

辐射检测仪器时间响应修正方法验证与探讨

张震 练德幸 侯长松 张庆召 徐辉 朱卫国 梁婧

100088 北京, 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

通信作者: 梁婧, Email: liangjing_cdc@163.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2018.01.010

【摘要】 目的 验证和探讨 4 种常用辐射检测仪器(6150AD6 + 6150AD-b 型剂量仪、FH40G + FHZ672E-10 型剂量仪、451P 型电离室剂量仪和 AT1123 型剂量仪)的时间响应修正方法。**方法** 在 X 射线照射持续时间为 500、200、100 和 50 ms 情况下,记录仪器显示周围剂量当量率;根据电阻 R 和电容 C 串联电路(RC 电路)的时间响应修正公式对数据进行时间响应修正。**结果** AT1123 型剂量仪测量值与照射持续时间没有相关性,其他 3 种剂量仪测量值随照射时间变化明显。**结论** AT1123 型剂量仪测量值可以不进行时间响应修正,其他 3 种剂量仪测量值可通过时间响应修正公式进行修正。

【关键词】 时间响应; 周围剂量当量率; 修正公式

Validation and discussion of the time response correction formula for radiation detectors

Zhang Zhen, Lian Dexing, Hou Changsong, Zhang Qingzhao, Xu Hui, Zhu Weiguo, Liang Jing
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
Corresponding author: Liang Jing, Email: liangjing_cdc@163.com

【Abstract】 Objective To validate and discuss the time response correction formula for four types of dosimeters (6150AD6 + 6150AD-b, FH40G + FHZ672E-10, 451P ionization chamber and AT1123). **Methods** The ambient dose equivalent rates shown by survey meters were recorded separately when X-ray emission time was 500, 200, 100 and 50 ms. The corrected values were obtained by the formula of circuit having a capacitance C and assistance R in series. **Results** There was no correlation between the value measured by AT1123 dosimeter and the time of irradiation. The values by other three kinds of dosimeters obviously varied with the time of irradiation. **Conclusions** It is not required to make the time response correction for the measured value of AT1123 dosimeter, whereas the values measured by the other three dosimeters could be corrected by the time response correction formula.

【Key words】 Time response; Ambient dose equivalent rate; Correction formula

辐射防护检测中经常需要检测射线照射持续时间短(ms ~ s 的量级,甚至 ns ~ ms 量级)的 X 射线装置所在工作场所。医疗诊断中的计算机 X 射线摄影(CR)和数字 X 射线摄影(DR)以及介入放射学使用的射线装置在摄影模式时单次照射时间在 ms ~ s 量级,工业应用中的脉冲 X 射线机的单次照射时间甚至可达 ns ~ ms 量级。为了得到准确的检测结果,在射线照射持续时间短的情形下进行检测,应选择响应时间小于射线照射时间的仪器,否则需要对仪器测量值进行时间响应修正^[1-2]。按照经典的电子学理论,对于电阻 R 和电容 C 组

成的串联电路(RC 电路)有时间响应的修正公式^[3],电离室型仪表测量结果经修正后才能用于判断被检测工作场所的辐射水平是否满足国家相关标准要求^[4-6]。目前,辐射检测仪器时间响应修正方法尚无定论,因此对辐射检测仪器时间响应的研究非常必要。本研究使用辐射防护检测中常用的 4 种类型检测设备,在照射持续时间为 50 ~ 500 ms 的情形下进行测量,并使用时间响应修正公式对仪器测量值进行修正及探讨,将有助于推动常用辐射检测仪器时间响应修正方法的合理应用。

材料与amp;方法

1. 测量对象:4 种类型的剂量仪分别为德国 Automess 公司生产的 6150AD6 + 6150AD-b 型剂量仪、美国 Thermo 公司生产的 FH40G + FHZ672E-10 型剂量仪、美国 Fluke 公司生产的 451P 型电离室剂量仪和白俄罗斯 Atomtex 生产的 AT1123 型剂量仪。

