

【论著】

基于 NCRP No. 151 报告建立钴治疗机机房周围环境
辐射水平的估算模式

杨海友, 刘丽萍, 梁月琴, 于 水

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2009)02-0154-02

【摘要】目的 建立钴治疗机机房周围环境辐射水平的估算模式。方法 在 NCRP No. 151 报告《MV 级 X 和 γ 射线放疗设备的屏蔽设计和评价》给出的 MV 级医用电子直线加速器机房周围环境辐射水平估算方法的基础上, 对公式进行了适当的调整。结果 进一步拓展了 NCRP No. 151 报告估算模式的应用范围, 为钴治疗机机房周围环境辐射水平的估算提供了一种模式。结论 该估算模式对钴治疗机机房周围环境辐射水平的估算具有一定的参考价值。

【关键词】NCRP No. 151 报告; 钴治疗机; 辐射水平; 估算模式

Establishing the Estimation Model on Radiation Level at the Ambience of ^{60}Co Radiotherapy Treatment Room Based on NCRP REPORT No. 151. YANG Hai-you, LIU Li-ping, LIANG Yue-qin, et al. *Biomedical Analysis Center, Academy of Military Medical Sciences, Beijing 100850 China.*

【Abstract】Objective To establish the estimation model to evaluate the radiation level at the ambience of ^{60}Co radiotherapy treatment room. Methods The estimation model derives from NCRP REPORT No. 151 - "Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities" by making appropriate adjustment, which presents the calculation methods on radiation level at the ambience of megavoltage medical electron linear accelerator treatment room. Results The application scope of estimation model from NCRP REPORT No. 151 is extended to γ -radiotherapy facilities, and it can be regarded as a new model for calculating the radiation level at the ambience of ^{60}Co radiotherapy treatment room. Conclusion The estimation model has certain reference value to evaluate the radiation level at the ambience of ^{60}Co radiotherapy treatment room.

【Key words】NCRP REPORT No. 151; ^{60}Co Radiotherapy Machine; Radiation Level; Estimation Model

NCRP No. 151 报告《MV 级 X 和 γ 放疗设备的屏蔽设计和评价》^[1]是针对高能医用电子直线加速器而建立的加速器机房周围环境辐射水平的估算模式。尽管钴治疗机和医用电子直线加速器是两种不同类型的治疗设备, 前者是含源装置, 发出的是 γ 射线束, 后者是射线装置, 产生的是 X 射线, 但二者透射和散射的规律相似。笔者通过 ^{60}Co 照射率常数 (K) 将钴治疗机的源活度 (A) 与等中心点的剂量率 (D_0) 完成了转化, 依照 NCRP No. 151 报告对加速器机房周围环境辐射水平的估算模式, 建立了一套系统的估算钴治疗机机房周围环境辐射水平的模式。

1 钴治疗机机房周围环境辐射水平估算模式的建立

对于钴治疗机机房周围环境辐射水平的估算, 主要考虑 3 个方面: ①机房四周辐射水平的估算; ②机房房顶辐射水平的估算; ③机房迷道口辐射水平的估算。下面就这 3 个方面, 分别以实例的形式建立估算模式。

1.1 钴治疗机机房四周辐射水平估算模式的建立 以图 1 某医院钴治疗机机房的平面示意图为例, 建立钴治疗机机房四周辐射水平的估算模式。

1.1.1 机房四周主束区内点位辐射水平的估算模式 机房四周主束区内关注点位的辐射水平, 主要考虑: ①主束贯穿辐射的剂量率贡献, ②泄漏射线的剂量率贡献。点位 C 和 F 均为主束区内的特征关注点位, 以点位 C 为例建立估算模式。

