

# 肺部肿瘤立体定向放疗技术中基于锥形束CT影像的摆位误差分析

王焱<sup>1</sup>, 蔡钢<sup>1,2</sup>, 陆维<sup>1</sup>, 许青<sup>1</sup>

1. 复旦大学附属肿瘤医院放射治疗科, 复旦大学上海医学院肿瘤学系, 上海 200032
2. 上海交通大学医学院附属瑞金医院放射治疗科, 上海 200025

**[摘要]** 背景与目的: 准确的靶区位置是肺部肿瘤立体定向放疗的重要影响因素。该研究旨在分析在肺部肿瘤患者立体定向放疗中基于锥形束CT(cone-beam CT, CBCT)影像的摆位误差及其影响因素。方法: 29例单发肺部恶性肿瘤行立体定向放疗的患者, 每次放疗前行CBCT扫描, 将得到的CBCT图像与定位CT图像匹配, 获得前后、头脚和左右方向的摆位误差值, 并计算临床靶区(clinical target volume, CTV)外扩至计划靶区(planning target volume, PTV)的边界。同时, 还分析对可能影响摆位误差的临床参数等进行分层比较。结果: 29例患者共获得155幅CBCT图像。考虑误差方向时前后、头脚和左右方向摆位误差分别为(-1.68 ± 3.62)、(-1.34 ± 3.90)和(0.36 ± 2.15) mm, 只考虑误差数值大小时分别为(3.16 ± 2.42)、(3.29 ± 2.48)和(1.74 ± 1.30) mm。根据摆位误差得到CTV外扩至PTV的边界在前后、头脚和左右方向分别为9.6、10.0和5.3 mm。病灶位于周围的肺部肿瘤患者前后方向摆位误差更大( $P=0.007$ ), 下肺病灶、右肺病灶、肺转移灶在头脚方向摆位误差更大( $P=0.008$ 、 $0.000$ 和 $0.000$ )。结论: 肺部肿瘤患者放疗中的头脚和前后方向摆位误差较大, 立体定向放疗需采用锥形束CT扫描、呼吸控制等技术以减少摆位误差。

**[关键词]** 锥形束CT; 立体定向放疗; 肺部肿瘤; 摆位误差

DOI: 10.19401/j.cnki.1007-3639.2017.06.017

中图分类号: R734.2 文献标志码: A 文章编号: 1007-3639(2017)05-0501-04

**Analysis of setup errors in lung stereotactic body radiotherapy with cone-beam CT-based image guidance** WANG Yan<sup>1</sup>, CAI Gang<sup>1,2</sup>, LU Wei<sup>1</sup>, XU Qing<sup>1</sup> (1. Department of Radiation Oncology, Fudan University Shanghai Cancer Center, Department of Oncology, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China; 2. Department of Radiation Oncology, Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medical, Shanghai 200025, China)

Correspondence to: CAI Gang E-mail: caigangcg@163.com

**[Abstract]** **Background and purpose:** Correct target positioning is an important factor affecting the precision of stereotactic body radiotherapy (SBRT) in patients with lung tumors. This study investigated the setup errors in patients with malignant lung tumors receiving SBRT with cone-beam CT (CBCT) and analyzed the factors influencing setup errors. **Methods:** Twenty-nine patients with solitary malignant lung tumors were enrolled in the study. Each patient underwent SBRT with CBCT before each treatment. Setup errors in CBCT were obtained according to the matched and planned CT images in anterior-posterior (AP), superior-inferior (SI) and left-right (LR) directions. The expanding margins of clinical target volume (CTV) to planning target volume (PTV) according to the analyzed setup errors were then calculated. And the influencing factors of setup errors were analyzed. **Results:** A total of 155 CBCT images from 29 patients were obtained during the treatment. The setup errors were (-1.68±3.62), (-1.34±3.90) and (0.36±2.15) mm in the AP, SI and LR directions, respectively. The absolute setup errors were (3.16±2.42), (3.29±2.48) and (1.74±1.30) mm in the AP, SI and LR directions, respectively. The suggested expanding margins of CTV to PTV were 9.6, 10.0 and 5.3 mm in the AP, SI and LR directions according to the setup errors. The setup errors in the AP direction of peripheral lesions and in the SI direction of inferior, right and metastatic lesions were relatively larger

( $P=0.007, 0.008, 0.000$  and  $0.000$ ). **Conclusion:** In patients with malignant lung tumors receiving SBRT, the setup errors were more obvious in the SI and AP directions. Tumor motion management techniques including CBCT, breath-holding technique are required to reduce the setup error in patients with lung tumors receiving SBRT.

