

模拟人体反散射材料试验研究

朱志贤¹, 唐文祥¹, 韩发明¹, 何韦川¹, 郑钧正²

中图分类号: R144 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2001)04-0198-02

【摘要】目的 确定在医用诊断 X 射线剂量学中常用模体的反散射特性与人体反散射特性的近似程度。方法 在相同投照条件下, 对 8 种常用模拟散射体和真人的反散射因子进行测定以及比较分析。结果 在低能区, 2 cm 厚有机玻璃板的反散射特性, 以及在高能区水模体的反散射特性更接近人体。在常规胸腹部检查时, 反散射线的剂量约为主射线剂量的 40%。结论 用于质量控制的标准模体只是一种约定的模体, 其目的是便于国际上的协调一致和监测数据的比较, 并非反映患者实受剂量。

【关键词】 医用 X 射线; 诊断; 入射体表剂量; 反散射因子

Experimental Study on the Backscatter Properties of Various Phantoms Used in Medical X-ray Diagnostic Dosimetry and QA. ZHU Zhi-xian, TANG Wen-xiang, HAN Fa-ming, et al. *Shenzhen Hygiene & Antiepidemics Station, shenzhen 518020, China.*

【Abstract】 Objective To determine the approximation of backscatter property of human body by stimulation phantoms commonly used in medical diagnostic X-ray dosimetry. Methods To measure and compare the backscatter factors of various kinds of phantom and human body under the identical projection conditions. Results In the lower energy region, the backscatter property of PMMA is close to that of human body, and in the higher energy region the backscatter property of water is close to that of human body. For the general X-ray examinations on chest and abdomen. The dose due to the backscatter rays is about 40% of the dose of the primary rays. Conclusion A standardized phantom used in QC in radiography is a commitment phantom, for which the purpose is to harmonize the method and to make easy to compare the measurement data.

【Key words】 Medical X-ray; Diagnosis; Entrance Surface Dose(ESD); Backscatter Factor(BF)

1997 年 IAEA 安全丛书 No. 115 颁布了《国际电离辐射防护和辐射源安全的基本安全标准》(以下简称 BSS)^[1], 其中对若干医学常规放射学诊断检查项目规定了相对于标准成年人的医学诊断剂量指导水平。对于常规放射学诊断摄影和荧光透视检查来讲, 规定应控制的剂量学量为包括受检者机体组织反散射贡献在内的, 位于受检者体表处的空气比释动能或比释动能率(ESD 或 ESDR)。但是, 至今仍未有常规放射诊断剂量学测量的技术规范^[2]。纵观近十年大量的该领域内的调查资料可以发现, 不同作者之间在方法选择, 有无模体或模体种类、数据处理方法等方面存在很大差别^[3,4]。

在 ESD 测量中, 除剂量计的选择和标准 X 射线检定源的规范外, 一个重要设备是能够模拟标准成年人对 X 射线衰减和散射特性的模体。目前, 在个人剂量计的刻度、医用 X 射线机的质量控制和影像质量保证检测工作中常用的模体有: 有机塑料模体(ICRU 球, PMMA 等); 水模体; 由有机塑料板、铝板、铜板等按一定要求组合的模体; 由水、铝板、铜板等组合的模体以及由组织等效材料制成的各种仿人体器官、组织或整个人体的模体等。

当然也有大量的调查工作是在受检者体表直接测量的。本课题组在近六年的调查研究工作中曾使用了有机塑料、水、铝板和仿真人体模体等^[5,6]。对常用模体的反散射特性进行了比较性试验, 并对相关的一些问题进行了扼要讨论。

1 材料与方 法

1.1 反散射材料 本试验中所用模拟反散射材料及规格汇总于表 1。为便于比较, 试验中请一名男性医务工作者作了相同条件下的反散射测量, 其身体特征也列在表 1 内。

基金项目: 本课题受国家自然科学基金资助(项目号: 39870236)和深圳市科学研究基金资助(项目号 199904042)

