

## •非血管介入 Non-vascular intervention•

肺癌  $^{125}\text{I}$  粒子植入术后 SPECT/CT 计数值与  
剂量分布及疗效关系初探

白 钧, 高 贞, 闵学雅, 徐 克, 杜志强, 于慧敏, 底学敏, 杨双臣,  
魏世鸿, 张宏涛

**【摘要】 目的** 了解肺癌  $^{125}\text{I}$  粒子植入术后 SPECT/CT 放射性浓聚计数值与剂量分布及疗效的关系。  
**方法** 选取 2019 年 1 月至 2021 年 5 月行  $^{125}\text{I}$  粒子植入治疗的肺癌患者 11 例。处方剂量 (prescription dose, PD) 140 Gy, 粒子活度 0.5~0.8 mCi, 粒子数 20~77 颗。 $^{125}\text{I}$  粒子植入术后首日行 SPECT/CT 扫描, 将 SPECT 图像与 CT 图像融合, 调节融合图像的放射性浓聚感兴趣区域 (region of interest, ROI), 找到放射性计数值为 200 及 300 所对应的曲线, 截取包含肿瘤各层面完整图像, 将图像传入计算机治疗计划系统 (treatment planning system, TPS), 勾画肿瘤靶区及危及器官。计算计数值 200 及 300 曲线所覆盖的体积与肿瘤靶体积之比  $R_{V200}$  及  $R_{V300}$ 。随访 2~4 个月, 复查胸部 CT 并导入 TPS, 计算肿瘤体积缩小值与原肿瘤靶体积之比  $R_{Vt}$  及平均每月体积缩小比  $R_1$ 。分别将  $R_{V200}$ 、 $R_{V300}$  与  $R_1$  关联并得出关系曲线及公式。  
**结果**  $V_{C200}$ 、 $V_{C300}$ 、 $V$ 、 $R_{V200}$ 、 $R_{V300}$ 、 $R_1$  分别为 (47.02±29.85) cc、(29.18±21.85) cc、(42.27±31.99) cc、(1.22±0.29)、(0.75±0.28)、(0.23±0.13)。计数值分别为 200、300 体积覆盖比与肿瘤体积每月缩小比呈对数关系, 拟合公式为:  $R_1=0.53\times\log(R_{V200})+0.13$ ;  $R_1=0.50\times\log(R_{V300})+0.36$ 。  
**结论** SPECT/CT 放射性浓聚计数值为基础的参数与  $^{125}\text{I}$  粒子术后靶体积变化有相关性, 当  $R_{V200}>1.09$  时疗效更好, 可预测肺癌  $^{125}\text{I}$  粒子植入后的疗效。

**【关键词】** 肺癌;  $^{125}\text{I}$  粒子; SPECT/CT; 剂量分布; 疗效预测

中图分类号: R730.55 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2023)-03-0240-03

**The relationship of the SPECT/CT count value to dose distribution and curative effect in patients with lung cancer after receiving  $^{125}\text{I}$  seed implantation: a preliminary study** BAI Jun, GAO Zhen, MIN Xueya, XU Ke, DU Zhiqiang, YU Huimin, DI Xuemin, YANG Shuangchen, WEI Shihong, ZHANG Hongtao. Longxi County Wenfeng Community Hospital, Dingxi City, Gansu Province 748100, China