[ **Key words** ] Cone-beam CT; Stereotactic body radiotherapy; Lung neoplasms; Setup error

精确放射治疗已经成为现代肺部肿瘤放疗的主要技术, 尤其是精度要求更高的立体定向放疗技术<sup>[1]</sup>。对于早期病灶体积较小的肺癌患者, 立体定向放疗已证实可作为不能耐受或拒绝手术治疗患者的替代治疗方案<sup>[2-3]</sup>; 对于晚期的肺寡转移患者, 立体定向放疗也可以使患者获得更好的局部控制<sup>[4]</sup>。准确的靶区位置是肺部肿瘤立体定向放疗的重要影响因素。本研究通过分析锥形束CT(corn-beam CT, CBCT)在肺部肿瘤患者立体定向放疗中的摆位误差及其影响因素, 为肺部肿瘤立体定向放疗提供一定的临床参考。

## 1 资料和方法

### 1.1 入组标准

KPS评分大于等于70, 有组织学或细胞学证实为恶性肿瘤, 无胸部放疗史, 肺部单发病灶, 肺原发癌或肺转移癌, 早期患者拒绝行手术治疗, 患者知情同意行肺部病灶立体定向放疗。

### 1.2 一般资料

2013年12月—2014年6月复旦大学附属肿瘤医院放疗科收治的29例单发肺部恶性病灶行立体定向放疗的患者, 男性22例, 女性7例。年龄28~83岁(中位年龄61岁)。原发肺癌放疗12例, 肺转移癌放疗17例(原发肺癌6例, 原发食管癌6例, 原发乳腺癌2例, 原发肠癌2例, 原发喉癌1例)。病灶位于中央区13例, 周围区16例。病灶位于左肺10例, 右肺19例。病灶位于肺上部14例, 肺下部15例。

### 1.3 放疗方法

#### 1.3.1 体位固定

患者仰卧位, 头不偏, 上身裸露平躺于MT-SIN posirest手臂托架(购自美国CIVCO公

司), 双上臂外展上举。

#### 1.3.2 CT定位及治疗计划

平静呼吸下行飞利浦85 cm孔径40排螺旋CT扫描, 层厚为5 mm, 扫描范围自环甲膜至膈肌下缘, CT图像经网络传输至Eclipse治疗计划系统, 参照ICRU第50号报告进行肿瘤区(gross tumor volume, GTV)、临床靶区(clinical target volume, CTV)、计划靶区(planning target volume, PTV)及脊髓、全肺、心脏等正常组织的勾画。物理师设计治疗计划, 处方剂量48~60 Gy, 共4~10次, 中位剂量50 Gy/4次。

### 1.4 CBCT图像获取及匹配

应用瓦里安影像引导直线加速器千伏级CBCT扫描, 每例患者每次放疗前均行CBCT扫描, 应用机载影像系统将治疗前获得的CBCT图像与定位CT图像按软组织窗自动匹配, 得到实际位置与定位CT位置在前后、头脚、左右方向的误差值。如果任一方向误差大于3 mm, 移动治疗床修正至正确位置, 然后进行立体定向放疗。

### 1.5 统计学处理

应用SPSS 17.0软件进行数据处理, 两组的位移对比采用 $t$ 检验,  $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结 果

### 2.1 摆位误差

29例患者共行155次CBCT扫描, 考虑误差方向时前后、头脚、左右方向摆位误差(有方向)分别为 $(-1.68\pm 3.62)$ 、 $(-1.34\pm 3.90)$ 和 $(0.36\pm 2.15)$  mm, 摆位误差发生频率见图1; 只考虑误差数值大小(无方向)时分别为 $(3.16\pm 2.42)$ 、 $(3.29\pm 2.48)$ 和 $(1.74\pm 1.30)$  mm, 最大值分别为10、11和6 mm(表1)。

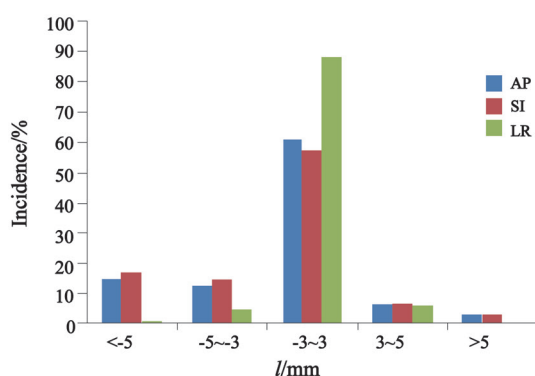


图1 29例肺部肿瘤患者3个方向摆位误差发生率

Fig. 1 Incidence of Setup errors in 29 patients with lung tumors in three directions

