

## ·临床研究·

# $^{125}\text{I}$ 放射性粒子植入治疗对不能或不愿手术的早期非小细胞肺癌患者肺功能的影响

郭永涛<sup>1</sup> 张遵城<sup>1</sup> 霍小东<sup>2</sup> 董华<sup>1</sup>

<sup>1</sup>天津医科大学第二医院核医学科 300211; <sup>2</sup>天津医科大学第二医院肿瘤科 300211

通信作者: 张遵城, Email: [zhangzuncheng@sina.com](mailto:zhangzuncheng@sina.com)

**【摘要】**目的 评估 CT 引导下植入  $^{125}\text{I}$  放射性粒子治疗早期 (IA、IB 期) 非小细胞肺癌 (NSCLC) 后对患者肺功能的影响。**方法** 选取 2013 年 10 月至 2018 年 6 月接受  $^{125}\text{I}$  放射性粒子植入治疗的早期 NSCLC 患者 58 例, 根据治疗前的肺功能检测结果将患者分为合并慢性阻塞性肺疾病 (COPD) 组 16 例 (男性 10 例、女性 6 例) 和不合并 COPD 组 42 例 (男性 28 例、女性 14 例), 术后 2~6 个月检测肺功能指标, 包括第一秒用力呼气容积 (FEV<sub>1</sub>)、用力肺活量 (FVC)、肺一氧化碳弥散量 (DL<sub>CO</sub>) 变化的情况。组间比较采用 *t* 检验。**结果** 覆盖 90% 靶体积时的剂量 ( $D_{90}$ ) 为 (114.3±10.2) Gy, 90% 剂量覆盖的靶体积百分比 ( $V_{90}$ ) 为 (92.3±7.2)%, 术后验证匹配周边剂量 (MPD) 的中位值为 112.8 Gy。随访 6 个月, 不合并 COPD 组与合并 COPD 组患者治疗前后的 FVC% 差异均无统计学意义 ( $t=0.70$ 、 $0.20$ , 均  $P>0.05$ )。合并 COPD 组治疗前后的 DL<sub>CO</sub> 之间的差异无统计学意义 ( $t=1.11$ ,  $P=0.563$ ), 但不合并 COPD 组治疗前后的 DL<sub>CO</sub> 之间的差异有统计学意义 ( $t=2.29$ ,  $P=0.019$ )。治疗前后, 合并 COPD 组和不合并 COPD 组肿瘤体积之间的差异均无统计学意义 ( $t=1.82$ 、 $1.26$ , 均  $P>0.05$ ), 但合并 COPD 组和不合并 COPD 组在治疗前后肿瘤体积之间的差异均有统计学意义 ( $t=5.78$ 、 $9.96$ , 均  $P<0.001$ )。根据术后质量验证 MPD 和  $D_{90}$  大小分为 2 组 (>110 Gy 组和 ≤110 Gy 组), 合并 COPD 组和不合并 COPD 组的 FEV<sub>1</sub>% 之间、FVC% 之间的差异均无统计学意义 ( $t=0.54$ 、 $0.37$ 、 $0.21$ 、 $0.22$ , 均  $P>0.05$ )。**结论**  $^{125}\text{I}$  放射性粒子植入治疗早期 NSCLC 对患者 FEV<sub>1</sub>% 和 FVC% 无明显影响, 但能够改善不合并 COPD 且肿瘤明显缩小患者的肺功能。

**【关键词】** 癌, 非小细胞肺; 呼吸功能试验; 碘放射性同位素; 近距离放射疗法

**基金项目:** 天津市教委科研项目计划项目 (自然科学) (2018KJ073)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.03.006

## Effect of $^{125}\text{I}$ implantation on pulmonary function in impossible non-small cell lung cancer

Guo Yongtao<sup>1</sup>, Zhang Zuncheng<sup>1</sup>, Huo Xiaodong<sup>2</sup>, Dong Hua<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Nuclear Medicine, the Second Hospital of Tianjin Medical University, Tianjin 300211, China; <sup>2</sup>Department of Oncology, the Second Hospital of Tianjin Medical University, Tianjin 300211, China

Corresponding author: Zhang Zuncheng, Email: [zhangzuncheng@sina.com](mailto:zhangzuncheng@sina.com)

