

DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.01.001

· 辐射剂量与防护/论著 ·

眼晶体、指环剂量计的部分剂量学性能实验测试研究

丁艳秋, 郭文, 胡爱英, 王恺怡

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

摘要: **目的** 比较国产与进口眼晶体、指环剂量计的部分性能测试结果, 掌握眼晶体、指环剂量计的部分剂量学性能指标。 **方法** 依据 IEC 62387—2012 和 GBZ 128—2019 中性能要求, 分别使用国产和进口热释光探测器开展了眼晶体剂量计和指环剂量计在光子响应下的性能对比实验; 测试进口眼晶体和指环剂量计在相同照射条件下照射 2 次的剂量响应偏差; 测试进口指环剂量计和国产指环剂量计在相同照射条件下的线性响应区别。 **结果** 在眼晶体和指环剂量计中分别使用国产热释光探测器和进口热释光探测器照射相同剂量, 线性相关系数均满足 $R^2 > 0.999$; 进口眼晶体剂量计和指环剂量计 2 次照射相同剂量的响应偏差最大值均小于 10.0%。两种进口指环剂量计和一种国产指环剂量计照射相同剂量线性相关系数均满足 $R^2 > 0.99$ 。 **结论** 国产探测器和进口探测器均能满足监测需要; 进口指环剂量计和国产指环剂量计线性响应区别不明显; 进口眼晶体剂量计和进口指环剂量计重复性满足剂量计的性能要求。

关键词: 眼晶体剂量计; 指环剂量计; 剂量学性能

中图分类号: R144.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2021)01-0001-04

Experimental research on partial dosimetric performance for eye lens dosimeter and ring dosimeter

DING Yanqiu, GUO Wen, HU Aiyang, WANG Kaiyi

Key Laboratory of Radiological Protection and Nuclear Emergency, China CDC, National Institute for Radiological Protection, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100086 China

Abstract: **Objective** To compare the test results of domestic and imported eye lens and ring dosimeters, and master some dosimetric performance indexes of eye lens and ring dosimeters. **Methods** According to IEC 62387—2012 and GBZ 128—2019, the performance of the eye lens dosimeters and ring dosimeters with the domestic thermoluminescence detectors were compared with the imported thermoluminescence detectors in photon response. The dose response deviation of the imported eye lens dosimeter and imported ring dosimeter was studied under the same irradiation condition. The difference of linear response between imported ring dosimeter and domestic ring dosimeter was studied under the same irradiation condition. **Results** The same dose was irradiated to domestic and imported thermoluminescence detectors in the imported eye lens and imported ring dosimeters, and the linear correlation coefficient all met $R^2 > 0.999$. The maximum response deviation of the imported eye lens dosimeter and ring dosimeter was less than 10.0% for the same dose. Two kinds of imported ring dosimeters and one kind of domestic ring dosimeter were irradiated with the same dose, and the linear correlation coefficient all met $R^2 > 0.99$. **Conclusion** Both domestic detectors and imported detectors can meet the needs of monitoring requirements. There was no obvious difference in linear response between imported ring dosimeter and domestic ring dosimeter. The repeatability of imported eye lens dosimeter and imported ring dosimeter met the performance requirements of the dosimeter.

Keywords: Eye Lens Dosimeter; Ring Dosimeters; Dosimetry Performance

Corresponding author: GUO Wen, Email: guowen_cn@126.com

随着核医学和介入放射学临床诊断和治疗的增加, 从事这两项工作的职业人员由于近源操作, 职业照射风险增加。2014 年和 2015 年职业性放射性疾病

监测与职业健康风险评估工作发现, 核医学等近源操作放射工作人员眼晶状体浑浊发生率可能增加^[1]。ICRP 在 2011 年发布的《关于组织反应的说明(State-

基金项目: 科技部科研院所技术开发研究专项资金 (2012EG150137)

