

某医院 6MV 医用电子直线加速器机房的屏蔽设计

赵艳敏, 何顺升, 龚元东, 于凤海, 张 茹, 吴晓明

中图分类号: R148 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2004)02-0124-01

【摘要】目的 使某直线加速器机房防护达到标准要求。方法 根据放射防护基本原则及相关法规标准。结果 机房屏蔽设计各主要结果符合标准要求。结论 该机房防护设计达到预期目的。

【关键词】电子直线加速器; 放射防护; 预评价

此医院拟新建的医用电子直线加速器工作场所位于医院西南部, 为独立单层建筑物, 由治疗室、控制室、辅助设备机房和模拟定位机房等组成。建筑物东距院内道路 20m; 西隔院墙为一城市主干道路, 干道低于院墙 10 m 以上; 南距保健病房楼 8m; 北距 9 m 处为传染病房。

1 屏蔽设计的原则、目标及方法

在符合辐射防护基本原则(即实践的正当性, 剂量限制和潜在照射危险限制, 防护与安全的最优化)的前提下, 根据 GB18871-2002^[1] 中规定的剂量限值, 即: 放射工作人员连续五年平均的有效剂量为 20 mSv/a; 公众成员一年内的有效剂量为 1 mSv。并充分考虑工作人员及公众对辐射的心理承受因素。

根据电离辐射的基本特性及外照射防护的基本方法, 对医用电子直线加速器机房, 屏蔽是外照射防护的主要方法。屏蔽体外剂量率参考设计目标: 要将可能受到的透射当量剂量率减少到可接受的水平。在放射工作人员经常工作的位置, 剂量率平均不超过 2.5 μ Sv/h; 在公众或非放射工作人员长期居留的位置, 剂量率平均不超过 0.25 μ Sv/h。本设计权衡可能的最高瞬间剂量率不超过 7.5 μ Sv/h。

2 加速器主要性能指标

射线类型: X 射线; 标称能量: 6MV; 剂量率: 3 Gy/min; 正常治疗距离: 100 cm; 最大射野: 40 cm \times 40 cm。

3 辐射屏蔽设计

3.1 治疗室的布局与设计 治疗室的墙体及室顶用密度为 2.35 t/m³ 的普通混凝土浇注而成。治疗室使用主体内径尺寸 7 500 mm \times 7 200 mm \times 3 800 mm, 面积为 54 m², 容积为 205.2 m³。迷路内径尺寸: 宽 1 800 mm, 内口 2 400 mm, 外口 1 200 mm。主射束方向为东西方向, 与迷路平行(不对迷路); 东主屏蔽墙厚度为 2 100 mm, 西主屏蔽墙厚度为 2 000 mm; 东墙次级屏蔽部分的厚度为 1 200 mm; 西次级屏蔽部分的厚度为 1 000 mm。北次级屏蔽墙厚度为 1 200 mm; 室顶主屏蔽厚度为 1 400 mm, 次级屏蔽厚度为 900 mm; 设 L 型迷路, 迷路内、外墙的厚度皆为 1 000 mm。治疗室设 X 射线防护门, 防护门具 6 mmPb, 并与加速器联锁。

等中心参考点距东主屏蔽墙表 3 000 mm, 距西主屏蔽墙表 4 500 mm, 距北次级屏蔽墙表 3 500 mm, 距迷路内墙 3 700 mm, 距地面高 1 330 mm, 距室顶内表 2 470 mm。

3.2 屏蔽设计使用的基本参数

有用束的利用因子(U)和居留因子(T): 东方向: $U=1/4$ $T=1$; 西方向: $U=1/4$ $T=1/16$; 南方向: $U=1$ $T=1$; 北方向: $U=1$ $T=1/4$;

工作负荷(W)(按 X 射线估算): 每日预计最多治疗 60 人

次, 每周工作负荷 $W=9\times 10^2$ Gy \cdot m² \cdot wk⁻¹;

4 屏蔽效果预评价

4.1 按剂量率评价屏蔽效果 根据主屏蔽厚度(6MVX 射线有用线束的屏蔽), 采用 TVT(1/10 值厚度)减弱法(密度为 2.35 t/m³ 的普通混凝土墙: TVT=343 mm)。东墙墙外最大剂量率即低于 3.0 μ Gy/h; 西墙外最大瞬时剂量率为 4.15 μ Gy/h; 设计符合辐射防护要求。

根据设计厚度, 采用 TVT(1/10 值厚度)减弱法(密度为 2.35 t/m³ 的普通混凝土墙, 漏射线: TVT=343 mm, 散射线: 90 $^\circ$ 散射的散射系数值 $\alpha_M=6\times 10^{-4}$, TVT=167 mm; 45 $^\circ$ 散射的散射系数值 $\alpha_M=1.8\times 10^{-3}$, TVT=225 mm; 30 $^\circ$ 散射的散射系数值 $\alpha_M=7\times 10^{-3}$, TVT=263 mm), 东次级屏蔽墙外控制室内(离靶点约 8 m)最大剂量率为 2.16 μ Gy/h; 西墙外(离靶点约 9 m)最大剂量率为 9.81 μ Gy/h; 北墙外空地(离靶点约 6 m)最大剂量率为 1.59 μ Gy/h; 南墙外模拟机房内(离靶点为 9 m)的剂量率为本底值。由上可见, 次级屏蔽墙外的最大剂量率都在 2.5 μ Gy/h 以下。因西墙外无人居留, 9.81 μ Gy/h 的剂量率对工作人员及公众无任何不良影响。次级屏蔽厚度符合防护要求。

