

医用电子直线加速器环境监测的分析

曾自力

中图分类号: R145 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2008)03-0342-02

【摘要】 目的 监测分析医用电子直线加速器正常运行时对周围环境和公众辐射的影响。方法 用监测仪对加速器正常运行时的周围环境进行监测,并对周围环境和公众辐射的影响进行分析。结果 符合相关规定的要求。结论 加速器防护设施及治疗机房等主体工程只要按相关规定选址、设计、施工和竣工验收,投入使用时,对周围环境和公众辐射的影响就会符合相关规定的要求。

【关键词】 医用电子直线加速器;环境监测;公众辐射

医用电子直线加速器环境监测的分析是对加速器正常运行时对周围环境和公众辐射影响的分析。它包括加速器在运行过程中产生的辐射危害因素分析,可能对职业人员、公众产生的外照射危害程度,以及运行后对周围环境的电离辐射和放射性污染影响的分析。如放射性污染:贯穿辐射,中子,感生放射性;非放射性污染:氮氧化合物和臭氧;电磁辐射;激光;铅;噪音等。

1 设备和材料

1.1 设备 美国瓦里安公司生产的 Clinac 23EX 医用电子直线加速器, X 射线能量为 15MV, 6 MV, 电子线能量分别为 6, 9, 12, 15, 18, 22 MeV, X 射线剂量率为 100~600 cGy/m²。治疗束的最大张角为 28°。北京核仪器厂生产的 BH3105 型中子剂量当量仪;白俄罗斯生产的 AT1123 型 Dosimeter。

1.2 治疗室的防护设计 治疗机房采用混凝土防护,密度不小于 2.35 g/cm³, 房内有迷宫。由于调强适形放射治疗的发展与应用,放射治疗从原来的垂直、水平照射,变为任意角度治疗,所以南、北主防护层应是 3.5m 宽,竖墙壁 2.8m 厚,顶层 1.91m 厚的倒 U 型防护体。南、北次防护墙皆为 1.2m, 东、西次防护墙为 1.45m, 迷宫内墙为 0.85m, 西次防护墙为 0.57m, 顶层次防护墙为 1.00m, 防护门内层为 8mm 含硼聚乙烯材料,外层为 11mm 铅当量铅。加速器机房主防护墙之间的宽度为 8m, 次防护墙之间的宽度为 8m, 机房迷路宽度为 2m, 净空间高度为 3.5m, 加速器座东朝西;加速器中心位于机房中心。

2 方法和结果

2.1 照射时间 加速器每天治疗约 150 野,每野照射时间约 0.8min, 每天出线时间约为 120min, 即 2h。一周治疗 5d, 一年 52 周,即每年出线时间约为 520h 左右。

2.2 X 射线辐射 加速器产生的 X 射线包括特征辐射和韧致辐射。特征辐射是原子轨道电子跃迁所致,是间断的,能量较低,临床利用的是韧致辐射。加速器只有电子打靶时才产生

X 射线,只要断开灯丝电源或高压电源,便无 X 射线产生。未开机时治疗机房周围本底最大为 0.16 μSv/h, 最小为 0.1 μSv/h, 平均为 0.13 μSv/h, 见表 1。

表 1 加速器治疗机房周围监测结果

监测位置	监测点距离 (m)	射线类型	屏蔽厚度 (m)	6MV 现状 (μSv/h)	15MV 现状 (μSv/h)
东墙外非主射线区	6.12	漏射线	1.45 (砼) +0.37 (砖)	0.1	0.1
南墙外主射线区	8.47	主射线	2.8 (砼) +0.37 (砖)	0.1	0.1
南墙外非主射线区	7.8	漏射线	1.2 (砼)	0.16	0.28
西墙外非主射线区	7.72	漏散射线	0.85 (砼) +0.57 (砼)	0.1	0.1
西墙外非主射线区	8	漏射线	1.12 (砼)	0.1	0.1
北墙外主射线区	8.47	主射线	2.8 (砼) +0.37 (砖)	0.1	0.1
北墙外非主射线区	7.8	漏射线	1.2 (砼) +0.37 (砖)	0.1	0.1
屋顶外主射线区	4.91	主射线	1.91 (砼)	0.16	0.32
屋顶外非主射线区	5.4	漏射线	1 (砼)	0.1	0.1
加速器操作室	10.2	主射线	2.8 (砼) +0.37 (砖) 8mm 含硼聚	0.1	0.12
防护门外	门外	X 漏散射线	乙烯材料 +11mm Pb	0.1	0.33
防护门外	门外	中子漏散射线	8mm 含硼聚 乙烯材料 +11mm Pb	0	0.3

2.3 中子 当医用加速器的 X 射线能量高于 10MV 以上时,高能 X 光子会与治疗头中多种高原子序数的材料如铅、钨等

作者单位:广西柳州市第三人民医院,广西 柳州 545007
作者简介:曾自力(1965~)男,四川广安人,副主任技师,从事放射物理、肿瘤放疗工作。

优化考虑,也就是要采用经济有效的辐射屏蔽方法。

参考文献:

[1] 国际辐射防护委员会 (ICRP) 国际放射防护委员会 1990 年建议书,第 60 号出版物 [M]. Pergamon, 1991: 4.
[2] 国际原子能机构 (IAEA). 安全丛书 NQ 115 国际电离辐射防护和辐射源安全的基本标准 [M]. 国际原子能机构 (IAEA), 维也纳, 1997: 10.