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

ment on tissue reactions)》,把眼晶状体组织反应吸收剂量考虑为 0.5 Gy,并建议计划照射情况下的职业照射,眼晶状体的当量剂量的限值为 20 mSv(5 年内的平均),每一年不超过 50 mSv^[2]。GBZ 128—2019 也规定对于核医学、介入放射学等全身受照不均匀的情况下,宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计(如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等)^[3]。核医学和介入放射学的防护问题引起广泛关注,随着人们对介入和核医学防护的重视,开展眼晶体和指端剂量监测的机构逐渐增多。

本文开展用于核医学、介入等近源操作人员所佩戴眼晶体、指环剂量计的部分剂量学性能测试研究,比较国产与进口眼晶体、指环剂量计的测试结果。

1 材料与方法

1.1 测量仪器与剂量计 读数器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。探测器为分散性为 $\pm 3\%$ 、尺寸为 $\phi 4.5 \times 0.8$ mm 的国产 LiF(Mg, Cu, P)圆片和分散性为 $\pm 3\%$ 、尺寸为 $\phi 4.5 \times 0.8$ mm 的进口 LiF(Mg, Cu, P)圆片;剂量计为国产指环剂量计、进口指环剂量计、进口眼晶体剂量计。分别如图 1、图 2、图 3 所示。



图 1 国产指环剂量计
Figure 1 The domestic ring dosimeter



图 2 进口指环剂量计
Figure 2 The imported ring dosimeter



图 3 进口眼晶体剂量计
Figure 3 The imported eye lens dosimeter

1.2 辐射场与模体 剂量计的照射在中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所次级标准实验室 X 射线辐射场与中国计量科学研究院 X 射线、 ^{137}Cs 与 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 辐射场,指环剂量计照射专用棒模体为直径为 19 mm,高为 300 mm 的 PMMA 指模。眼晶体剂量计照射专用模体为直径 20 cm,高 20 cm 的 PMMA 圆柱体头模。照射所依据的标准为 EJ/T 1178—2015^[4] 和 ISO4037-3—2019^[5]。

1.3 眼晶体、指环剂量计的剂量学性能实验研究 (1)进口探测器与国产探测器的比较研究:将国产 LiF(Mg, Cu, P)圆片和进口 LiF(Mg, Cu, P)圆片放置于进口眼晶体、指环剂量计中使用中国疾病预防控制中心辐射安全所次级标准实验室的 80 kV(N80)的 X 射线进行照射,国产元件每组剂量计 5 只,进口元件每组剂量计 3 只。照射的剂量值分别为 0.2 mSv、0.5 mSv、1.0 mSv、3.0 mSv、5.0 mSv。

(2)眼晶体、指环剂量计的重复性实验:将进口 LiF(Mg, Cu, P)圆片分别放置于进口眼晶体剂量计、进口指环剂量计和进口指环剂量计(剂量计内装覆盖薄膜灵敏层)简称进口指环剂量计(带薄膜)中分别使用中国计量科学研究院的 ^{137}Cs 源、80 kV(N80)的 X 射线、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 源进行照射。每组剂量计 5 只,照射剂量值分别为 0.5 mSv、1.0 mSv、2.0 mSv、3.0 mSv、5.0 mSv。测读完后重新准备剂量计照射条件不变重新照射一次。

(3)3 种指环剂量计比较实验:将进口 LiF(Mg, Cu, P)圆片分别放置于进口指环剂量计和进口指环剂量计(带薄膜)以及国产指环剂量计中使用中国计量科学研究院的 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 源进行照射。每组剂量计 5 只,照射剂量值分别为 0.5 mSv、1.0 mSv、2.0 mSv、3.0 mSv、5.0 mSv。

