

DOI: 10.19338/j.issn.1672-2019.2024.05.004

· 论 著 ·

# 基于锥形束CT下肺癌立体定向放疗摆位误差研究及剂量验证

朱国雄<sup>1</sup>, 胡昊<sup>2</sup>

(1. 湖南省中医药研究院 放疗中心, 湖南 长沙 410013; 2. 中南大学湘雅三医院 肿瘤科, 湖南 长沙 410006)

**摘要:** **目的** 研究不同手臂固定方式对于肺癌立体定向放射治疗 (SBRT) 中患者体位误差的影响及剂量验证分析。**方法** 选取2019年3月至2022年12月在中南大学附属湘雅三医院肿瘤科收治的34例肺部SBRT治疗患者, 分别采用双手交叉握杆 (对照组) 和双手抱肘置于前额 (观察组) 的方式固定手臂进行体位固定。每例患者每次治疗时均采用锥形束计算机断层扫描 (CBCT), 将CBCT扫描图像与CT模拟定位时的图像进行自动匹配, 并结合靶区和骨性标志进行调整, 计算患者在X、Y、Z轴方向上的误差并进行分析研究, 同时选取阈值标准为 (2%, 2 mm, 10%) 和 (3%, 3 mm, 10%) 的条件下分析比较ArcCHECK模体理论计算剂量和ArcCHECK模体实测剂量之间的差异。**结果** 34例研究对象共得到510组CBCT影像。其中对照组患者和观察组患者每次治疗前体位误差分别为左右方向LAT (1.69±4.43) 和 (2.25±1.54), 头脚方向LNG (1.88±1.39) 和 (2.40±1.61), 腹背VRT (1.26±0.98) 和 (1.70±1.08)。对照组在X、Y、Z三个方向上的误差数值均小于观察组, 差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ )。当阈值标准为 (2%, 2 mm, 10%) 时, 两组SBRT计划的绝对通过率均大于95%; 当阈值标准为 (3%, 3 mm, 10%) 时, 两组SBRT计划的绝对通过率均大于90%, 均满足临床治疗要求。**结论** 在肺癌SBRT治疗中, 两种手臂固定方式基于ArcCHECK模体验证的绝对剂量通过率均满足临床要求, 但双手交叉握杆的手臂固定方式对于患者体位的重复性和精准性更好。

**关键词:** 锥形束CT; 立体定向放射治疗; 摆位误差; 剂量验证

**中图分类号:** R734.2

## Positioning error and dose verification of stereotactic radiotherapy for lung cancer based on cone beam CT

ZHU Guoxiong<sup>1</sup>, HU Hao<sup>2</sup>

(1. Radiotherapy Center, Hunan Academy of Traditional Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410013, China;

2. Department of Oncology, the Third Xiangya Hospital, Central South University, Changsha, Hunan 410006, China)

**Abstract:** **[Objective]** To study the impact of different arm fixation methods on patient position error and dose verification analysis in stereotactic body radiation therapy (SBRT) for lung cancer. **[Methods]** Thirty-four patients who were admitted to the Oncology Department of the Third Xiangya Hospital Affiliated to Central South University and underwent pulmonary SBRT from March 2019 to December 2022 were selected, and their arms were fixed by holding the rod with both hands crossed (Control group) and holding the elbows with both hands on the forehead (Observation group). Cone beam computed tomography (CBCT) was used for each patient's treatment. The CBCT scan image was automatically matched with the image during CT simulation positioning, and the target area and bony landmarks were adjusted. The patient's error in the X, Y, and Z axis directions was calculated and analyzed. At the same time, the threshold standards as (2%, 2mm, 10%) and (3%, 3mm, 10%) were selected to analyze and compare the ArcCHECK phantom. The difference between the theoretically calculated dose and the measured dose on the ArcCHECK phantom was analyzed. **[Results]** A total of 510 sets of CBCT images were obtained from 34 research subjects. The position errors of patients in Control group and Observation group before each treatment were respectively LAT (1.69±4.43 and 2.25±1.54) in the left and right directions, LNG (1.88±1.39 and 2.40±1.61) in the head and foot directions, and ventral and dorsal VRT (1.26±0.98 and 1.70±1.08). The error values of Control group in the three directions of X, Y, and Z were smaller than those of Observation group, and the differences were statistically significant ( $P<0.05$ ). When the threshold standard is (2%, 2mm, 10%), the absolute pass rates of both groups of SBRT plans are greater than 95%; when the threshold standard is (3%, 3mm, 10%), the absolute pass rates of both