**【Abstract】 Objective** To evaluate pulmonary function and tumor volume before and after CT-guided radioactive  $^{125}\text{I}$  seed implantation in inoperable patients with and without chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in early-stage (IA, IB) lung cancer. **Methods** From October 2013 to June 2018, 58 patients with early non-small cell lung cancer were treated with  $^{125}\text{I}$  radioactive seed implantation. Patients were divided according to the results of pre-treatment pulmonary function tests: 16 patients (10 males and 6 females) were included in the COPD groups and 42 patients (28 males and 14 females) were included in the No-COPD group. Changes in pulmonary function forced expiratory volume in one second, diffusing capacity of the lungs for carbon monoxide (DL<sub>CO</sub>), and forced vital

capacity were detected within 2–6 months after operation. Statistical analysis was conducted via *t* test.

**Results** The  $D_{90}$  was  $(114.3 \pm 10.2)$  Gy, the  $V_{90}$  was  $(92.3 \pm 7.2)\%$ , and the matched peripheral dose was 112.8 Gy. The pretreatment and post treatment FEV<sub>1</sub>% of the COPD and No-COPD groups were similar at a mean follow-up time of 6 months ( $t=0.70, 0.20$ , both  $P>0.05$ ). The DL<sub>CO</sub> of the COPD group did not change after CT-guided radioactive  $^{125}\text{I}$  seed implantation treatment ( $t=1.11, P=0.563$ ); however, DL<sub>CO</sub> significantly increased in the No-COPD group ( $t=2.29, P=0.019$ ). There was no significant difference in the tumor volume between the COPD group and the No-COPD group before and after treatment ( $t=1.82, 1.26$ , both  $P>0.05$ ), but the difference between the COPD group and the tumor volume of the No-COPD group was statistically significant before and after the treatment ( $t=5.78, 9.96$ , both  $P<0.001$ ). According to postoperative quality validation of MPD and  $D_{90}$ , all the patients were divided into  $>110$  Gy group (34 cases) and  $\leq 110$  Gy group (24 cases), differences in the FEV<sub>1</sub>% and FVC% of the COPD and No-COPD groups after implantation were not statistically significant ( $t=0.54, 0.37, 0.21, 0.22$ , all  $P>0.05$ ). **Conclusion**  $^{125}\text{I}$  implantation therapy for inoperable non-small cell lung cancer does not seem to affect FEV<sub>1</sub>% and FVC% but can shrink tumor volume and improve DL<sub>CO</sub> in patients without COPD

**【 Key words 】** Carcinoma, non-small-cell lung; Respiratory function tests; Iodine radioisotopes; Brachytherapy

**Fund program:** Tianjin Education Commission Research Project (Natural science) (2018KJ073)

DOI: [10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.03.006](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.03.006)

目前, 早期非小细胞肺癌 (non-small cell lung cancer, NSCLC) 标准的治疗手段是手术治疗<sup>[1]</sup>, 但对于无法耐受手术或拒绝手术的患者, 可采用  $^{125}\text{I}$  放射性粒子近距离治疗, 其作为一种精确的内放疗技术, 治疗后患者的不良反应较小, 1 年的局控率达 90%<sup>[2]</sup>。该治疗已受到越来越多医师及患者的青睐, 但该方法给患者带来的肺损伤并未引起重视。在本研究中, 我们对 58 例应用 CT 引导下经皮穿刺植入放射性  $^{125}\text{I}$  粒子治疗的早期 NSCLC 患者进行了研究, 根据是否合并慢性阻塞性肺疾病 (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) 进行分组, 观察治疗前后肺功能的变化情况。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性分析 2013 年 10 月至 2018 年 6 月间在我院肿瘤科住院的 58 例早期 (I、II 期) 单发病灶 NSCLC 患者 (腺癌 40 例、鳞癌 18 例), 其中男性 38 例、女性 20 例, 中位年龄 74 (71~80) 岁。所有患者均经 CT 引导植入  $^{125}\text{I}$  放射性粒子进行治疗。根据《慢性阻塞性肺疾病诊治指南 (2013 年修订版)》标准<sup>[3]</sup>, 将 58 例患者分为 2 组, ①合并 COPD 组: 一秒用力呼气容积 (forced expiratory