## 2.2 PTV外扩边界

根据摆位误差及Van Herk等<sup>[5]</sup>提出的公式( $M=2.5\Sigma+0.7\delta$ ), 在无CBCT修正, 基于激光摆位下, 本组患者CTV外扩至PTV的边界在前后、头脚、左右方向分别为9.2、10.3和5.4 mm(表1)。

## 2.3 摆位误差的影响因素

对可能影响摆位误差(无方向)的临床参数(年龄、病灶位置及性质)等分层比较, 发现年龄大于60岁患者左右方向摆位误差更大( $P=0.044$ )、病灶位于周围的患者前后方向摆位误差更大( $P=0.007$ ), 下肺病灶、右肺病灶和肺转移灶头脚方向摆位误差更大( $P=0.008$ 、 $0.000$ 和 $0.000$ , 表2)。

表1 29例患者155次锥形束CT在3个方向的摆位误差及PTV外扩边界

Tab. 1 Setup errors and the expanding margin of PTV of 29 patients with lung tumors with cone-beam CT in three directions

Directions	Setup errors //mm	Setup errors (absolute value) //mm	Expanding margin of PTV //mm
AP	-1.68±3.62	3.16±2.42	9.2
SI	-1.34±3.90	3.29±2.48	10.3
LR	0.36±2.15	1.74±1.30	5.4

Expanding margin of PTV =  $2.5\Sigma+0.7\delta$ ; AP: Anterior-posterior; SI: Superior-inferior; LR: Left-right

表2 不同临床参数对3个方向摆位误差的影响

Tab. 2 Setup errors in three directions of various clinical influencing factors

Item	N	LR	P value	SI	P value	AP	P value
Age/year			0.044		0.772		0.263
≤60	13	1.48±1.17		3.36±2.42		3.42±2.23	
>60	16	1.91±1.37		3.24±2.53		2.98±2.54	
Location			0.153		0.100		0.007
Central lesion	13	1.89±1.29		3.62±2.58		2.64±2.34	
Peripheral lesion	16	1.58±1.31		2.96±2.35		3.69±2.40	
Location			0.882		0.008		0.814
Upper lesion	14	1.75±1.28		2.69±2.14		3.22±2.27	
Lower lesion	15	1.72±1.33		3.72±2.62		3.12±2.53	
Location			0.624		0.000		0.381
Left lesion	10	1.81±1.33		2.27±2.06		3.42±2.21	
Right lesion	19	1.70±1.30		3.75±2.52		3.05±2.51	
Diagnosis			0.404		0.000		0.234
Primary lesion	12	1.85±1.42		2.24±2.00		3.46±2.76	
Metastatic lesion	17	1.67±1.23		3.94±2.53		2.98±2.19	

## 3 讨论

随着精确放疗技术的不断发展, 影像引导技术越来越多地应用于临床, 放疗精度不断提高, 放疗范围缩小, 有效地减少了周围正常组织的损伤, 使得立体定向放疗技术得以有效、

安全地运用于肺部恶性肿瘤的放疗<sup>[6]</sup>。通过锥形束CT了解肺部肿瘤患者放疗中的摆位误差及其影响因素, 并为判定CTV向PTV外扩边界而提供参照依据<sup>[7]</sup>, 是肺部肿瘤患者立体定向放疗准确实施的重要保证之一。

本研究结果显示, 摆位误差主要发生在头脚和前后方向, 这与大多数相关研究结果

相一致<sup>[8-9]</sup>。曹晓辉等<sup>[8]</sup>采用锥形束CT分析23例肺癌患者放疗摆位误差,只考虑误差数值大小(无方向)时前后、头脚和左右方向分别为(2.85±1.87)、(4.11±3.51)和(2.40±2.31) mm。主要原因可能是:呼吸运动在头脚方向最显著,左右方向位移最小;技术员摆位时,呼吸运动胸扩起伏造成水平标记线上下波动,前后方向较为明显,左右基本没有影响;两侧皮肤松弛或上肢上抬姿势有少许变化,摆位时就会发生一定的前后和头脚方向偏差,左右影响较小等。

本研究根据CBCT得到的摆位误差,通过公式 $M=2.5\Sigma+0.7\delta$ 计算,在无CBCT修正,基于激光摆位下,得到本组患者CTV外扩至PTV的边界,在前后、头脚和左右方向分别为9.2、10.3和5.4 mm。显然,此计算得到的外放边界是无法满足肺部肿瘤立体定向放疗要求的。立体定向放疗技术中的外放边界需要根据采用的摆位技术等因素来确定,必须在影像引导技术下实施。本研究每例患者每次放疗前均行CBCT扫描,并对摆位误差进行适当的纠正。