收稿日期: 2023-11-16

groups of SBRT plans are all greater than 90%, meeting clinical treatment requirements. **【Conclusion】** In the SBRT treatment of lung cancer, the absolute dose pass rates of the two arm fixation methods verified based on the ArcCHECK phantom meet clinical requirements, but the arm fixation method with hands crossed and holding the rod has better repeatability and accuracy for patient positioning.

**Keywords:** cone beam CT; stereotactic body radiotherapy; positioning error; dose verification

肺癌是中国发病率和死亡率最高的恶性肿瘤之一，严重威胁人类健康。根据国家癌症中心发布的最新统计数据显示，新发肺癌病例约占中国新发癌症总数的 20%，每年约有 65.7 万人死于肺癌<sup>[1]</sup>。随着医学技术的不断发展，肺癌的放射治疗手段已经取得了长足的进步。立体定向放射治疗（SBRT）是近年来肺癌放射治疗的一种重要手段。它是用立体定位技术和特殊放射装置，将多源、多线束多野三维空间聚焦的高能射线聚焦于体内某一靶区以达到陡峭的剂量梯度，实现局部肿瘤控制的同时降低正常组织器官所受照射<sup>[2]</sup>。SBRT 具有剂量率高、单次剂量大、疗程短、相对生物效应较高等特点，对于肺部肿瘤小体积的精确定位治疗在临床中已经取得了良好的效果。由于 SBRT 单次剂量高，周围正常组织剂量迅速跌落，为保证肿瘤部位得到精确高效的照射，同时最大程度保护周围正常组织器官，便要求治疗前用图像引导放射治疗（image guided radiation therapy, IGRT）系统进行精确摆位验证。锥形束 CT 是图像引导技术的一种，它能够在整个治疗过程中利用医学影像设备获取患者影像数据，对肿瘤组织、正常组织器官及体表轮廓进行精确定位，能够根据患者位置变化及时作出调整，有效校正患者摆位误差，从而达到肿瘤精准治疗、正常组织器官照射剂量少和减少患者不良反应的效果。为了减少摆位误差带来的影响，已有学者研究了立体定位架联合真空袋对于摆位误差的影响，也有学者研究了热塑体膜和负压袋对于立体定向放射治疗靶区外扩边界的影响，但是目前对于病人的手部体位固定方式对于误差的影响研究很少。本文通过研究两种不同的手臂固定方式，探寻其对于患者摆位误差的影响，验证分析 ArcCHECK<sup>[3]</sup>在非均整模式下不同阈值标准的绝对剂量通过率，从而确定一种重复性更好，误差更少，准确性更高的手臂固定方式。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取 2019 年 3 月至 2022 年 12 月期间中南大学附属湘雅三医院肿瘤科收治的肺部肿瘤患者中，选择 34 例具有代表性的患者入组本次研究。其中男 23 例，女 11 例。为了使已知和未知的非研究因素在组间均衡，按照数字表法随机分为对照组（17 例）和观察组（17 例），对照组年龄 32~75 岁，平均（56.65 ± 2.83）岁，中位年龄 58 岁；观察组年龄 37~84 岁，平均（63.24 ± 2.65）岁，中位年龄 63 岁。

纳入标准：本次研究的所有对象均为肺部肿瘤患者，且适合使用 SBRT 治疗方法。患者身体状况较好，能够进行自主活动，本身不具有影响本次研究的其他重大疾病。所研究对象 KPS 评分不低于 75 分，且患者本人及家属具有良好的配合意愿，患者临床资料差异无统计学意义。