volume in one second, FEV<sub>1</sub>)  $\leq 50\%$  预测值、FEV<sub>1</sub>/用力肺活量 (forced vital capacity, FVC)  $\leq 70\%$  的患者, 共 16 例, 其中男性 10 例、女性 6 例, 年龄 (75.0 $\pm$ 4.4) 岁; ②不合并 COPD 组: 42 例, 其中男性 28 例、女性 14 例, 年龄 (73.0 $\pm$ 3.8) 岁。根据术后质量验证匹配周边剂量 (match the peripheral dose, MPD) 和覆盖 90% 靶体积时的剂量 ( $D_{90}$ ) 大小, 可将患者分为  $>110$  Gy 组和  $\leq 110$  Gy 组。所有患者均于术前签署了知情同意书。纳入标准: 不适和或拒绝行手术治疗的早期 (IA、IB 期) 非小细胞肺癌。排除标准: II 期以上非小细胞肺癌患者; 恶液质无法耐受手术的患者。

### 1.2 仪器

放射治疗计划系统 (Radiotherapy Treatment Planning System, TPS) 由北京天航科霖科技发展有限公司生产。CT 为美国 GE 公司生产的 Light Speed VCT。共面模板及定位导航系统由唐山同仁和微创器械有限公司生产。粒子源为中国原子能院生产的  $^{125}\text{I}$  密封籽源, 半衰期为 59.6 d, 粒子中位活度为 25.9 MBq。 $\gamma$  射线能量为 27~35 keV, 半价层为 0.025 mm。

### 1.3 肺功能检测

58 例患者均在粒子治疗前后 2~6 个月进行了

肺功能检查。观察 FEV1、FVC、1 秒率(FEV1%=FEV1/FVC)和肺一氧化碳弥散量(diffusion capacity for carbon monoxide of the lung, DL<sub>CO</sub>)。

#### 1.4 随访

本研究中无失访患者,治疗后不合并 COPD 组 [(125±68)d]与合并 COPD 组 [(122±83)d]随访肺功能检查时间之间的差异无统计学意义( $t=0.14$ ,  $P=0.723$ )。

#### 1.5 治疗方法

处方剂量为 120 Gy,应用 TPS 根据术前 CT 扫描(管电压 120 KV,管电流 180 mA,扫描层厚 5 mm)勾画靶区做出术前计划,确定穿刺部位。植入粒子的中位数为 13 粒(7~21 粒)。使用定位导航系统及共面模板精确定位,按术前计划以间隔 1 cm 排布植入针,如遇肋骨遮挡,以专用骨钻钻穿肋骨,推入植入针。CT 再次扫描确定准确位置,完成各层面布针,然后在真实的进针轨迹上排布粒子,进行术中剂量优化,以退针方式用植入器按计划植入粒子。将术中粒子植入后获得的 CT 图像以 DICOM 格式输入 TPS 系统,进行术后剂量评估,导出剂量体积直方图及各项参数。

#### 1.6 统计学处理

采用 SPSS 13.0 软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,因病例数少采用 Wilcoxon 检验,在方差齐的条件下组间比较采用  $t$  检验。 $P<0.05$  表示差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 术后剂量

$D_{90}$  为(114.3±10.2) Gy,90% 剂量覆盖的靶体积百分比( $V_{90}$ )为(92.3±7.2)%,术后验证 MPD 的中位值为 112.8 Gy。

### 2.2 肺功能检查结果

不合并 COPD 组与合并 COPD 组患者治疗前后的 FVC% 比较,差异无统计学意义( $t=0.70$ 、 $0.20$ ,均  $P>0.05$ )。合并 COPD 组治疗前后 DL<sub>CO</sub> 之间的差异无统计学意义( $t=1.11$ ,  $P=0.563$ ),但不合并 COPD 组治疗前后的 DL<sub>CO</sub> 之间的差异有统计学意义( $t=2.29$ ,  $P=0.019$ )(表 1、表 2)。

由表 3 可见,在粒子植入治疗前后,合并 COPD 组、不合并 COPD 组肿瘤体积的比较差异

**表 1** 42 例不合并 COPD 患者<sup>125</sup>I 粒子植入前后肺功能检查的结果

**Table 1** Result of pulmonary function tests before and after implantation of <sup>125</sup>I seeds in 42 patients with COPD

检测项目	植入前	植入后	$t$ 值	$P$ 值
FEV1(L)	2.00±0.62	2.00±0.48	0.01	0.894
FEV1%	81.00±28.00	83.00±32.00	0.30	0.782
FVC(L)	3.00±0.47	3.00±0.65	0.01	0.912
FVC%	88.00±20.70	91.00±18.80	0.70	0.832
DL <sub>CO</sub>	11.00±6.40	14.00±5.60	2.29	0.019
DL <sub>CO</sub> %	61.00±18.00	69.00±20.00	2.62	0.021

