

热释光剂量测量系统的校准、验证及质量自控

杨新芳 赵进沛 李秀芹 刘士敏 孟 圆 李华军

中图分类号:TL75⁺1 文献标识码:B 文章编号:1004-714X(2011)04-0480-01

【摘要】 目的 介绍了热释光剂量测量系统的检定与质量控制程序。方法 在精密筛选探测器和保持读出系统稳定性的基础上,在标准辐射场照射(LiF:Mg,Cu,P)探测器,通过读出系统得出计数并计算出校准因子;在标准辐射场照射一约定值验证校准因子;用自备辐照仪进行热释光剂量测量系统的质量控制。结果 获得热释光剂量测量系统校准因子: 1.76×10^{-3} mSv/计数;通过了标准盲样的验证;确定了自备辐照仪照射量与热释光剂量测量系统读出计数的关系。结论 通过对热释光剂量测量系统的校准、验证及质量自控,保证了检测结果的真实准确,使个人剂量监测更加规范和可靠。

【关键词】 热释光剂量计; 测量系统校准; 辐射防护

自从上世纪 50 年代第一次将热释光技术成功用于放射剂量的测量以来,热释光测量系统已经成为应用最为广泛的个人剂量检测系统。热释光技术的原理在于其敏感元件经照射后,所形成的电子或空穴处于亚稳态,经加热后其能量能以光子形式释放,其发光量与照射量之间存在着良好的线性关系。从原理可知,热释光个人剂量监测是一种相对测量方法,热释光剂量测量系统在使用前需要对受标准辐射场照射的剂量探测器进行测读,从而为读出系统赋值。笔者从探测器的筛选、照射、读出器的计数、校准因子的推导、标准盲样的验证以及利用自备辐照仪对热释光剂量测量系统的质量控制进行了探讨,保证了热释光剂量测量系统的稳定可靠。

1 实验设备与依据

1.1 热释光剂量测量系统 Harshaw3500TLD 读出仪(美国)、GR-200A(LiF:Mg,Cu,P)探测器(防化研究院)、BR2000A 热释光退火炉(北京瑞福特公司)、FJ-417 ¹³⁷Cs 辐照器(北京核仪器厂)。

1.2 标准剂量学实验室 国防科技工业电离辐射一级计量站。标准辐射源为 ¹³⁷Cs,有机玻璃注水模体大小为 30cm × 30cm × 15cm。

1.3 依据文件 (JJG 593-2006) 个人与环境监测用 X、γ 辐射热释光剂量测量(装置)系统。

2 方法

2.1 探测器的筛选 取 110 片 GR-200A(LiF:Mg,Cu,P)探测器,在 BR2000A 热释光退火炉中 240℃ 退火 10min,快速冷却,然后用 FJ-417 ¹³⁷Cs 辐照器参考源照射 114mR(空气比释动能 1mGy)。在 Harshaw3500TLD 读出器读计数,按变异系数小于 5% 筛选探测器。仪器量程:Read Dosimeters 模式,测量参数: TTP T₁ = 140℃, t₁ = 10s, T₂ = 240℃, t₂ = 20s, 暗电流和噪声计数: 0.0486nC(要求小于 0.4nC) 参考光源计数: 189.6nC。

2.2 热释光剂量测量(装置)系统的校准 将按变异系数 5% 筛选出的探测器 80 个分为 8 组,每组 10 个,辐射 7 组,本底 1 组。将辐射组在标准剂量学实验室(国防科技工业电离辐射一级计量站)用标准辐射源 ¹³⁷Cs 进行辐照,辐照时使用有机玻璃水模体(30cm × 30cm × 15cm),提供 Hp(10) 分别为 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 10.0 和 50.0 mSv 的一组剂量元件,把辐照过的 7 组以及本底探测器在读出仪上进行测量,计算校准因子 N。

2.3 校准因子的验证 将上述按变异系数 5% 筛选出的探测

器 20 个,辐射 1 组,本底 1 组。将辐射组在标准剂量学实验室(国防科技工业电离辐射一级计量站)进行辐照,得到一定量 Hp(10) 的剂量探测器。将该探测器以及本底探测器在读出器上进行测量,应用校准因子计算其 Hp(10) 测量值,计算响应变化值。