Corresponding author: ZHANG Hongtao, E-mail: hongtaozhangmd@163.com

**【Abstract】 Objective** To explore the relationship of the SPECT/CT radioactive concentration count value to dose distribution and curative effect in patients with lung cancer after receiving  $^{125}\text{I}$  seed implantation  
**Methods** The clinical data of a total of 11 patients with lung cancer, who received  $^{125}\text{I}$  seeds implantation at the Longxi County Wenfeng Community Hospital of China between January 2019 and May 2021, were retrospectively analyzed. The prescription dose (PD) was 140 Gy, the activity of  $^{125}\text{I}$  seed was 0.5–0.8 mCi, and the number of used  $^{125}\text{I}$  seeds was 20–77 particles. On the first day after  $^{125}\text{I}$  seed implantation SPECT/CT scan was performed, the SPECT images were fused with the CT images, the region of interest (ROI) of radioactive concentration on the fused image was adjusted to find out the curves corresponding to 200 and 300 radioactive concentration count values, the complete images containing all levels of the tumor were intercepted, and the images were input into the computer treatment planning system (TPS) to delineate the tumor target area and the organs at risk. Then the ratios of the volume, which was covered by the curve of count values 200 and 300, to the tumor target volume  $R_{V200}$  and  $R_{V300}$  were calculated. The patients were followed up for 2–4 months, chest CT was reexamined and the images were input into TPS. The ratio of tumor volume reduction to the original tumor target volume  $R_{Vt}$ , and the average monthly volume reduction ratio  $R_1$  were calculated. Finally,

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2023.03.008

作者单位: 748100 甘肃陇西 陇西县文峰社区医院 (白 钧); 河北省人民医院肿瘤一科 (高 贞、闵学雅、徐 克、于慧敏、底学敏、张宏涛), 核医学科 (杨双臣); 衡水市第二人民医院肿瘤一科 (杜志强); 甘肃省肿瘤医院放疗科 (魏世鸿)

通信作者: 张宏涛 E-mail: hongtaozhangmd@163.com

$R_{V200}$ ,  $R_{V300}$  were separately associated with  $R_1$ , and the relationship curves were drawn and the formulae were obtained. **Results** The mean  $V_{C200}$ ,  $V_{C300}$ ,  $V$ ,  $R_{V200}$ ,  $R_{V300}$ , and  $R_1$  were  $(47.02 \pm 29.85)$  cc,  $(29.18 \pm 21.85)$  cc,  $(42.27 \pm 31.99)$  cc,  $(1.22 \pm 0.29)$ ,  $(0.75 \pm 0.28)$  and  $(0.23 \pm 0.13)$  respectively. The volume coverage ratios with count values of 200 and 300 had a logarithmic relationship to the monthly tumor volume reduction ratios, the fitting formula was:  $R_1 = 0.53 \times \log(R_{V200}) + 0.13$ ;  $R_1 = 0.50 \times \log(R_{V300}) + 0.36$ . **Conclusion** The parameters based on the SPECT/CT radioactive concentration count values are well correlated with the changes of the target volume after  $^{125}\text{I}$  seeds implantation. Better curative effect can be obtained when  $R_{V200}$  is  $> 1.09$ . This method can be used for predicting the curative effect of  $^{125}\text{I}$  seeds implantation in patients with lung cancer. (J Intervent Radiol, 2023, 32: 240-242)

**【Key words】** lung cancer;  $^{125}\text{I}$  seed; SPECT/CT; dose distribution; prediction of curative effect

$^{125}\text{I}$  粒子植入治疗中晚期肺癌疗效肯定<sup>[1-3]</sup>。粒子植入术后验证剂量主要根据 CT 图像, 应用治疗计划系统 (treatment planning system, TPS) 计算所得<sup>[4]</sup>。研究发现, SPECT/CT 探测的粒子放射性浓聚计数值可量化, 并与粒子周边剂量有相关性<sup>[5]</sup>。本研究将 SPECT/CT 显像用于肺癌粒子植入术后, 初步探究以 SPECT/CT 放射性浓聚计数值为基础的参数与粒子植入术后靶体积变化的关系, 以期得出  $^{125}\text{I}$  粒子植入后剂量与疗效之间的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 一般资料

