

·临床放射医学·

用热释光剂量学法和理论计算法研究 ^{125}I 粒籽源的剂量分布

王道平 苑淑渝 戴光复 何培坤 刘强

【摘要】目的 研究实验模型中 ^{125}I 粒籽的剂量分布。方法 采用热释光剂量学方法(TLD法)和美国医学物理学家协会43报告工作组(AAPM TG-43)推荐的理论计算公式(理论计算法)对 ^{125}I 粒籽的径向剂量进行了研究,并对TLD法和理论计算结果进行比较。结果 当 ^{125}I 粒籽活度为37 MBq,粒籽的径向距离分别为0.5、1.0、1.5和2 cm时,用TLD法测得的径向剂量率分别为3.47、0.87、0.38、0.21 cGy/h,理论计算法分别为3.874、0.952、0.394、0.216 cGy/h。结论 TLD法和理论计算法有较好的一致性, ^{125}I 粒籽源的径向剂量率随距离增加快速下降。

【关键词】热敏发光测定法; 模型,理论; 放射测量术; 辐射剂量; 碘放射性同位素

【中图分类号】R144.1 【文献标识码】A 【文章编号】1673-4114(2006)06-0375-03

Study dose distribution of ^{125}I seed using measured and calculatedWANG Dao-ping¹, YUAN Shu -yu¹, DAI Guang-fu¹, HE Pei- kuen², LIU Qiang²

(1. Department of Health Physics, Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Tianjin 300192, China; 2. Department of Chest Surgery, Tianjin Nankai Hospital, Tianjin 300100, China)

【Abstract】Objective To study the dose distribution of ^{125}I seeds in experiment phantom. Methods The dose distribution of ^{125}I seeds was performed by the thermoluminescence dosimetry (TLD) method and the dose calculation formula (calculation). The radial dose of ^{125}I seed was compared using measured and calculated result. Results When radioactivity of ^{125}I seed was 37MBq (1.0mCi) and the radial distance is 0.5、1.0、1.5 and 2cm, the TLD measured and theoretically calculated result is 3.47、0.87、0.38、0.21 cGy/h and 3.874、0.952、0.394、0.216cGy/h respectively. Conclusions The TLD measured and theoretically calculated result were found to good agreement. The radial dose of ^{125}I seed is attenuated very rapidly with radial distance.

【Key words】Thermoluminescent dosimetry; Models, theoretical; Radiometry; Radiation dosage; Iodine radioisotopes

放射性粒籽组织间近距离治疗是治疗恶性肿瘤的重要手段之一。在肿瘤内,粒籽源的空间位置分布与剂量有密切关系。在实际治疗中,粒籽源的植入路径及空间位置分布往往与治疗计划存在较大差异,因此 ^{125}I 粒籽在瘤内的剂量分布是否均匀,是否规避病灶外的紧要器官和组织,是临床极为关心的重要问题^[1]。本研究采用热释光剂量学(thermoluminescence dosimetry, TLD)方法,应用高灵敏度

热释光探测器实测了实验模型中 ^{125}I 粒籽源的径向剂量分布,并与美国医学物理学家协会43报告工作组(The American Association of Physicists in Medicine Task Group 43, AAPM TG-43)推荐的理论计算公式计算的 ^{125}I 粒籽的径向剂量分布作比较。现将研究结果报道如下。

1 材料和方法

1.1 材料

(1)BT-125-1型 ^{125}I 粒籽源,规格:直径0.08 cm,长0.45 cm,出厂活度:37 MBq(北京森科医药有限公司)。

(2)玻璃管探测器(简称:玻璃管TLD),直径

基金项目:天津市自然科学基金资助项目(043608111)

作者单位:1.300192 天津,中国医学科学院放射医学研究所保健物理室(王道平,苑淑渝,戴光复);2.300100,天津南开医院胸外科(何培坤,刘强)

通讯作者:王道平(E-mail:wanddaoping@yahoo.com)

0.1 cm, 长 0.53 cm, 由中国医学科学院放射医学研究所研制生产。

(3) FJ-427A1 微机电脑热释光测量仪(北京核仪器厂)。

(4) 实验模型 (CT 值:1.68, 直径 5 cm, 高 1.5 cm) 为组织等效材料, 在射线作用下其吸收和散射特性与生物组织(如软组织, 肌肉, 骨骼或脂肪等)相近似的材料。主要成分为石蜡、聚乙烯等, 由中国医学科学院放射医学研究所研制。

1.2 方法

(1) 热释光剂量学方法(TLD 法)^[3,4]

在实验模型中心加工一圆孔(直径 0.1cm, 高 0.4cm) 备放粒籽源用。以中心点为圆心在实验模型的 0°、45°、90°、135°、180°、225°、270° 和 315° 方向等距离(0.5 cm) 各加工 4 个圆孔(直径 0.1 cm, 高 0.4 cm) 备放玻璃管 TLD 用。实验时, 先将玻璃管 TLD 插入孔中, 再将 ¹²⁵I 粒籽源插入中心孔照射 1h, 取出粒籽源, 按不同角度的顺序测量玻璃管 TLD。

