

DOI:10.3969/j.issn.1000-9760.2020.06.016

数字化 X 射线摄影系统调试机房辐射剂量分布*

王志超 郭文[△] 丁艳秋 郝述霞

(中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所,北京 100088)

摘要 **目的** 对数字化 X 射线摄影系统调试机房外周围剂量当量率及机房内辐射剂量进行检测,掌握调试机房外辐射水平及机房内的剂量分布情况,为调试工程师的防护最优化以及为机房的辐射防护设计提供参考。**方法** 参照《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)对机房外辐射水平进行检测,使用热释光剂量计对机房内剂量分布进行检测。**结果** 该企业数字化 X 射线摄影系统调试机房外辐射水平和调试工程师的个人剂量监测结果符合国家标准要求,机房内的辐射剂量在距离模体表面 100cm 位置的剂量值均接近或超过 1mSv。**结论** 加强数字化 X 射线摄影系统调试机房辐射防护的企业管理和政府监管,进一步优化辐射防护,可有效降低调试工程师受照水平。

关键词 数字化 X 射线摄影系统;调试机房;辐射水平;辐射剂量分布

中图分类号:TH774 文献标识码:A 文章编号:1000-9760(2020)12-446-05

Radiation dose distribution and analysis in debugging room of digital radiography system

WANG Zhichao, GUO Wen[△], DING Yanqiu, HAO Shuxia

(National Institute for Radiological Protection, China CDC, Beijing 100088, China)

Abstract: Objective To detect the dose equivalent rate and radiation dose outside and inside the debugging room of digital radiography system, grasp the radiation level outside and inside the debugging room, so as to provide reference for the optimization of debugging engineers' protection and the design of radiation protection in the debugging room. **Methods** According to national standard <Requirements for Medical X-ray Diagnosis and Radiation Protection> (GBZ130-2013), the radiation level around the debugging room of was tested, the distribution of radiation dose in the debugging room was detected by thermoluminescence dosimeter. **Results** Both the radiation level outside the debugging room of digital radiography system of tested enterprise and the monitoring results of personal dose of debugging engineer met the requirements of national standard. The radiation dose in the debugging room was close to or exceeds 1mSv at a distance of 100cm from the surface of the mold body. **Conclusion** It is very important to strengthen the enterprise management and government supervision for radiation protection of debugging room of digital radiography system, further optimize radiation protection, so as to effectively reduce the exposure radiation level of commissioning engineers.

Keywords: Digital Radiography System; Debugging room; Radiation level; Dose distribution

医用 X 射线诊断设备主要是利用 X 射线透过人体所形成的各种影像对患者进行诊断的设备^[1]。此类设备在使用过程中会产生 X 射线,相关辐射剂量学方面的研究更加关注的此类设备在

医院使用过程中的辐射剂量分布与防护。而对于数字化 X 射线摄影系统的辐射剂量学研究较少。

在数字化 X 射线摄影系统生产组装过程需要对系统性能、成像质量等进行调试,在此过程中,调试工程师在调试机房外调试设备,会接触到 X 射线外照射危害。国家目前尚未有明确关于此类调试机房的辐射防护管理规定,为调试工程师的

* [基金项目] 科技部科研院所技术开发研究专项 (2012EG150137)

△ [通信作者] 郭文, E-mail: guowen@nirp.chinacdc.cn

防护最优化以及为优化机房的辐射防护设计提供参考,本研究对数字化 X 射线摄影系统调试机房的周围辐射水平和机房内辐射剂量分布进行检测。

1 材料与方法

1.1 材料

选取北京地区某具有代表性的数字化 X 射线摄影系统生产企业。检测对象是数字化 X 射线摄影系统调试机房。在正常工作状态下,对调试机房周围的辐射水平进行检测,同时选取一个机房对机房内的辐射剂量分布进行检测。该企业个人剂量监测依据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)进行^[2],本次研究引用该企业提供的个人剂量监测报告中相关岗位调试工程师的个人剂量监测结果。

