

# 直线加速器工作场所辐射防护评价

王洵<sup>1</sup>, 汪月莉<sup>1</sup>, 蔡耀章<sup>2</sup>, 王欣<sup>3</sup> (1. 浙江省宁波市第二医院, 浙江 宁波 315010;  
2. 浙江省宁波市卫生监督所, 浙江 宁波 315010; 3. 浙江省宁波市新民医院, 浙江 宁波 315010)

直线加速器输出的高能 X 射线和高能电子束, 不仅用来治疗多种恶性肿瘤, 还用来治疗一些良性肿瘤及多种良性疾病, 但同时, 这种人工辐射源对工作人员和公众也存在着潜在的危害。为了在发挥医疗照射效益的同时, 保障放射治疗工作人员和公众的身体健康, 我们对西门子 KD2 型放射治疗直线加速器工作场所及周围环境<sup>[1]</sup> 的辐射卫生防护状况进行了实际监测, 同时对治疗室内感生放射性<sup>[2]</sup> 辐射剂量率相对于 X 射线能量、处方剂量、冷却时间、离机头距离等的关系进行了测量研究, 并对结果进行分析和评价, 提出相应的预防防护措施。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

对象为 1 台西门子 MEVATRON KD2 放射治疗直线加速器。该直线加速器具有 2 档高能 X 射线, 能量分别为 6 MV、15 MV, 剂量率分别为 2 Gy/min、3 Gy/min, 可开放最大照射野 40 cm × 40 cm; 6 档高能电子束中最高能量为 21 MeV, 剂量率均为 3 Gy/min, 最大限光筒 25 cm × 25 cm。

直线加速器机房位于医院内, 由治疗室、迷路、防护门、控制室、电气辅助机房、水冷机房组成。其中治疗室内部长 × 宽 × 高为 7.6 m × 6.1 m × 4.5 m, 迷路为 L 型, 其长度为 6 m, 宽为 2.2 m。加速器墙体的屏蔽材料为普通钢筋混凝土, 密度不小于 2.35 T/m<sup>3</sup>, 主屏蔽墙体厚 2.78 m, 副屏蔽墙体厚 1.27 m, 屋顶主、副屏蔽厚度分别为 2.3 m、1.2 m。防护门采用具有铅及硼化聚乙烯夹芯的木结构门, 电动启闭, 厚度为 230 mm。治疗室通风约 4 次/h。

### 1.2 仪器测量

美国 S.E 公司产 X、γ 辐射巡检仪, 经国家一级计量测试机构检定校准, 每年检定 1 次, 其测量的基本误差 < 15%, 检定时对应于 <sup>137</sup>Cs 的校准因子和能量响应分别为 1.11 和 1。

### 1.3 测量方法

1.3.1 辐射剂量率 首先用辐射巡检仪调查测量工作场所及周围环境辐射剂量率本底水平。然后选取穿透能力最大的 15 MV X 射线, 照射野开至最大 (40 cm × 40

cm), 机架角度分别位于 0°、90°、270°、180° 位置, 用辐射巡检仪分别测量控制室主、副屏蔽墙、电气辅助机房、水冷机房、西、南屏蔽墙等处的辐射剂量率。

1.3.2 感生放射性辐射剂量率测量 分别选取 6 MV、15 MV X 射线, 照射野开至最大 (40 cm × 40 cm), 机架角度位于 0°, 用辐射巡检仪分别测量治疗室内不同处方剂量、不同冷却时间、离治疗机头不同距离处的辐射剂量率。

## 2 结果

### 2.1 辐射水平

测量数据显示, 工作场所及周围环境辐射剂量率本底水平约为 0.16 ~ 0.27 μSv/h。为测量直线加速器工作时可能的最高辐射水平, 选取 X 射线最高能量, 照射野开至最大的极端情况。监测数据显示, 工作场所及周围环境中, 控制室主屏蔽墙处的辐射水平最高, 测量值为 7.22 μSv/h, 其余位置稍高或接近于本底水平 (表 1)。