选取 2019 年 1 月至 2021 年 5 月 CT 引导下  $^{125}\text{I}$  粒子植入治疗的肺癌患者 11 例, 术后 24 h 内行 SPECT/CT 扫描显像。纳入标准: ①经病理诊断为肺癌, 为可测量或者可评价的实体肿瘤, 手术及放疗后局部复发, 且同意行粒子植入术; ②各重要器官无严重功能障碍, 可耐受粒子植入术; ③功能状态 (performance status, PS) 评分  $< 3$  分; ④白细胞计数  $\geq 3.0 \times 10^9/\text{L}$ , 中性粒细胞计数  $\geq 1.5 \times 10^6/\text{L}$ , 血红蛋白  $\geq 90 \text{ g/L}$ , 血小板计数  $\geq 100 \times 10^9/\text{L}$ ; ⑤预计生存期  $> 3$  个月。排除标准: ①重要器官有严重功能障碍, 或无法耐受粒子植入术; ②体位无法配合者; ③PS 评分  $> 3$  分; ④白细胞计数  $< 3.0 \times 10^9/\text{L}$ , 中性粒细胞计数  $< 1.5 \times 10^6/\text{L}$  或有严重的凝血功能异常; ⑤预计生存期  $< 3$  个月。

### 1.2 术前准备及粒子植入

术前 1 周内行 CT 增强扫描定位, TPS 中导入 CT 图像, 勾画靶区, 粒子布源, 选用粒子活度为  $0.5 \sim 0.8 \text{ mCi}$ , 处方剂量 (prescription dose, PD) 为  $140 \text{ Gy}$ , 确定植入位置并计算粒子数目。术中采用局麻, CT 引导, 避开重要血管及神经, 按 TPS 计划, 植入粒子, 外密内疏布源, 粒子间距为  $0.5 \sim 1 \text{ cm}$ 。

### 1.3 扫描 SPECT/CT 及图像融合

术后 24 h 内行 SPECT/CT 扫描及显像, 扫描过

程中避免移动。SPECT 图像采集条件: 双探头平行采集, 分别旋转  $180^\circ$ ,  $10 \text{ s/帧}$ , 矩阵设定  $128 \times 128$ , 放大 1.0 倍, 能量水平设定  $35.5 \text{ keV}$ , 能量窗宽 30%; CT 图像采集条为:  $120 \text{ kV}$ ,  $250 \text{ mA}$ , 层间隔  $3.75 \text{ mm}$ 。将数据传至 Xeleris 图像后处理工作站进行 SPECT 图像与 CT 图像融合。

### 1.4 图像处理及数据记录

将 SPECT/CT 融合图像在 Xeleris 图像后处理工作站中打开, 打开放射性浓聚 ROI 显示功能, 调节 ROI 内计数值的上限值和下限值使其差值为 1, 此时 ROI 边界所有计数值相等。调整 ROI 的大小, 找到计数值为 200 及 300 所对应的曲线, 截取包含肿瘤各层面完整图像序列, 将图像序列传入 TPS, 行术后验证计划。设定层间隔为  $3.75 \text{ mm}$  并与原图匹配相同比例尺, 分别逐层勾画肿瘤靶区、计数值 200 所覆盖区域、计数值 300 所覆盖区域以及危及器官, 利用 TPS 计算出肿瘤靶体积  $V$ , 并将计数值为 200 及 300 曲线放射性浓聚所覆盖的体积定义为  $V_{C200}$ 、 $V_{C300}$ , 计算  $V_{C200}$ 、 $V_{C300}$  与  $V$  之比  $V_{C200}/V$ 、 $V_{C300}/V$ , 定义为  $R_{V200}$ 、 $R_{V300}$ 。所有患者术后随访 2~4 个月, 随访月数定义为  $t$ , 将最后一次复查的胸部 CT 导入 TPS, 再次勾画缩小后肿瘤靶区, 定义为  $V_t$ , 假设术后到随访时肿瘤以均匀速度向心缩小, 计算肿瘤体积缩小值  $(V - V_t)$  与原肿瘤靶体积  $V$  之比  $(V - V_t)/V$ , 定义为  $R_v$ , 则每月缩小比为  $R_v/t$ , 定义为  $R_1$ 。肿瘤每月缩小比大于 15%~20% 时疗效更好<sup>[6]</sup>, 参照此标准, 将  $R_1$  等于 15% 代入公式, 得到对应的  $R_{V200}$  及  $R_{V300}$  值。

