China; 2. Department of Environmental and Occupational Health, Hongkou District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200082, China; 3. School of Public Health, Fudan University, Shanghai 200433, China)

## Abstract:

**[Background]** The monitoring of external radiation individual doses for radiation workers is a statutory task and serves as an important basis for the diagnosis of occupational diseases in this occupational group. Ensuring the accuracy and reliability of monitoring data is crucial for safeguarding the health of radiation workers.

## 基金项目

上海市公共卫生重点学科项目(GWVI-11.1-40);上海市卫生健康委员会 2023 年度卫生行业临床研究专项(202340299)

## 作者简介

并列第一作者。  
钱爱君(1985—),女,学士,副主任技师;  
E-mail: qianajun@scdc.sh.cn  
温学新(1967—),男,学士,副主任医师;  
E-mail: wxuexing@163.com

## 通信作者

高林峰, E-mail: gaolinfeng@scdc.sh.cn

## 作者中包含编委会成员 有

伦理审批 不需要

利益冲突 无申报

收稿日期 2024-02-21

录用日期 2024-09-09

文章编号 2095-9982(2024)10-1162-05

中图分类号 R14

文献标志码 A

## 引用

钱爱君,温学新,高林峰,等. 2021—2023 年上海市外照射个人剂量监测机构能力比对结果与分析[J]. 环境与职业医学, 2024, 41(10): 1162-1166.

## 本文链接

[www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM24064](http://www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM24064)

## Funding

This study was funded.

## Correspondence to

GAO Linfeng, E-mail: gaolinfeng@scdc.sh.cn

## Editorial Board Members' authorship Yes

Ethics approval Not required

Competing interests None declared

Received 2024-02-21

Accepted 2024-09-09

## To cite

QIAN Aijun, WEN Xuexin, GAO Linfeng, et al. Intercomparison of institutions providing individual external exposure monitoring services in Shanghai from 2021 to 2023[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2024, 41(10): 1162-1166.

## Link to this article

[www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM24064](http://www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM24064)

**[Objective]** To evaluate and compare the capabilities and levels of external radiation individual dose monitoring conducted by radiation hygiene service institutions in Shanghai, to standardize relevant workflows, and to improve the accuracy and reliability of the monitoring service.

**[Methods]** From 2021 to 2023, annual intercomparisons of external radiation individual dose monitoring capabilities were organized for radiation hygiene service institutions in Shanghai. The study subjects were 19 to 21 radiation hygiene service institutions registered in Shanghai for each year and they all participated in the intercomparisons. The monitoring subjects included 16 district-level centers for disease control and prevention (CDCs) and 13 third-party testing agencies. Monitoring capabilities were analyzed based on single-group performance, comprehensive performance, and Q-value. In the intercomparison, a thermoluminescent dosimetry system was used to perform irradiation tests on thermoluminescence dosimeter [made of lithium fluoride (magnesium, copper, phosphorus), LiF (Mg, Cu, P)], and monitoring data for X-rays and  $\gamma$ -rays at different doses and radiation conditions were analyzed following a standard procedure specified by GBZ 207-2016. Statistical methods included *t*-test and Kolmogorov-Smirnov test, with statistical significance set at  $P < 0.05$ .

**[Results]** From 2021 to 2023, the number of participating institutions was 19, 21, and 19, respectively, with an overall pass rate of 94.9% (56/59). Two institutions failed in 2022 and one in 2023. The number of institutions meeting the excellent standard in single-group and comprehensive performance was 9, 12, and 13, respectively, and the number of institutions ultimately rated as excellent was 3, 7, and 8, respectively, with an overall excellence rate of 30.5% (18/59) and an excellence conversion rate of 52.9%. The pass rates for single-group and comprehensive performance were both 98.3%. The number of groups with negative deviation was 1.86 times that of groups with positive deviation for X-rays, and 1.10 times for  $\gamma$ -rays. For X-rays, there was a statistically significant deviation between doses of less than 1.0 mSv and more than 1.0 mSv ( $P=0.01$ ), while there was no significant difference in the single-group performance deviation between X-rays and  $\gamma$ -rays at the same dose. There was a statistically significant difference between the reported and reference values for X-rays in 2021 and 2022 ( $P < 0.05$ ), but no significant difference in 2023 ( $P > 0.05$ ); there was no significant difference between the reported and reference values for  $\gamma$ -rays over the three years ( $P > 0.05$ ).