表 1 直线加速器运行时工作场所及周围环境中辐射水平 (μSv/h)

| 机架角度 | 防护门  | 控制室  | 电气辅助<br>机房 | 水冷机房 | 西屏蔽墙 | 南屏蔽墙 |
|------|------|------|------------|------|------|------|
| 0°   | 0.66 | 0.21 | 0.35       | 0.22 | 0.20 | 0.22 |
| 90°  | 0.83 | 7.22 | 0.21       | 0.18 | 0.21 | 0.21 |
| 270° | 0.63 | 0.20 | 0.21       | 0.23 | 0.22 | 0.45 |
| 180° | 0.68 | 0.19 | 0.19       | 0.21 | 0.23 | 0.19 |

### 2.2 感生放射性辐射水平

照射野开至最大 (40 cm × 40 cm), 机架角度位于 0° 时, 6MV X 射线在治疗室内不同处方剂量、不同冷却时间、离治疗机头不同距离处的辐射剂量率均接近于本底水平; 相同条件下 15MV 高能 X 射线的辐射剂量率明显增高, 其中在冷却 30 s, 直线加速器靠近机头射野中心处辐射水平可达 2.83 μSv/h; 随着冷却时间的增加, 感生放射性辐射水平逐渐降低, 冷却约 5 min 后, 治疗室内感生放射性辐射水平降低到稍高或接近于本底水平。可见治疗室内感生放射性伴随高能 X 射线产生, 随冷却时间及离治疗机头距离的增加而明显减少 (表 2)。

表 2 治疗室内部感生放射性辐射水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )

| 电压   | 测量位置  | 冷却时间 30s |      | 1min |      | 3min |      | 5min |      |
|------|-------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
|      |       | 处方剂量 1Gy | 3Gy  | 1Gy  | 3Gy  | 1Gy  | 3Gy  | 1Gy  | 3Gy  |
| 6MV  | 机头处   | 0.23     | 0.23 | 0.22 | 0.23 | 0.21 | 0.22 | 0.20 | 0.21 |
|      | 1 m 处 | 0.20     | 0.21 | 0.19 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.20 | 0.20 |
|      | 3 m 处 | 0.18     | 0.19 | 0.17 | 0.20 | 0.21 | 0.22 | 0.18 | 0.20 |
| 15MV | 机头处   | 1.32     | 2.83 | 1.04 | 2.02 | 0.76 | 1.20 | 0.53 | 0.74 |
|      | 1 m 处 | 0.51     | 1.13 | 0.50 | 0.85 | 0.48 | 0.68 | 0.42 | 0.51 |
|      | 3 m 处 | 0.50     | 1.04 | 0.44 | 0.70 | 0.35 | 0.51 | 0.33 | 0.39 |

### 3 讨论

该院放射治疗用直线加速器位于医院内部一角,与医院内部其他建筑距离适当,周围无居民楼。放射治疗机房远离人员活动密集区域,进出人员大部分均为放射治疗工作人员及接受放射治疗的患者,患者家属及其他闲杂人员无特殊情况禁止进入放射治疗工作场所。对于公众照射,有效剂量当量在规定的连续 5 年内平均为 1 mSv,在其中任一年内不得超过 5 mSv<sup>[3]</sup>。根据表 1 的测量结果,取西、南屏蔽墙外的最高辐射水平 0.45  $\mu\text{Sv/h}$ ,加速器每天平均进行放射治疗 200 照射野,每照射野出束 1 min,年工作日 250 d,公众居留因子取 1,则年有效剂量当量为 0.45  $\mu\text{Sv/h} \times 200/60 \times 250 = 0.375$  mSv,明显小于对规定的公众照射剂量限值。可见不会对公众带来辐射健康危害。