1.2 仪器设备

1.2.1 检测设备及模体 使用 AT1123 型 X-γ 辐射测量仪(白俄罗斯 ATOMTEX 公司)对机房外的辐射水平进行检测。AT1123 型 X-γ 辐射测量仪具有能量响应范围大,响应时间快^[3],可以测量短时辐射和脉冲辐射等特点,用于检测医用 X 射线诊断设备可不进行时间修正^[4]。

使用热释光剂量计(TLD)对机房内辐射剂量分布进行检测^[5],热释光剂量计具有体积小,可以进行点剂量测量^[6],能量响应好,灵敏度高,使用方便等特点。可用于环境监测和放射防护等方面。RE2000 热释光读出系统对剂量计进行测读^[7]。

检测使用的模体为企业加工定制的水模体(规格:30cm×30cm×20cm)。

1.2.2 受检设备 受检数字化 X 射线摄影系统主要为北京通用电气华伦医疗设备有限公司生产的 XR 6000、SR 6000、D 6000、Optima XR646HD、Optima XR646、Brivo 575、THUNIS 800+、Feitian 等型号数字化 X 射线摄影系统,检测时的最大工作条件为 150kV,400mA。检测时均放置了模体,以模拟正常调试情况。

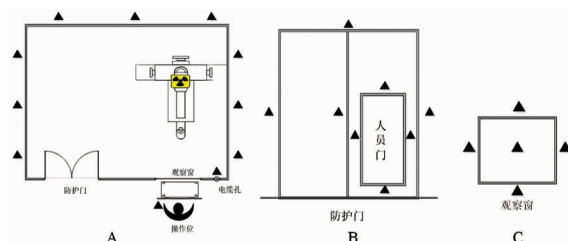
1.2.3 受检机房 涉及的数字化 X 射线摄影系统调试机房有 BAY3、BAY5、BAY6、BAY7、BAY8、BAY9 和 BAY10。调试机房的四周墙体及顶部均为含铅防护层(3mmPb),观察窗为铅玻璃观察窗(3mmPb),防护门为钢质门(内 3mm 铅板)。工作现场设置有电离辐射警告标志和职业病危害告知卡等,机房设置有门机联锁、出束指示灯等辐射安

全防护措施。

1.3 检测方法

1.3.1 调试机房外的辐射水平检测 数字化 X 射线摄影系统调试机房外的辐射水平检测是参照《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)第 7.2 款中“射线设备机房的防护检测应在巡测的基础上,对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测,位点选取应具有代表性”^[8]。检测时均放置模体,以模拟正常调试情况。

检测操作点位置包括调试机房防护墙外 30cm,防护门外 30cm,观察窗外 30cm。操作位置参考检测布点见图 1。



注:A 为调试机房外布点图;B 为防护门外布点图;C 为观察窗外布点图;▲:表示检测点位。

图 1 机房外辐射水平检测参考布点图

1.3.2 调试机房内的辐射剂量分布检测 使用经过筛选,选择分散性小于 3% 的热释光探测元件用于此研究。使用的 RE2000 热释光读出系统和剂量计已经过中国计量科学研究院刻度和校准,且在校准有效期内。

在距离数字化 X 射线摄影系统模体不同距离不同方向的治疗床平面内设置多个热释光剂量计,记录调试 1 台数字化 X 射线摄影系统时机房内的辐射剂量分布情况。监测点位布置在治疗床平面按 0°、45°、90°、135°、180°、225°、270°、315° 8 个方向,距离靶点 2m 范围内,每隔 20cm,设置 1 个监测点位。见图 2。

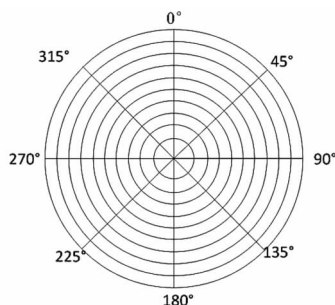


图 2 剂量监测布点示意图

1.3.3 受检机房调试 调试机房进行数字化 X

射线摄影系统调试时,调试工程师位于机房外的操作位进行曝光操作。

2 结果

2.1 调试机房外周围的辐射水平

数字化 X 射线摄影系统调试机房外辐射水平(2017 年:0.07~2.15 μ Sv/h;2018 年:0.07~2.