**[Conclusion]** Over the past three years, the external radiation individual dose monitoring capability intercomparison results of radiation hygiene service institutions in Shanghai have shown that the pass rate remains at a high level, with the excellence rate increasing year by year. However, some institutions still need to improve their monitoring capabilities, and further cooperation among institutions and training for technical staff are needed to enhance the capabilities and standardization of external radiation individual dose monitoring in Shanghai.

**Keywords:** individual dose; monitoring; intercomparison; single-group performance; comprehensive performance

外照射个人剂量监测是保障放射工作人员职业健康的重要技术手段,也是放射防护工作的重要组成部分。定期组织外照射个人剂量监测机构进行比对,既能提高检测水平,同时也是国际监管机构进行资质授权的通用要求<sup>[1-3]</sup>。中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所定期组织开展全国外照射个人剂量监测能力考核工作,根据《国家卫生健康委办公厅关于印发职业病防治项目工作方案的通知》分级组织放射卫生检测能力比对工作的要求,上海市疾病预防控制中心(以下简称组织机构)定期组织辖区内放射卫生技术服务机构进行外照射个人剂量监测能力比对。本文通过分析上海市近三年来外照射个人剂量监测能力比对结果,梳理比对中出现的问题,为进一步规范和提升上海市外照射个人剂量监测工作和水平提出改进建议。

## 1 材料与方法

### 1.1 参加比对机构

当年上海市辖区内所有具有外照射个人剂量监测资质的放射卫生技术服务机构,包括各区疾病预防控制中心和其他第三方检测机构。参加由中国疾病预

防控制中心辐射安全所组织的能力比对的放射卫生技术服务机构不再重复参加上海市组织的能力比对。

### 1.2 仪器设备

使用 RGD 系列热释光剂量仪(北京海阳博创科技股份有限公司,中国),测量程序为升温速率为  $15\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ ,预热温度  $135\text{ }^{\circ}\text{C}$  持续 8 s,测量温度  $240\text{ }^{\circ}\text{C}$  持续 12 s,占参加比对机构总数的 97%,其余 3%使用的热释光剂量仪为其他国产品牌的热释光剂量仪。80%使用鉴别式剂量计。20%使用非鉴别式剂量计。探测器为 GR-200A 型热释光剂量计 [材料为氟化锂(镁、铜、磷) LiF (Mg, Cu, P)] 圆片(直径 4.5 mm,厚度 0.8 mm)。

### 1.3 比对方案

2021—2023 年每年组织一次外照射个人剂量监测能力比对工作,参加比对的机构包括上海市各区疾病预防控制中心及其他具有外照射个人剂量监测业务范围的放射卫生技术服务机构,上海市疾病预防控制中心作为组织机构负责制定比对方案、样品传递、比对结果判定等工作。参加比对机构按要求准备剂量计并按规定的进度和递送方式将剂量计寄送到组织机构,收到组织机构寄回的剂量计后及时检测,并向组织者提交检测报告、数据处理和测量结果不确定度评定的结果

和过程。

#### 1.4 照射方式

依据 GBZ 207—2016《外照射个人剂量系统性能检验规范》第 5 章相关要求设定参考值进行照射,不告知射线类型、能量和照射角度。剂量计在体模上照射,采用 30 cm×30 cm×15 cm 的组织等效充水板模,具体照射事宜委托中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所实施。