## 2 结果

11 例患者中, 男性 8 例, 女性 3 例, 年龄  $57 \sim 80$  岁。鳞癌 8 例, 腺癌 3 例。最大径乘积  $1.7 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm} \sim 7.4 \text{ cm} \times 4.6 \text{ cm}$ , 植入粒子 20~77 颗, 放射性活度  $0.5 \sim 0.8 \text{ mCi}$ , PD 均为  $140 \text{ Gy}$ , 见表 1。D90 为  $(130.56 \pm 40.26) \text{ Gy}$ 。体积相关参数:  $V_{C200}$ 、 $V_{C300}$ 、 $V$ 、 $R_{V200}$ 、 $R_{V300}$ 、 $R_1$  分别为  $(47.02 \pm 29.85) \text{ cc}$ 、 $(29.18 \pm 21.85) \text{ cc}$ 、

(42.27±31.99) cc、(1.22±0.29)、(0.75±0.28)、(0.23±0.13),范围分别为(13.4~112.4) cc、(1.4~81.3) cc、(11.2~109.5)cc、(0.78~1.82)、(0.04~1.2)、(0.04~0.49)。分别选择计数值为 200、300 曲线放射性浓聚所覆盖体积占靶体积的体积覆盖比  $R_{V200}$ 、 $R_{V300}$ ,与随访肿瘤体积每月缩小比  $R_t$  相拟合,得到计数值分别为 200、300 体积覆盖比与肿瘤体积每月缩小比的关系曲线,拟合公式为: $R_t=0.53 \times \log(R_{V200})+0.13$ ,曲线  $R^2=0.697$ ,  $F=18.409$ ,  $Sig=0.003$ ;  $R_t=0.50 \times \log(R_{V300})+0.36$ ,曲线  $R^2=0.630$ ,  $F=13.645$ ,  $Sig=0.006$ 。病例 1 为分次植入粒子, SPECT/CT 数据为第 1 次术后采集,因此不适合预测疗效,故在曲线拟合时未用该病例的数据。将  $R_t=15\%$  分别代入公式,得到  $R_{V200}=1.09$  及  $R_{V300}=0.38$ 。

表 1 患者一般资料

病例序号	性别	年龄(岁)	肿瘤部位及病理诊断	植入时间	肿瘤最大垂直径乘积(mm×mm)
1	男	62	右肺下叶后基底段鳞癌	2019-01-22	42×36
2	男	71	左肺上叶尖后段鳞癌	2019-08-12	29×30
3	男	58	右肺下叶基底段鳞癌	2019-11-04	27×23
4	女	80	左肺上叶尖后段腺癌	2020-03-30	37×32
5	男	72	右下肺门鳞癌	2020-04-20	50×41
6	女	59	右肺上叶纵隔旁鳞癌	2020-05-19	43×20
7	女	57	左肺上叶尖后段腺癌	2020-11-04	16×16
8	男	68	右下肺门鳞癌	2020-12-09	74×46
9	男	60	右肺中叶外侧段腺癌	2020-12-14	17×15
10	男	69	右肺上叶后段鳞癌	2020-12-28	32×28
11	男	73	左肺上叶前段纵隔旁鳞癌	2021-05-11	66×42

### 3 讨论

CT 引导下放射性  $^{125}\text{I}$  粒子植入术具有安全、快速、微创、疗效确切和并发症少等优点<sup>[7-8]</sup>,越来越多地用于治疗中晚期肺癌。

粒子植入治疗的效果与处方剂量对靶区的覆盖程度紧密相关,故粒子植入术后的剂量验证就显得尤为重要。以 CT 图像为基础应用 TPS 进行的剂量计算,仍是目前剂量验证的主要方法<sup>[4]</sup>,而此方法必须提前预知粒子活度、位置、数目后计算剂量,存在粒子影重叠后识别困难,粒子的活度、位置、数目确认时产生可能的误差,人为计算误差等问题<sup>[9]</sup>。