19 μ Sv/h;2019 年:0.07~2.44 μ Sv/h),部分点位高于工作场所本底水平(0.06~0.10 μ Sv/h),其余各检测点位的剂量率水平处于工作场所本底水平。2017 年至 2019 年各数字化 X 射线摄影系统机房外周围剂量当量率水平平均值和最大值见表 1 和表 2。

表 1 调试机房外周围剂量当量率水平平均值(μ Sv/h)

机房	距观察窗外 30cm			距设备门外 30cm			距人员门外 30cm			距机房防护墙外 30cm		
	2017 年	2018 年	2019 年	2017 年	2018 年	2019 年	2017 年	2018 年	2019 年	2017 年	2018 年	2019 年
BAY3	0.40	0.09	0.09	1.47	0.89	0.89	1.58	0.58	0.58	0.27	0.08	0.08
BAY5	0.48	0.18	0.08	0.37	0.53	0.15	0.45	0.80	0.11	1.03	0.11	0.11
BAY6	0.77	0.27	1.17	0.51	0.72	0.38	0.40	0.86	0.37	1.49	0.63	1.43
BAY7	0.42	0.23	0.31	1.31	0.47	1.12	0.87	0.30	0.92	0.82	0.26	0.49
BAY8	0.23	0.23	0.33	0.65	0.57	0.24	0.56	0.46	0.63	0.19	0.12	0.19
BAY9	0.85	0.13	0.54	0.99	0.28	0.86	0.90	0.23	1.62	1.00	0.76	1.27
BAY10	0.17	0.36	0.30	0.60	1.56	0.92	0.94	1.97	0.86	0.47	0.65	0.35

表 2 调试机房外周围剂量当量率水平最大值(μ Sv/h)

机房	距观察窗外 30cm			距设备门外 30cm			距人员门外 30cm			距机房防护墙外 30cm		
	2017 年	2018 年	2019 年	2017 年	2018 年	2019 年	2017 年	2018 年	2019 年	2017 年	2018 年	2019 年
BAY3	0.62	0.10	0.10	2.07	1.63	1.63	1.98	0.82	0.82	0.40	0.08	0.08
BAY5	0.72	0.22	0.09	0.71	0.86	0.33	0.67	1.37	0.14	1.83	0.18	0.12
BAY6	1.53	0.35	1.67	1.09	1.14	0.87	0.67	1.27	0.78	2.17	1.03	2.15
BAY7	0.71	0.49	0.57	2.15	1.13	1.54	1.19	0.42	1.67	1.66	0.81	1.12
BAY8	0.35	0.42	0.50	1.77	1.67	0.49	1.05	0.95	2.09	0.23	0.13	0.32
BAY9	1.28	0.16	0.86	1.82	0.41	2.44	1.18	0.31	2.24	1.36	1.90	1.99
BAY10	0.34	0.75	0.33	1.04	2.19	1.31	1.76	2.16	1.14	0.82	1.37	0.82

2.2 调试机房内辐射剂量分布

热释光剂量计在 RE2000 热释光系统上进行测读后得到的发光量数值,经计算后,调试机房内各点位的辐射剂量见表 3。调试机房内辐射剂量与距离分布规律见图 3。

通过数据分析可知,距离模体表面 20cm 位置的剂量最大值为 23.35mSv,在距离模体表面 100cm 位置的剂量值均接近或超过 1mSv。

2.3 调试工程师个人剂量监测

该企业的个人剂量监测数据均来源于取得外照射个人剂量监测资质的放射卫生技术服务机构所出具的个人剂量监测报告。根据企业提供的个人剂量监测结果,上述机房涉及的放射工作人员年受照剂量为:2017 年在 0.02~0.10mSv,2018 年在 0.02~0.16mSv,2019 年在 0.04~0.20mSv。