本研究还发现,年龄大、病灶位于周围、下肺病灶、右肺病灶及肺转移灶对摆位误差有影响。病灶位置是影响摆位误差的主要因素之一,病灶位于周围、下肺,受到呼吸因素影响较病灶位于中央和上肺更明显。对于肺部病灶位于周边和下肺的患者可通过主、被动呼吸控制或呼吸追踪装置等来减少呼吸因素的影响。合理的呼吸运动控制,才能保证肺部肿瘤立体定向放疗得以安全有效地实施<sup>[10]</sup>。Sarudis等<sup>[11]</sup>分析了126例肺部肿瘤患者的运动情况,按肿瘤所在位置统计位移大小,发现位于上、中、下肺的肿瘤位移幅度有差别,尤其是头脚方向,分别为3.1、6.4和11.3 mm。Harada等<sup>[12]</sup>也发现,病灶位于下肺较中、上肺放疗时受呼吸影响更大,尤其是头脚方向差异有统计学意义( $P=0.049$ ),对下肺病灶患者采用四维CT(four-dimensional computed tomography, 4D-CT)获益可能更大。由于心脏占据左肺相当一部分体积,会抵消一定的呼吸影响,可能是在其他

相同情况下,右肺病灶摆位误差较左肺大的原因。肺转移灶可能位于周围和下肺更多见,这可能是导致其较原发灶位移更多的主要原因之一。

综上所述,肺部肿瘤患者放疗中的头脚和前后方向摆位误差较大,立体定向放疗需采用锥形束CT扫描、呼吸控制等以减少摆位误差。

#### [参 考 文 献]

- [1] RUSTHOVEN C G, YEH N, GASPAR L E. Radiation therapy for oligometastatic non-small cell lung cancer: theory and practice [J]. *Cancer J*, 2015, 21(5): 404-412.
- [2] 冯 雯, 傅小龙. 放射治疗在非小细胞肺癌治疗中的地位 [J]. *中国癌症杂志*, 2013, 23(1): 75-80.
- [3] RICARDI U, BADELLINO S, FILIPPI A R. Stereotactic body radiotherapy for early stage lung cancer: history and updated role [J]. *Lung Cancer*, 2015, 90(3): 388-396.
- [4] TREE A C, KHOO V S, EELES R A, et al. Stereotactic body radiotherapy for oligometastases [J]. *Lancet Oncol*, 2013, 14(1): 28-37.
- [5] VAN HERK M, REMEIJER P, RASCH C, et al. The probability of correct target dosage: dose-population histograms for deriving treatment margins in radiotherapy [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2000, 47(4): 1121-1135.
- [6] TSANG M W. Stereotactic body radiotherapy: current strategies and future development [J]. *J Thorac Dis*, 2016, 8: 517-527.
- [7] BODA-HEGGEMANN J, LOHR F, WENZ F, et al. KV cone-beam CT-based IGRT: a clinical review [J]. *Strahlenther Onkol*, 2011, 187(5): 284-291.
- [8] 曹晓辉, 刘 明, 翟福山, 等. 用锥形束CT图像引导技术分析肺癌放疗摆位误差及其剂量分布影响 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2012, 21(2): 163-166.
- [9] LI Y, MA J L, CHEN X, et al. 4DCT and CBCT based PTV margin in Stereotactic Body Radiotherapy(SBRT) of non-small cell lung tumor adhered to chest wall or diaphragm [J]. *Radiat Oncol*, 2016, 11(1): 152.
- [10] MATSUO Y, ONISHI H, NAKAGAWA K, et al. Guidelines for respiratory motion management in radiation therapy [J]. *J Radiat Res*, 2013, 54: 561-568.
- [11] SARUDIS S, KARLSSON HAUER A, NYMAN J, et al. Systematic evaluation of lung tumor motion using four-dimensional computed tomography [J]. *Acta Oncol*, 2017, 11: 1-6.
- [12] HARADA K, KATOH N, SUZUKI R, et al. Evaluation of the motion of lung tumors during stereotactic body radiation therapy (SBRT) with four-dimensional computed tomography (4DCT) using real-time tumor-tracking radiotherapy system (RTRT) [J]. *Phys Med*, 2016, 32(2): 305-311.

(收稿日期: 2017-01-17 修回日期: 2017-03-23)