2. 仪器:美国 GE 公司生产的 Brivo 型医用 X 射线摄影设备。

3. 测量方法:X 射线机工作电压 80 kV, 电流 200 mA, 照射持续时间分别设置为 500、200、100 和 50 ms, 照射后记录防护门外 30 cm 处各剂量仪显示的周围剂量当量率最大值, 该值乘以仪器校准因子得到测量的周围剂量当量率。对于电离室型剂量仪, 其 RC 电路时间修正公式为^[3]:

$$\dot{D}(t) = h(1 - e^{-t/\tau}) \quad (1)$$

式中, $\dot{D}(t)$ 为 t 时刻仪器测量的周围剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$; h 为辐射场所实际的周围剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$; t 为时间, s ; τ 为 RC 电路的时间常数, s , 仪器响应时间为 2.197τ ^[1,7]。

4. 质量控制:4 种类型的剂量仪均经过中国计量科学研究所的检定或校准, 测量时均在检定或校准的有效期内。

结 果

1. AT1123 型剂量仪:AT1123 型剂量仪在短时间测量模式下 (>30 ms) 测量值随着照射持续时间的变化见表 1。相同照射时间条件下多次测量时, 各样本相对标准偏差均 $<13\%$ 。对 50 ~ 500 ms 测

量的所有 9 个测量值, 样本相对标准偏差均 $<10\%$ 。本次测量是在 AT1123 型剂量仪选择短时间测量模式下进行的, 仪器测量值与照射持续时间没有相关性, 其测量结果可以不进行时间响应修正, 这与仪器说明书是一致的。

2. 451P 型电离室剂量仪、6150AD6 + 6150AD-b 型剂量仪和 FH40G + FHZ672E-10 型剂量仪:3 种剂量仪测量值列于表 2 ~ 4, 表中数据已扣除本底。表 2 中测量值变化范围为 0.47 ~ 5.07 $\mu\text{Sv/h}$, 表 3 中测量值变化范围为 0.53 ~ 5.20 $\mu\text{Sv/h}$, 表 4 中测量值变化范围为 0.64 ~ 7.76 $\mu\text{Sv/h}$, 这 3 种设备的测量值随照射持续时间变化明显, 同一仪器不同照射时间时, 其测量值差别可达一个量级; 与 AT1123 的显示平均值比较差别接近两个量级。但相同照射时间条件下多次测量时, 样本的标准偏差较小, 相对标准偏差均 $<10\%$ 。

3. 时间响应修正结果:选取 AT1123 型照射持续时间最长 (500 ms) 的测量值 (41.4 $\mu\text{Sv/h}$) 作为公式 (1) 中辐射场所实际的周围剂量当量率 h 的值; 需要指出 6150AD6 + 6150AD-b 型剂量仪和 FH40G + FHZ672E-10 型剂量仪为塑料闪烁体型探测, 本研究也使用公式 (1) 进行修正, 探索其可行性。对 451P 型电离室剂量仪、6150AD6 + 6150AD-b 型剂量仪和 FH40G + FHZ672E-10 型剂量仪同时选 500 ms 时测量值 (5.07、5.20 和 7.76 $\mu\text{Sv/h}$) 分别作为 $\dot{D}(t)$ 代入公式 (1), 可以求出 τ , 分别为 3.82、3.72 和 2.41 s。然后使用计算得到的 τ 值和公式 (1) 对仪器测量值进行修正, 修正值列于表 5。从表 5 可以看出, 3 种剂量仪的修正值与 h 值

表 1 不同照射时间 AT1123 型剂量仪测量的周围剂量当量率^a ($\mu\text{Sv/h}$)

Table 1 The values of ambient dose equivalent rate measured by using AT1123 dose meter under different irradiation time

照射时间 (ms)	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值	标准偏差
500	41.4	—	—	41.4	—
200	45.1	45.1	46.0	45.3	0.99
100	41.4	49.7	—	45.5	5.85
50	35.9	44.2	46.0	42.0	5.39

注:“—”表示未测量, 数据已扣除本底, 本底平均值为 0.10 $\mu\text{Sv/h}$ 。^a 为剂量仪显示值乘以校准因子

表 2 不同照射时间 451P 型电离室剂量仪测量的周围剂量当量率^a ($\mu\text{Sv/h}$)

Table 2 The values of ambient dose equivalent rate measured by using 451P dose meter under different irradiation time