表 3 调试机房内辐射剂量(mSv)

序号	方位							
	A (正南向)	B (东南向)	C (正东向)	D (东北向)	E (正北向)	F (西北向)	G (正西向)*	H (西南向)
01	15.29	23.35	17.13	7.34	7.14	4.73	7.45	8.41
02	5.33	3.73	3.81	3.25	3.34	2.52	2.55	3.88
03	2.82	2.05	2.45	2.20	1.94	1.62	0.76	2.03
04	1.70	1.40	1.71	1.53	1.38	1.06	0.27	1.13
05	1.22	1.02	1.22	1.19	0.92	0.80	0.26	0.91
06	0.92	0.90	0.97	1.08	0.76	0.67	0.27	0.74
07	0.63	0.61	0.92	0.98	0.66	0.57	—	0.65
08	0.56	0.52	0.85	0.89	0.49	0.42	—	0.49
09	0.48	0.41	0.78	0.75	—	—	—	0.40
10	0.42	—	0.49	0.54	—	—	—	0.38
11	0.31	—	—	—	—	—	—	0.31

注:*,G(正西向)由于受立式球管支架的影响,从 60cm 处开始,剂量值均明显小于其他点位。

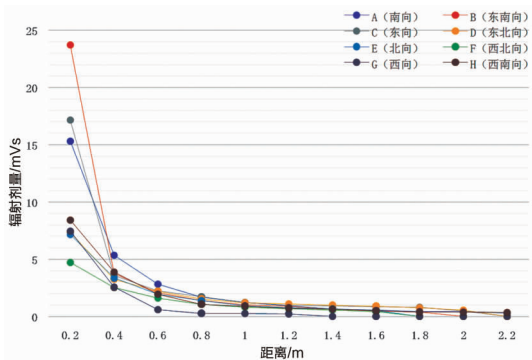


图 3 调试机房内辐射剂量与距离分布规律

3 讨论

现行的《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)^[8]的适用范围仅针对医院等 X 射线诊疗设备的使用场所,未包含诊疗设备生产调试过程中的辐射防护要求。经前期调研发现,现阶段针对医用放射诊疗设备的辐射剂量分布的研究主要集中在医院正在使用的设备,涉及的设备主要是 C 型臂数字剪影介入诊断设备^[9]、骨科 C 型臂^[10]、移动式加速器^[11]和 Co-60 治疗机^[12]等,均是采用热释光剂量计对场所内的辐射场分布进行研究。王忠立等^[13]在某医用 X 射线机生产厂新建测试机房周围辐射防护水平评价中仅对测试机房外的辐射水平进行研究,没有针对测试机房内的辐射剂量进行研究。此外,已有部分研究是针对医用 X 射线诊断设备在医院使用过程中的辐射剂量分布进行的,而针对调试机房内的辐射剂量学研究相对较少。本研究通过对数字化 X 射线摄影系统调试机房辐射剂量分布进行研究,发现数字化 X 射线摄影系统在调试机房内剂量分布规律,为进一步做好医用 X 射线诊断设备调试机房的辐射防护设计、保护调试工程师等劳动者的职业健康提供理论基础。

参照《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)^[8]的限值要求,本研究结果显示,该企业数字化 X 射线摄影系统调试机房外的辐射水平符合标准条款(5.4a)“在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处,机房的辐射屏蔽防护,应满足下列要求具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时,周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h”的限值要求,但部分点位检测数据高于工作场所本底水平(0.06~0.10 μ Sv/h)。根据近 3 年的检测结果,以及不同点位辐射水平对比分析,该企业数字

