

职业性外照射个人剂量测量不确定度评定

胡利丰, 应正巨, 赵青青

中图分类号: R144 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2009)04-0422-01

【摘要】目的 评定放射工作人员个人剂量测量的不确定度。方法 用热释光方法进行个人剂量测量,并计算各个不确定度分量。结果 个人剂量当量  $H_p(10)$  总不确定度的绝对值为  $0.0223\text{mSv}$  相对总不确定度为  $9.70\%$  ( $95\%$  置信水平),主要受探测器分散性、量值传递、刻度因子和探测器重复性的影响。结论 相对总不确定度符合标准要求,但非常接近限值,需要查找原因,以减小不确定度,提高测量质量。  
【关键词】 个人剂量当量; 不确定度; 分散性

不确定度表示由于测量误差的存在而对测量结果正确性的可疑程度<sup>[1]</sup>,它的大小反映了测量结果的优劣,所以不确定度评定是实验室非常重要的工作内容。在职业性外照射个人剂量监测的质量保证中,不确定度评定也是特别重要的内容,我国职业卫生标准 GBZ128-2002 要求“在好的实验室条件下,剂量测量的不确定度应优于  $10\%$ 。”为提高测量质量,确保不确定度尽可能的小,符合 CNAL/AC01:2005 的要求,本实验室结合工作实际,对个人剂量当量  $H_p(10)$  的测量进行了不确定度评定。

1 材料与方法

1.1 仪器和材料 热释光剂量测量系统由防化研究院 RGD3B 读出仪、GR-200A 型  $\text{LiF}(\text{Mg,Cu,P})$  探测器、TLD469 剂量盒、以及 TLD2000 远红外精密退火炉组成。探测器经电离辐射(文中仅指 X 和  $\gamma$  射线)照射后,内部的部分电子跃迁到较高的能级,并被由于掺杂  $\text{Mg,Cu,P}$  后的缺陷所形成的陷进俘获,经读出仪加热系统加热,受热激发的电子又返回到基态,同时把储存的能量以发光的形式释放出来,在某一温度范围内(即测量温度),发光峰面积与探测器所照射的剂量成正比,应用该理论,对职业性外照射个人剂量当量进行测量。

1.2 不确定度评定

1.2.1 评定的数据 2009 年第一季度,宁波市放射工作人员的平均  $H_p(10)$  为  $0.23\text{mSv}$ 。据此,找出第一季度所有剂量为  $0.23\text{mSv}$  的检测报告底稿,任选一个,查得探测器读数为 358.8 和 365.3 跟随本底读数为 231.6 和 224.9(热释光剂量测量系统刻度因子为 1.69),以此数据来评定不确定度。

1.2.2 不确定度来源 一个测量过程存在诸多环节,但不确定度来源可以从测量人员、测量理论、测量方法、测量系统和测量环境五方面来识别,结合个人剂量当量测量实际,分析主要来源为:探测器分散性、量值传递、刻度因子、探测器重复性以及光衰退等。

1.2.3 不确定度分量 A 类不确定度是通过测量一定量的辐照过的探测器,用统计分析的方法求得实验标准差来确定。B 类不确定度主要通过检定证书、探测器技术参数来确定。

1.2.3.1 探测器分散性 从同一批筛选过的探测器中随机抽取 22 个探测器,用  $240^\circ\text{C } 10\text{min}$  退火,并寄国家二级标准剂量学实验室(其中两个作为本底跟随)照射后寄回本实验室测量,扣除本底后的读数如下(从小到大排序): 272.0 275.3 284.7 285.1 285.6 287.4 290.4 291.0 291.8 292.2 292.4 292.4

295.8 296.0 296.1 300.9 301.0 305.2 307.9 329.2 先判断上述数据中哪些值是偏离正常结果的可疑值,并考虑是否剔除,以免影响统计结果。采用格拉布斯(Grubb)准则判定异常数据,判断流程如下:

$$x_1 \dots x_n \rightarrow x_i \rightarrow \sigma \rightarrow T_0(\varphi, \alpha) \rightarrow |x_i - \bar{x}| > T_0(\varphi, \alpha) \sigma \rightarrow \text{剔除}$$