照射时间 (ms)	第 1 组	第 2 组	第 3 组	平均值	标准偏差
500	5.07	—	—	5.07	—
200	1.99	2.12	2.01	2.04	0.07
100	0.98	1.06	—	1.02	0.06
50	0.55	0.55	0.47	0.53	0.05

注:“—”表示未测量, 数据已扣除本底, 本底平均值为 0.10 $\mu\text{Sv/h}$ 。^a 为剂量仪显示值乘以校准因子

表 3 不同照射时间 6150AD6 + 6150AD-b 型剂量仪测量的周围剂量当量率^a (μSv/h)**Table 3** The values of ambient dose equivalent rate measured by using 6150AD6 + 6150AD-b dose meter under different irradiation time

照射时间 (ms)	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值	标准偏差
500	5.20	—	—	5.20	—
200	2.65	2.69	2.30	2.55	0.22
100	1.23	1.27	—	1.25	0.04
50	0.57	0.53	0.61	0.57	0.04

注：“—”表示未测量，数据已扣除本底，本底平均值为 0.10 μSv/h。^a 为剂量仪显示值乘以校准因子

表 4 不同照射时间 FH40G + FHZ672E-10 型剂量仪测量的周围剂量当量率^a (μSv/h)**Table 4** The values of ambient dose equivalent rate measured by using FH40G + FHZ672E-10 dose meter under different irradiation time

照射时间 (ms)	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值	标准偏差
500	7.76	—	—	7.76	—
200	2.95	3.02	2.90	2.96	0.06
100	1.49	1.50	—	1.49	0.01
50	0.64	0.70	0.72	0.69	0.05

注：“—”表示未测量，数据已扣除本底，本底平均值为 0.10 μSv/h。^a 为剂量仪显示值乘以校准因子

表 5 3 种剂量仪测量不同照射时间周围剂量当量率的修正值**Table 5** The corrected values of ambient dose equivalent rate for three dosimeters under different irradiation time

剂量仪	照射时间 (ms)	测量值平均值 (μSv/h)	修正值 (μSv/h)
6150AD6 + 6150AD-b	500	5.20	41.4
	200	2.55	48.7
	100	1.25	47.2
	50	0.57	42.7
FH40G + FHZ672E-10	500	7.76	41.4
	200	2.96	37.2
	100	1.49	36.7
	50	0.69	33.5
451P	500	5.07	41.4
	200	2.04	40.0
	100	1.02	39.5
	50	0.53	40.5

(41.4 μSv/h) 的最大偏离均 < 20%，修正结果接近 h 值。

讨 论

根据以上测量和分析，针对测量情形，451P 型剂量仪、6150AD6 + 6150AD-b 型剂量仪、FH40G + FHZ672E-10 型剂量仪在射线照射持续时间短的情形下的测量值是可以进行时间响应修正的，公式 (1) 中的 τ 值可取 3.82、3.72 和 2.41 s。但根据相关研究^[8-9]，此时计算的 τ 值是否与该仪器的时间常数一致，还需要进一步讨论。

另外，需要指出本次测量的辐射场较高，当辐射水平低一个量级以上且照射时间 < 200 ms 时，仪器测量值会接近本底，本底的统计涨落会对修正结

果造成很大的影响，甚至不能进行修正，比如实际周围剂量当量率为 2.5 μSv/h 且照射时间为 200 ms 时，根据公式 (1) 和上面计算的 τ 值，可推导出 3 种仪器的测量值仅为 0.15、0.18 和 0.12 μSv/h，这些值与本底值 0.10 μSv/h 已非常接近。

