

# 放射性<sup>125</sup>I 粒子植入布源剂量分布的平面模型优化研究

张孔源, 邢玉芝, 盛志新, 张晓乙

山东省潍坊市人民医院, 山东 潍坊 261041

**摘要:** **目的** 利用计算机三维治疗计划系统与几何学原理, 创建<sup>125</sup>I 粒子平面植入条件下剂量分布特征与等剂量分布曲线, 探讨正六边形平面植入模型的剂量分布价值。 **方法** 利用计算机治疗计划系统创建<sup>125</sup>I 粒子等边三角形分布、正方形分布、正六边形分布时剂量特征, 求出 1 000、3 000、6 000、9 000、12 000、15 000 和 20 000 cGy 剂量分布曲线。计算距离平面植入中心点距离 0、0.5、1.0、1.5、2.0 和 2.5 cm 处剂量分布; 利用几何学原理绘制边长为 1、2、3、4 cm 延伸相套正六边形图形, 并在大于等于 2 cm 的边上加点, 将包括中心点在内的点相连接。 **结果** 利用三维粒子治疗计划系统可以模拟出平面植入条件下等剂量曲线分布。在等边三角形、正方形、正六边形条件下, 粒子距离中心超出 2.0 cm、2.5 cm 时, 中心剂量低于 10 Gy, 需要增加粒子, 提高中心剂量; 绘制的正六边形中任意相邻三点的连线都构成等边三角形, 且边长为 1 cm。 **结论** 通过对不同平面几何形状<sup>125</sup>I 粒子种植分布的等剂量曲线与几何学原理分析, 正六边形中心加一颗粒子的分布模型, 最符合剂量学均匀分布规律, 对临床<sup>125</sup>I 粒子植入治疗肿瘤具有十分重要的指导意义。

**关键词:** <sup>125</sup>I 粒子; 正六边形平面植入模型; 均匀布源; 等边三角形原理; 等剂量曲线

中图分类号: R817 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2019)05-0590-04

## Optimization of the planar model for dose distribution of radioactive <sup>125</sup>I seed plane implantation

ZHANG Kongyuan, XING Yuzhi, SHENG Zhixin, ZHANG Xiaoyi

Weifang People's Hospital, Weifang 261041 China

**Abstract:** **Objective** To establish dose distribution characteristics and isodose curves of <sup>125</sup>I seed plane implantation using computer three-dimensional treatment planning system (3D-TPS) and geometric principles, and to explore the value of dose distribution in hexagonal plane implantation model. **Methods** By computer treatment planning system, dose characteristics of <sup>125</sup>I seeds with equilateral triangular, square and hexagonal distributions were created, dose distribution curves of 1 000, 3 000, 6 000, 9 000, 12 000, 15 000 and 20 000 cGy were attained, and dose distribution at 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 cm distances from the implantation center were calculated. The hexagonal figure with 1 cm, 2 cm, 3 cm and 4 cm edge lengths was drawn using geometric principles, and the points, including those added on the edges larger than or equal to 2 cm and the central point were connected. **Results** The three-dimensional particle therapy planning system could be used to simulate the isodose curve distribution under plane implantation. Under the conditions of equilateral triangle, square and hexagon, when the distance between the particle and the center is more than 2.0 cm and 2.5 cm, and the central dose is less than 10 Gy, it is necessary to increase the central dose of the particle. The connection lines of any three adjacent points in the drawn hexagon all constitute equilateral triangle, and the edge length is 1 cm. **Conclusion** The distribution model of hexagonal center plus a particle is most accordant with the dose uniform distribution through analyzing the isodose curve and geometric principle of <sup>125</sup>I seed implantation distribution with different plane geometry. And this would have special meaning for clinical <sup>125</sup>I seed implantation treatment of tumors.