#### 1.5 结果判定

(1) 单组性能 $P_i$ 判定: 参照 GBZ 207—2016《外照射个人剂量系统性能检验规范》, 允许水平 $L$ 为 0.30。当 $|P_i| \leq L$ , 则判定该照射组的单项性能合格, 当同一类型单组性能检验不合格组数 $\geq 2$ 时, 则判定该类型的单组性能检验不合格。

$$P_i = [H_R(d)_i - H_P(d)_i] / H_P(d)_i \quad (1)$$

式中,  $H_R(d)_i$ 为报告值,  $H_P(d)_i$ 为参考值。

(2) 综合性能判定:  $L$ 取值为 0.30。当 $B^2 + S^2 \leq L^2$ 时, 判定该类型的综合性能检验为合格。

$$B = \bar{P} = (1/5) \sum_{i=1}^5 P_i \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (P_i - \bar{P})^2}{4}} \quad (3)$$

式中,  $B$ 为个人剂量系统对该类型的综合性能的偏离,  $S$ 为个人剂量系统对该类型的综合性能的偏离的标准差。

(3) 合格判定: 单组性能和综合性能检验均合格时, 该外照射个人剂量系统性能判定为合格。有以下之一者判定不合格: 单组性能和综合性能有一项不合格; 参加比对机构收到盲样剂量计后中途退出; 检测报告与原始记录信息不一致; 剂量计未按要求准备。

(4) 优秀判定:  $L$ 取值 0.10 时, 同时满足 $|P_i| \leq L$ 和 $B^2 + S^2 \leq L^2$ 得 70 分, 进入检测报告评分(10 分), 满 80 分者进行质量控制 $Q$ 值(20 分)评定, 总分 $\geq 95$ 分判定为优秀。

$$\text{优秀转化率} = \frac{\text{单组性能及综合性能} < 0.1 \text{ 机构数}}{\text{优秀机构数}} \times 100\% \quad (4)$$

(5)  $Q$  值评定: 总分 20 分。包括原始记录信息的完整性(6 分); 数据处理公式表述正确、计算过程完整(4 分); 原始记录书写字迹清晰可辨, 修改规范(2 分); 溯源证明文件, 提供有效检定或校准证书(2 分); 不确定度评定对 A 类评定及 B 类(校准、能响、角响、非线性等分量)评定(1 分); 合成方法或公式表

述正确、计算过程完整(2 分); 测量结果表述的规范性(2 分); 符号书写的规范性(1 分)。

#### 1.6 质量控制

组织机构对剂量计上的比对参与机构信息进行遮挡, 照射期间照射机构并不知晓比对参与机构信息。在比对期间, 组织机构除说明跟随本底组的编号外, 不提供其他任何与照射相关的信息。

#### 1.7 数据处理

使用 excel 软件(版本号: 2409 Build 16.0.18025.20160)进行数据汇总, SPSS 16.0 软件进行分析。使用  $t$  检验对不同射线质不同剂量的单组性能偏差进行统计学分析, Kolmogorov-Smirnov 检验分析 X 射线和  $\gamma$  射线的报告值和参考值的偏差,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 比对结果

2021—2023 年上海市分别有 19、21、19 合计 59 家机构参加比对, 16 家为区疾控中心, 13 家为其他第三方检测机构。2021—2023 年合格率分别为 100.0%、90.5%、94.7%, 2022 年、2023 年分别有 2 家和 1 家不合格, 机构分布为 1 家区疾控中心和 2 家其他第三方检测机构。优秀率由 2021 年的 15.8% 提高到 2023 年的 42.1%, 见表 1。

表 1 2021—2023 年上海市外照射个人剂量检测机构能力比对结果

Table 1 Intercomparison results of individual dose monitoring capacity for external exposure in Shanghai from 2021 to 2023

年份	参比机构数	不合格数	合格数	优秀数
2021	19	0	19	3
2022	21	2	19	7
2023	19	1	18	8
合计	59	3	56	18

### 2.2 单组性能和综合性能结果分析

295 组单组性能合格率为 98.3%, 85.4% 达到优秀水平, 单组性能不合格有 5 组, 最大单组性能偏差达到 0.66。59 组综合性能中, 合格率为 98.3%, 优秀率 81.4%, 不合格 1 组。详见表 2、表 3。不同参考辐射的单组性能偏差见表 4, X 射线优秀组数为 89(占比 75.4%),  $\gamma$  射线优秀组数为 163(占比 92.1%), 进一步分析偏差方向分布(图 1、图 2), X 射线负偏差、零偏差和正偏差组数分别为 69、12、37, 负偏差组数为正偏差组数的 1.86 倍,  $\gamma$  射线负偏差、零偏差和正偏差