1.4 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。

2 结果

2.1 进口探测器与国产探测器的比较实验 眼晶体剂量计内分别装国产和进口热释光探测器的线性响应曲线如图 4、图 5 所示。指环剂量计内分别装国产和进口热释光探测器的线性响应曲线如图 6、图 7 所示。4 条曲线的线性相关系数均满足 $R^2 > 0.999$ 。对比线性相关系数可以得知进口探测器和国产探测器对眼晶体剂量计和指环剂量计的影响不明显。

2.2 眼晶体、指环剂量计的重复性实验 实验结果如表 1 所示, 可以得出进口眼晶体剂量计 2 次照射相同剂量的响应偏差最大值为 -4.5%, 进口指环剂量计

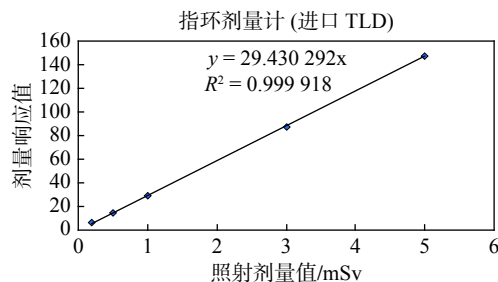


图 7 80 kV (N80) X 射线照射指环剂量计 (进口 TLD) 的线性响应曲线

Figure 7 The linear response curve of ring dosimeter (imported TLD) exposed to 80 kV X ray

的响应偏差最大值为 8.2%, 进口指环剂量计 (带薄膜) 的响应偏差最大值为 9.3%, 3 种剂量计 2 次照射相同剂量的响应偏差最大值均小于 10.0%。

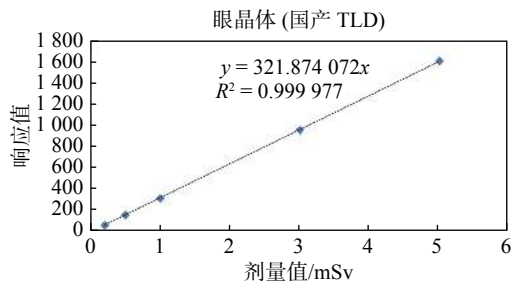


图 4 80 kV (N80) X 射线照射眼晶体剂量计 (国产 TLD) 的线性响应曲线

Figure 4 The linear response curve of eye lens dosimeter (domestic TLD) exposed to 80 kV X ray

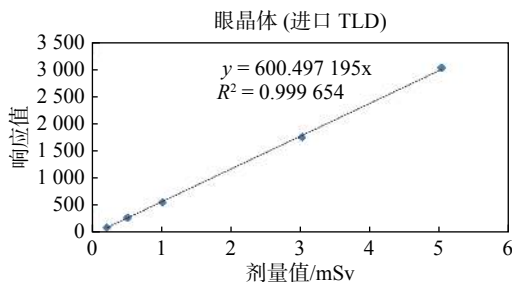


图 5 80 kV (N80) X 射线照射眼晶体剂量计 (进口 TLD) 的线性响应曲线

Figure 5 The linear response curve of eye lens dosimeter (imported TLD) exposed to 80 kV X ray

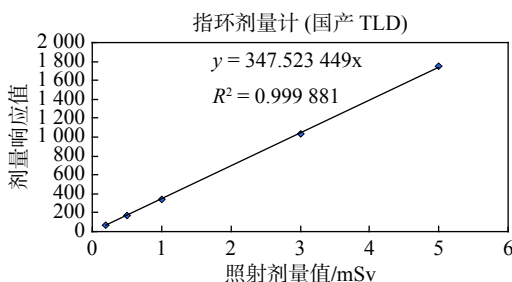


图 6 80 kV (N80) X 射线照射指环剂量计 (国产 TLD) 的线性响应曲线

Figure 6 The linear response curve of ring dosimeter (domestic TLD) exposed to 80 kV X ray

表 1 眼状体和指环剂量计的重复性实验结果

Table 1 The results of repeatability experiments with eye lens and ring dosimeter