4.2 按工作负荷评价屏蔽效果 主、漏射线屏蔽透射比 η 的计算公式如下:

$$\eta = Pd^2/WUT$$

散射线屏蔽透射比 η 的计算公式如下:

$$\eta = Pd^2/\alpha_M WUT \cdot 400/F$$

当工作负荷 $W=9\times 10^2$ Gy \cdot m² \cdot wk⁻¹(60 人次/日)时, 按公众 0.02 mSv \cdot wk⁻¹ 的剂量限值计算, 主屏蔽墙厚度应为 1 426 mm; 按工作人员剂量限值计算, 主屏蔽厚度应为 1 438 mm; 东次级墙厚度为 787 mm; 西次级墙厚度为 786 mm; 南迷路墙厚度为 626 mm; 北墙厚度为 935 mm; 即可达到防护要求。

实际设计厚度超过此要求厚度, 按工作负荷评价计算, 设计的屏蔽墙厚度是相当安全的。

4.3 室顶屏蔽厚度的效果评价 新建的医用电子直线加速器机房为单层建筑物, 且周围 20 m 内无高大建筑, 其室顶厚度根据贯穿室顶的射线通过空气散射对地面的影响进行设计。

当射束方向向上时, 室顶外表面 2 m 处离靶点约 7 m, 室顶厚度为 1.4 m, 室顶外表面 2 m 高处最大剂量率为 304 μ Gy/h。其 20 m 处天空反散射剂量当量率为: $H_5=2.5\times 10^{-2} H_1(\Omega^{1.3}/d^2$ 其中 $H_1=304$ Gy/h, $\Omega=2.22$, $d=20$ m) $=0.054$ μ Gy/h, 因此, 室顶厚度符合防护要求。

4.4 防护门屏蔽厚度效果的评价 防护门处的辐射剂量主要来自于: 漏射线、散射线透过迷路内墙的透射辐射; 在患者体表上发生的 45 $^\circ$ 散射在墙内壁上产生的二次散射的散射辐射。

4.4.1 漏射线、散射线透过迷路内墙的透射辐射 漏射线透过迷路内墙的透射辐射: 防护门处离靶点约 7 m, 如无迷路内墙屏蔽, 此处的漏射线剂量率为 1.84 $\times 10^4$ μ Gy/h。经 1 000 mm(因斜射, 相当于 1 131 mm)迷路内墙屏蔽($\eta=8.84\times 10^{-5}$), 防

深圳市牙科及乳腺 X 射线摄影所致受检者剂量调查研究

唐文祥¹, 朱志贤², 韩发明¹, 何韦川²

中图分类号: R144; R148 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2004)02-0125-02

【摘要】目的 调查牙科和乳腺 X 射线摄影所致受检者体表剂量及乳房压缩厚度、腺体平均剂量分布情况。方法 用热释光剂量计在仿真人头模中模拟测量牙科摄影时体表剂量; 抽样测量乳腺摄影时受检者乳房压缩厚度和乳腺平均剂量。结果 牙科口内片摄影入射体表剂量在 0.49~15.2 mGy。全景摄影的体表中心平均积分剂量在 0.078~1.64 mGy。乳房压缩厚度平均值及标准差为 (4.46±0.11) cm; 乳腺平均的平均值及标准差为 (1.37±0.09) mGy。结论 牙科口内片摄影照射野中心剂量和全景摄影中的磨牙处峰值剂量可以作为牙科摄影所致受检者剂量的约束值。乳房压缩厚度及乳腺平均剂量水平的调查显示, 目前在我国可等效采用 IBSS 的有关规定。

【关键词】牙科全景 X 射线摄影; 钼靶 X 射线机; 指导水平

1993 年联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)发布的报告指出, 医疗照射是目前所有人工辐射源造成人类集体剂量的最大来源, 占 80%。1995 年由 IAEA 等 7 个国际组织联合发布了《国际电离辐射防护和辐射源安全基本安全标准》(IBSS), 明确提出了医疗照射中受检者所致剂量的指导水平。根据“九五”期间全国医疗照射水平调查的要求^[1,2], 并参照 IBSS, 对深圳市牙科及乳腺 X 射线摄影所致受检者剂量进行调查。

1 测量仪器和方法

1.1 测量仪器

1.1.1 剂量测量模体 采用苏州医学院制作的 SZ-III 型仿真人头模。

1.1.2 牙科 X 射线机输出量测定仪表 Victoreen 公司生产的 660 型测读装置和 660-5 型平板电离室, 校正因子由中国计量科学研究院检定, 不确定度为 5%。