**Key words:** <sup>125</sup>I Seeds; Hexagonal Plane Implantation Model; Uniform Source Distribution; Equilateral Triangle Principle; Isodose Curve

**Corresponding author:** ZHANG Xiaoyi, E-mail: zhangkongyuan@163.com

放射性粒子植入术是肿瘤近距离放射治疗技术的一种, 具有创伤小、安全性高、手术时间短、疗效确切和并发症少等优势。伴随着材料学、影像学及计算机辅助技术的进步, 该技术被越来越多的运用到临床肿瘤

治疗当中,尤其对于一些需要保留功能的重要脏器的肿瘤和无法手术或失去手术时机的晚期肿瘤治疗,更是起着举足轻重的作用<sup>[1-7]</sup>。然而针对<sup>125</sup>I 粒子布源方式及放射剂量学的规范尚不完善,在实际临床工作中,医生经常遇到均匀布源问题。如何准确选择一种符合肿瘤治疗剂量分布的平面几何植入模型,是临床治疗中面临的重要问题。

## 1 材料与方法

**1.1 材料与设备** 放射性<sup>125</sup>I 粒子为原子高科公司生产,大小为 0.8 mm × 0.45 mm,镍钛合金包壳,活度为 0.80 mCi,半衰期 59.6 d,能量 31.4 keV。放射性<sup>125</sup>I 粒子组织间治疗计划系统(TPS):北京天航科霖科技发展有限公司制造。

### 1.2 方法

**1.2.1 利用 TPS 和共面模板创建不同植入排列的平面模型**,进针方向与模板垂直,由共面模板控制进针方向,模型包括等边三角形排列、正方形排列、正六边形排列、正六边形中间加 1 颗粒子排列。<sup>125</sup>I 粒子布源为共面模板植入法,间距 1 cm。TPS 计算剂量分布和距离中心点不同位置的剂量:<sup>125</sup>I 粒子平面植入后通过 TPS 计算剂量分布,求出 1 000、3 000、6 000、9 000、12 000、15 000、20 000 cGy 剂量分布曲线。计算距离植入平面中心点距离 0、0.5、1.0、1.5、2.0 和 2.5 cm 处的剂量。

**1.2.2 分析正六边形与粒子均匀植布的关系** 根据正六边形原理,其 6 个顶点到中心点距离都相等。绘制边长 1、2、3、4 cm 延申相套的正六边形图形,进行分析研究。

## 2 结果

**2.1 距离中心点不同距离剂量计算结果** <sup>125</sup>I 粒子平面植入距离中心点不同位置剂量分布见表 1。

表 1 平面粒子植入距离中心点

平面植入类型	不同位置的剂量					单位:cGy
	距中心点距离					
	0 cm	0.5 cm	1.0 cm	1.5 cm	2.0 cm	
等边三角形			3 775.12	1 281.69	606.74	339.61
正方形			4 261.22	1 893.84	868.36	467.70
正六边形	6 205.10	10 492.60	103 678.12	4 127.74	1 527.07	798.13
正六边形加中间1 颗粒子		14 581.33	104 630.76	4 517.69	1 720.90	908.87