注:表中, COPD:慢性阻塞性肺疾病;FEV1:一秒用力呼气容积;FVC:用力肺活量;DL<sub>CO</sub>:肺一氧化碳弥散量。

**表 2** 16 例合并 COPD 患者<sup>125</sup>I 粒子植入前后肺功能检查的结果

**Table 2** Result of pulmonary function tests before and after implantation of <sup>125</sup>I seeds in 16 patients with COPD

检测项目	植入前	植入后	$t$ 值	$P$ 值
FEV1(L)	1.00±0.17	1.00±0.28	0.01	0.764
FEV1%	40.00±8.30	41.00±6.90	0.37	0.421
FVC(L)	2.00±0.30	2.00±0.40	0.01	0.683
FVC%	61.00±15.00	60.00±13.00	0.20	0.615
DL <sub>CO</sub>	12.00±3.00	13.00±2.00	1.11	0.563
DL <sub>CO</sub> %	48.00±11.00	49.00±12.00	0.25	0.652

注:表中, COPD:慢性阻塞性肺疾病;FEV1:一秒用力呼气容积;FVC:用力肺活量;DL<sub>CO</sub>:肺一氧化碳弥散量。

**表 3** 2 组非小细胞肺癌患者<sup>125</sup>I 粒子植入前后肿瘤体积变化情况

**Table 3** Changes in tumor volume before and after implantation of <sup>125</sup>I seeds in two groups of non-small cell lung cancer patients

患者	肿瘤体积(mm <sup>3</sup> )			$t$ 值	$P$ 值
	例数	植入前	植入后		
合并COPD	16	18±7	7±3	5.78	<0.001
不合并COPD	42	21±5	9±6	9.96	<0.001
$t$ 值		1.82	1.26		
$P$ 值		0.568	0.735		

注:表中, COPD:慢性阻塞性肺疾病。

均无统计学意义( $t=1.82$ 、 $1.26$ ,均  $P>0.05$ ),但合并 COPD 组和不合并 COPD 组在粒子植入前后肿瘤体积之间的差异均有统计学意义( $t=5.78$ 、 $9.96$ ,均  $P<0.001$ )。

根据术后质量验证 MPD 大小可知,>110 Gy 组共有患者 34 例,≤110 Gy 组共有患者 24 例,合并 COPD 组和不合并 COPD 组的 FEV1% 之间

和 FVC% 之间的差异均无统计学意义 ( $t=0.54$ 、 $0.37$ 、 $0.21$ 、 $0.22$ ，均  $P>0.05$ ) (表 4)。

**表 4** 根据<sup>125</sup>I 粒子植入后质量验证 MPD 分组比较两组非小细胞肺癌患者肺功能情况

**Table 4** Comparison of lung function in the two groups according to <sup>125</sup>I post-implantation quality verification MPD

分组	病例数	FEV1%	FVC%
<b>&gt;110 Gy组</b>			
合并COPD	10	41.0±7.6	60.0±11.0
不合并COPD	24	82.0±20.0	90.0±16.5
<b>≤110 Gy组</b>			
合并COPD	24	40.0±5.8	61.0±9.0
不合并COPD	6	83.0±15.0	91.0±18.3

注：表中，MPD：匹配周边剂量；COPD：慢性阻塞性肺疾病；FEV1：一秒用力呼气容积；FVC：用力肺活量。

根据术后质量验证  $D_{90}$  大小可知，>110 Gy 组共有 34 例患者，≤110 Gy 组共有 24 例患者，合并 COPD 组的 FEV1% 之间 ( $t=0.56$ ， $P>0.05$ ) 和 FVC% 之间 ( $t=0.29$ ， $P>0.05$ ) 与不合并 COPD 组的 FEV1% 之间 ( $t=0.30$ ， $P>0.05$ ) 和 FVC% 之间 ( $t=0.24$ ， $P>0.05$ ) 的差异均无统计学意义。

