中图分类号: R144　　文献标识码: A　　文章编号: 1673 - 7830(2012)04 - 0150 - 05

·论著·

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

马永忠　万玲　娄云　李慧娟　王宏芳　冯泽臣

【摘要】 目的　掌握移动式加速器(简称加速器)术中放射治疗时在手术室及其外围产生的辐射水平,制订手术室可行的屏蔽设计方案,加强术中放射治疗的防护管理。方法　以某医院设置的 1 台 Mobetron 移动式加速器和术中放射治疗场所为研究对象,采用 12 MeV 电子束、输出量率1 000 cGy/min 进行模拟术中放射治疗,分别使用 LiF(Mg,Cu,P)热释光剂量计(TLD)和 6150 - AD 型环境剂量率仪对术中放射治疗手术室内及其外围的辐射水平进行测量。结果　(1)术中放射治疗手术室内的辐射场剂量水平及其分布: Z = 75 cm 平面(治疗床平面)内,加速器前方 100 cm 处的剂量率为 40.8 ~ 62.8 mGy/h,后方 100 cm 处的剂量率为 0.13 ~ 11.2 mGy/h; 加速器前方和侧向 300 cm 处的剂量率为 2.05 ~ 6.35 mGy/h。(2)术中放射治疗辐射安全设置状况及手术室外围的辐射水平: 术中放射治疗手术室及其准备间设为控制区,防护门均与出束联锁; 照射时东墙外走廊(中间隔有准备间)最高剂量率为 9.0 μGy/h,北墙外控制室内最高剂量率为 19.5 μGy/h,西墙外清洁走廊和南墙外、楼下场所最高剂量率分别为 24.2、14.5 和 23.0 μGy/h。结论　加速器在手术室内产生的辐射主要为轫致辐射的杂散辐射,但应相对固定术中放射治疗场所并结合实测辐射值制订并优化场所的屏蔽设计方案。

【关键词】 移动式加速器; 术中放射治疗; 电子束; 辐射场; 辐射防护

Measurement and analysis on the radiation level of Intra-operative radiotherapy(IORT) with a mobile accelarator

MA Yong-zhong, WAN Ling, LOU Yun, LI Hui-juan, WANG Hong-fang, FENG Ze-chen.

(*Beijing Center for Disease Control and Prevention*, *Beijing* 100013, *China*)

【Abstract】 **Objective**　To enhance the protective management and to design a feasible shielding project by measuring the real radiation level of Intra-operative radiotherapy(IORT) with a mobile accelerator(accelerator) in/outside the operating room. **Methods**　A Mobetron mobile accelerator and the operating room were selected as the research object. Under the condition of simulating IORT with 1000cGy/min of 12MeV electron beam, the radiation level both from the IORT operating room and from its peripheral place were obtained by the test tools including LiF(Mg,Cu,P) thermoluminescent dosimeters(TLDs), an environmental dose rate meter typed 6150-AD. **Results**　(1) The radiation level and dose distribution in the IORT operating room. In the Z = 75 plane(couch plane), an exposure value of approximately 40.8 ~ 62.8mGy/h at 100cm in the front of the unit and a value of approximately 0.13 ~ 11.2mGy/h at 100cm at the back of the accelerator were measured, while a value of approximately 2.05 ~ 6.35mGy/h at 300cm in the front of the device and at the lateral of the unit. (2) The radiation safety setting of the IORT operating room and the radiation level outside the room. The IORT operating room and its preparing rooms were regarded as controlled area and all doors of the site were interlocked with beam on. Under the circumstance of the above radiation state set, there were maximum of 9.0μGy/h in the aisle (which is separated by the preparing rooms) outside east wall and 19.5μGy/h in the controlling room outside north wall of the operating room. At the same time, 24.2, 14.5 and 23.0μGy/h were shown as the maximum value from clean hall outside west wall, the place outside south wall and under the floor correspondingly. **Conclusion**　The radiation resulted from IORT accelerator operation was belong to mixed scatter radiation of bremsstrahlung in the operating room. It is desirable that an IORT operating room should be located at an appropriate immovable place and the shielding design plan should be determined and optimized on the basis of practical radiation level.