作者单位: 1 深圳市卫生防疫站, 广东 深圳 518020; 2 卫生部工业卫生实验所

作者简介: 朱志贤(1942~), 男, 天津市人, 研究员, 主要研究方向: 医疗照射合理性应用研究。

表 1 试验用反散射材料一览表

| 序号 | 材 料 | 规 格 | 说 明 |
|----|-------------------------|--|-------------------|
| 1 | Victoreen 660-7 型有机塑料体模 | d 32 cm×15 cm | 美国 Victoreen 公司制造 |
| 2 | SZ-IV 型仿人体模 | 男性, 真人骨架及各类组织(器官)等效材料 | 原苏州医学院制 |
| 3 | 水模体 | d 30 cm×20 cm 自来水(装入塑料桶内) | 市售塑料桶 |
| 4 | 有机塑料板 | 30 cm×30 cm×2 cm | 市售 |
| 5 | 有机塑料板 | 30 cm×30 cm×4 cm | 市售 |
| 6 | 铝板 | 15 cm×15 cm×2 cm | RMP X 射线质检 |
| 7 | 铝板 | 30 cm×30 cm×4 cm | 系统配件 |
| 8 | 黄铜板 | 15 cm×15 cm×4 cm | 市售 |
| 9 | 真人 | 男性, 46 岁, 身高 161 cm, 胸宽 31 cm, 上身长 45 cm, 体重 51 kg | 医院工作人员 |

1.2 剂量计及测量系统 由于大多数调查工作采用热释光剂量计(TLD)测量剂量, 本试验中选用中国辐射防护院生产的 LiF(Mg, Cu, P) 玻管 TLD 进行剂量测定^[7]。经筛选后, 试验中所用剂量计剂量响应分散度 $\leq \pm 3\%$ 。测读装置为北京综合仪器厂 1999 年产 FJ427A 型热释光测读装置。整套剂量测量系统定期由中国计量科学院进行检定, 对⁶⁰Co 源的剂量响应线性 $\leq \pm 3.5\%$, 剂量刻度系数总不确定度为 5%。TLD 探测器的能响刻度系数列于表 2。

表 2 TLD 对 X 射线的能量响应刻度系数

| X 射线有效能量, keV | 30 | 40 | 60 | 131 | ⁶⁰ Co |
|----------------------|------|------|------|------|------------------|
| 自由空气中 E _f | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 0.73 | 1.00 |

1.3 X 射线机及其性能 试验用医用诊断 X 射线机为北京市通用电气华伦医疗设备有限公司产 GE R-500B 型 500 mA X 射线机。用 RMP X 射线机质检系统和 XF-III 型 X 射线剂量仪质检结果: 高压指示准确度 $\leq \pm 9.20\%$; X 射线输出量线性 $\leq \pm 4.3\%$, X 射线输出量重复性 $\leq \pm 0.80\%$, 曝光时间偏差 $\leq \pm 2.5\%$; 射线束与影像接受器的垂直偏离度 $\leq 1^\circ$, 照射野与光野偏差 $\leq 0.5\%$, 总滤过厚度为 2.5 mmAl。

试验中所用投照条件为: 管压为 50 kV, 70 kV, 90 kV 和 110

kV; 曝光量 80 mAs, 焦皮距 75 cm, 照野尺寸为 10 cm× 10 cm, 15 cm× 15 cm, 20 cm× 20 cm 和 30 cm× 30 cm.

1.4 试验方法

1.4.1 自由空气中比释动能测量 在高度为 40 cm 的测量架上, 水平固定一张 A4 型打印纸, 将三个 TLD 管放于纸的正中央, 调节 X 射线管高度使焦皮距为 75 cm, 调节光野位置使 TLD 管位于光野中心. 按照 1.3 节中选定的投照条件进行曝光. 三个 TLD 管净读数的平均值乘以剂量刻度系数并经能响校正后取为设定条件下空气比释动能值 K_{aF} .