(2) 理论计算法^[2]

采用 AAPM TG-43 推荐的计算公式(1), 计算 ¹²⁵I 粒籽源剂量分布:

$$D(r, \theta) = S_k \times \Lambda [G(r, \theta) / G(r_0, \theta_0)] \times g(r) \times \phi_{an}(r) \quad (1)$$

式中, S_k 为空气比释动能强度(air kerma strength), TG-43 号报告推荐 $S_k = 1.27 \text{ U} / 37 \text{ MBq}$ ($1 \text{ U} = 1 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ 或 $1 \text{ cGy} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)。

Λ 为剂量率常数(dose rate constant), 定义为水模中距粒籽源径向 1cm 处的单位 S_k 产生的剂量率, 它包括了源的几何形状、(源内)放射性物质空间分布、封装材料对射线的过滤、源自吸收和水模散射等因素对剂量的影响, 在 TG-43 号报告中, ¹²⁵I-6711 和 ¹²⁵I-6702 型粒籽源的 Λ 推荐值分别为 0.88 和 0.93 cGy/hU。

$G(r, \theta)$ 为几何因子(geometry factor), 在公式(1)中 $G(r, \theta)$ 和 $G(r_0, \theta_0)$ 分别代表计算点 $P(r, \theta)$ 和参考点 $P(r_0, \theta_0)$ 的几何因子。假设源内的放射性物质为均匀分布, 剂量分布只与源形状有关(点, 线), 线源: $G(r, \theta) = \beta / L r \sin \theta$ (L 是源活性长度, L 所对应的角为 β 角), 点源: $G(r, \theta) = r^{-2}$ 。

$g(r)$ 为径向剂量函数(radial dose function), 在不同径向距离下, 考虑了介质对射线的吸收和散射以及源外包装对光子的过滤作用, $g(r)$ 只适用于粒

籽源的径向距离。在固体水中 $g(r)$ 可以拟合成一个多项式(2):

$$g(r) = a_0 + a_1 r^2 + a_2 r^3 + a_3 r^4 + a_4 r^5 + a_5 r^6 \quad (2)$$

式中, a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 和 a_5 为拟合系数, r 为径向距离。在 TG-43 号报告中, ¹²⁵I-6711 型粒籽源的拟合系数为 $\alpha_0 = 1.01376$ 、 $\alpha_1 = 1.22747 \times 10^{-1}$ 、 $\alpha_2 = -1.73025 \times 10^{-1}$ 、 $\alpha_3 = 4.02378 \times 10^{-2}$ 、 $\alpha_4 = -3.85227 \times 10^{-3}$ 、 $\alpha_5 = 1.34283 \times 10^{-5}$, ¹²⁵I-6702 型粒籽源的拟合系数为 $\alpha_0 = 1.02307$ 、 $\alpha_1 = 8.63751 \times 10^{-2}$ 、 $\alpha_2 = -1.37155 \times 10^{-2}$ 、 $\alpha_3 = 3.07795 \times 10^{-2}$ 、 $\alpha_4 = -2.86946 \times 10^{-3}$ 、 $\alpha_5 = 9.87558 \times 10^{-5}$ 。由(2)式计算出 ¹²⁵I 粒籽源不同距离处的径向剂量函数见表 1。

表 1 ¹²⁵I-6711 和 ¹²⁵I-6702 型粒籽径向剂量函数

径向距离(cm)	径向剂量函数 $g(r)$	
	¹²⁵ I-6711	¹²⁵ I-6702
0.5	1.04	1.04
1.0	1.00	1.00
1.5	0.926	0.934
2.0	0.832	0.851
2.5	0.731	0.760
3.0	0.632	0.670

$\phi_{an}(r)$ 为各向异性因子(anisotropy factor), 可以近似用一个与距离无关的常数 ϕ_{an} 代替, 在 TG-43 号报告中, ¹²⁵I-6711 和 ¹²⁵I-6702 的 ϕ_{an} 推荐值分别为 0.93 和 0.95。

当径向距离 r 大于源活性长 L ($r > L$) 时, ¹²⁵I 粒籽源可近为点源, 公式(1)可近似简化成:

$$D(r, \theta) = (S_k \Lambda / r^2) g(r) \phi_{an}(r) \quad (3)$$

应用(3)式对 ¹²⁵I 粒籽源进行剂量估算, 各剂量参数为: $S_k = 1.27 \text{ U} / 37 \text{ MBq}$, $\Lambda = 0.88 \text{ cGy/hU}$, $\phi_{an}(r) = 0.95$, r 的单位为 cm, $g(r)$ 值用表 1 查得。

2 结果

(1) 当 ¹²⁵I 粒籽源活度为 37MBq 时, 应用 TLD 法测得的 ¹²⁵I 粒籽源不同角度、不同距离的径向剂量分布结果见表 2, 结果表明, ¹²⁵I 粒籽源不同角度、相同径向距离处的剂量分布较均匀, 但随距离增加而剂量快速减少^[6]。