【Key words】 Mobile accelerator; Intra-operative radiotherapy(IORT); Electron beam; Radiation field; Radiation protection

作者单位: 100013,北京市疾病预防控制中心

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

术中放射治疗是在手术室中当患者处于麻醉状态下，对暴露的病灶或瘤床给予单次大剂量照射以达到对肿瘤相对彻底治愈的目的[1-2]。该治疗技术早于1909 年被用于临床，至今已有近 100 余年历史，我国于 1972 年开展此项技术。由于传统的术中放射治疗需要在大型固定的直线加速器机房内进行，患者在手术和放射治疗过程中转运带来的感染、麻醉意外以及患者和操作人员的辐射防护等因素，制约了该技术的发展，所以出现了一种用于术中放射治疗的移动式电子直线加速器（简称“移动式加速器”或“加速器”），从而可直接在手术室中对术后病人进行治疗照射[3-4]。我国于 2007 年 6 月引进了首台移动式加速器，随之又有多家医院引进这种设备，然而各种与移动式加速器术中放射治疗剂量及防护相关的问题是不容忽视的。其中患者病灶靶区外辐射剂量分布和术中放射治疗手术室外围辐射水平的实际状况，已成为放射防护学者和术中放射治疗医护人员关注的焦点。为此，现对某医院设置的 1 台 Mobetron 移动式加速器术中放射治疗的辐射场剂量水平和现场防护进行了测量和分析，并讨论了相关问题。

1 材料与方法

1.1 研究对象 以某医院手术室中设置的 1 台 Mobetron 移动式加速器、处于 4 楼拟施行术中放射治疗的手术室及其外围场所为研究对象。该加速器的机头安装在一个 C 型臂机架上并可以沿 C 型臂在 GT（枪靶）平面内进行 4 ~ 30°旋转，机架可在 AB（治疗床左右）平面内进行 4 ~ 45°旋转，并能在 AB 方向和 GT 方向水平移动 4 ~ 5 cm。标称源皮距（从虚源到限光筒末端）为 50 cm，配置有 4、6、9、12 MeV 电子束，治疗剂量率为1 000 cGy/min。机头正下方除设置了 12.5 cm Pb 射线阻挡器（近似正六边形，面积约 0.25 m^2）外，还增设了 2 cm 厚的 Pb 防护板（0.72 m^2）。

1.2 测量仪器与研究指标

1.2.1 水散射体（30 cm × 30 cm × 30 cm）表面距地面 75 cm，散射体表面中心距离手术室西墙和南墙内表面分别为 270 cm 和 400 cm。

1.2.2 以散射体为中心，以散射体表面为治疗床平面和测量平面，每隔 30 ~ 45°的方向与靶点不同距离的位置设置测量点（各测量方向第 1 个测量点与靶点距离 100 cm），每个点相距 100 cm 放置 LiF（Mg，Cu，P）热释光剂量计（TLD）进行布点测量；根据术中放射治疗手术室内几何空间尺寸和现场条件，TLD 测量点的设置情形如图 1 所示。

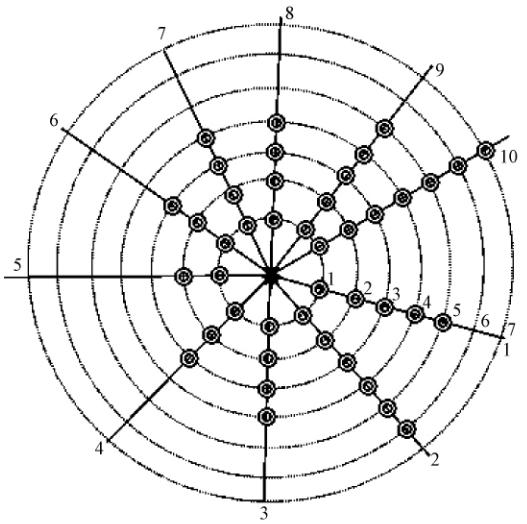

图 1 TLD 现场布点检测示意图

注：以散射体中心为原点（靶点）沿各个方向放置 TLD，每层间隔 100 cm，◎表示检测点，每个点位置编号为“方向 - 层”，如“1 - 1”，表示方向 1 的第一层