上述流程中,  $T_0(\varphi, \alpha) \sigma$  为格拉布斯系数,可根据测量次数  $n$  和错判几率  $\alpha$  查表得到。根据测得的 20 个数据,其算术平均值为 293.6 标准差为 12.16 设  $\alpha$  为 0.01(即错判概率为  $1\%$ ),查得  $T_0(\varphi, \alpha) \sigma$  为 2.88 则  $|x_i - \bar{x}|_{\text{最大}} = |329.2 - 293.6| = 35.58 > T_0(\varphi, \alpha) \sigma = 2.88 \times 12.16 = 35.03$  所以剔除数据 329.2 余下 19 个数据,重复上述过程,经判断均满足  $|x_i - \bar{x}| < T_0(\varphi, \alpha) \sigma$ , 所以认为已无坏值。对 19 个数据进行统计,得标准差 9.065 读数均值 291.7 则相对不确定度为  $3.1\%$ , 标准不确定度为  $0.23\text{mSv} \times 3.1\% = 0.00713\text{mSv}$

1.2.3.2 量值传递不确定度 本测量系统在计量院检定时,采用  $^{60}\text{Co}$  射线标准辐射场,扩展不确定度为  $3.1\%$  ( $k=2$ ),得到相对不确定度  $3.1\% / 2 = 1.55\%$ , 标准不确定度  $0.23\text{mSv} \times 1.55\% = 0.003565\text{mSv}$

1.2.3.3 刻度因子不确定度 从检定证书得到,刻度因子的扩展不确定度为  $5.9\%$  ( $k=2$ ),则相对不确定度为  $5.9\% / 2 = 2.95\%$ , 标准不确定度为  $0.23\text{mSv} \times 2.95\% = 0.006785\text{mSv}$

1.2.3.4 其他分量不确定度 根据探测器说明书,其重复性相对不确定度为  $2.0\%$ , 则标准不确定度为  $0.23\text{mSv} \times 2.0\% = 0.0046\text{mSv}$ 。为简化计算,对不足最大不确定度分量三分之一的那些不确定度分量忽略不计<sup>[2]</sup>,所以忽略人员操作的重复性、光衰退等不确定度分量。

2 结果

各不确定度分量列于表 1 由于所列不确定度分量各自独立,或者部分输入量之间相关系数很小,所以简化采用方和根法求合成不确定度,计算结果为  $0.0114\text{mSv}$  个人剂量当量  $H_p(10)$  总不确定度绝对值为  $0.0114 \times 1.96 = 0.0223\text{mSv}$  ( $1.96$  为包含因子),相对总不确定度为  $0.0223 / 0.23 = 9.70\%$ 。

表 1 职业外照射个人剂量当量  $H_p(10)$  测量不确定度分量

不确定度分量	相对不确定度 (%)	标准不确定度 (mSv)
探测器分散性	3.1	0.00713
量值传递	1.55	0.003565
刻度因子	2.95	0.006785
探测器重复性	2.0	0.0046
方和根	5.0	0.0114

作者单位: 宁波市疾病预防控制中心, 浙江 宁波 315010  
作者简介: 胡利丰(1977-),男,主管医师,从事放射卫生与职业卫生管理工作。

国内外大量调查数据表明,即使施行同一种放射检查或治疗,在不同医疗机构由于设备、操作、防护以及受检者等因素不同,对受检者和医生所致的辐射剂量的差别很大,甚至能达几个数量级,可见医疗照射的辐射防护最优化留有很大余地,而往往施行医疗照射容易注重医疗目的而忽视防护最优化。因此,自 2003年 4月 1日起施行的 GB18871—2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定了控制医疗照射的一系列要求,而且也首次建立了我国的诊断性医疗照射的指导水平,藉以强化医疗照射的防护,其中包括拍摄正位胸片(AP)、侧位胸片(LAT)、腰椎摄影(AR LAT LSJ)、头颅摄影(AR LAT)、腹部摄影(AP)、牙齿摄影(口内片、全景)、乳腺摄影、X射线 CT检查以及胸部透视等检查类型的指导水平。

介入放射学检查或治疗由 DAP(X射线束的横截面积与所致平均剂量的乘积,在 X射线诊断中用作所授予能量的一种量度<sup>[9]</sup>)来体现有效剂量。DAP是与整个检查程序有关的剂量学量。如果已知其他投照参数,如照射位置、照射野尺寸、焦皮距、管电压等,地估算出受检者的器官剂量分布和有效剂量。雅典大学给出了心血管介入手术的 DAP指导水平,见表 5。