### 1.2 摆位方法

所有患者均采用仰卧位平躺在膜室 Klarity 定位板上，头部及躯干部分居于膜室激光线中间位置，其中对照组患者体部固定装置采用 Klarity 定位板+热塑体膜，采用双手交叉握杆的姿势固定手臂（图 1A），观察组患者体部固定方式与对照组一致，但均采用双手抱肘置于前额的姿势固定手臂（图 1B）。两组患者均使用的同一厂家同一类型的热塑体膜，且两组患者均采用二次摆位技术，即先以患者体表的标记线摆位，确保患者体位与 CT 模拟定位时位置一致，然后将热塑体膜固定于患者体部，再次核对热塑体膜上面所标记的靶区中心点位置。（为了确保左右手位置的不确定性给本次研究带来的影响，同一患者每次均采用相同的左右手交叉方式进行固定）。

采用西门子大孔径 CT 机对患者进行扫描，扫面范围为下颌骨至肝下缘，扫描层厚为 1.2 mm，经 3 mm 重建后将影像材料上传至 Eclipse 11.0 计划系统当中，临床医师根据磁共振成像和正电子发射计算机断层显像等相关影像学资料进行靶区

勾画，物理师设计 SBRT 放疗计划和 ArcCHECK 模体验证计划。

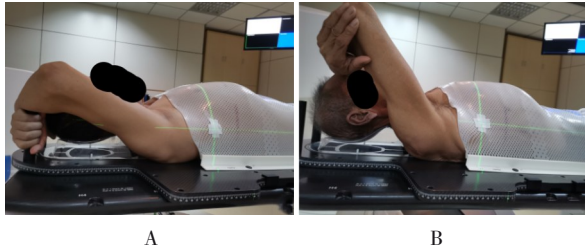


图 1 肺癌患者进行 SBRT 放疗时使用两种不同的手臂固定方式

### 1.3 模拟定位和放疗设备

TrueBeam 直线加速器和 Eclipse 11.0 放疗计划系统为 Varian 公司产品，ArcCHECK 为美国 Sun Nuclear 公司产品（软件版本为 6.2）<sup>[3]</sup>，其有效测量射野面积为 21 cm × 21 cm，探头总共为 1386 个，探头间距为 1 cm，探头尺寸为 0.8 mm × 0.8 mm，探测器成螺旋几何分布，矩阵的直径和长度为 21.0 cm，模体水等效材料建成厚度为 3.3 cm，探测器有效测量深度为 2.9 cm，有效测量面积为 64 cm<sup>2</sup>。

### 1.4 锥形束电脑断层扫描图像采集及匹配

每例进行肺癌 SBRT 治疗的患者都需要医生，物理师，技术员到场参与协调工作。患者每次治疗之前都进行 1 次锥形束电脑断层扫描（cone beam computed tomography, CBCT）扫描<sup>[4]</sup>，在 OBI 系统下进行图像采集，扫描范围为靶区中心上下

10 cm，扫描角度范围为 360°。扫描重建得到的 kV 级 CBCT 图像，与模拟定位 CT 图像进行匹配融合<sup>[5]</sup>。True Beam 医用直线加速器治疗系统将图像数据进行冠状位、矢状位以及横断位重建，以 CBCT 重建图像和模拟定位 CT 图像的重复性为依据，在骨性标志的基础上结合手动微调。系统在线获取左右 LAT，头脚 LNG 和腹背 VRT 方向的平移误差，并计算出 3 个方向的摆位误差。任意方向摆位误差大于 3 mm，需根据图像引导系统提供的摆位误差进行校准，通过自动移床方式对患者的位置误差进行纠正<sup>[6]</sup>。