本研究结果可为国家职业卫生标准《放射诊断放射防护要求》的制定、修订提供数据支持。

参 考 文 献

- [1] 周海伟, 杜国生. 两种电离室剂量仪响应时间的实验研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2009, 29(6): 627-629. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2009.06.024.
Zhou HW, Du GS. Experiment and study of response time of two types of ion chamber survey meters [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2009, 29(6): 627-629. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2009.06.024.
- [2] 王俊生, 李智民, 林大枫. AT1123 型 X-γ 射线剂量检测仪终值响应时间的研究 [J]. 中国辐射卫生, 2016, 25(4): 483-486. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2016.04.040.
Wang JS, Li ZM, Lin DF. Study on the final response time of the AT1123 X-γ ray dose detector [J]. Chin J Radiol Health, 2016, 25(4): 483-486. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2016.04.040.
- [3] Herman C, Thomas EJ. Introduction to health physics [R]. New York: The McGraw-Hill companies Inc, 2009.
- [4] 国家卫生和计划生育委员会. GBZ 130-2013 医用 X 射线诊断放射防护要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
National Health and Family Planning Commission. GBZ 130-2013 Requirement for radiological protection in medical X-ray diagnosis [S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.
- [5] 国家卫生和计划生育委员会. GBZ 117-2015 工业 X 射线探伤

放射防护要求[S].北京:中国标准出版社,2015.

National Health and Family Planning Commission. GBZ 117-2015 Requirement for radiological protection in industrial X-ray radiography [S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.

- [6] 中华人民共和国卫生部. GBZ 126-2011 电子加速器放射治疗放射防护要求[S].北京:中国标准出版社,2011.

Ministry of Health, People's Republic of China. GBZ 126-2011 Radiological protection standard of electron accelerator in radiotherapy [S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.

- [7] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. GB/T 4835.1-2012 辐射防护仪器:β、X 和 γ 辐射周围和/或定向剂量当量(率)仪和/或监测仪:便携式工作场所和环境测量仪与监测仪[S].北京:中国标准出版社,2013.

General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 4835.1-2012 Radiation protection instrumentation - Ambient and/or directional dose equivalent (rate) meters and/or monitors for

beta, X and gamma radiation - Part 1: portable workplace and environmental meters and monitors [S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.

- [8] 欧向明. 常用辐射防护仪器电路时间常数的研究[J]. 中国医学装备,2010,7(2):6-8. DOI: 10.3969/j.issn.1672-8270.2010.02.002.

Ou XM. Research on circuits time constant of radiation protection meters[J]. China Med Equip, 2010, 7(2):6-8. DOI: 10.3969/j.issn.1672-8270.2010.02.002.

- [9] 张震,侯长松,梁婧,等. 辐射检测仪器时间常数的测量与探讨[J]. 中华放射医学与防护杂志,2017,37(8):609-613. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.08.010.

Zhang Z, Hou CS, Liang J, et al. Measurement and discussion of circuit time constants for radiation detectors[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2017, 37(8):609-613. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.08.010.

(收稿日期:2017-09-27)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

本刊可直接使用缩写形式的常用词汇

本刊对于以下放射医学工作者比较熟悉的一些常用词汇,将允许在论文撰写和发表文章中直接使用其缩写,可以不标注中文。

白介素(IL)

白细胞(WBC)

苯甲基磺酰氟(PMSF)

丙氨酸氨基转移酶(ALT)

传能线密度(LET)

磁共振成像(MRI)

碘化丙啶(PI)

大体肿瘤靶区体积(GTV)

二氨基联苯胺(DAB)

二甲基亚砷(DMSO)

二喹啉甲酸(BCA)

4,6-二脒基-2-苯基吡啶(DAPI)

反转录-聚合酶链反应(RT-PCR)

干扰素(IFN)

红细胞(RBC)

放射增敏比(SER)

计划靶区体积(PTV)

计算机断层扫描(CT)

剂量长度乘积(DLP)

剂量体积直方图(DVH)

焦碳酸二乙酯(DEPC)

聚丙烯酰胺凝胶电泳(PAGE)

聚偏氟乙烯(PVDF)

链霉亲和素-生物素复合物(SABC)

临床靶区体积(CTV)

磷酸盐缓冲液(PBS)

三维适形放疗(3D-CRT)

十二烷基硫酸钠(SDS)

四甲基偶氮唑盐(MTT)

苏木精-伊红染色(HE)

胎牛血清(FBS)

体质量指数(BMI)

天冬氨酸氨基转移酶(AST)

调强放疗(IMRT)

危及器官(OAR)

容积旋转调强放疗(VMAT)

单光子发射计算机断层成像(SPECT)

异硫氰酸荧光素(FITC)

转化生长因子(TGF)

肿瘤坏死因子(TNF)