剂量计种类	射线种类	照射剂量	第一次照射 剂量响应值	第二次照射 剂量响应值	偏差/%
进口眼晶体剂量计	^{137}Cs	0.5	374.0	359.6	-3.9
		1.0	746.6	726.9	-2.6
		2.0	1504	1436	-4.5
		3.0	2304	2206	-4.3
		5.0	3886	3736	-3.9
进口指环剂量计	83 keV X 射线	0.5	16.1	16.3	1.2
		1.0	33.4	32.8	-1.8
		2.0	63.5	67.1	5.7
		3.0	97.1	99.7	2.7
		5.0	156.7	169.5	8.2
进口指环剂量计 (带薄膜)	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	0.5	17.7	16.7	-5.6
		1.0	35.5	32.2	-9.3
		2.0	68.7	67.2	-2.2
		3.0	98.2	100.2	2.0
		5.0	156.5	150.8	-3.6

注: 偏差 = [(第二次照射的剂量响应值/第一次照射的剂量响应值) - 1] × 100%

2.3 3 种指环剂量计比较实验 3 种指环剂量计的线性响应曲线如图 8—图 10 所示, 3 条曲线的线性相关系数均满足 $R^2 > 0.99$ 。对比线性相关系数可以得知进口指环剂量计和国产指环剂量计线性响应区别不明显。

3 讨论

无论是进口剂量计还是国产剂量计在投入使用前均应按相关标准进行非线性响应、能量响应、角度响应、重复性等方面的性能实验并给出具体指标, 但目前部分生产厂家未能给出所售剂量计的性能参

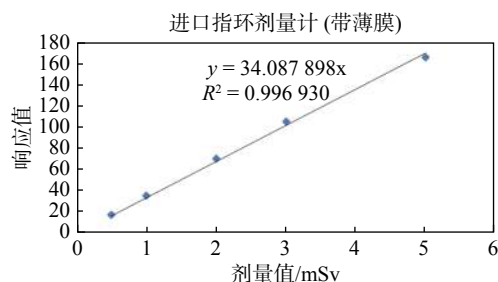


图 8 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 源照射进口指环剂量计
(带薄膜)的线性响应曲线

Figure 8 The linear response curve of imported ring dosimeter (with film) exposed to $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$

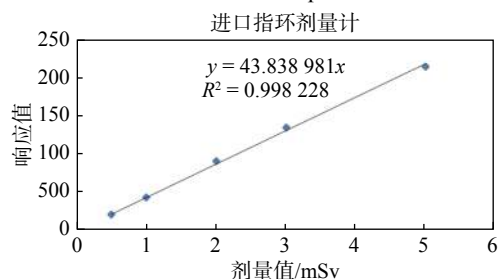


图 9 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 源照射进口指环剂量计的线性响应曲线

Figure 9 The linear response curve of imported ring dosimeter exposed to $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$

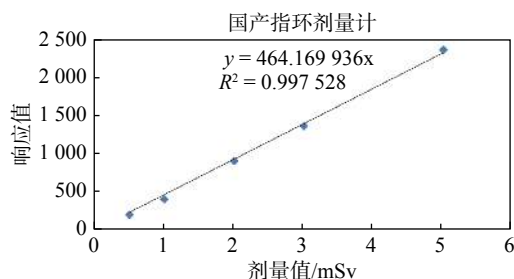


图 10 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 源照射国产指环剂量计的线性响应曲线

Figure 10 The linear response curve of domestic ring dosimeter exposed to $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$

数。本文经过开展的一系列的眼晶体剂量计和指环剂量计的性能测试,从实验结果分析剂量计能否满足日常监测的要求。通过实验得出国产探测器和进口探测器线性响应区别不明显,均能满足监测需要。进口指环剂量计和国产指环剂量计线性响应区别不明显。进口眼晶体剂量计和进口指环剂量计两次照射相同剂量的响应偏差最大值均小于 10.0%。重复性满足剂量计的性能要求^[6]。