1.2.3 使用直径 ϕ10 cm、长 30cm 的圆柱形限光筒（上部铅筒长 15 cm，下部不锈钢筒长 15 cm）末端接近水模体表面（出束口末端距离水表面 1 cm），模拟 12 MeV 电子束治疗状态，以输出剂量率1 000 cGy/min 累积照射 15 min（150 Gy）；

1.2.4 将手术室内受照后的 TLD 使用 RGD-3B 热释光剂量仪（解放军防化研究院生产）进行测量，估算出室内术中放射治疗辐射场的剂量水平；同时，在出束过程中，使用 6150-AD 型环境剂量率仪对术中放射治疗手术室外围场所和手术室地下三层场所的辐射水平进行测量。

1.3 质量控制措施 调试 Mobetron 移动式加速器使之达到稳定工作状态；筛选出分散性在 3% 之内的 TLD 用于室内辐射水平的测量；用于现场检测的测量仪器使用前已送检至国家法定计量检定部门，并确保仪器均是在有效的检定周期内；依据美国 AAPM 72 号报告、GBZ/T 201.1—2007 和术中放射治疗相关的辐射监测报告与技术资料，制订现场辐射水平检测与实验室测量方案，建立相应的辐射检测数据库进行统计分析。

2 结果

2.1 术中放射治疗手术室内的辐射场剂量水平及其分布 按照实验方案和图 1 中设定的测量位点，使用 TLD 测量术中放射治疗手术室内 Z = 75 cm 平面（治

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

疗床平面)的剂量水平及其分布。移动式加速器前方 100 cm 处的剂量率为 40.8 ~ 62.8 mGy/h,后方 100 cm 处的剂量率为 0.13 ~ 11.2 mGy/h;除加速器正后方(6-3)外,300 cm 处的剂量率为 2.05 ~ 6.35 mGy/h(表 1)。

表 1　移动式加速器术中放射治疗手术室内的辐射场剂量水平及其分布

测量点方向	与靶点距离(cm)	剂量率,(mGy/h)	测量点方向	与靶点距离,(cm)	剂量率,(mGy/h)
1 - 1	100	53.0	6 - 3	300	0.10
1 - 2	200	—	7 - 1	100	11.2
1 - 3	300	2.07	7 - 2	200	—
1 - 4	400	1.47	7 - 3	300	2.05
1 - 5	500	1.62	7 - 4	400	1.01
2 - 1	100	40.8	8 - 1	100	62.8
2 - 2	200	10.8	8 - 2	200	11.7
2 - 3	300	4.10	8 - 3	300	5.44
2 - 4	400	2.04	8 - 4	400	1.24
2 - 5	500	1.22	9 - 1	100	50.1
2 - 6	600	0.86	9 - 2	200	7.53
3 - 1	100	51.2	9 - 3	300	3.80
3 - 2	200	9.84	9 - 4	400	1.82
3 - 3	300	6.02	9 - 5	500	1.31
3 - 4	400	0.91	10 - 1	100	43.4
4 - 1	100	42.1	10 - 2	200	3.25
4 - 2	200	13.9	10 - 3	300	3.23
4 - 3	300	6.35	10 - 4	400	—
5 - 1	100	51.2	10 - 5	500	0.80
5 - 2	200	9.60	10 - 6	600	0.43
6 - 1	100	0.13	10 - 7	700	0.47
6 - 2	200	0.15			