1.4.2 有反散射体时空气比释动能的测量 将试验材料平放

于诊视床上, 调节球管高度使焦皮距等于 75 cm, 调节光野位置使光野中心与试验材料中心相重合, 锁定球管架. 将三个 TLD 管放于照野中心, 按照选定投照条件进行曝光. 三个 TLD 的净读数的平均值乘以剂量刻度系数并经能响校正后取为包括反散射线贡献在内的空气比释动能 K_{aB} .

反散射系数 $BF = K_{aB} / K_{aF}$

2 结果与讨论

试验结果列于表 3. 从表中数据可以看出如下规律:

表 3 反散射系数测定结果

| 试验体 | 管 电 压 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 50 kV | | | | 70kV | | | | 90kV | | | | 110kV | | | |
| | 照 射 野 (cm× cm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10×10 | 15×15 | 20×20 | 30×30 | 10×10 | 15×15 | 20×20 | 30×30 | 10×10 | 15×15 | 20×20 | 30×30 | 10×10 | 15×15 | 20×20 | 30×30 |
| 真人胸部 | 1.17 | — | 1.32 | 1.33 | 1.29 | — | 1.39 | 1.44 | 1.34 | — | 1.42 | 1.43 | 1.39 | — | 1.42 | 1.48 |
| 真人腹部 | 1.32 | — | 1.35 | 1.35 | 1.31 | — | 1.39 | 1.47 | 1.25 | — | 1.40 | 1.49 | 1.33 | — | 1.36 | 1.52 |
| 仿真人胸部 | 1.15 | — | 1.34 | 1.44 | 1.14 | — | 1.24 | 1.39 | 1.12 | — | 1.23 | 1.30 | 1.20 | — | 1.29 | 1.39 |
| 仿真人腹部 | 1.06 | — | 1.12 | 1.14 | 1.08 | — | 1.19 | 1.23 | 1.07 | — | 1.17 | 1.24 | 1.12 | — | 1.16 | 1.22 |
| 660—7模体 | 1.10 | — | 1.27 | 1.28 | 1.15 | — | 1.28 | 1.29 | 1.23 | — | 1.29 | 1.38 | 1.31 | — | 1.42 | 1.45 |
| 水 体 | 1.10 | — | 1.12 | 1.16 | 1.19 | — | 1.24 | 1.34 | 1.23 | — | 1.39 | 1.45 | 1.34 | — | 1.39 | 1.52 |
| 2 cm 塑料 | 1.23 | — | 1.32 | 1.35 | 1.28 | — | 1.32 | 1.36 | 1.24 | — | 1.26 | 1.32 | 1.27 | — | 1.35 | 1.39 |
| 2 cm 铝板 | 1.06 | 1.08 | — | — | 1.12 | 1.18 | — | — | 1.13 | 1.17 | — | — | 1.25 | 1.27 | — | — |
| 4 cm 铝板 | 1.05 | 1.11 | — | — | 1.10 | 1.14 | — | — | 1.09 | 1.17 | — | — | 1.18 | 1.22 | — | — |
| 4 cm 铜板 | 0.94 | — | 1.00 | 1.02 | 1.00 | — | 1.06 | 1.10 | 1.02 | — | 1.04 | 1.06 | 1.01 | — | 1.04 | 1.10 |

(1) 总体来看, 所有模体的反散射因子(BF)随管压(线质)增加而增大; 同时也随照射野面积增加而增大. 同时, 管压越高, 照射野大小对 BF 的影响越小; 在照射野面积达到 15 cm× 15 cm 后 BF 值的增加趋于平缓, 与文献 [8] 报道的结果一致.

(2) 真人的 BF 值大于同样照射条件下其他材料的 BF 值. 但是除铝和铜板外, 其他材料的 BF 值与真人 BF 值的偏差小于 20%.