指环剂量计(薄膜元件)的优势主要在于对低能 β 源的照射的灵敏性,由于受实验条件限制,目前国家还没有建立完备相应标准,因此只开展部分性能实验,仅仅使用 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 源进行照射,还需要通过进一步的 β 源照射实验来证实指环剂量计(薄膜元件)的独特优势。

目前国家尚未建立眼晶体剂量计刻度的标准,对于校准模体、辐射质的选择,不同的实验室采用不同的照射标准,尚无法进行系统的性能比较分析^[7]。

由于实验材料和照射条件的限制,只开展了眼晶体和指环剂量计的线性响应、重复性等最基本的剂量学性能实验,未能对剂量计是否满足能量响应、角度响应等要求进行性能测试,将在后续的工作中进一步开展,以满足介入和核医学中对于眼晶体和指端剂量监测的需求。

利益冲突声明 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:实验测量、数据分析、论文撰写和修改。郭文和胡爱英:论文审阅和修改。王恺怡:实验测量和数据分析

参考文献

- [1] 宋颖, 欧向明, 刘辉, 等. 核医学职业人员眼晶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]. Chin Med Equip, 2019, 16(10): 25-27. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2019.10.007.
- [2] International Commission on Radiological Protection (ICRP) Statement on Tissue Reactions[R]. ICRP, 2011.
- [3] 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.
- [4] 国家核行业标准. EJ/T 1178—2015指端和眼睛肢端和眼睛热释光个人剂量计[S]. 北京: 国防科学技术委员会, 2005.
National Nuclear Industry Standard. EJ/T 1178—2015 Individual thermoluminescencedosemeters for extremities and eyes [S]. Beijing: Commission of Science and Technology for National Defence, 2005.
- [5] International Organization for Standardization. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy- Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence[R]. ISO, 2019.

(下转第 9 页)