化 X 射线摄影系统调试机房防护门门缝外的辐射水平整体偏高,高于其他检测点位的辐射水平。根据该企业现场调研资料,调试工程师每年工作约 240d,每天出束时间约为 2h,即放射工作人员在机房外出束调试的时间约为 2h/d,以机房外周围剂量当量率水平最大值 2.44 μ Sv/h,可能受到的年剂量约为 1.17mSv,低于企业制定的放射工作人员年剂量管理目标值的要求。结合现场调查资料,由于机房建造时间较长,防护门及防护墙内衬铅板可能下坠变形造成铅板搭接缝隙变大,导致整体调试机房防护效果变差,从而导致门缝处以及防护墙个别点位剂量率水平较高。针对上述情况,企业应严格管理作业现场管理,尽可能减少不必要的照射,定期进行自主监测,及时发现存在问题,可采取对防护墙铅板进行重新搭接加固、对防护门门缝增加铅橡胶或铅挡条等措施完善调试机房的辐射屏蔽,避免调试工程师受到额外的漏射或散射外照射。同时应加强规范操作,确保各项辐射安全防护措施和设施均正常有效运行。

通过使用热释光剂量计对调试机房内辐射剂量进行监测(曝光 20 次),可以看出:距离模体表面 20cm 位置的剂量最大值为 23.35mSv,在距离模体表面 100cm 位置的剂量值均接近或超过 1mSv,单次曝光的辐射剂量 50 μ Sv。根据调试机房内辐射剂量分布规律,调试工程师在进行调试工作时应正确佩戴个人剂量计,除必要操作外,尽可能远离 X 射线球管区域,并注意严格按照相应操作规程进行,以避免因误照射造成调试工程师的超剂量照射。结合数字化 X 射线摄影系统调试工作特点,调试工程师在不同出束条件下对不同参数进行调试,此过程在医院正常使用时的工作条件,因此调试工程师在调试工作中可能会接触不同能量的 X 射线,累积接触时间也比医院的工作时间要长。

综上所述,数字化 X 射线摄影系统调试机房内外的辐射剂量分布规律可为此类设备调试机房或使用机房的辐射防护设计提供参考,同时也为调试工程师的防护最优化提供依据。此外,国内目前尚未有数字化 X 射线摄影系统调试机房相关检测及评价标准,此研究检测时参照的是《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013),但由于调试机房实际工作内容、工作频次及接触时间等方面与医院在用机房均不同,不能完全按照此标准来评估调试工程师的受照水平。因此,(下转第 453 页)

03. 030.

[3] Arsoy D, Giori NJ, Woolson ST. Mobile compression reduces bleeding-related readmissions and wound complications after THA and TKA[J]. Clin Orthop Relat Res, 2018, 476 (2): 381-387. DOI: 10. 1007/s11999. 0000000000000041.

[4] 韩宁,姚建华. 膝关节置换术功能评分方法优缺点对比[J]. 医学综述, 2015, 21(21): 3919-3921. DOI: 10. 3969/j. issn. 1006-2084. 2015. 21. 027.

[5] Kon E, Filardo G, Drobnic M, et al. Non-surgical management of early knee osteoarthritis [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2012, 20(3): 436-449. DOI: 10. 1007/s00167-011-1713-8.

[6] 李娜. 全膝关节置换术后康复护理对患者关节肿胀疼痛的影响[J]. 中国现代医生, 2019, 57(25): 155-157.

[7] Yadegari I, Bohm E, Ayilara OF, et al. Differential item functioning of the SF-12 in a population-based regional joint replacement registry [J]. Health Qual Life Outcomes, 2019, 17(1): 114. DOI: 10. 1186/s12955-019-1166-1.

[8] 李振芳, 杨柳, 张雪美, 等. 早期抗阻力训练对 TKA

病人膝关节功能康复的影响[J]. 护理研究, 2020, 34(2): 355-358. DOI: 10. 12102/j. issn. 1009-6493. 2020. 02. 039.

[9] Liu C, Liu R, Tang M, et al. Role and mechanism of nursing cooperation and tetramethylpyrazine application in post-operative pain in patients undergoing total knee arthroplasty [J]. Exp Ther Med, 2019, 17(3): 2366-2372. DOI: 10. 3892/etm. 2019. 7203.