组数分别为 85、15、77, 负偏差组数为正偏差组数的 1.10 倍, 使用  $t$  检验对不同射线质不同剂量进行统计学分析:  $\gamma$  射线不同照射剂量的单组性能偏差的差异无统计学意义; X 射线照射  $< 1.0$  mSv 和  $> 1.0$  mSv 的偏差的差异有统计学意义 ( $P=0.01$ ), 照射剂量  $> 1.0$  mSv 时, 单组性能偏差更大; 80 kV 条件下不同照射剂量的差异无统计学意义; 100 kV 条件下, 单组性能偏差随着照射剂量的增加而增加。相同剂量条件下 ( $< 1.0$  mSv), X 射线和  $\gamma$  射线的单组性能偏差的差异无统计学意义; 角度照射和  $0^\circ$  照射造成的偏差的差异无统计学意义。

表 2 2021—2023 年上海市外照射个人剂量检测机构能力比对单组性能结果

Table 2 Single-group performance results of individual dose monitoring capacity intercomparison for external exposure in Shanghai from 2021 to 2023

年份	组数	$ P_i  \leq 0.10$	$0.1 <  P_i  \leq 0.30$	$ P_i  > 0.30$
2021	95	76	19	0
2022	105	91	11	3
2023	95	85	8	2
合计	295	252	38	5
百分比/%	—	85.4	12.9	1.7

表 3 2021—2023 年上海市外照射个人剂量能力比对综合性能 ( $\sqrt{B^2 + S^2}$ ) 结果

Table 3 Comprehensive performance results of individual dose monitoring capacity intercomparison for external radiation in Shanghai from 2021 to 2023 ( $\sqrt{B^2 + S^2}$ )

年份	组数	$\leq 0.10$	$0.10 \sim \leq 0.30$	$> 0.30$
2021	19	12	7	0
2022	21	18	2	1
2023	19	18	1	0
合计	59	48	10	1
百分比/%	—	81.4	16.9	1.7

表 4 不同参考辐射的单组性能偏差分布

Table 4 Distribution of single-group performance deviations by reference radiations

参考辐射	参考值/mSv	$P \leq 0.10$	$0.10 < P \leq 0.30$	$P > 0.30$
X射线	0.50~1.3	89	25	4
$\gamma$ 射线	$\leq 1.0$	54	4	1
	1.0~3.0	56	6	0
	$> 3.0$	53	3	0
合计	—	252	38	5

使用 Kolmogorov-Smirnov 检验对报告值和参考值进行分析, 2021 年和 2022 年 X 射线的报告值和参考值的差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 2023 年报告值和参考值的差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ );  $\gamma$  射线三年的报告值和参考值差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。