- Yuan SM, Du SQ, Wang XH, et al. Analysis of chromosomal aberration and micronucleus rate of peripheral blood lymphocytes of radiation workers in Tangshan City during 2010-2014[J]. *Occup Heal*, 2017, 33 (8) : 1041-1043. DOI: [10.13329/j.cnki.zyyjk.2017.0322](https://doi.org/10.13329/j.cnki.zyyjk.2017.0322).
- [13] 郝建秀, 王彦, 徐畅, 等. 某市放射工作人员外周血淋巴细胞微核率[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2018, 36 (7) : 527-529. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2018.07.013](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2018.07.013).
- Hao JX, Wang Y, Xu C, et al. Detection and Analysis of the peripheral lymphocytes micronucleus rate of radiation workers in a City[J]. *Chin J Ind Hyg Occup Dis*, 2018, 36 (7) : 527-529. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2018.07.013](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2018.07.013).
- [14] 李杰, 韩林, 王平, 等. 921名放射工作人员个人年有效剂量与外周血淋巴细胞微核率关系分析[J]. *中国辐射卫生*, 2019, 28 (5) : 487-490. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714x.2019.05.004](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714x.2019.05.004).
- Li J, Han L, Wang P, et al. Analysis of individual annual efficient dose and micronucleus results in peripheral blood lymphocytes of 921 radiation workers[J]. *Chin J Radiol Heal*, 2019, 28 (5) : 487-490. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714x.2019.05.004](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714x.2019.05.004).
- [15] 郝建秀, 姜立平, 王彦, 等. 天津市1411例放射工作人员淋巴细胞微核率分析[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2017, 37 (11) : 863-865. DOI: [10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.11.012](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.11.012).
- Hao JX, Jiang LP, Wang Y, et al. Analysis of lymphocyte micronucleus for 1411 radiation workers in Tianjin[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2017, 37 (11) : 863-865. DOI: [10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.11.012](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.11.012).
- [16] 崔吉茂, 冯雷, 李尚琴. 达州地区258例放射工作人员外周血淋巴细胞微核率分析[J]. *中国优生与遗传杂志*, 2016, 24 (10) : 63-64. DOI: [10.13404/j.cnki.cjbhh.2016.10.024](https://doi.org/10.13404/j.cnki.cjbhh.2016.10.024).
- Cui JM, Feng L, Li SQ. Analysis on the micronucleus rate of peripheral blood lymphocytes in 258 cases of radiation workers in Dazhou City[J]. *Chin J Birth Heal Hered*, 2016, 24 (10) : 63-64. DOI: [10.13404/j.cnki.cjbhh.2016.10.024](https://doi.org/10.13404/j.cnki.cjbhh.2016.10.024).
- [17] 甄联华. 625例放射工作人员淋巴细胞微核检测结果分析[J]. *黑龙江医药*, 2018, 31 (2) : 403-405. DOI: [10.14035/j.cnki.hljyy.2018.02.087](https://doi.org/10.14035/j.cnki.hljyy.2018.02.087).
- Zhen LH. Analysis of Detection Results of Lymphocyte Micronucleus in 625 Radiation Workers[J]. *Heilongjiang Med J*, 2018, 31 (2) : 403-405. DOI: [10.14035/j.cnki.hljyy.2018.02.087](https://doi.org/10.14035/j.cnki.hljyy.2018.02.087).
- [18] 杨秋月, 赵俊鹏, 王玉君, 等. 放射工作人员微核和染色体断片畸变调查分析[J]. *医学动物防制*, 2019, 35 (8) : 736-739. DOI: [10.7629/yxdwzfz201908006](https://doi.org/10.7629/yxdwzfz201908006).
- Yang QY, Zhao JP, Wang YJ, et al. Investigation and analysis of micronucleus and chromosomal aberrations in radiation workers[J]. *J Med Pest Control*, 2019, 35 (8) : 736-739. DOI: [10.7629/yxdwzfz201908006](https://doi.org/10.7629/yxdwzfz201908006).
- [19] Terzic S, Milovanovic A, Dotlic J, et al. New models for prediction of micronuclei formation in nuclear medicine department workers[J]. *J Occup Med Toxicol*, 2015, 10: 25. DOI: [10.1186/s12995-015-0066-5](https://doi.org/10.1186/s12995-015-0066-5).
- [20] 付强, 汪国海, 王强, 等. 常州市3021例放射工作人员染色体畸变率和微核细胞率状况及影响因素分析[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2018, 36 (10) : 759-761. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2018.10.010](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2018.10.010).
- Fu Q, Wang GH, Wang Q, et al. Analysis on chromosome aberration rate, micronucleus cell rate and related factors of 3021 radiation workers in Changzhou[J]. *Chin J Ind Hyg Occup Dis*, 2018, 36 (10) : 759-761. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2018.10.010](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2018.10.010).

收稿日期:2020-07-25

(上接第4页)

- [6] IEC. Radiation protection instrumentation -Passive integrating dosimetry systems for personal and environmental monitoring of photon and beta radiation[R]. IEC, 2012.
- [7] 李海亮, 王仲文, 许家昂, 等. 眼晶状体 $H_p(3)$ 剂量计的医用诊断X射线辐射质校准研究[J]. *中国辐射卫生*, 2016, 25 (4) : 385-

388. DOI: [CNKI:SUN:REDI.0.2016-04-002](https://doi.org/CNKI:SUN:REDI.0.2016-04-002).

Li HL, Wang ZW, Xu JA, et al. Study of Calibration the dosimeter for measuring eye lens dose in terms of $H_p(3)$ with medical diagnostic X ray[J]. *Chin J Radiol Heal*, 2016, 25 (4) : 385-388. DOI: [CNKI:SUN:REDI.0.2016-04-002](https://doi.org/CNKI:SUN:REDI.0.2016-04-002).

收稿日期:2020-06-14