注:"—"表示因手术室内现场设备设置的影响,不能获取相应位置的实际辐射剂量值;6 - 1 至 6 - 3、7 - 1 至 7 - 3 为移动式加速器后方

2.2　术中放射治疗辐射安全设置状况及手术室外围的辐射水平　治疗照射时,该移动式加速器在手术室内的安置位置及典型术中放射治疗手术室平面规划见图 2。图中"O"表示加速器照射的病灶靶点位置。加速器斜向置于治疗室内,正前方朝向治疗室的东南方向。加速器照射靶点在手术室内与各面墙的距离分别为:东侧 580 cm,南侧 400 cm,西侧 270 cm,北侧 390 cm。紧邻术中放射治疗手术室东侧南北两端均设置有双道防护门(内侧防护门即由手术室分别通往东侧北端的准备间 1 和东侧南端的准备间 2 的防护门;外侧防护门即分别为相应准备间通往东侧走廊的防护门),治疗室北侧设置有 1 道通往控制室的防护门,西侧设置有 1 道通往西墙外清洁走廊的防护门,设置的 6 道防护门均与治疗射线出束联锁,只有各防护门均关闭时才能出束;观察窗设置在术中放射治疗手术室的北侧,内侧窗沿与照射靶点距离为 390 cm。

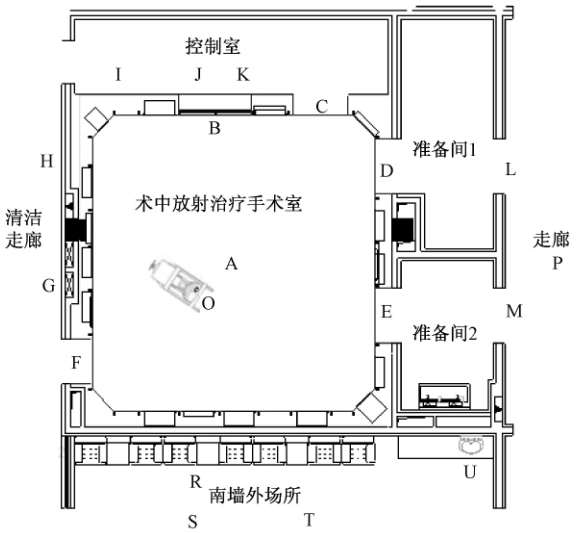

图 2　典型术中放射治疗手术室平面规划加速器设置位置示意图

该术中放射治疗手术室仅针对低能 X 射线进行了屏蔽设计,其中东、南、西、北墙均为 15 cm 夹气砖 + 2 mm 铅(夹气砖无屏蔽效果,故相应墙壁仅为 2 mm 铅屏蔽);室顶(天花板)和地板均为 14 cm 砼 + 2 mm 铅;防护门包括东侧 4 扇门(为双重门),北侧和西侧各 1 扇门,均为木 + 2 mmPb;观察窗为 15 mm 厚的铅玻璃(相当于 3 mmPb 当量)。在该屏蔽条件下,12 MeV 电子束、1 000 cGy/min 模拟直径 10 cm 限光筒进行垂直向下的治疗照射,对手术室外围辐射水平进行直接测量。其中,手术室东墙外走廊(中间隔有准备间)最高剂量率为 9.0μGy/h,北墙外控制室内最高剂量率为 19.5μGy/h,西墙外清洁走廊和南墙外最高剂量率分别为 24.2 和 14.5μGy/h,楼下场所最高剂量率为 23.0μGy/h。

图 2 中,A 为术中放射治疗手术室室中位置,O 为加速器照射靶点、B 为铅玻璃观察窗内侧、C 为手术室与控制室相通的防护门、D 为手术室与准备间 1 相通的防护门、E 为手术室与准备间 2 相通的防护门、F 为手术室与西侧清洁走廊相通的防护门、G 为西墙外走

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

廊中部、H 为西墙外北侧配电柜表面、I 为控制室内设备柜旁、J 为控制室内设备操作台、K 为控制室内观察窗旁、L 为手术室东侧走廊与准备间 1 相通的防护门、M 为手术室东侧走廊与准备间 2 相通的防护门、P 为东侧清洁走廊中部墙表面、R 为手术室南墙外场所西端墙表面、S 为手术室南墙外场所西端座位、T 为手术室南墙外场所东端座位、U 为手术室南墙外场所的洗手池位置;与手术室中照射位置 O 对应的下方场所为三层普通治疗室、室顶上方为室外楼顶,属于人员不可进入的区域,相应关注点的辐射水平检测结果见表 2。