### 1.5 ArcCHECK 模体校准及分析方法

ArcCHECK 在进行数据采集前，先对加速器进行机械几何参数检测与校准，包括加速器辅助设备校准、等中心及指示装置检查、剂量测量和控制系统检测。ArcCHECK 在收集数据前也要经过校准，包括本地校准和矩阵校准等。把 SBRT 计划移植到 ArcCHECK 的 CT 扫描模体当中重新计算剂量，采用各向异性分析算法<sup>[7]</sup>，计算网格精度为 2 mm。把计算结果的 RT Plan 和 RT Dose 文件以 DICOM 格式导入到 SNC Patient Version 6.2.3 软件当中，与实际模体测量得到的结果进行比较（图 2 和图 3）。阈值标准分别选择（2%，2 mm, 10%）和（3%，3 mm, 10%），即测量点上满足计划值与测量值偏差 < 2% 或 3%，也就是以该点为中心，2 mm 或 3 mm 为半径的平面或球体内存在相近值的点，阈值设置为 10%。

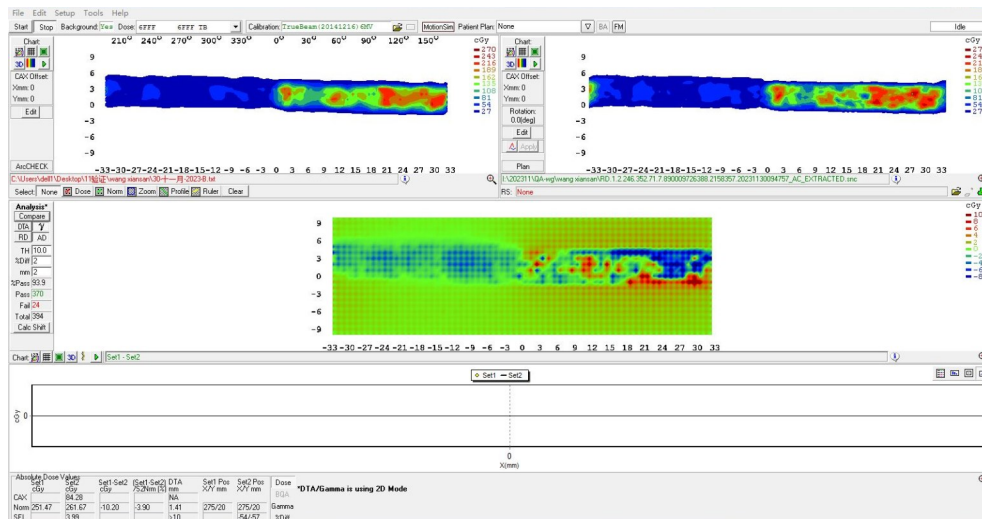


图 2 阈值标准为（2%，2 mm, 10%）时实际测量剂量与理论剂量比较分析图

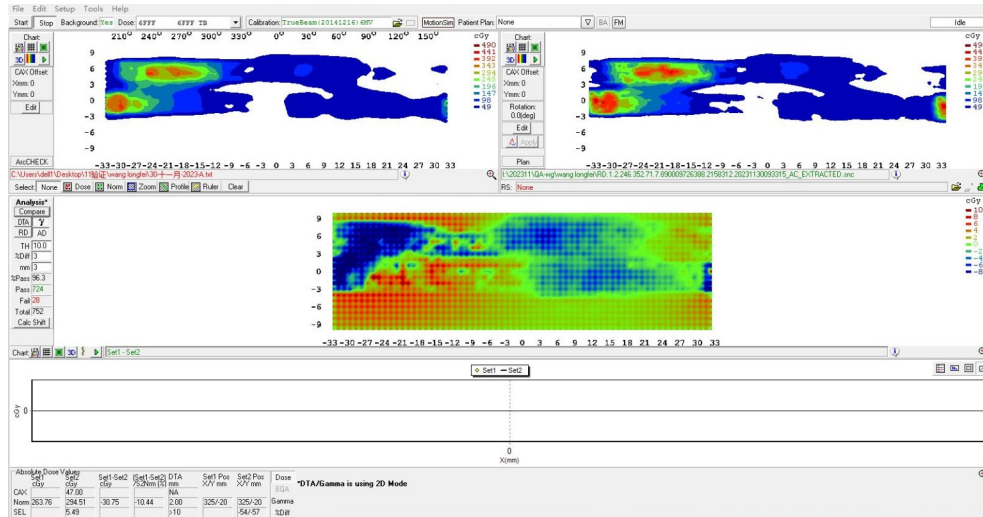


图 3 阈值标准为 (3%, 3 mm, 10%) 时实际测量剂量与理论剂量比较分析图