在实验中, 由于 TLD 法存在系统测量误差和 ¹²⁵I 粒籽源与 TLD 之间的照射位置每次不能保证精确重复, 所以造成不同角度相同距离处的平均剂量

表 2 TLD 法测量 ^{125}I 粒籽源的剂量率分布 (cGy/h)

径向距离 (cm)	角度 ($^{\circ}$)								平均值 \pm 变异百分数
	0	45	90	135	180	225	270	315	
0.5	3.50	3.85	3.56	3.71	3.42	3.14	2.85	3.71	$3.47 \pm 9.5\%$
1.0	0.82	1.00	1.00	0.77	0.91	0.80	0.77	0.88	$0.87 \pm 11\%$
1.5	0.34	0.48	0.40	0.37	0.48	0.31	0.31	0.37	$0.38 \pm 17\%$
2.0	0.17	0.20	0.26	0.23	0.20	0.17	0.20	0.23	$0.21 \pm 15\%$

表 3 TLD 法和理论计算法测量 ^{125}I 粒籽源剂量率分布结果的比较 (cGy/h)

	径向距离 (cm)							
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
TLD 法	$3.4 \pm 9.5\%$	$0.87 \pm 11\%$	$0.38 \pm 17\%$	$0.21 \pm 15\%$				
理论计算法	3.874	0.952	0.394	0.2161	0.112	0.0676	0.0426	0.0279

*: TLD 法的数据为平均值 \pm 变异百分数

变异较大(9.5%~17%)。

(2)应用 TG-43 号报告推荐的剂量参数^[2,5], 由公式(3)计算 ^{125}I 粒籽源(37MBq)的径向剂量率分布见表 3。由表 3 结果可知, TLD 法和理论计算法的结果有较好的一致性, ^{125}I 粒籽源的径向剂量率均随距离增加而快速减少。

3 讨论

由于 ^{125}I 粒籽源的平均能量为 27.4 keV, 应用 TLD 法测量其剂量分布, 应对 TLD 探测器进行能量刻度和剂量标定。条件许可时实验体模的 CT 值应与生物组织的 CT 值一致。在实验中必须保证粒籽源与 TLD 之间相对位置准确, 否则会給实验结果带来较大误差。

实验时, 由于 TLD 法存在系统测量误差, 粒籽源与 TLD 之间的照射位置难以重复, 造成 TLD 法结果变异较大。理论计算 ^{125}I 粒籽源时, 假设粒籽源为点源(条件: 径向距离必须大于粒籽源的活性长度, 介质为水, 可采用 TG-43 号报告推荐的理想剂量参数。综上所述, 0.5 cm 处 TLD 法和理论计算结果存在差异, 但差异随距离增加而减少(见表 3)。

由表 3 结果可知, ^{125}I 粒籽源径向剂量分布主要集中在距粒子 0.5 cm 周围, 剂量率随距离增加而快速减少。为了保证临床治疗质量, 建议植入粒籽源的间距应小于 1 cm。

研究表明, ^{125}I 粒籽治疗实体瘤是在不均匀剂

量模式下受照射的, 准确合理的布放每颗粒籽源是临床评价近距离放射治疗实体瘤的剂量分布的前提。除此之外, 还应该考虑粒籽源种类、活度及植入间距等。临床治疗时, 如果粒子偏离了原设计位置, 将给瘤内剂量造成较大的不确定度, 这是影响瘤内剂量分布的主要因素, 与患者的治疗效果密切相关。

志谢 北京森科医药有限公司提供 ^{125}I 粒籽源

参 考 文 献

- 1 王俊杰, 修典荣, 冉维强. 放射性粒籽组织间近距离治疗肿瘤. 第二版. 北京: 北京大学医学出版社, 2004. 5.
- 2 Nath R, Anderson LL, Luxton G, et al. Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: Recommendation of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No.43. American Association of Physicists in Medicine. Med Phys. 1995. 22(2): 209-234.
- 3 苑淑渝, 马凤斌, 王道平, 等. 用热释光剂量学方法测量 ^{32}P 和 ^{103}Pd 在血管内的剂量分布. 中华核医学杂志, 2003, 23(6): 330.
- 4 Anagnostopoulos G, Baltas D, Karaikos P, et al. Thermoluminescent dosimetry of the selectseed ^{125}I interstitial brachytherapy seed. Med Phys. 2002. 29(5): 709-716.
- 5 Meigooni AS, Hayes JL, Zhang H, et al. Experimental and theoretical determination of dosimetric characteristics of isoaid advantage ^{125}I brachytherapy source. Med Phys. 2002. 29 (9): 2152-2158.
- 6 Mobit P, Badrigan I. Response of LiF-TLD micro-rods around ^{125}I radioactive seed. Phys Med Biol, 2003, 48(19): 3129-3142.

(收稿日期: 2006-06-14)