[3] GB18871-2002 电离辐射防护与辐射安全基本标准 [S].
[4] 张茹,夏春冬,吴晓明. 山东省医用电子加速器应用现状分析 [J]. 中国辐射卫生, 2006, 15(4): 469.
[5] 李舟,柴天方. 医用电子加速器机房屏蔽设计及防护效果的探讨 [J]. 2005, 14(3): 194.
[6] 谢华,范辉堂,房晓光. 湖北省医用加速器的屏蔽防护 [J]. 中国辐射卫生, 2006, 15(4): 430.

(收稿日期: 2008-03-05)

发生光核反应,产生中子辐射。若按上述方法设计的以混凝土为材料的墙体防护厚度,用于中子的防护已不成问题,但机房门一般用铁、铅类高原子序数的材料,此时必需用含硼(约5%含量)的聚乙烯材料,首先将中子慢化,然后将其热中子和中能热中子俘获,再用铅、铁将俘获过程中产生的 γ 射线吸收。防护门内层用 8cm 含硼聚乙烯材料,已足以防护中子。

2.4 感生射线的防护 加速器能量高于 $8\sim 10\text{MV}$ 照射机头均整器、准直器、铅挡块的等会产生感生放射性核素,如半衰期短的铝-28和铜-62(半衰期分别为 2.24min 和 9.67min),半衰期长的钨-187和镍-57(半衰期分别为 23.72h 和 35.60h)。按每隔 10min 给 4Gy 辐射的周期连续运行 4h 在终止辐射 10s 后开始计时的 5min 内测量,测量时取最大标称能量的X射线和电子束,照射野或限光筒为 $10\text{cm}\times 10\text{cm}$ 。在距离设备表面 5cm 和 1m 处由感生放射性所造成的吸收剂量率未超过 0.2mGy/h 和 0.02mGy/h 。

2.5 有害气体 加速器的有害气体主要有两种:臭氧和变质后的氟里昂、六氟化硫。臭氧是加速器产生的电离辐射与空气中的氧相互作用的结果,它对人体的危害与电离辐射十分相似,对人的呼吸系统、眼睛和粘膜有伤害。高浓度的臭氧还可以使易燃材料的活性增强,臭氧的多少与加速器的照射量成正比。降低臭氧浓度的主要措施是加速器机房要有良好的通风系统,一般每小时换4次左右,便可达到卫生部规定的 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ (0.14ppm)以下的臭氧浓度。加速器的波导管中充满氟里昂或 SF_6 气体,用于提高波导管的绝缘性能,它们本身无色、无味、无毒,比重是空气的5倍,可充当窒息剂。加速器的微波系统一旦打火,可将氟里昂或六氟化硫分解成有害而活泼的化学剂,形成含氟或硫的氧化物。由于热电效应,氟或硫的氧化物可水解为氟化氢,一种有害的腐蚀剂,对人的中枢神经系统和呼吸系统有害,过量的氟化氢可使人窒息昏倒。储存的气瓶均须装上阀盖,确保气瓶都稳妥地固定在驱动架上,储存清洁、干燥、通风处,温度不高于 52°C 。如果不慎吸入有害气体时,应立即将伤员搬到空气新鲜的地方,然后寻求救护。若皮肤、眼睛接触到有害气体,应立即用大量清水冲洗,并立即就医。

2.6 工作人员和公众的受照剂量估算 放射工作人员,每周5天放射治疗,每天出束时间约为 1h 则每周实际受照时间为 5h 加上2倍安全系数为 10h 全年受照时间为 $50\times 10\text{h}=500\text{h}$ (全年按工作50周计算)。按国家标准年剂量当量限值 20mSv/a 则依此推导出的剂量当量率为 $20\text{mSv}/500\text{h}=0.04\text{mSv/h}$ 即 $40\mu\text{Sv/h}$ 工作人员工作场所照射剂量监测结果远低于此数值,说明未超过年剂量当量限值^[1]。公众照射,如陪患者来治疗的家属,患者一个疗程约40次左右,治疗时间约 30min 则家属等待的时间约为5倍,即 150min (2.5h),加上2倍安全系数为 5h 年剂量当量限值 0.05mSv/a 则依此推导出的剂量当量率为 $0.05\text{mSv}/5\text{h}=0.01\text{mSv/h}$,即 $10\mu\text{Sv/h}$ 公众人员候诊场所照射剂量监测结果远低于此数值,说明未超过年剂量当量限值。