### 1.6 统计学方法

采用 SPSS 23.0 系统软件进行数据处理。计量资料符合正态分布<sup>[8]</sup>, 计量数据用均数 ± 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 两组患者位移对比采用 *t* 检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 CBCT 验证图像

34 例研究对象共获得 170 组 CBCT 验证图像,

将两种不同手臂固定方式下 CBCT 验证图像与患者 CT 定位时的图像进行数据分析, 得到患者在左右 (LAT)、头脚 (LNG) 和腹背 (VRT) 方向上的摆位误差区间分布图如下 (图 4)。从图中可以看出, 对照组和观察组的摆位误差在 3 个方向存在较大区别, 且在各个区间段存在较大差异。在摆位误差相对较小的区间, 对照组的患者数量明显多于观察组的患者数量, 也即后者可能产生更大的误差。

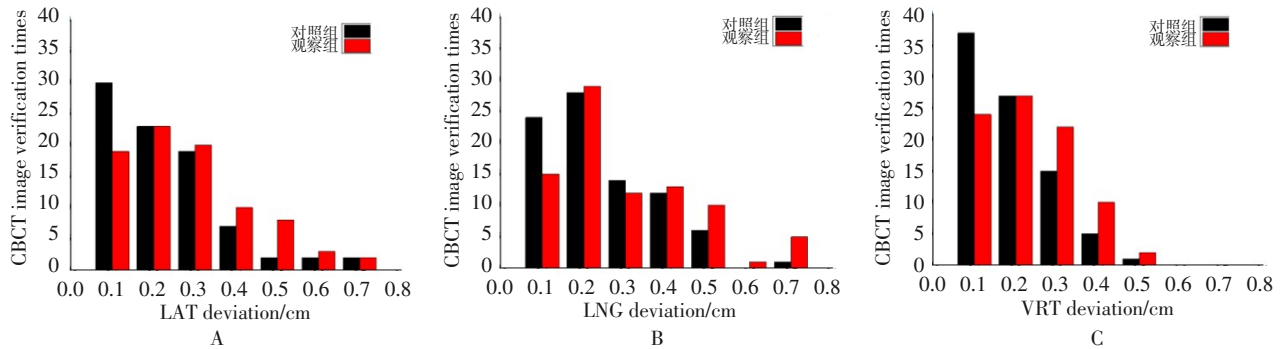


图 4 两种不同手臂固定方式下患者 3 个不同方向上的误差分布区间图

### 2.2 摆位结果

34 例患者共获得 510 幅 CBCT 图像。将两组患者放疗前的 CBCT 数据分析整理并进行组件对比, 得到结果对照组患者 (双手交叉握杆) 的摆位误差明显小于观察组患者 (双手抱肘置于前额)。其中两组患者在 3 个轴向方向的位移误差差异均具有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 1。