机房屏蔽设施的防护效果:测量数据显示,取控制室主防护墙外的最高辐射水平 7.22  $\mu\text{Sv/h}$ ,假设加速器每天平均进行放射治疗 400 照射野,工作量由 4 人分担,并且所有射野都朝向该方向,每照射野出束 1 min,年工作日 250 d,居留因子取 1,则年有效剂量当量为 7.22  $\mu\text{Sv/h} \times 400/4/60 \times 250 \approx 3.0$  mSv。针对该直线加速器具有的 15 MV 高能 X 射线,还需要考虑加速器机头部位的结构材料受到高能粒子的照射而产生的感生放射性<sup>[4]</sup>。加速器机头处的感生放射性水平与加速器的能量、粒子种类、机头处的结构材料、处方剂量、冷却时间、离机头距离等因素密切相关。根据表 2 的测量结果,对 6 MV 的低能 X 射线,测得的感生放射性辐射剂量率接近于本底水平,可忽略不计;而对 15 MV 的高能 X 射线,感生放射性必须得加以考虑。照射 3 Gy,取冷却 30 s 时机头处的最高辐射水平 2.83  $\mu\text{Sv/h}$ ,加速器每天平均进行放射治疗 200 照射野,工作量由 4 人分担,每野平均摆位时间 3 min,年工作日 250 d,则感生放射性产生的年有效剂量当量为 2.83  $\mu\text{Sv/h} \times 200 \times 3/4/60 \times 250 \approx 1.8$  mSv。对于职业照射,在规定的连续 5 年内,平均年有效剂量当量限值为 20

mSv,在其中任何一年内不得超过 50 mSv<sup>[3,5]</sup>。通过以上估算得知,该直线加速器对放射治疗工作人员年最大有效剂量当量约 4.8 mSv,满足职业照射剂量限值要求。该院按照国家相关规定,接受市疾病预防控制中心对其放射工作人员进行的每 1 季度为 1 监测周期的热释光个人剂量监测。热释光标定时,当能量 > 100 keV 时的不确定度  $\leq \pm 10\%$ 。在 2006 年度,放射治疗工作人员的个人剂量监测结果在 0.384 ~ 0.848 mSv/a 范围,符合标准要求。

以上估算都是在辐射防护保守条件下(最高能量、最大射野、直接投照、大居留因子)进行,实际的年有效剂量当量应该比估算的低。但为了降低可能的有效剂量当量,进一步减少辐射随机性效应的发生,可以采取一定的预防防护措施,如可以在控制室主防护墙增加一定当量的铅,进一步降低控制室的辐射剂量率。治疗室内部感生放射性伴随高能 X 射线产生,因此应优先选择低能的射线及合适的照射条件;其次,治疗室内部感生放射性随投照结束冷却时间的延长有明显的下降,所以治疗技师进行高能 X 射线治疗后,开始下一次的放疗摆位前等待几分钟再进入治疗室;有研究表明,治疗室内 98% 以上的感生放射性活度来自于空气中气态的短半衰期感生放射性核素<sup>[6]</sup>,因此应保证机房的通风换气效率。

### 4 参考文献

- [1] GB/T14583-93. 环境地表  $\gamma$  辐射剂量率测定规范[S].
- [2] 刘建防,郑洁. 对医用加速器产生感生放射性的分析与探讨[J]. 干旱环境监测,2005,19(4):201-203.
- [3] GB18871-2002. 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S].
- [4] 杨树强,邓太平. 远距离放射治疗中患者的辐射防护措施[J]. 中国辐射卫生,2008,17(2):247-249.
- [5] GBZ128-2002. 职业性外照射个人监测规范[S].
- [6] Endo A, Kikuch IM, Izawa S, et al. Characteristics of the chemical form of C, N, and O induced in air by the operation of a 100 MeV electron linear accelerator[J]. Health Phys, 1995, 68(1):80-88.

(收稿日期:2008-12-10)