1.1.1.1 主束贯穿辐射对关注点位的剂量率贡献 主屏蔽墙的透射系数 B_{pri} , 由公式(1)求出:

$$B_{\text{pri}} = 10^{-\left(\frac{H}{TVL}\right)} \quad (1)$$

主束对点位 C 的剂量率贡献 H_{pri} , 依据公式(2)进行估算:

$$H_{\text{pri}} = \frac{B_{\text{pri}} \cdot K \cdot A}{(1+d)^2} \quad (2)$$

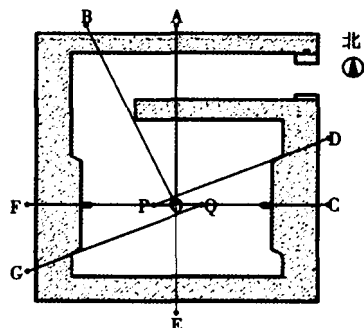


图 1 钴治疗机估算点位平面示意图

式(1)和(2)中, H 为主屏蔽墙的厚度, cm; TVL 为 ^{60}Co 主束对混凝土的十分之一值层, cm, 具体数据见表 1^[2]; K 为 ^{60}Co 照射率常数, $3.135 \times 10^{-7} \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$; A 为源活度, Bq; d 为等中心点至关注点的距离, m。

表 1 ^{60}Co 射线主束对防护材料的十分之一值层 (TVL)

射线类别	防护材料	TVL_1	TVL_e
γ 射线 (^{60}Co)	普通混凝土	21	21

注: TVL_1 - 第一个十分之一值层; TVL_e - 平均十分之一值层。

1.1.1.2 泄漏射线对关注点位的剂量率贡献 泄漏射线的透射系数 B_L , 由公式(3)求出:

$$B_L = 10^{-\left(\frac{H}{TVL}\right)} \quad (3)$$

泄漏射线对点位 C 的剂量率贡献 H_L , 依据公式(4)进行估算:

$$H_L = \frac{B_L \cdot L_r \cdot K \cdot A}{(d)^2} \quad (4)$$

式(3)和(4)中, TVL_L 为 ^{60}Co 泄漏射线对混凝土的十分之一值层, cm, 具体数据见表 2^[2]; L_r 为距离机头 1m 处的泄漏辐射率。 H 、 K 、 A 和 d 代表的意义同前文。

作者单位: 军事医学科学院生物医学分析中心, 北京, 100850

作者简介: 杨海友 (1981 ~), 男, 汉族, 河南确山人, 硕士, 主要从事环境影响评价。E-mail: Haiyou2005@tom.com。

通讯作者: 于水 (1965 ~), 男, 汉族, 内蒙古巴盟人, 研究员, 博士, 放射医学专业。E-mail: yushui@bmi.ac.cn。

表 2 ^{60}Co 泄漏射线对普通混凝土的十分之一值层(TVL_L)

射线类别	防护材料	TVL_L	TVL_e
γ 射线(^{60}Co)	普通混凝土	21	21

1.1.2 机房四周非主束区内点位辐射水平的估算模式 机房四周非主束区内关注点位的辐射水平,主要考虑:①病人散射线的剂量率贡献,②泄漏射线的剂量率贡献。点位 A、B、D、E 和 G 均为非主束区内的特征关注点位,以点位 D 为例建立估算模式。

1.1.2.1 病人散射线对关注点位的剂量率贡献 病人散射线的透射系数 B_{PS} ,由公式(5)求出:

$$B_{PS} = 10^{-\left(\frac{h}{TVL_S}\right)} \quad (5)$$

病人散射线对点位 D 的剂量率贡献 H_{sca} ,依据公式(6)进行估算:

$$H_{sca} = \frac{B_{PS} \cdot K \cdot A \cdot \alpha \cdot F}{(d_{sca})^2 (d)^2 (400)} \quad (6)$$

式(5)和(6)中, h 为次屏蔽墙的厚度,cm; θ 为射线对屏蔽墙的人射角; TVL_S 为 ^{60}Co 病人散射线对混凝土的十分之一值层,cm; α 为以不同角度散射时的散射系数; F 为病人治疗位置的射野面积,cm²; d_{sca} 为靶点至病人的距离,m,取值为1;400是以射野面积20cm×20cm为标准进行标准化的散射系数。 K 、 A 和 d 代表的意义同前文。

1.1.2.2 泄漏射线对关注点位的剂量率贡献 泄漏射线的透射系数 B_L ,由公式(7)求出:

$$B_L = 10^{-\left(\frac{h}{TVL_L}\right)} \quad (7)$$

泄漏射线对点位 D 的剂量率贡献 H_L ,依据公式(4) $H_L = \frac{B_L \cdot L_f \cdot K \cdot A}{(d)^2}$ 进行估算。式中符号 h 、 θ 、 TVL_L 、 L_f 、 K 、 A 和 d ,代表的意义同前文。