34 例患者在两种不同阈值标准下的剂量验证结果如图 5 阈值标准分别为 (2%, 2 mm, 10%) 和

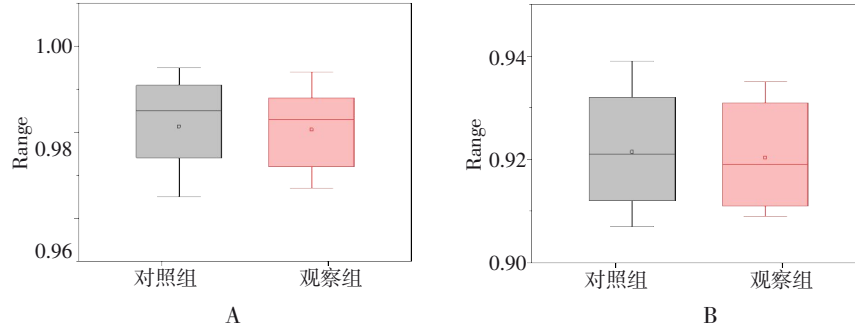
表 1 两组患者在不同手臂固定方式下的摆位误差比较  
( $\bar{x} \pm s$ , mm)

组别	LAT	LNG	VRT
对照组	1.69±1.43	1.88±1.39	1.26±0.98
观察组	2.25±1.54	2.40±1.61	1.70±1.08
<i>t</i>	2.380	2.221	2.567
<i>P</i>	0.020	0.029	0.012

(3%, 3 mm, 10%) 时的绝对剂量通过率对比所示。当阈值标准选择 (2%, 2 mm, 10%) 时,

ArcCHECK 模体实际测量剂量与理论计算剂量对比通过率均为 95% 以上；当阈值标准选择 (3%, 3 mm, 10%) 时, ArcCHECK 模体实际测量剂量与理论计算剂量对比通过率均介于 90% 与 95% 之

间。两种阈值标准的剂量验证结果均满足临床治疗要求, 但是二者剂量通过率差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。



A: 阈值标准为 (2%, 2 mm, 10%); B: 阈值标准为 (3%, 3 mm, 10%)。

图 5 绝对剂量通过率比较

### 3 讨论

与传统手术等外科治疗方式相比, SBRT 具有无创和治疗周期短等特征, 同时也可以实现与手术类似的肿瘤局部控制率和长期生存率; 与传统的调强放射治疗 (intensity modulated radiation therapy, IMRT) 相比, SBRT 具有“单次剂量大, 剂量率高, 危及器官受照射少<sup>[9-10]</sup>, 相对生物效应高”等特征。随着放疗技术的蓬勃发展, 放疗治疗已经进入精确定位, 精确计划, 精确照射的“三精”时代。摆位误差无疑成为影响放疗精度的关键因素, 特别是对于单次大剂量照射的 SBRT 患者来说, 好的体位固定方式更有利于局部肿瘤的精确治疗<sup>[11]</sup>。

研究中 34 例患者均采用相同的胸部热塑体膜固定方式, 每例患者每次治疗过程中医生、物理师和技术员均在场。研究结果显示, 对照组患者采用交叉握杆的手臂固定方式摆位误差要小于观察组双手抱肘置前额的手臂固定方式; 两组患者差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ )<sup>[12]</sup>。分析原因可能存在以下几个方面: ①双手抱肘置前额的患者, 在每次治疗过程中不能够将手臂足够稳定地固定, 导致身体部位体表线出现不同程度的弯曲倾斜, 从而影响患者治疗的精确性<sup>[13]</sup>。②双手抱肘置前额的患者由于自身原因而不能每次处于同一个抱肘位置, 这就会导致每次治疗时患者因为体位的不一致造成摆位的重复性不佳。③由于双手抱肘的患者手臂不能够得到长久有效的固定, 随着

治疗时间的延长双手可能会出现不同程度的松弛和角度的倾斜, 这就会使得患者身体出现头脚位或者腹背位上的位移<sup>[14]</sup>。

从本次研究的数据分析可以看出, 手臂的固定方式会对肺癌 SBRT 患者的摆位治疗有一定的影响。选择更好的手臂固定方式会更有利于患者大剂量高精度的放射治疗, 也会通过更精准的位置误差提高患者 95% 靶区处方剂量的投放, 最大限度保护周围正常组织和器官, 使患者肿瘤得到有效控制的同时降低患者所受到的辐射损伤<sup>[15]</sup>。