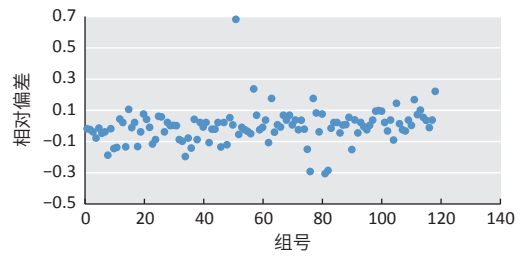


图 1 X 射线单组性能偏差分布

Figure 1 Distribution of single-group performance deviations for X-rays

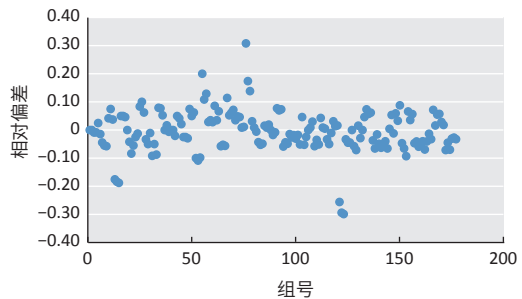


图 2  $\gamma$  射线单组性能偏差分布

Figure 2 Distribution of single-group performance deviations for  $\gamma$ -rays

### 2.3 检测报告评分和 Q 值评定

根据比对方案优秀的判定规则, 当单组性能和综合性能达到优秀标准时进入报告评分环节, 报告满分则进入 Q 值评定。2021—2023 年单组性能和综合性能到达优秀的机构分别为 9、12 和 13 家, 最后经报告评分和 Q 值评定判定优秀的为 3、7 和 8 家, 优秀转化率为 33.3%、58.3%、62.5%, 说明有不少机构的检测报告或 Q 值评定不符合优秀标准, 扣分项主要有: 检测报告中检测方法错误, 缺少检测仪器及编号、最低探测下限, 页码错误; 原始记录缺少探测器元件、检测条件和检测方法、复核人, 计算公式错误; 不确定度评定缺少分量, 公式错误, 符号书写和有效位数修约不规范, 数据处理过程不完整。

### 3 讨论

自 2009 年起, 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所每年组织全国性外照射个人剂量监测能力考核, 极大推动了全国外照射个人剂量监测能力和检测质量的提升, 得到各地外照射个人剂量监测技术服务机构的重视和积极参与。到 2020 年, 参与考核的机构已达到 457 家<sup>[4]</sup>。自 2021 年起, 考核工作实施分级组织, 各省市负责本辖区的外照射个人剂量监测能力比对工作。通过对上海市近三年外照射个人剂量监测能力比对结果的汇总分析, 59 家参与的监测机构



能力比对结果合格率保持在较高水平,优秀率逐年上升,高于2015—2019年和2021年全国能力比对结果<sup>[4-5]</sup>。不合格的机构有3家,占比5%,经过调查分析,两家为热释光测读仪器不稳定,另一家是因为混入不同批次的探测器元件,导致5组单组性能为-0.26~-0.33,存在系统误差。究其原因,主要是检测人员未做好仪器使用前后的设备状态检查,且未完全掌握热释光检测外照射个人剂量的原理,设备在长期使用中缺乏定期的维护、校准和性能检测,导致测读仪器无法在规定的精度范围内正常工作;在检测过程中,未能严格执行标准的检测流程,对探测器的批次管理和溯源不重视,导致元件混用。尽管质控干预措施每年都会进行,但这些机构的设备维护、检测方法改进和人员培训等方面的措施未能有效落实,导致检测质量未见显著提升。针对这一情况,部分机构还需进一步做好热释光测量系统的期间核查和实验室环境控制,加强检测人员热释光检测理论知识的培训。59家对比机构中,80%使用能量鉴别式外照射个人剂量计,有效降低了能量响应误差<sup>[6]</sup>。295组单组性能合格率为98%,其中85%达到优秀水平。59组综合性能合格率为98%,优秀率为81%。进一步分析单组性能偏差方向,发现X射线照射组负偏差为正偏差的1.86倍,明显高于 $\gamma$ 射线照射组的1.10倍。这种情况在2021年国家外照射个人剂量监测能力比对中也存在类似情况<sup>[4,7]</sup>,组织机构在条件实验中未发现盲样照射过程中存在偏差的倾向性,分析其可能原因:X射线能量较 $\gamma$ 射线能量低,穿透力相对弱,容易受到环境和仪器稳定性的干扰。此外,盲样照射辐射场和剂量刻度辐射场之间的差异、照射角度的影响,以及热释光测度仪器和剂量元件的响应不稳定和剂量元件的分散性过大等,都是导致偏差的潜在因素,这些系统性问题在日后的质控措施中将重点解决。单组性能和综合性能总体达到优秀的有34家,实际取得优秀的只有18家,优秀转化率为52.9%,说明不少单位的检测报告和Q值没有达到优秀标准。存在问题主要有:检测报告中检测方法错误,缺少检测仪器及编号、最低探测下限,页码错误;原始记录缺少探测器元件、检测条件和检测方法、复核人,计算公式错误;不确定度评定缺少分量,公式错误,符号书写和有效位数修约不规范,数据处理过程不完整。经过调查分析,检验报告信息不完整主要是部分机构检验报告格式受限于单位lims系统,缺少相关要素;参加比对的实验室检测人员流动性大,部分实验室未对新从事外照射外照射个