1.2 钴治疗机机房顶辐射水平估算模式的建立 以图2某医院钴治疗机机房的剖面示意图为例,建立钴治疗机机房顶辐射水平的估算模式。

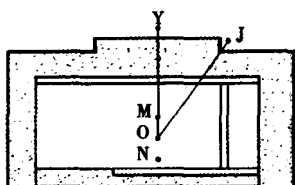


图2 钴治疗机房估算点位剖面示意图

1.2.1 房顶主束区内点位辐射水平的估算模式 房顶主束区内关注点位的辐射水平,主要考虑:①主束贯穿辐射的剂量率贡献,②泄漏射线的剂量率贡献。参照“1.1.1 机房四周主束区内点位辐射水平的估算模式”,以点位 Y 为例建立房顶主束区内点位辐射水平的估算模式。

1.2.1.1 主束贯穿辐射对关注点位的剂量率贡献 由公式(1)求出主屏蔽墙的透射系数 B_{pi} 。依据公式(2)进行估算主束对点位 Y 的剂量率贡献。

1.2.1.2 泄漏射线对关注点位的剂量率贡献 由公式(3)求出泄漏射线的透射系数 B_L 。依据公式(4)进行估算泄漏射线对点位 Y 的剂量率贡献 H_L 。

1.2.2 房顶非主束区内点位辐射水平的估算模式 房顶非主束区内关注点位的辐射水平,主要考虑:①病人散射线的剂量率贡献,②泄漏射线的剂量率贡献。参照“1.1.2 机房四周非主束区内点位辐射水平的估算模式”,以点位 J 为例建立房顶非主束区内点位辐射水平的估算模式。

1.2.2.1 病人散射线对关注点位的剂量率贡献 由公式(5)求出病人散射线的透射系数 B_{PS} 。依据公式(6)进行估算病人散射线对点位 J 的附加剂量率贡献。

1.2.2.2 泄漏射线对关注点位的剂量率贡献 由公式(7)求出泄漏射线的透射系数 B_L 。依据公式(4)进行估算泄漏射线

对点位 J 的剂量率贡献。

1.3 钴治疗机房迷道口辐射水平估算模式的建立 迷道口的辐射水平主要考虑:①主束经屏蔽墙2次散射所致的剂量率贡献, H_S ;②机头泄漏射线经屏蔽墙1次散射所致的剂量率贡献, H_{LS} ;③主束经病人和屏蔽墙的2次散射所致的剂量率贡献, H_{PS} ;④泄漏射线贯穿迷道内墙所致的剂量率贡献, H_{LT} 。图3为对迷道口有剂量率贡献的上述四种主要成分的散射路径示意图。

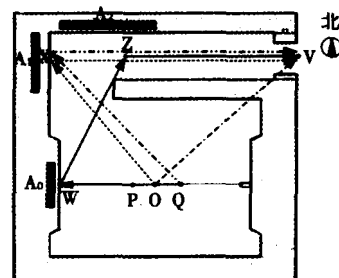


图3 对迷道口有剂量率贡献的四种成分的散射路径示意图

1.3.1 主束经屏蔽墙2次散射所致的剂量率贡献, H_S 如图3所示,主束经墙壁2次散射后可以到达迷道口,其散射路径为机头 Q→W→Z→V。主束经墙壁2次散射对迷道口的剂量率贡献估算公式(8):

$$H_S = \frac{KA\alpha_0 A_0 \alpha_2 A_2}{(d_h d_r d_z)^2} \quad (8)$$

式中: K 和 A 代表的意义同前文; α_0 为屏蔽墙对主束第一次散射系数; α_2 为屏蔽墙对主束第二次散射系数; A_0 为第一次散射区面积,m²; A_2 为第二次散射区面积,其值为从第一散射区域观察“迷道内口”投影到迷道外墙的截面积,m²; d_h 为靶点至第一散射面中心点 W 的距离(d_{QW}),m; d_r 为第一散射面中心点 W,通过迷道内墙边缘与迷道中心线交点 Z 的距离(d_{WZ}),m; d_z 为 Z 点至迷道口 V 的距离(d_{ZV}),m。