综上所述, 应用双手交叉握杆的方式进行手臂的固定对于肺癌 SBRT 患者的治疗更精确, 更具有可行性, 同时也使患者拥有更舒适的体位, 技术员摆位也更准确, 对于临床上需要进行放射治疗特别是需要做 SBRT 的患者来说更具有应用价值<sup>[16]</sup>, 值得推广。

### 参考文献

- [1] 李玉成,陈维军,单国平等. 摆位误差对立体定向放射治疗计划剂量学验证的影响[J]. 中国医学物理学杂志,2018,35(8): 869-873.
- [2] 孙晓欢,谭丽娜,王中飞,等. 肺癌立体定向体部放疗以靶区为准进行锥形束 CT 在线配准的可行性研究[J]. 中国医学物理学杂志,2019,36(3):282-286.
- [3] 陈祥,单国平,邵凯南,等. 剂量网格分辨率大小对非小细胞肺癌立体定向放射治疗的剂量学影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2019,36(1):6-11.
- [4] 刘利彬,张小清,杨海松,等. 乳腺癌放疗中两种体位固定方式应用比较[J]. 中国医学物理学杂志,2018,35(7):753-757.

- [5] 雷金艳,何阳,罗焕丽,等. 宫颈癌放疗中患者体型改变的特征量与摆位误差的关联[J]. 中国医学物理学杂志,2019,36(1): 17-22.
- [6] 邢晓汾,郭瑞嵩,傅翔宇,等. 肺部肿瘤立体定向放射治疗摆位误差及靶区外扩距离[J]. 中国医学物理学杂志,2015,32(4): 529-533.
- [7] 张国前,张书旭,曾庆星,等. 不同配准方式下鼻咽癌千伏级 CBCT 图像引导放疗的摆位误差[J]. 中国医学物理学杂志, 2020,37(3):282-288.
- [8] 朱晟超,王远军. 锥形束 CT 对非小细胞肺癌放疗摆位误差及放疗射线剂量的影响锥形束 CT 对非小细胞肺癌放疗摆位误差及放疗射线剂量的影响[J]. 中国医学物理学杂志,2017,34(2): 109-114.
- [9] AGOSTINELLI S, GARELLI S, BELLINI A, et al. Helical tomotherapy of the breast: can thermoplastic immobilization improve the reproducibility of the treatment setup and the accuracy of the delivered dose? [J]. *Phys Med*,2015,31(1):49-53.
- [10] 欧阳水根,苏群,陶娜,等. CBCT 引导下不同体位子宫肿瘤 IMRT 摆位误差及其外放边界[J]. 中国医学物理学杂志,2018,35(10): 1122-1127.
- [11] TIMMERMAN R, PAULUS R, GALVIN J, et al. Stereotactic body radiation therapy for inoperable early stage lung cancer[J]. *JAMA*, 2010, 303(11): 1070-1076.
- [12] KOSHY M, MALIK R, SHER D J, et al. The effect of radiotherapy dose on survival in stage III non- small- cell lung cancer patients
- [13] Zeidan OA, Langen KM, Meeks SL, et al. Evaluation of image— guidance protocols in the treatment of head and neckcancers[J]*Int J Radiat Oncol Biol Phys*,2007,67( 3) : 670-677.
- [14] AKEDA A, KUNIEDA E, TAKEDA T, et al. Possible misinterpretation of demarcated solid patterns of radiation fibrosis on CT scans as tumor recurrence in patients receiving hypofractionated stereotactic radiotherapy for lung cancer[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 70(4): 1057-1065.
- [15] WANG H, SHUI A, WANG C, et a1. Dosimetric effect of translational and rotational errors for patients undergoing imageguided stereotactic body radiotherapy for spinal metastases [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 71(4): 1261-1271.
- [16] GUTFELD O, KRETZLER A E, KASHANI R, et a1. Influence of rotations on dose distributions in spinal stereotactic body radiotherapy (SBRT)[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2009,73(5): 1596-1601.

(方丽蓉 编辑)