表 2 移动式加速器术中放射治疗手术室外围的辐射水平

测量点方向	测量位置编号及位置描述	与靶点距离(cm)	测量结果(μGy/h)
北墙外	C: 手术室与控制室相通的防护门	630	17.5
	K: 控制室内观察窗旁	520	19.5
	J: 控制室内设备操作台	530	19.2
	I: 控制室内设备柜旁	620	17.0
西墙外	H: 西墙外北侧配电柜表面	510	3.2
	G: 西墙外走廊中部	360	24.2
	F: 手术室与西侧清洁走廊相通的防护门	450	15.8
南墙外	R: 手术室南墙外场所西端墙表面	520	14.5
	S: 手术室南墙外场所西侧座位	580	10.4
	T: 手术室南墙外场所东侧座位	880	3.9
	U: 手术室南墙外场所的洗手池位置	970	1.2
东墙外	M: 手术室东侧走廊南侧与准备室相通的防护门	930	9.0
	P: 东侧走廊中部墙表面	920	4.2
	L: 手术室东侧走廊北侧与准备室相通的防护门	960	2.4
IORT 手术室下方三层区域	医护办公室	—	0.35
	三层普通治疗室 1m 高处	550	17.5
	三层普通治疗室 1.8m 高处	470	23.0
	三层普通治疗室内床位处	560	16.0
	三层普通治疗室旁侧场所	—	4.5

注:(1) 手术室现场本底为 0.08 ~ 0.13 μGy/h,表中数据未扣除本底值;(2) 准备间 1 和准备间 2 均为控制区,相应防护门均与治疗出束状态联锁,东墙外区域即为与准备室相邻的东侧走廊;(3) 楼层高 4.9 m,照射靶点与楼下三层区域 100 cm 高位置的距离为 4.7 m

3 讨论

3.1 移动式加速器在手术室内进行放射治疗照射时,室内产生的杂散辐射包括 X 射线(光子)的泄漏辐射、散射辐射以及电子散射。在治疗照射的准直器接近散射体的表面时,散射电子基本上被屏蔽在限光筒内,而从准直器与散射体表面之间的缝隙泄漏出的电子辐射很少,电子束在加速器室壁及准直器件上的束流损失相对较小,相应的韧致辐射剂量也低,所以室内辐射场的剂量贡献应主要来自于电子束射入人体(或散射体)后所产生的韧致辐射。在设备运行中,除特殊情况下治疗操作相关人员可能接触到室内辐射场外,还存在束流调试和质量保证检测等一系列相关出束操作可能造成人员意外受到辐射场的照射,在剂量估算和分析中也应主要考虑韧致辐射。同时应该注意,该移动式加速器所用的薄层不锈钢准直器对韧致辐射源几乎没有屏蔽作用,所以加速器产生的电子束流与散射体作用的位点处几乎作为一个裸源向四周发射光子,只是光子能量的大小与角分布的状况相关联。

3.2 在电子束向下照射时,竖直向下方向的韧致辐射能量和强度均最大,装置在电子束相应主束区设有 12.5 cmPb 板束流遮挡器,但旁侧的散射辐射也是不容忽视的,这也是影响术中放射治疗手术室地板屏蔽的关键因素。文献表明[5-6],12 MeV 电子束、1 000 cGy/min 治疗照射条件下,距照射部位 100 cm 处的最高剂量率为 3.5 mGy/h。该典型术中放射治疗手术室内照射靶点位置距地面仅 75 cm,产生的韧致辐射散射角

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中图分类号: R512.5; R516　　文献标识码: A　　文章编号: 1673 - 7830(2012)04 - 0154 - 05

·论著·

2008 ~ 2011 年北京市朝阳区急性腹泻患者就诊情况

吴钶　马建新　崔树峰　徐伟　陈大方

【摘要】 目的　了解北京市朝阳区 2008 ~ 2011 年初诊急性腹泻病病例的流行病学特征及诊疗情况,为进一步制定腹泻病防控措施提供依据。方法　采用回顾性调查方法,对 2008 ~ 2011 年肠道门诊就诊病例的流行病学特征及诊疗情况进行分析。结果　朝阳区每年 7、8 月为腹泻病高发季节;20 ~ 30 岁年龄组人群为高发人群,性别间无差异;城区腹泻病就诊病例多于城乡结合部;选择二级以上医疗机构就诊的腹泻病患者达 87.9%,选择社区医院就诊的腹泻病患者为 12.1%(χ^2 = 109.9, $P \leqslant 0.000$);腹泻病患者静脉补液治疗占 21.4%、抗生素使用率达 37.3%。结论　夏秋季为腹泻高发季节,进一步规范腹泻病临床诊断和治疗,合理用药,加强社区医院肠道门诊人员建设,积极引导腹泻病患者到社区卫生服务中心就诊。