[10] 徐梅, 陈露, 刘艳梅, 等. 快速康复护理模式在人工全膝关节置换术后的应用[J]. 中国骨与关节杂志, 2019, 8(9): 699-702. DOI: 10. 3969/j. issn. 2095-252X. 2019. 09. 013.

[11] 周燕, 安丽红, 耿爱华. 全膝关节置换术围术期规范化疼痛护理管理效果探讨[J]. 现代医药卫生, 2020, 31(20): 3161-3163. DOI: 10. 3969/j. issn. 1009-5519. 2015. 20. 049.

[12] Lisi C, Caspani P, Bruggi M, et al. Early rehabilitation after elective total knee arthroplasty [J]. Acta Biomed, 2017, 88(4S): 56-61. DOI: 10. 23750/abm. v88i4-S. 5154.

(收稿日期 2020-03-02)

(本文编辑: 石俊强)

(上接第 449 页) 对于调试工程师这类职业人群尚未有合适的评价机制, 亟须监管部门加强管理机制的制定和完善。

参考文献:

[1] 国家食品药品监督管理总局. 总局关于发布医疗器械分类目录的公告(2017 年第 104 号) [EB/OL]. [2017-09-04]. <http://samr. cfda. gov. cn/WS01/CL0087/177089. html>.

[2] 国家卫生和计划生育委员会. 职业性外照射个人监测规范: GBZ128-2019 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.

[3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 4960. 6-2008 核科学技术术语 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[4] 徐辉, 赵锡鹏, 岳保荣, 等. RJ32-2106P 和 AT1123 两种 X-γ 剂量率仪响应时间性能研究 [J]. 中国辐射卫生, 2018, 27(6): 595-598. DOI: 10. 13491/j. issn. 1004-714x. 2018. 06. 021.

[5] 赵进沛, 刘志鹏, 许泽. 热释光辐射剂量探测技术在医疗照射中的应用 [J]. 职业与健康, 2013, 29(16): 2090-2091, 2094. DOI: 10. 13329/j. cnki. zyyjk. 2013. 16. 029.

[6] Ogretici A, Qakir A, Akbas U, et al. A phantom study on fetal dose reducing PH factors in pregnant patients with breast cancer during radiotherapy treatment [J]. J Med

Phys, 2017, 42(3): 128-132. DOI: 10. 4103/jmp. JMP_133_16.

[7] Zahariman SR, Khandaker M, Abdul Sani SF, et al. Environmental monitoring through use of silica-based TLD [J]. J Radiol Prot, 2017, 37(3): 761-779. DOI: 10. 1088/1361-6498/aa770e.

[8] 国家卫生和计划生育委员会. 医用 X 射线诊断放射防护要求: GBZ130-2013 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

[9] 李冰, 李雅琴. 医用介入 X 线周围辐射场剂量分布测量 [J]. 白求恩医科大学学报, 2001, 27(4): 371-373. DOI: 10. 13481/j. 1671-587x. 2001. 04. 020.

[10] 张宏霞, 贺强. 骨科手术室 C 臂机对医护人员辐射剂量和防护策略研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2010.

[11] 马永忠, 万玲, 娄云, 等. 移动式加速器术中放射治疗辐射场剂量水平的测量与分析 [J]. 首都公共卫生, 2012, 6(4): 150-154. DOI: 10. 16760/j. cnki. sdggws. 2012. 04. 008.

[12] 许潇, 白哈日巴拉格, 日勒满达呼, 等. 60Co 治疗机辐射场分布的研究 [J]. 中国辐射卫生, 2015, 24(5): 491-493.

[13] 王忠立, 路建超, 刘红英, 等. 某医用 X 射线机生产厂新建测试机房周围辐射防护水平评价 [J]. 中国辐射卫生, 2007, 16(4): 469-470.

(收稿日期 2020-11-24)

(本文编辑: 石俊强)