(3) 在低能端 2 cm 厚有机玻璃板的反散射特性更接近人体, 但在高能端水体更接近人体的反散射特性. 对于胸腹腔内只有模拟脏器而无其他填充材料的仿真入模体, 其反散射特性明显低于真人.

(4) 当管压在 70 kV—110 kV 时, 本试验中人体胸腹部检查时的反散射因子约为 1.40, 即反散射线的剂量贡献约为主射线剂量的 40%.

(5) 本文中测得的水体 BF 值与文献 [8] 中发表的水体 BF 值基本一致.

从以上结果可以看出, 用水模体或有机塑料体模拟人体进行 ESD 测量是切实可行的, 引入的误差不大于±15%, 而且与现行的国际惯例相一致. 本试验中所用的仿真入模体, 可能由于在腹胸腔内未填充脏器以外的等效物质, 过多的空气减少了射线的散射, 故测得的 BF 值明显偏低. 铝和铜的原子序数与机体的等效原子序数相差太远, 在一定条件下可用来模拟人体对主射线的衰减特性, 但不能用来模拟人体的反散射特性.

值得指出的是, ISS 中规定的剂量指导水平是指对于标准成年人的 ESD. Dr. Pernicka 等最近指出, “在临床剂量测量中, 选择 ‘标准化’ 的模体是为了消除由于形状和大小不同而引起的差别. 理想的标准模体的结构设计应当使对初级射线的衰减和反散射特性与代表性的病人相同, 即所测得的数值是典型病人的平均值. 其目的并非要求用模体测得的剂量值等于用病人实测的剂量值” [2]. 显然, 用于质量控制用的模体只是一种约定俗成的模体, 其标准化只是为了便于国际范围内的协调一致和便于对监测数据的相对比较. 根据几年来临床剂量学调查结果来看, 不同放射科室之间, 由于 X 射线机型、投照参数的选择、暗室技术、人员素质和影像质量保证措施是否落实

等诸多因素的不同, 而引起的同类检查成年受检者所受剂量的差异, 远大于成年受检者形体差异对受照剂量的影响. 作为临床剂量学调查方法, 选取足够数量的放射科室(或 X 射线机)利用标准化模体测定剂量所得到的结果, 要比选择少数放射科室和足够数量的受检者所得到的结果, 可能更能反映受检者剂量分布情况和放射科室实践中所存在的问题.

参考文献:

[1] IAEA 安全丛书 No. 115. 国际电离辐射防护和辐射源安全的基本标准[M]. 维也纳: 1997. 39, 265.

[2] Pernicka F., G. A. Carlsson, D. R. Dance, et al. Development of an international code of practice for dosimetry in X-ray diagnostic radiology, in radiological protection of patients in diagnostic and interventional radiology, nuclear medicine and radiotherapy[M]. IAEA, Vienna, 2001, 93—98.

[3] Radiological protection of patients in general diagnostic radiology, in radiological protection of patients in diagnostic and interventional radiology, nuclear medicine and radiotherapy[M]. IAEA, Vienna, 2001, 3—114.

[4] International and national surveys, Radiation Protection Dosimetry[J]. 43(1), 1992. 3—71.

[5] 唐文祥, 朱志贤, 韩发明, 等. 深圳市医用诊断 X 射线投照体表剂量分布调查[J]. 中国辐射卫生, 1998. 7(4) 专刊: 16.

[6] 韩发明, 朱志贤, 唐文祥, 等. 医用 X 射线诊断仿真人体模器官剂量实验研究[J]. 中国辐射卫生, 1998. 7(4) 专刊: 22.

[7] 戴军, 潘红娟, 侯雪莉, 等. 热释光个人剂量计光子能量补偿研究[J]. 核电子学与探测技术, 2000, 20(1): 47.

[8] Bernard Shleien, Slaback L. A. and Birky B. K. Handbook of Health Physics and Radiological Health[M]. Williams & Wilkins Company, 1997, 3rd edition; 10—12.

(收稿日期: 2001—05—22; 修回日期: 2001—07—02)