**2.2 放射性<sup>125</sup>I 粒子植入不同几何排列形状的等剂量曲线分布** 利用 TPS 设计平面植入时,粒子不同的几何排列形状,具有不同的等剂量分布曲线,见下图 1-4。

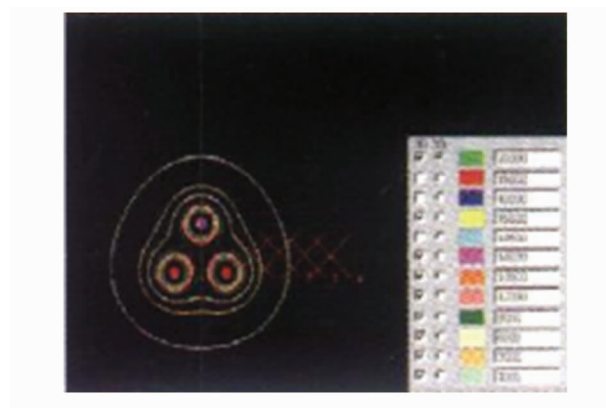


图 1 <sup>125</sup>I 放射性粒子等边三角形排列的等剂量分布曲线



图 2 <sup>125</sup>I 放射性粒子正方形排列的等剂量分布曲线

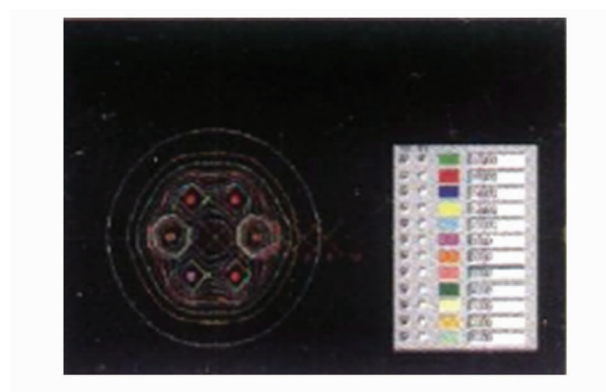


图 3 <sup>125</sup>I 放射性粒子正六边形排列的等剂量分布曲线

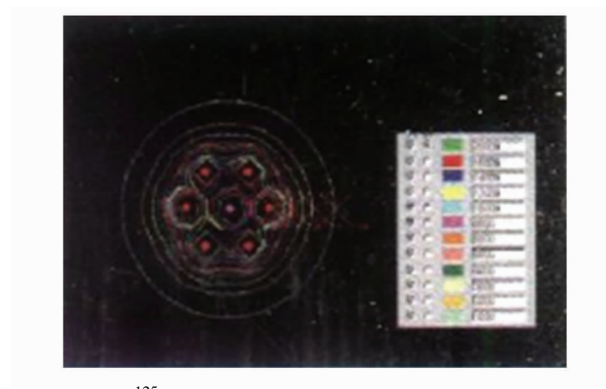


图 4 <sup>125</sup>I 粒子正六边形中心点加 1 个粒子排列的等剂量分布曲线

2.3 正六边形排列与粒子均匀植布的关系 根据正六边形原理,其 6 个顶点到中心点距离都相等。根据粒子的放射性半径,粒子分布区域向外通常外扩展 0.5 cm 到达瘤体边缘,那么,边长是 1 cm 的正六边形排列对应的粒子植入对应圆的半径应为 1.5 cm,其 6 个顶点到中心点的距离都是 1 cm;边长是 2 cm 的正六边形排列对应的粒子植入对应圆的半径应为 2.5 cm,其边长的中点加 1 颗粒子;边长 3 cm 的正六边形排列对应粒子植入圆的半径应为 3.5 cm,其每条边上每隔 1 cm 加一个点,共加 2 个点;边长 4 cm 的正六边形排列对应粒子植入圆的半径应为 4.5 cm,其每条边上每隔 1 cm 加一个点,共加 3 个点;将这些正六边形相套延申,加上正六边形的中心点,在这个平面范围内任意相邻三点的连线都组成一个等边三角形(见图 5),其边长都为 1 cm,如果将粒子植布到各个点上,那么粒子在这个平面内的分布是均匀的。并且正六边形粒子排列适合于不同直径大小的瘤体治疗。