人剂量检测工作的人员进行充分培训等。

总体来看,2021—2023年上海市外照射个人剂量监测能力比对结果令人满意,但也有3家不合格以及报告和Q值扣分较多。针对比对中存在问题,组织机构应加强对放射卫生技术服务机构的技术支持和专业知识培训,特别是针对不合格机构,需实施更严格的质控干预措施并跟踪其改进情况。未来放射卫生技术服务机构应将比对工作纳入年度计划,持续提升实验室的管理水平和检测人员的业务能力。特别是要加强仪器设备维护、实验耗材管理、实验室环境控制等方面,形成系统化的质控体系,确保每家机构的检测质量逐年提升。检测人员应积极参加相关培训,掌握热释光检测的原理、方法和操作技术,加强相关标准的学习,做好热释光剂量检测系统的检定、期间核查、剂量元件的筛选、不确定度研究等工作。提升上海市外照射个人剂量检测能力,需组织机构、放射卫生技术服务机构和检测人员的共同努力。

#### 参考文献

- [1] 卫晓峰, 侯雪莉, 曹勤剑, 等. 2018年IAEA亚太地区外照射个人剂量监测比对结果分析[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2020, 40(12): 956-961.  
WEI XF, HOU XL, CAO QJ, et al. Analysis of IAEA individual monitoring intercomparison for external radiation exposure in Asia and the Pacific region in 2018[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2020, 40(12): 956-961.
- [2] International Atomic Energy Agency. Occupational radiation protection[M]. Vienna: IAEA, 2018.
- [3] 肖虹, 高林峰, 姚杰, 等. 上海市某实验室个人剂量监测能力比对结果的有效性分析[J]. *环境与职业医学*, 2023, 40(5): 571-576.  
XIAO H, GAO LF, YAO J, et al. Effectiveness of personal dose monitoring intercomparison results in a laboratory in Shanghai[J]. *J Environ Occup Med*, 2023, 40(5): 571-576.
- [4] 高品, 丁艳秋, 王恺怡, 等. 2021年国家外照射个人剂量监测能力比对结果与分析[J]. *中国辐射卫生*, 2022, 31(6): 651-656.  
GAO P, DING YQ, WANG KY, et al. Results and analysis of national personal dose monitoring intercomparison in 2021[J]. *Chin J Radiol Health*, 2022, 31(6): 651-656.
- [5] 丁艳秋, 王恺怡, 张璇, 等. 2015-2019年全国外照射个人剂量监测能力考核结果分析与总结[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2021, 41(3): 194-198.  
DING YQ, WANG KY, ZHANG X, et al. Summary and analysis of the intercomparison results of national individual monitoring for external exposure during 2015-2019[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2021, 41(3): 194-198.
- [6] 温学新, 钱爱君. 能量鉴别式剂量计在个人剂量监测能力考核中的应用[J]. *上海预防医学*, 2021, 33(2): 106-108.  
WEN XX, QIAN AJ. Assessment of energy discrimination dosimeter in monitoring personal dose[J]. *Shanghai J Prev Med*, 2021, 33(2): 106-108.
- [7] 王恺怡, 丁艳秋, 胡爱英, 等. 2020年全国外照射个人剂量监测能力考核结果与分析[J]. *中国辐射卫生*, 2021, 30(5): 555-559.  
WANG KY, DING YQ, HU AY, et al. Results and analysis of monitoring ability assessment of external exposure personal dose in 2020[J]. *Chin J Radiol Health*, 2021, 30(5): 555-559.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 顾心怡, 汪源)