2.4 自备辐照仪照射量与热释光剂量测量系统计数的关系

用(按变异系数 5% 筛选出)探测器 70 个,在 240℃ 温度下退火 10min,将探测器每组 10 个分为 7 组,辐射 6 组,本底 1 组。用自备 FJ-417137Cs 辐照器分别照射 500、1 000、2 000、3 000、5 000 和 10 000 μGy。把辐照过的 6 组和本底探测器在读出器上进行测量,计算校准因子 N'。

3 结果

3.1 探测器筛选结果 探测器 110 个,净发光计数平均值、标准差和变异系数分别为 587.31、28.63 和 4.87%,符合变异系数小于 5% 的要求。

表 1 定所用 X、γ 参考辐射及其相关转换因子

参考辐射	代号	能量 (keV)	F _p (0.07) (Sv/Gy)	F _p (10) (Sv/Gy)	F* (10) (Sv/Gy)
过滤 X 射线 (窄谱)	N-40	33	1.27	1.17	1.18
	N-100	83	1.72	1.88	1.71
	N-120	100	1.67	1.81	1.64
γ 射线	S-Cs	662	-	1.21	1.20
	S-Co	1250	-	1.15	1.16

表 2 热释光测量系统的线性结果

剂量当量约定 真值 Ci (mSv)	个人剂量当量 H (mSv)	$\frac{\bar{E}_i + I_i}{C_i}$	$\frac{\bar{E}_i - I_i}{C_i}$
0.5	0.496	1.04	0.99
1.0	1.01	1.04	0.97
2.0	2.00	1.06	1.00
3.0	3.04	1.01	0.97
5.0	5.01	1.02	0.95
10.0	10.0	0.98	0.93
50.0	49.9	1.05	0.99

注: \bar{E}_i 为每组(个人剂量当量 H)评定值的平均值, I_i 为第 i 组的平均值的置信区间半宽度, C_i 为剂量当量约定真值,应满足 $0.901, 1.0, I_i = 2.26SE_i/(符合置信水平使用固定的 10 个探测器进行检定,相应的分布因子 tn = 2.26)$ 。

作者单位:北京军区疾病预防控制中心 北京 100042

作者简介:杨新芳(1963~),女,副研究员,主要从事放射防护监督管理与监测工作。

【监测技术】

医用⁶⁰Co 远距治疗机参考深度吸收剂量测量不确定度评定

李秀芹 赵进沛 吴 欣 杨新芳 孟 园 李华军

中图分类号:TL75+1 文献标识码:B 文章编号:1004-714X(2011)04-0481-02

【摘要】 目的 为保证⁶⁰Co 远距治疗机吸收剂量测量数据的准确性,评定其不确定度。方法 分析不确定度来源,通过计算给出不确定度。结果 相对扩展不确定度为 3.0%。结论 个人剂量测量不确定度主要受剂量计校准因子、各种修正系数、剂量计稳定性、源到位重复性、辐射野误差、剂量计读数、温度气压等分量的影响。

【关键词】 ⁶⁰Co 远距治疗机;参考深度;吸收剂量;测量不确定度

不确定度是一个与测量结果相关的参数。用来表征一个值的离散程度,它是测量的属性。测量不确定度评定是测量结果质量的标志,对测量结果的可信性、可比性和可接受性有重大影响^[1]。按照实验室认可的要求,为提高测量质量,确保不确定度尽可能小^[2]。按照相关标准^[3],由治疗计划系统(TPS)给出的参考深度及其他深度的吸收剂量,与实际测量结果的相对误差不超过±5%,本实验室测量一台 HCC-8000 型⁶⁰Co 远

距治疗机吸收剂量并进行不确定度评定。

1 仪器与方法

1.1 仪器 剂量仪(iba 公司),指形电离室(Dose1-FC65-G),固体水模,坐标板(100mm×100mm,1mm),温度计(0~50℃,最小分度值 0.5℃),气压计(80~110kPa,最小分度值 0.1 kPa),计时器(0~3 600s,0.1s)。

1.2 检测方法 检测时,如果被测机器装有不可拆卸的半影修正器,则不得取下半影修正器。源至模体表面距离 SSD 取正常治疗距离,模体表面的光野取 10cm×10cm。