1.3.2 机头泄漏射线经屏蔽墙1次散射所致的剂量率贡献, H_{LS} 如上图所示,泄漏射线经墙壁1次散射后可以到达迷道口,其散射路径为机头 Q→X→V。泄漏辐射经墙壁1次散射对迷道口的剂量率贡献估算公式(9):

$$H_{LS} = \frac{KAL_f \alpha_1 A_1}{(d_{LS} d_x)^2} \quad (9)$$

式中: K 、 A 和 L_f 代表的意义同前文; α_1 为墙壁对泄漏射线的散射系数; A_1 为泄漏辐射1次散射区面积,其值为从迷道口处向机房内可观察的屏蔽墙的截面积,m²; d_{LS} 为靶点至迷道中心线和泄漏射线散射面交点 X 的距离(d_{QX}),m; d_x 为散射面 A_1 至迷道口 V 的距离(d_{XV}),m。

1.3.3 主束经病人和屏蔽墙的2次散射所致的剂量率贡献, H_{PS} 如图3所示,主束经病人后再经墙壁1次散射后可以到达迷道口,其散射路径为 M→O→X→V。主束经病人后再经墙壁1次散射对迷道口的剂量率估算公式(10):

$$H_{PS} = \frac{KA\alpha(\theta) \left[\frac{F}{400} \right] \alpha_1 A_1}{(d_{sca} d_{sec} d_x)^2} \quad (10)$$

式中: K 、 A 、 F 、 d_{sca} 、 A_1 和 d_x 代表的意义同前文; $\alpha(\theta)$ 为病人散射线以散射角 θ 进行散射时的散射因子; α_1 为墙壁对病人散射线的散射系数,与 α_0 和 α_2 代表的意义完全相同,其代表性的参考值见表3和表4^[3,4]; d_{sca} 为病人至迷道中心线和散射面交点 X 的距离(d_{OX}),m。

表3 0°入射以不同角度反射时墙壁的反射系数

射线能量(MeV)	墙壁反射系数($\times 10^{-3}$)				
	0°	30°	45°	60°	75°
1.25 (^{60}Co γ 射线)	7.0	6.5	6.0	5.5	3.8
0.5	19.0	17.0	15.0	13.0	8.0

【论著】

低剂量 X 射线照射孕鼠后对其仔鼠生长发育的影响

张 炜, 王培军, 李铭华, 姜文霞, 张 静, 江 虹

中图分类号: Q691.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2009)02-0156-03

【摘要】 目的 研究不同低剂量 X 射线照射孕期 SD 大鼠后对其仔鼠生长发育的不同影响。方法 建立受不同低剂量率组 X 射线照射的孕 SD 大鼠模型, 对出生的仔鼠进行一般神经体格发育的检测。结果 结果表明 0.015mGy/d 及 0.03mGy/d 两个低剂量率, 对仔鼠的神经体格发育具有不同程度的生长促进作用; 0.06mGy/d 的受照射剂量率对仔鼠的生长发育没有明显的影响, 而接受 0.09mGy/d 的受照射剂量率对仔鼠的生长发育呈现出一定的阻碍作用。结论 出生前宫内受到低剂量 X 射线照射对仔鼠的生长发育具有一定的促进作用, 随着受照射 X 射线剂量的增加, 这种兴奋作用减弱并对仔鼠的生长发育呈现出一定的阻碍作用。

【关键词】 低剂量辐; Hormesis 效应(兴奋作用); 生长发育

Effect on the Growth of Offspring Received Low Doses Radiation in Uterus. ZHAHNG Wei, WANG Pei-jun, LI Ming-hua, et al. Affiliated Hospital to Tongji University, Shanghai 200065 China.