### 3 讨论

早期 NSCLC 的治疗“金标准”是肺叶或全肺手术切除<sup>[1]</sup>。但有部分患者由于生理状况或医源性疾病而不能或不愿接受手术治疗，这部分患者的预后较差，5 年生存率仅为 6%<sup>[4]</sup>。近年来，放射性粒子近距离放疗作为一种精确的、不良反应小、微创介入的内放疗法已受到越来越多医师及患者的青睐。通过 TPS 指导的植入的<sup>125</sup>I 粒子可产生能量为 27~35 keV 的  $\gamma$  射线，半衰期为 59.6 d，能持续对肿瘤进行内照射以达到杀灭肿瘤细胞的目的，在前列腺癌<sup>[5]</sup>、早期肺癌<sup>[2,6]</sup>、中晚期肺癌<sup>[7]</sup>、肺转移癌<sup>[8]</sup> 等实体肿瘤的治疗上均显示出良好的效果。目前的研究报道，<sup>125</sup>I 粒子植入治疗早期 NSCLC 已取得较好疗效<sup>[2]</sup>，1 年累计生存率为 94.4%、2 年为 72.2%、3 年为 66.7%、5 年为 55.6%。Li 等<sup>[6]</sup> 报道，T1-3N0M0 期肺癌 1 年累计生存率为 95.8%、2 年为 75%、3 年为 55%。

随着该治疗方法的广泛应用，目前对疗效关注较多，但该疗法对患者肺功能的影响目前鲜有报道。在立体定向放疗领域，Bishawi 等<sup>[9]</sup> 发现，

FEV1 和 FVC 在治疗前后无明显变化，但在近距离放射治疗肺癌方面未见报道。

本研究通过根据是否合并 COPD 分组观察治疗前后肺功能指标变化，结果发现 FEV1 和 FVC 在治疗前后均无明显改变，这表明<sup>125</sup>I 粒子近距离治疗早期 NSCLC 是安全的。在使用立体定向放疗治疗肺癌时，Henderson 等<sup>[10]</sup> 发现 FEV1 和 DL<sub>CO</sub> 与生存率无关，但发现 DL<sub>CO</sub> 是研究肺损伤的重要指标。我们在研究中发现，在不合并 COPD 组中，DL<sub>CO</sub> 放射性粒子植入前后差异显著，考虑可能是随着肿瘤体积缩小，不合并 COPD 组的患者肺功能储备释放，减少了小气道阻塞，改善了其弥散功能；而合并 COPD 组的患者 DL<sub>CO</sub> 无明显改善，考虑 COPD 肺功能处于代偿阶段，无更多储备释放。总之，不合并 COPD 组的患者，随着肿瘤体积的缩小，肺功能同时得到进一步改善，但 DL<sub>CO</sub> 作为预后指标尚有待进一步的研究。

在外照射放疗后，肺功能受损的严重程度与超过肺耐受剂量(阈值)的受照体积的大小存在着非常密切的关系，目前接受超过 20 Gy 的肺体积百分比  $V_{20}$  是临床应用最广泛的评价治疗计划的剂量参数<sup>[11]</sup>，但对于近距离粒子植入放疗目前无明确概念。本研究结果发现，根据术后质量验证，MPD 和  $D_{90}$  分组肺功能无明显改变，考虑有以下原因：①外照射在靶区内的剂量通常比较均匀，而在放射性粒子近距离治疗中，多源剂量合成后靶区内剂量分布相对不均匀。②在外照射放疗中，尤其是立体定向放疗和调强适形放疗中，接受中低剂量照射的正常组织体积较大。而在近距离放疗中，因近距离平方反比定律和指数衰减规律的作用，与靶区邻近的正常组织的剂量迅速降低。③外照射放疗中，剂量分布受患者及其内部器官运动、摆位误差的影响。而在近距离放疗中，剂量分布不受患者或其内部器官运动的影响。对单个粒子的位置误差相对不敏感，粒子移位和迁移对剂量分布的影响较小。因此近距离放疗对肺功能的影响相对较小。在本研究中，我们的中位随访时间是 3.8 个月，随访时间相对较短，对肺功能长期的影响有待进一步的多中心合作研究。

综上所述，虽然植入<sup>125</sup>I 放射性粒子治疗肺癌在我国发展迅猛，但其对肺的短期及长期的损伤的

研究较少。本研究结果表明,  $^{125}\text{I}$  近距离放射治疗早期 NSCLC 是安全的, 能够改善不合并 COPD 且肿瘤明显缩小者的肺功能。