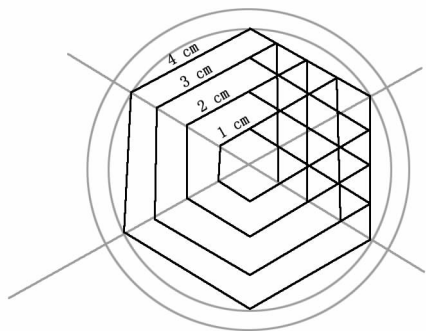


图 5 正六边形排列与粒子均匀植入的关系

### 3 讨论

3.1 放射性 $^{125}\text{I}$ 粒子植入治疗肿瘤的特点 放射性 $^{125}\text{I}$ 粒子植入治疗肿瘤是应用 TPS 设计方案,在现代医学影像引导下将 $^{125}\text{I}$ 粒子按照肿瘤体积、形态、密度以及邻近重要脏器的解剖关系,先由平面再到整体植入肿瘤内,通过其衰变产生的能量在一段时间连续沉积给肿瘤组织,并有效将其杀灭,而最小限度损伤正常组织的一种治疗方法。 $^{125}\text{I}$ 粒子源的物理特征:① $^{125}\text{I}$ 粒子半衰期为 59.6 d,可提供约 3 个半衰期左右的持续照射;②属于低能放射性同位素,其平均能量为 28 keV,辐射距离为 1.7 cm,肿瘤组织连续沉积,而正常组织损伤小;③半价层为 0.003 cm 铅,易于手术医生防护。因而, $^{125}\text{I}$ 粒子植入作为恶性肿瘤综合治疗的重要手段之一,对不同部位、多种类型的实体肿瘤治疗均有较好疗效,应用越来越广泛。

3.2 放射性 $^{125}\text{I}$ 粒子植入与粒子平面几何排列模型的

关系 放射性 $^{125}\text{I}$ 粒子植入治疗肿瘤属于连续性照射,治疗时间是不变的常数,在粒子数量及活度一致的情况下,其剂量分布直接受粒子位置的影响<sup>[8]</sup>。 $^{125}\text{I}$ 粒子植入中,因放射剂量与距离平方呈现反比,随距源距离而下降,且按指数规律衰减,形成单源高剂量梯度。临床应用中的靶区内剂量分布是多源剂量合成<sup>[9-11]</sup>。本研究经过对不同几何形状放射性 $^{125}\text{I}$ 粒子平面植布等剂量曲线的分析,从设计的 4 种粒子植入模型中得出,等边三角形模型与正方形模型,离植入中心 2 cm 处辐射剂量就衰减到 10 Gy 以下。按照正六边形平面模型植入时,离植入中心 2.5 cm 处辐射剂量就衰减到 10 Gy 以下。并且正六边形模型植入 $^{125}\text{I}$ 粒子时,发现平面粒子分布与中心点间距超出 1 cm,从而导致中心点区域出现低剂量。但是,在正六边形模型中心点植入一颗粒子,布源剂量分布均匀,就不再出现剂量学冷点。临床肿瘤治疗只有达到处方剂量,才能提高肿瘤局部控制水平<sup>[12]</sup>。当粒子之间大于一定距离时,会出现低剂量区,即剂量“冷区”,造成剂量分布不均匀,易导致肿瘤的灭活不彻底或复发。相反,当粒子之间小于一定距离时,会使射线能量过于集中,形成剂量“热区”,造成肿瘤组织快速液化坏死,出现粒子聚集现象,形成更高的剂量区域,导致严重的并发症,也成为不必要的浪费。本研究显示粒子不同的平面几何排列方式,存在不同的等剂量曲线,也就是粒子的平面布源方式直接影响剂量效应场的分布,关系到肿瘤的治疗效果与周围正常组织的损伤程度。正六边形及中心点加一颗粒子的几何排列,既无冷点也无热点出现,是最佳的粒子植入模型。这在临床治疗中具有非常重要现实意义。王娟等<sup>[13]</sup>通过研究也发现 $^{125}\text{I}$ 粒子不同分布组织间植入对荷人胃癌裸鼠移植瘤产生不同的疗效影响。

3.3 正六边形几何原理与放射性 $^{125}\text{I}$ 粒子植入的关系

通过对正六边形的几何原理分析,正六边形粒子分布排列,可以根据肿瘤的体积大小,间隔 1 cm 套一个正六边形,从一个到几个正六边形延申相套;从边长 2 cm 开始,在其边上每隔 1 cm 加一个点,其加点数为边长减 1;还要在正六边形中心加一个点,这样任意相邻三点的连线都组成一个等边三角形(见图 5),其边长都为 1 cm,如果将粒子植布到各个点上,那么粒子在这个平面内的分布是均匀,整个平面内无距离粒子大于 1 cm 的低剂量区,也就无剂量学冷点,同时无剂量学热点。并且正六边形粒子排列适合于不同直径大小的瘤体。这就为 $^{125}\text{I}$ 粒子均匀植入治疗不同大小体