3.2 热释光剂量测量(装置)系统校准因子的测量与推导 校准因子 N 是剂量计要定度的约定值 H 除以剂量计的读数 M 所得的商,即: $N = H/M$ 。首次 TLD 校准因子的确定是通过在标准条件下照射一条标准曲线(刻度曲线)完成的,其中校准点个人剂量当量 $H_p(10)$ 约定真值的公式是 $H_p(10) = F_p(10) \times k_a$ 。将空气比释动能 k_a 转换为个人剂量当量转换因子 F_p 所用系数见表 1。经测量可获得 7 组 TLD 读数的平均值 M_i 。采用公式 $N = F_p(10) \times k_a / M$ 计算 TLD 校准因子,然后判断所照剂量探测器的线性是否符合线性响应变化不大于 10% 的要求(见表 2),最后用多组值 N_i 平均值法计算校准因子(见表 3)。

3.3 热释光剂量测量(装置)系统校准因子的验证结果 根据读出仪计数和校准因子计算评定值 E 的平均值和标准偏差,量值检验应满足了响应变化不大于 15% 结果符合要求。

表 3 探测器的校准因子

剂量当量 约定值 H(Sv)	发光净计数 平均值 M	校准因子 ($\times 10^{-3}$ mSv/计数)
500	287.0	1.7421
1 000	577.9	1.7271
2 000	1 169.2	1.7106
3 000	1 707.6	1.7568
5 000	2 802.3	1.7842
10 000	5 449.9	1.8349
50 000	28 838	1.7338
校准因子平均值		1.76×10^{-3} mSv/计数

4 讨论

热释光剂量测量系统是一个包括退火、受照、检测等多步骤的复杂过程,其准确性和稳定性受探测器的分散性、能量响应、读出仪的稳定性以及退火、检测操作等多因素影响,其中探测器的分散性是影响检测结果的关键因素,也是比较难于达到要求的因素。本实验抓住剂量探测器分散性这一主要矛盾,将同批使用的剂量元件的相对标准偏差控制在 5% 以内,为热释光剂量测量系统检测结果的稳定可信提供了可靠的物质基础。

作为相对测量系统,热释光读出仪计数所推导出的剂量实用量是由标准剂量学辐射场赋予的。在放射防护研究领域,个人剂量限值是用有效剂量或组织或器官剂量作为剂量约束值的,这些防护量虽与人体损伤密切相关,但当量剂量和有效剂量实际上是不可直接测量的,通行的办法是利用可测的实用量作为防护量的一种合理近似的估计,这些实用量包括个人剂量当量 $H_p(d)$ 、周围剂量当量 $H^*(d)$ 和定向剂量当量 $H'(d)$ 。上述实用量可通过表 2 所提供的换算系数由测得的空气比释动能值转换而来,而空气比释动能值则由标准辐射场给定的照射量而来。在 TLD 校准中,所涉及的物理量主要包括:空气比释动能 K_a 、空气吸收剂量 D_a 和照射量 X。在校准 TLD 中,物理量的约定值是采用可溯源标准仪器测得的。在放射防护领域光子外照射中,可以认为空气比释动能 K_a 、吸收剂量 D_a 和照射量 X 在数值上的关系 $1\text{Gy}/K_a = 1\text{Gy}/D_a = 2.95 \times 10^{-2} \text{C} \cdot \text{kg}^{-1} (114.2\text{R})/X$ 是足够精确的^[1]。在热释光剂量测量系统的校准中,明确其量值传递关系是非常重要的。

热释光剂量测量系统在资质计量站的校准周期一般为一年,而在期间多次使用中,退火过程造成的剂量元件能响的变化、分散性的变大、读出仪灵敏度的波动和各种原因造成的读出系统的偏移等,都有可能使测量结果的准确性和稳定性受到影响,而采用自备的辐照仪对热释光剂量测量系统进行质量控制就显得非常必要。FJ-417 ¹³⁷Cs 辐照器是一种可以给出固定照射量的小型标准辐照源,由于其没有应用标准剂量学实验室中的标准模体,其空气比释动能无法换算为个人剂量当量 $H_p(d)$ 值。但是,在两次校准期间如果剂量元件以及读出仪都能保持良好和稳定状态,则 FJ-417 ¹³⁷Cs 辐照器所给予的空气比释动能与读出仪计数的比值 N' 应是一个不变的常数。因此,通过自备辐照仪周期性地对热释光剂量测量系统进行验证,可以达到质量控制的目的。

参考文献:

[1] 赵士庵,欧向明.个人与环境监测用热释光剂量计的校准[J].中华放射医学与防护杂志,2005,25(5):482-484.

(收稿日期:2011-03-01)