**利益冲突** 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展, 不涉及任何利益冲突。

**作者贡献声明** 郭永涛负责论文设计和撰写; 张遵城负责论文审阅; 霍小东负责搜集临床病历资料和数据统计; 董华负责数据分析和结果分析。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Jia B, Zheng QW, Qi XM, et al. Survival comparison of right and left side non-small cell lung cancer in stage I-IIIa patients: A Surveillance Epidemiology and End Results (SEER) analysis[J]. *Thorac Cancer*, 2019, 10(3): 459-471. DOI: 10.1111/1759-7714.12959.
- [ 2 ] 杨景魁, 霍小东, 闫卫亮, 等. CT 引导下经皮穿刺  $^{125}\text{I}$  粒子植入治疗非手术的早期非小细胞肺癌疗效分析[J]. *中华老年医学杂志*, 2014, 33(7): 757-759. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2014.07.018.
- Yang JK, Huo XD, Yan WL, et al. Effect of CT-guided  $^{125}\text{I}$  seeds implant brachytherapy on early non-small cell lung cancer[J]. *Chin Geriatr*, 2014, 33(7): 757-759. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2014.07.018.
- [ 3 ] 中华医学会呼吸病学分会慢性阻塞性肺疾病学组. 慢性阻塞性肺疾病诊治指南 (2013 年修订版)[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2013, 36(4): 1-10. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2013.04.000.
- Chronic Obstructive Pulmonary Disease Group, Society of Respiratory Diseases, Chinese Medical Association. Diagnosis and treatment guidelines of chronic obstructive pulmonary disease (2013 revised edition)[J]. *Chin J Tuberc Respir Dis*, 2013, 36(4): 1-10. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2013.04.000.
- [ 4 ] Lemjabbar-Alaoui H, Hassan OU, Yang YW, et al. Lung cancer: biology and treatment options[J]. *Biochim Biophys Acta*, 2015, 1856(2): 189-210. DOI: 10.1016/j.bbcan.2015.08.002.
- [ 5 ] Logghe P, Verlinde R, Bouttens F, et al. Long term outcome and side effects in patients receiving low-dose I125 brachytherapy: a retrospective analysis[J]. *Int Braz J Urol*, 2016, 42(5): 906-917. DOI: 10.1590/S1677-5538.IBJU.2015.0542.
- [ 6 ] Li JK, Yu M, Xiao YY, et al. Computed tomography fluoroscopy-guided percutaneous  $^{125}\text{I}$  seed implantation for safe, effective and real-time monitoring radiotherapy of inoperable stage T1-3N0M0 non-small-cell lung cancer[J]. *Mol Clin Oncol*, 2013, 1(6): 1019-1024. DOI: 10.3892/mco.2013.171.
- [ 7 ] 霍小东, 郑广钧, 柴树德, 等. CT 引导下  $^{125}\text{I}$  放射性粒子植入治疗 III 期非小细胞肺癌疗效分析[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2012, 32(2): 199-203. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2012.02.023.
- Huo XD, Zheng GJ, Chai SD, et al. Clinical efficacy of CT-guided  $^{125}\text{I}$  radioactive seeds implantation for stage III of non-small cell lung cancer[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2012, 32(2): 199-203. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2012.02.023.
- [ 8 ] Huo XD, Huo B, Wang HX, et al. Percutaneous computed tomography-guided permanent  $^{125}\text{I}$  implantation as therapy for pulmonary metastasis[J]. *J Contemp Brachytherapy*, 2018, 100(2): 132-141. DOI: 10.5114/jcb.2018.75598.
- [ 9 ] Bishawi M, Kim B, Moore WH, et al. Pulmonary Function Testing After Stereotactic Body Radiotherapy to the Lung[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2012, 82(1): e107-e110. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2011.01.037.
- [ 10 ] Henderson M, McGarry R, Yiannoutsos C, et al. Baseline Pulmonary Function as a Predictor for Survival and Decline in Pulmonary Function Over Time in Patients Undergoing Stereotactic Body Radiotherapy for the Treatment of Stage I Non-Small-Cell Lung Cancer[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 72(2): 404-409. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2007.12.051.
- [ 11 ] Niezink AGH, de Jong RA, Muijs CT, et al. Pulmonary Function Changes After Radiotherapy for Lung or Esophageal Cancer: A Systematic Review Focusing on Dose-Volume Parameters[J]. *Oncologist*, 2017, 22(10): 1257-1264. DOI: 10.1634/theoncologist.2016-0324.

(收稿日期: 2019-03-22)