积的肿瘤创造了充分可靠的条件。

通过以上实验与数学几何原理分析,我们认为等边三角形排列和正六边形及中心点加一颗粒子的排列模型,是放射性 $^{125}\text{I}$ 粒子植入治疗肿瘤的最优化剂量分布模型,这对指导临床放射性粒子均匀植入治疗肿瘤具有重大指导意义。本研究的不足在于只解决了平面内的粒子均匀植入问题,而未建立三维模型,不利于整个瘤体的粒子植入。下一步在平面模型的基础上,积极开展三维模型研究,并将模型应用于临床,加以统计分析,不断总结、完善。

#### 参考文献

- [1] Logghe P, Verlinde R, Bouttens F, et al. Long term outcome and side effects in patients receiving low-dose  $^{125}\text{I}$  brachytherapy: a retrospective analysis[J]. *Int braz j urol*, 2016, 42(5): 906-917.
- [2] Pons-Llanas O, Roldan-Ortega S, Celada-Alvarez F, et al. Permanent seed implant brachytherapy in low-risk prostate cancer: Preoperative planning with 145Gy versus real-time intraoperative planning with 160Gy[J]. *ReportsofPracticalOncology & Radiotherapy*, 2018, 23(4): 290-297.
- [3] Wang W, Liu Z H, Zhu J R, et al. Brachytherapy with iodine 125 seed for bone metastases[J]. *J Can Res Ther*, 2017, 13(5): 742-747.
- [4] Huang H, Xu S N, Li F S, et al. Clinical application of computed tomography-guided  $^{125}\text{I}$  seed interstitial implantation for head and neck cancer patients with unmanageable cervical lymph node metastases[J]. *Eur J Med Res*, 2016, 21: 18.
- [5] 侯帅,张辰宇,陶冶,等.  $^{125}\text{I}$  粒子联合手术治疗口腔颌面部腺样囊性癌的疗效观察[J]. *解放军医学院学报*, 2016, 37(6): 564-566.
- [6] Zhang Q Z, Zhang K Y, Xie B, et al. Analysis of curative effect of  $^{125}\text{I}$  Implantation combined with radiofrequency ablation in treating bone metastases[J]. *Journal of Bone Oncology*, 2018, 11(1): 23-26.
- [7] Huang M W, Wu W J, Lv X M, et al. The role of  $^{125}\text{I}$  interstitial brachytherapy for inoperable parotid gland carcinoma[J]. *Brachytherapy*, 2018, 17(1): 244-249.
- [8] 唐富龙,张宏涛,于慧敏,等. 放射性 $^{125}\text{I}$  粒子平面布源剂量的分布研究[J]. *现代肿瘤医学*, 2015, 23(3): 409-412.
- [9] 何丽娟,殷春许,张岭,等.  $^{125}\text{I}$  粒籽植入放射工作人员受照剂量评估[J]. *中国辐射卫生*, 2019, 28(2): 139-142, 147.
- [10] 刘亚洲,袁成,施林心,等. 放射性粒子植入技术治疗恶性肿瘤进展[J]. *中国辐射卫生*, 2018, 27(4): 390-394.
- [11] 张灶钦,傅强,耿继武,等.  $^{125}\text{I}$  粒籽植入治疗辐射防护及关键控制技术探讨[J]. *中国辐射卫生*, 2018, 27(2): 102-105.
- [12] 王俊杰,田素青,李金娜,等. 放射性 $^{125}\text{I}$  粒子平面永久插植布源剂量分布研究[J]. *中国微创外科杂志*, 2005, 11(12): 1061 - 1062.
- [13] 王娟,王绍其,徐建彬,等.  $^{125}\text{I}$  粒子不同分布组织间植入对荷人胃癌裸鼠移植瘤疗效的影响[J]. *中华核医学杂志*, 2008, 28(5): 313-316.

收稿日期:2019-06-13