

·论著·

甲状腺癌 ^{131}I 治疗病房的辐射屏蔽计算与评价

杨珂 唐波 于夕荣 张巍

【摘要】目的 研究甲状腺癌 ^{131}I 治疗病房的屏蔽计算方法, 为其项目的屏蔽设计与评价提供技术依据。**方法** 收集该项目的基础资料, 通过理论计算得出不同条件下屏蔽厚度, 理论联系实际作出综合评价。**结果** 根据屏蔽计算, 院方提供的屏蔽设计方案不能满足甲状腺癌 ^{131}I 治疗病房的防护要求。**结论** 甲状腺癌 ^{131}I 治疗病房的屏蔽计算, 需同时考虑服药活度、距离和射线能量等因素的影响。

【关键词】 甲状腺肿瘤; 碘放射性同位素; 辐射防护; 屏蔽计算

Shielding calculation and assessment in ^{131}I therapy for thyroid cancer Yang Ke, Tang Bo, Yu Xirong, Zhang Wei. Institute of Radiological Protection and Safety, Shandong Center for Disease Control and Prevention, Jinan 250014, China

Corresponding author: Zhang Wei, Email: zhangweicdc@163.com

【Abstract】Objective To study the method of shielding calculation in ^{131}I therapy for thyroid cancer and provide technical support for radiation protection assessment in construction project. **Methods** Comprehensive evaluation is made after shielding thickness is calculated theoretically by collecting basic information. **Results** Shielding design provided by the hospital can not meet radiation protection requirements in ^{131}I therapy for thyroid cancer. **Conclusion** Shielding calculation need to be verified by the results of field measurements.

【Key words】 Thyroid neoplasms; Iodine radioisotopes; Radiation protection; Shielding calculation

^{131}I 是治疗分化型甲状腺癌 (differentiated thyroid carcinoma, DTC) 的重要手段, 当患者口服一定量的 ^{131}I (溶液或胶囊) 后, 残余的甲状腺和转移灶能高度摄取 ^{131}I , 通过 ^{131}I 发射出的 β 射线, 可以有效地清除残余甲状腺组织和杀灭肿瘤细胞。DTC 临床上不属于常见病, 但随着 DTC 发病率的逐渐增高^[1-4], 近年来对 ^{131}I 治疗该疾病的理念不断更新, 国内各地开展此项工作的医院也日益增加。由于 ^{131}I 半衰期较长, 服用活度及发出的 γ 射线能量较高, 所以患者服药 $\geq 555 \text{ MBq}$ (15 mCi) 的应住院治疗^[5]。目前, 甲状腺癌 (简称: 甲癌) ^{131}I 治疗病房多为改造而成, 受困于布局、面积等条件限制, 大多不能满足辐射防护的要求, 因此, 为保障放射工作人员和公众的安全, 本研究以某医院甲癌 ^{131}I 治疗病房的改造为例, 关注其屏蔽厚度的计算与

评价。

1 材料与方法

1.1 放射性核素使用规模

1 周接收患者 2 次, 每次接收 4 例, 日最大实际操作量为 $2.2 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 。每人服用量为 $3.7 \times 10^9 \sim 7.4 \times 10^9 \text{ Bq}$ 。

1.2 病房屏蔽设计方案

病房尺寸为 $6.6 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$, 原病房墙体均为 24 cm 砖墙 (1.6 g/cm^3), 设计增加铅当量 3 mmPb , 防护门窗设计铅当量为 5 mmPb 。

1.3 屏蔽计算参数

该项目使用放射性核素 ^{131}I , 可发出 β 与 γ 射线, β 射线的能量为 606.3 keV , 在人体组织中的最大射程约 0.3 cm , 在空气中也很容易被物质阻挡, 不会对公众产生明显的外照射影响。对于外照射的防护, 仅考虑 γ 射线即可。

^{131}I 衰变发出 γ 射线的能量为 365 keV , 照射量率常数 Γ 为 $0.22 \text{ R} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Ci}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2015.05.012