【关键词】 腹泻;肠道门诊;流行病学

作者单位: 100083,北京大学公共卫生学院(吴钶、陈大方);北京市朝阳区疾病预防控制中心(吴钶、马建新、崔树峰、徐伟)
通讯作者: 陈大方, Email: dafangchen@bjmu.edu.cn

度小(< 30°),结合该手术室地板屏蔽结构和 NCRP No. 151 给出的屏蔽材料参数[7],可保守地将主射线束视为 12 MeV 的韧致辐射,地板(14 cm 砼 + 2 mmPb)对其仅有 44% 的衰减,所以理论上初步估算出屏蔽后地下三层普通治疗室的最高剂量率为 60μGy/h,而表 2 的实际测量结果表明,地板下相应关注点最高剂量率为 23μGy/h,说明其中的辐射仍有大部分属于中低能辐射,地板对其有一定的衰减效果。

Z 平面相对于地面产生的韧致辐射散射角度增大,中低能辐射所占份额应该相对较大。以该术中放射治疗手术室的南侧剂量分布为例,表 1 中室内近墙面距照射靶点 400 cm 处为 0.91 mGy/h(910μGy/h),屏蔽后墙外 30 cm 处为 14.5 μGy/h,考虑距离因素的修正,分析表明有 97.3% 的辐射被南墙 2 mmPb 所屏蔽,它们属于低贯穿辐射(LDR)。同时,也有相关资料表明,Z 平面距离照射靶点 130 cm 处出现的最高剂量率为 6 mGy/h[8],这是加速器设备前方由电子束与模体和准直器作用所致光子散射辐射和泄漏辐射的综合剂量水平,这些辐射并不能受到束流阻挡器的衰减,需要在四周设置相应的屏蔽以有效降低手术室外围的辐射水平。总体分析表明,移动式加速器在术中放射治疗手术室内产生的辐射主要为韧致辐射的杂散辐射,但应相对固定治疗场所并结合实测辐射值制订并优化场所的屏蔽设计方案。

参　考　文　献

[1] Michael. Commissioning of a Mobile Electron Accelerator for Intraoperative Radiotherapy. J Applied Clin Med Phy, 2001, 2(3): 121 - 130.

[2] Beddar AS, Biggs PJ, Chang S, et al. Intraoperative radiation therapy using mobile electron linear accelerators. Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 72. Med Phys, 2006, 33: 1476 - 1489.

[3] 李明辉,符贵山,陈辛,等. 移动式术中放疗 Mobetron 加速器的测试. 中华放射肿瘤学杂志, 2009, 18(4): 322 - 325.

[4] 鞠忠建,巩汉顺,王运来. 可移动式术中放射治疗加速器(Mobetron)长期稳定性分析. 中国医学物理杂志, 2010, 27(4): 1976 - 1979.

[5] Alexandre S, Krechetov, Donald Goer. Shielding assessment of a mobile electron accelerator for intraoperative radiotherapy. Journal of Applied Clinical Medical Physics, 2010, 11(4): 1 - 11.

[6] A. Sam Beddar, Sunil Krishnan. Intraoperative radiotherapy using a mobile electron LINAC: A retroperitoneal sarcoma case. J Applied Clin Med Phy, 2005, 6(3): 95 - 106.

[7] Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy facilities. NCRP report 151, 2007.

[8] Daves JL, Mills MD. Shielding assessment of a mobile electron accelerator for intraoperative radiotherapy. J Applied Clin Med Phy, 2001, 2(3): 165 - 173.

(收稿日期: 2012 - 07 - 05)

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net