表 5 雅典大学心血管介入手术 DAP指导水平

手术类别	DAP(Gy·cm <sup>2</sup> )	透视时间(min)
CAG	29±9	2.0±1.5
PCI	75±30	10±6

医疗照射指导水平或参考剂量是调查水平的一种,是放射科室内部质量控制的重要内容之一,其目的是促进辐射防护最

优化工作的深入开展,采用现行的良好的辐射实践,因此它又是一个动态的管理范畴,随着技术的改进,应重新进行有代表性的调查,确定新的医疗照射指导水平或参考剂量水平<sup>[7]</sup>。

这一切都将直接影响着辐射剂量总量的高低,而最终都将影响介入工作人员及患者总体受照射剂量水平。降低辐射剂量涉及到介入工作中的所有环节,是保障介入工作人员及患者身体健康的关键,将会是今后介入工作中讨论最多的话题之一。

参考文献:

[1] 邱玉会.放射防护技术与管理[M]. 济南:黄河出版社, 2002

[2] ICRP. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures [R]. ICRP Publication 85 Oxford: Pergamon Press, 2000

[3] 世界卫生组织(WHO).介入放射的效能与辐射安全[M]. 金延方,程流泉译. 北京:人民卫生出版社, 2002

[4] GBZ/T149—2002 医学放射工作人员的卫生防护培训规范[S].

[5] ICRP. Radiological Protection and Safety in Medicine [R]. ICRP Publication 73 Oxford: Pergamon Press, 1991.

[6] GBZ/T146—2002 医疗照射放射防护名词术语[S].

[7] 郑钧正.放射诊断的医疗照射指导水平[J]. 中国辐射卫生, 2005 15: 128—131.

(收稿日期: 2009—06—09)

(上接第 422 页)

3 讨论

不确定度是对测量结果质量的定量评定,表明了测量的水平,从上述计算结果中发现,本实验室测量个人剂量当量 H<sub>p</sub>(10)的不确定度为 9.70% (95%置信度),符合国家职业卫生标准要求,但很接近 10%的限值,需要查找原因。

从表 1中可以发现不确定度主要受探测器分散性、刻度因子影响,其次是探测器重复性和量值传递。首先应考虑把探测器分散性引入的分量降下来,而分散性事实上是探测器的剂量特性、退火条件、筛选工作、测读仪稳定性以及实验人员(主要是探测器放在加热盘上的位置)等因素的综合反映,所以要严格按照退火程序进行退火,并尽可能一致的速度快速冷却,定期清洗探测器,规范、熟练实验人员的测量方法和操作步骤,最重要的是做好筛选工作和维护读出仪的稳定。

探测器的筛选是热释光剂量测量中的一项重要工作,在个人剂量当量测量中,可以选用简便的标准差方法,按照 ±5%来筛选,淘汰或者暂时淘汰不符合要求的探测器,受过大剂量照射的探测器往往是要被淘汰的,所以平时测量中要注意探测器的分类储存,以减少筛选的工作量。维护读出仪的稳定必须抓住几个关键环节:一是做好光路的清洁,擦除凝结在滤光片上的挥发性脏物;二是做好仪器的预热和测量前的参数核对,必须用“1”和“10”键查看读出仪的计数,与刻度时的计数大致相同时方可使用,连续测量时,也要间隔一段时间,检查计数,

检查读出仪的稳定性;三是做好加热盘的清洁工作,保证与探测器有良好接触,用酒精擦拭加热盘后,须经 300℃空测,使空盘本底读数降低至通常的水平后方可使用;四是探测器经过多次使用后,应调整读出仪的灵敏度,用实验方法获得新的 10<sup>5</sup>光源计数。

减小探测器重复性引入的不确定度分量,关键在于规范合理的退火和冷却,以及探测器的储存和清洗。刻度系数的不确定度主要受读出仪的性能和探测器的剂量特性影响,在日常工作中,至少做到读出仪的参数与刻度时基本一致,保证刻度系数的正常合理使用。

本次评定的数据较小(0.23mSv),所以在测量分散性时,要求标准剂量学实验室对探测器按 0.50mSv的剂量进行照射,如果照射的剂量不这么小,有可能减小分散性,从而可能略微减小相对总不确定度。然而,根据近几年的监测,宁波市放射工作人员人均年剂量已在 1mSv以内,所以,从 2009年第一季度的实际人均剂量和从严的角度出发,又是合理的。在今后的工作中,本实验室将严格落实质量保证计划,重点做好以上提到的几个方面,切实减小不确定度,提高测量质量。

参考文献:

[1] JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示[S].

[2] 程荣林.不确定度及其评估方法[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2001, 21(3): 230

(收稿日期: 2009—04—07)