作者单位: 250014 济南, 山东省疾病预防控制中心辐射防护安全所

通信作者: 张巍 (Email: zhangweicdc@163.com)

1.4 剂量率计算公式

裸源 γ 空气比释动能率计算公式为 $K=0.00873 \times \Gamma \times A / r^2$, 式中, K : γ 空气比释动能率(单位: Gy/h); Γ : 照射量率常数(单位: $R \cdot m^2 \cdot Ci^{-1} \cdot h^{-1}$); A : 核素(点源)活度(单位: Ci); r : 与点源之间的距离(单位: m)。

1.5 屏蔽厚度计算

依据公式 $\Delta_{10} = TVT_{10} \lg K$ 计算屏蔽厚度, 式中, K : 减弱倍数, TVT_{10} : 十分之一值厚度。根据《辐射防护手册: 第三分册(辐射安全)》^[6]中表 2.12 数据, 线性内插方法得出 ^{131}I 衰变发出的 γ 射线能量为 365 keV, γ 射线的普通混凝土(2.2 g/cm^3)十分之一值厚度约为 190 mm, 铅十分之一值厚度约为 10 mmPb。

2 结果

无屏蔽状态下不同距离、不同活度 ^{131}I 产生的 γ 空气比释动能率见表 1。屏蔽状态下各诊疗室不同距离、不同活度核素的 γ 射线空气比释动能率控制为 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 时, 各墙体的屏蔽厚度见表 2 和表 3。

3 讨论

因为服用放射性药物后的患者处于流动状态,

表 1 无屏蔽状态下 ^{131}I 产生的 γ 空气比释动能率($\mu\text{Gy/h}$)
Fig.1 Air kerma rate for ^{131}I γ -ray without shielding($\mu\text{Gy/h}$)

| ^{131}I 活度 ($\times 10^9 \text{ Bq}$) | 距离(m) | | | | | |
|--|---------|-------|------|------|------|------|
| | 0.5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1.9 | 384.1 | 96.0 | 24.0 | 10.7 | 6.0 | 3.8 |
| 3.7 | 768.2 | 192.1 | 48.0 | 21.3 | 12.0 | 7.7 |
| 5.6 | 1 152.4 | 288.1 | 72.0 | 32.0 | 18.0 | 11.5 |
| 7.4 | 1 536.4 | 384.0 | 96.0 | 42.8 | 24.0 | 15.2 |

表 2 不同距离、不同活度 ^{131}I 时各墙体所需要达到的铅当量厚度(mmPb)
Fig.2 The lead equivalent thickness of wall in different distance and activity for ^{131}I (mmPb)

| ^{131}I 活度 ($\times 10^9 \text{ Bq}$) | 距离(m) | | | | | |
|--|-------|------|------|------|-----|-----|
| | 0.5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1.9 | 21.9 | 15.8 | 9.8 | 6.3 | 3.8 | 1.8 |
| 3.7 | 24.9 | 18.9 | 12.8 | 9.3 | 6.8 | 4.9 |
| 5.6 | 26.6 | 20.6 | 14.6 | 11.1 | 8.6 | 6.6 |
| 7.4 | 27.9 | 21.9 | 15.8 | 12.3 | 9.8 | 7.8 |

注: 按 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 为控制目标值。

表 3 不同距离、不同活度 ^{131}I 时各墙体所需要达到的厚度(普通混凝土, cm)
Fig.3 The concrete thickness of wall in different distance and activity for ^{131}I (cm)

| ^{131}I 活度 ($\times 10^9 \text{ Bq}$) | 距离(m) | | | | | |
|--|-------|------|------|------|------|------|
| | 0.5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1.9 | 41.5 | 30.1 | 18.7 | 12.0 | 7.2 | 3.5 |
| 3.7 | 47.3 | 35.8 | 24.4 | 17.7 | 13.0 | 9.3 |
| 5.6 | 50.6 | 39.2 | 27.7 | 21.0 | 16.3 | 12.6 |
| 7.4 | 53.0 | 41.5 | 30.1 | 23.4 | 18.7 | 14.9 |