SPECT 可以探测到从患者体内植入粒子所发射的  $\gamma$  射线<sup>[10]</sup>。赵宪芝等<sup>[9]</sup>的研究提示, SPECT/CT 显像能够可视化粒子周围的剂量,粒子植入术后利用 SPECT/CT 显像行剂量验证优势明显,可作为粒子植入术后剂量验证的方法。本研究将 11 例肺癌患者术后病灶计数值为 200(相当于 100%PD)及 300(相当于 150%PD)的体积覆盖比  $R_{V200}$ 、 $R_{V300}$  与肿瘤体积

每月缩小比  $R_t$  相关联,两者均呈对数关系。 $R_{V200}$  为 (1.22±0.29),经随访术后肿瘤均有不同程度缩小,说明  $R_{V200}$  达到一定程度时,患者会有较好疗效。本研究得出当  $R_{V200}>1.09$  时,疗效更好。

SPECT/CT 做粒子植入术后的剂量验证,具有简单、无创、剂量可视化等特点,更加的直观、易理解,且可执行度高、误差低,明显优于传统剂量验证方法。本研究初步探索了 SPECT/CT 放射性浓聚程度与肺癌粒子术后肿瘤体积变化比的相关性,当  $R_{V200}$  为 1.0 时,肿瘤体积每月缩小比约为 13%,随着  $R_{V200}$  增大,肿瘤体积每月缩小比逐渐增大。 $R_{V300}$  代表的是粒子的高剂量区,本研究中  $R_{V300}$  为 (0.75±0.28),随访中未发现严重并发症,说明其在肺癌  $^{125}\text{I}$  粒子植入中可能是安全的。

本研究的不足之处是样本量较小,可能会有一定误差;此外随访时间较短,远期并发症可能没有观察到,需要进一步延长随访时间,以得出更准确的参数。

### [参考文献]

- [1] 李任飞,王月东,闫 龔,等.  $^{125}\text{I}$  粒子植入治疗非小细胞肺癌近期疗效评估[J]. 介入放射学杂志, 2014, 23:65-68.
- [2] 李虎子,赵 成,贺 斌,等.  $^{125}\text{I}$  放射性粒子植入联合化疗治疗 III B 期非小细胞肺癌的临床疗效及预后因素分析[J]. 介入放射学杂志, 2021, 30:687-692.
- [3] 刘利军,郭振山,白伊凡,等. 化疗并  $^{125}\text{I}$  粒子植入治疗老年中晚期肺癌的疗效评价[J]. 内蒙古医科大学学报, 2018, 40:481-483,487.
- [4] Davis BJ, Horwitz EM, Lee WR, et al. American Brachytherapy - Society consensus guidelines for transrectal ultrasound - guided permanent prostate brachytherapy[J]. Brachytherapy, 2012, 11:6-19.
- [5] Wang J, Zhang H, Zhao X, et al. The relationship between SPECT/CT with radioactivity uptake count value and dose of ( $^{125}\text{I}$ ) radioactive seeds[J]. Int J Radiat Oncol, 2016, 96:E610-E611.
- [6] 吴 娟,王 娟,隋爱霞,等.  $^{125}\text{I}$  粒子植入术后肿瘤靶体积缩小对剂量的影响[J]. 中华实验外科杂志, 2015, 32: 309.
- [7] 王俊杰,袁慧书,王 皓,等. CT 引导下放射性  $^{125}\text{I}$  粒子组织间植入治疗肺癌[J]. 中国微创外科杂志, 2008, 8:119-121.
- [8] 贡 桔,王忠敏,陈克敏,等. CT 引导下经皮穿刺  $^{125}\text{I}$  粒子植入治疗肺癌的临床应用[J]. 介入放射学杂志, 2009, 18:677-680.
- [9] 赵宪芝,张宏涛,底学敏,等. SPECT/CT 探测  $^{125}\text{I}$  粒子放射性浓聚处计数与周围剂量的关系[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2017, 37:351-354.
- [10] de Swart J, Chan HS, Goorden MC, et al. Utilizing high-energy gamma photons for high-resolution  $^{213}\text{Bi}$  SPECT in mice[J]. J Nucl Med, 2016, 57:486-492.

(收稿日期:2020-01-24)

(本文编辑:新 宇)