1.1.3 乳腺辐射剂量测量设备 用于 X 射线机输出性能检测的仪器为美国 Victoreen 公司产的 660-1 型读出器和 660-4A 型平板电离室, 校正因子由中国计量科学研究院检定, 不确定度为 4%。

作者单位: 1 深圳市卫生监督所, 广东 深圳 518020; 2 深圳市疾病预防控制中心

作者简介: 唐文祥(1964~), 男, 上海人, 副主任医师, 从事放射卫生防护与管理工作。

护门处的剂量率下降为 1.63 μGy/h。

散射线透过迷路内墙的透射辐射: 从病人体表散射至此处的散射角约为 60°, α_M 约为 0.0011, 且 6MVX 射线 60° 散射的屏蔽 TVT 为 200 mm, 经迷路内墙屏蔽后, 此处散射辐射剂量率为 3.59 μGy/h。

4.4.2 在患者体表上发生的 45° 散射在墙内表上产生的二次散射的散射辐射 防护门到对面墙表的距离为 10 m, 此墙表距散射点 7.0 m。在患者体表上发生的 45° 散射将辐射到防护门对面的墙上, 由墙表上产生的二次散射将辐射到防护门外。二次散射的散射角约为 135°, 其能量 < 0.5 MeV, 笔者取 0.5 MeV, 防护门处的剂量率估算公式如下: $HS_2 = H_0 \cdot \alpha_M A_1 \cdot \alpha_A A_2 / (d_2^2 d_3^2 \times 400)$ ($H_0 = 1.8 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$; $\alpha_M = 1.0 \times 10^{-3}$; $A_1 = 1600 \text{ cm}^2$; $\alpha_A = 1 \times 10^{-2}$; $A_2 = 2.5 \text{ m} \times 3.80 \text{ m} = 9.5 \text{ m}^2$; $d_2 = 7 \text{ m}$; $d_3 = 10 \text{ m}$) = 14.0 μGy/h。

查《放射卫生学》附图 16 当射线能量为 0.5 MeV 时, 6 mm 铅的透射比约为 0.25, 使 14.7 μGy/h 的剂量率减弱为 3.48 μGy/h。

由于漏射线透过迷路内墙的透射辐射, 使防护门外产生的

1.1.4 受检者入射体表剂量(ESD)探测器 中国辐射防护研究院研制的 LiF(Mg, Cu, P) 玻管热释光剂量计, 在自由空气中对于有效能量为 15 keV, 光子的能量校正因子为 0.80^[3] 测读装置为北京核仪器厂生产 FJ-427A 型热释光测量仪。整套测量系统定期由中国计量科学研究院检定, 刻度系数的不确定度为 5.5%。

1.2 测量方法

1.2.1 牙科口内片 将三个 TLD 管或片平行地封装在一个纸袋或塑料袋内, 固定好不能重叠, 放于照射中心皮肤表面处(仿真人头模)。按规定的程序照射即可^[4]。

1.2.2 牙科 X 射线全景摄影 将含有 3 个 TLD 管的剂量袋平放在照射起始位(切齿位和终止位)的照射野中心处, 照射完后取其平均值, 即起始和终止的峰值剂量。

1.2.3 乳腺平均剂量 ①X 射线机为钼靶和带钼的过滤片的乳腺摄影专用机。②受检者入射体表剂量(ESD)的测定: 采用自动曝光档, 头尾照射的方式。将乳房均匀压紧后, 把包有三个 TLD 管的小剂量盒放于上压板正中的照射野中心标识处, 然后进行曝光, 记录受检者年龄、身高、体重, 乳房压缩厚度、管电压和曝光量等, ③乳腺平均剂量 D_g 的估算, 根据 IBSS 用下式求得:

$$D_g = D_{gN} \cdot X_a$$

式中 D_{gN} 为剂量转换因子, 可由文献 IBSS 给出的数据查得, X_a 为照射量, 通过计算求得。

剂量率为 2.14 μGy/h。由于在患者体表上发生散射在墙内表上产生的二次散射的散射辐射, 使防护门外产生的剂量率为 3.48 μGy/h。根据以上计算, 防护门的屏蔽厚度符合防护要求。

5 结论

放射工作人员和公众的受照剂量, 经计算治疗室屏蔽墙外公众居留区最大剂量率不超过 1.59 μGy/h, 控制室内的最大剂量率不超过 2.16 μGy/h, 设备间内最大剂量率不超过 0.37 μGy/h, 室顶上方 2 m 处剂量率不超过 304 μGy/h, 20 m 处空气反散射剂量率为 0.054 μGy/h, 防护门外的最大剂量率为 3.67 μGy/h。

工作人员在控制室内操作和公众偶尔从治疗室附近通过所受的照射剂量较低, 按工作负荷计算, 远远低于剂量限值。

由此可见, 此设计符合辐射防护的要求。

参考文献:

- [1] GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S].
- [2] GBZ126-2002 医用电子加速器卫生防护标准[S].

(收稿日期: 2003-09-08)