注: 按 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 为控制目标值。

故放射源位置是不固定的, 通过计算得出无屏蔽时射线的剂量率, 当 γ 射线空气比释动能率控制为 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 时, 进一步计算得出所需的铅和普通混凝土的厚度。综合考虑距离(取 1 m)、空间、活度、屏蔽材料、放射性核素治疗流程和人员心理因素等对甲癌 ^{131}I 治疗病房辐射屏蔽的设计方案, 推荐如下: ^{131}I 病房和服药场所墙体采用普通混凝土, 厚度应达到 40 cm, 相当于铅当量 25 mmPb; 防护门窗设计厚度应达到其所在墙体的防护厚度, 按物质密度与射线吸收呈正比的关系式, 粗略地换算出原病房 24 cm 砖墙(1.6 g/cm^3)约相当于混凝土(2.2 g/cm^3)的厚度为 17 cm。如上, 院方提供的屏蔽设计方案, 不能满足甲癌 ^{131}I 治疗病房的防护要求。有文献报道的辐射防护设计低于上述屏蔽设计方案^[7], 主要原因是剂量率目标值、距离和活度等因素的取值不同。

患者服药后即成为移动的放射源, 工作场所内的放射工作人员及陪护人员受到的辐射危害主要来自 ^{131}I 释放的 γ 射线, 表现为来自放射性药物的直接照射、泄漏辐射和散射辐射, 上述射线随着患者的移动而对周围人员造成照射。患者服药后对环境的影响和对近距离接触者的辐射影响还是比较明显的, 所以除了病房的屏蔽满足放射防护要求外, 还要加强对服药患者的管理, 尽量避免与服药患者的近距离接触。相关文献报道, DTC 患者在服用不同剂量的 ^{131}I 治疗后第 3 天, 在 $\geq 1 \text{ m}$ 的距离接触患者是安全的, 但近距离的护理还是应该避免的^[8]。同时, 甲癌 ^{131}I 治疗还具有治疗剂量依赖性和时间依赖性的特点, 治疗剂量增大, 需要延长相应的临床限制时间, 以达到辐射防护的安全要求^[9]。

本研究的屏蔽计算均是假定为裸源, 没有考虑

(下转第 419 页)

人体的自吸收和放射性核素半衰期的影响,也没有考虑 γ 射线最高能量的因素,因此其结果还有待项目控制效果评价时现场测量的验证。

- [1] 吴茜, 建华, 王荣福. 放射性核素在分化型甲状腺癌诊疗中的应用现状和进展[J]. 肿瘤学杂志, 2014, 20(11): 904-907.
- [2] 孙嘉伟, 许晓君, 蔡秋茂, 等. 中国甲状腺癌发病趋势分析[J]. 中国肿瘤, 2013, 22(9): 690-693.
- [3] Organization for Economic Co-operation and Development. Health at a Glance: Europe 2012[M]. Paris: OECD, 2012.

- [4] Organization for Economic Co-operation and Development. Health at a Glance 2013; OECD Indicators[M]. Paris: OECD, 2013.
 - [5] 中华人民共和国卫生部医政司. 核医学诊断与治疗规范[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
 - [6] 李德平, 潘自强. 辐射防护手册: 第三分册(辐射安全)[M]. 北京: 原子能出版社, 1990.
 - [7] 陈春燕, 韩春彩, 李军. 使用 ^{131}I 治疗甲状腺癌的工作场所的辐射防护设计[J]. 中国辐射卫生, 2014, 23(3): 247-249.
 - [8] 池晓华, 刘峰, 李贵平, 等. 距离在甲状腺癌患者 ^{131}I 治疗中的屏蔽作用[J]. 南方医科大学学报, 2014, 34(2): 286-288.
 - [9] 胡凤琼, 庞华, 杨俊卿, 等. 甲状腺癌患者大剂量 ^{131}I 治疗的辐射防护研究[J]. 重庆医学, 2014, 43(17): 2252-2253.
- (收稿日期: 2015-06-26)