2.7 射频辐射、激光防护 加速器通常都有几个兆瓦以上的微波系统,在一般情况下它是闭环传输的,对人体的危害不是很大,因为它不象X射线和中子射线那样可能穿透金属。但是如果系统内的绝缘损坏,或者波导管有损坏,微波能量就会泄漏出来,对人体构成类似于辐射危害一样的严重后果。微波能量的热效应,可使人的眼睛失明或生殖器受到永久损伤。所有的输入输出射频辐射连接,波导管,法兰盘以及垫片都必须紧固以防止泄漏。如果怀疑有射频辐射泄漏,不要运行机器,应及时检查,不要将身体的任何部位暴露于打开的或松散地栓在一起的通电波导系统,或暴露于通电的磁控管或速调管的窗

口。在波导管处于通电状态时,不要向管内窥看,也不要把身体的任何部位暴露于打开的波导管。与加速器相配套的激光定位器,它发出的单红色激光束,也可产生类似于微波能量热效应的有害后果。如果用眼睛直视激光束或抛光面反射来的激光束,会发生视网膜永久性损伤或失明,所以检修时尽量不要用眼睛对准激光束。

2.8 铅防护 铅存在于防护罩、配重及一些滤过板中。暴露于铅尘中会导致贫血、肠胃异常,过度暴露会导致神经肌肉紊乱、麻痹和生育缺陷。所以要遵循正确的卫生规范以避免吸入和吞咽受到铅污染的灰尘。不要用压缩气体吹扫清理含铅部件。用湿抹布清洁以防止氧化铅微粒在空气中传播。在搬运铅物件时要始终戴上手套以保护皮肤,防止直接接触。用于搬运含铅部件的手套不应用于其他目的。在离开工作场所前,应摘下手套并将其存放在一个专用的塑料存储袋中。

2.9 噪音 噪音主要来至加速器的调制器、空调、送风、抽风系统等。送风系统带有消声器,加速器治疗机房的所有墙面和屋顶,采用吸音板装修,降低了噪音。

3 讨论

(1)医用电子直线加速器治疗机房的选址和建筑设计必须符合GB4792的要求,为了符合放射性工作实践的正当化目的,要求工作场所防护设计必须以放射防护最优化为原则,并制定相关制度、评价分析辐射安全措施运行情况,保证各类人员的受照剂量不仅低于规定的限值,而且控制到可以合理做到的尽可能低的辐射水平^[2]。这一考虑包括了公众人员和职业操作人员,包括维修以及应急状态,也包括了具有一定概率的可能导致潜在危害照射的情况。

(2)加速器防护设施应与治疗机房等主体工程同时设计、同时施工、同时竣工、同时投入使用。投入使用前,应首先对其防护设施进行核查,它包括防护墙、防护门,设备、门等联锁,实时摄像监视系统,对讲系统,辐射监测系统,射线剂量报警系统,通风系统等。加速器的操作台应有紧急停机按钮,出束开关钥匙应由专人保管,只有钥匙就位后才能开机出射线,一旦钥匙取走,加速器就无法启动。门禁装置,即用IC卡控制工作人员的进出,并按“零”设计方案,即工作人员从任何一扇门进入治疗机房或迷道,并从另一扇门出来,在控制台上,只有出入人数为“零”时,被认为机房内无人员滞留,方可开机。防护门联锁开关防止加速器出束时,人误入,保证安全。防护门上应设置放射性警告标志,治疗机房入口应有红、黄、绿工作状态指示灯。光电监视装置,在迷道安装光电监视装置,当人员通过系统光路时,自动切断加速器电源,同时发出声光报警。防护门内旁墙壁应安装紧急开门按钮,在治疗机房内迷道、迷道转弯处等人员容易到达的关键位置,安装紧急中断出束按钮。

(3)安装竣工投入运行前或运行参数及屏蔽条件发生改变时,必须经省级放射卫生防护监督机构对有关区域进行全面防护监测和辐射安全评价,它包括辐射屏蔽、联锁和报警装置、辐射监测系统、通风系统等。在正常运行情况下,工作场所和周围区域辐射水平每年监测一次;安全联锁系统每月检查一次。其他相关项目按规定的频率进行检查。所有监测资料必须详细记录,并妥善保管,存档备案。

参考文献:

- [1] 张丹枫,赵兰才.辐射防护技术与管理[M].南宁:广西民族出版社,2003:206-217
- [2] 李连波,王金鹏.放射卫生防护[M].济南:黄河出版社,1998:306-316