【Abstract】 Objective To study the different influences on the growth of the offsprings of SD rats receiving different low doses of irradiation in the whole pregnant period. Methods To establish SD pregnant rat models receiving different doses of X-ray and observe the impact of irradiation on the growth of the offsprings. Results Low dose rate of 0.015mGy/d and 0.03mGy/d could promote the development of offsprings in a certain extent, the group with dose rate of 0.06mGy/d had little difference. While the group with dose rate of 0.09mGy/d presented holdback in growth. Conclusion Prenatal exposure to low dose radiation X-ray might promote growth of the offsprings. With the dose increasing, this exciting response gradually weakened, and at last presented obstacle response.

【Key words】 Low Doses of Radiation; Hormesis Response (Exciting Response); Growth

低剂量电离辐射(Low doses of radiation, LDR)对机体的影响一直是放射防护和生殖领域的研究热点。Luckey 和 Olivieri 于 20 世纪 80 年代初提出低剂量辐射可诱导生物体产生“兴奋效应”即 Hormesis 效应^[1,2](指在一定范围内的低剂量辐射可以对机体产生免疫刺激等效效应)和“适应性反应”, 被认为是机体的 DNA 修复过程被激活^[3]。以往对 X 射线的研究重点大多放在放射损伤方面, 对其促进效应的研究比较多集中在机体造血、免疫、肿瘤等方面, 而对生长发育的促进作用研

究甚少。本实验建立孕期 SD 大鼠受不同低剂量组别 X 射线照射后模型, 通过研究其仔鼠一系列生长发育指标等, 来揭示孕期受低剂量 X 射线照射由于剂量不同而对其仔鼠生长发育的影响。

1 材料与方法

1.1 受孕 SD 大鼠模型的建立 12 周龄清洁级健康成年 SD 大鼠雌性, [购于中科院上海动物所, 合格证号 SCXK(沪)2002-0010], 体重 240g ± 10g, 雄性 SD 大鼠, 体重 280g ± 10g, 饲养环境温度为(21 ± 2)℃, 昼夜周期为 12/12h。每晚 7 点 1:1 合笼, 次日清晨 7:00 检查雌鼠是否有阴栓, 以阴栓法检测是否受孕, 并指定为孕第 0 天, 并于第 2 天即孕第 1 天接受不同低剂

作者单位: 同济大学附属同济医院医学影像科, 上海 200065
作者简介: 张炜(1978~), 女, 安徽省人, 在读硕士生, 住院医师, 从事医学影像和核医学工作。
通讯作者: 王培军

表 4 45°入射以不同角度反射时墙壁的反射系数

射线能量(MeV)	墙壁反射系数(×10 ⁻³)				
	0°	30°	45°	60°	75°
1.25 (⁶⁰ Co γ 射线)	9.0	10.2	11.0	11.5	12.0
0.5	22.0	22.5	22.0	20.0	18.0

1.3.4 泄漏射线贯穿迷道内墙对迷道口的剂量贡献 H_{Lr} 机头泄漏射线直接贯穿迷道内墙后可以直达迷道口, 其辐射路径为等中心点 O→V。机头泄漏射线直接贯穿迷道内墙后对迷道口的剂量率估算公式(11):

$$H_{Lr} = \frac{K \cdot A \cdot L_r \cdot B_L}{d_L^2} \quad (11)$$

由公式(7)求出泄漏射线的透射系数 B_L 。式中符号 d_L 为等中心点 O 到迷道口 V 的距离(d_{OV}), m; K 、 A 和 L_r 代表的意义同前文。

2 结论

在 NCRP No. 151 报告估算模式的基础上, 建立了钴治疗机机房周围环境辐射水平的估算模式, 该模式可以作为评价钴治疗机机房周围环境辐射水平的一种简捷方法, 具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP REPORT No. 151 "Structural shielding design and evaluation for Megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities" [R]. 2005: 1-246.
- [2] National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP REPORT No. 49 "Structural shielding design and evaluation for medical use of X rays and gamma rays of energies up to 10 MeV" [R]. 1976: 1-126.
- [3] National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP REPORT No. 144 "Radiation protection for particle accelerator facilities; recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements" [R]. 2003: 146-268.
- [4] William P. Swanson. TECHNICAL REPORTS SERIES No. 188 "Radiological safety aspects of the operation of electron linear accelerators" [P]. Vienna International Atomic Energy Agency, 1979: 180-184.

(收稿日期: 2008-12-05)