

## 胸部肿瘤容积旋转调强放射治疗摆位误差分析

孙小喆, 孟慧鹏, 史孝伟, 郑爱青, 王 昊, 孙劲松, 梁克明  
武警后勤学院附属医院放疗中心, 天津 300162

**【摘要】目的:** 采用直线加速器的机载影像引导(OBI)系统的 CBCT 扫描技术在线测量胸部肿瘤患者的摆位误差进行分析探讨。**方法:** 2012 年 12 月~2013 年 8 月期间选取 50 例胸部肿瘤患者, 应用瓦里安 Rapid Arc 直线加速器 CBCT 扫描技术对所有患者在第一次治疗时进行 CBCT 扫描, 以后每周扫描一次。根据 OBI 系统的匹配功能, 选择肺组织自动匹配, 分析靶中心在各方向的误差值及其误差分布情况, 以判断摆位的重复性及其规律。**结果:** 50 例患者共进行 CBCT 扫描 283 次, 其摆位误差值在各方向上的误差为头脚方向(0.042±0.442) mm、左右方向(-0.276±0.258) mm、上下方向(0.212±0.239) mm、旋转角度(0.166±0.916)。**结论:** 使用 CBCT 扫描技术可以有效减少摆位误差, 保证治疗位置的准确性。为临床勾画靶区和靶区各方向的外扩范围提供参考依据。

**【关键词】** 容积旋转调强; 摆位误差; CBCT; 治疗精度

**【DOI 编码】** doi:10.3969/j.issn.1005-202X.2015.01.009

**【中图分类号】** R73-33

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1005-202X(2015)01-35-04

## Placement Error Analysis of Volumetric-modulated Arc Therapy for Thoracic Tumor

SUN Xiao-zhe, MENG Hui-peng, SHI Xiao-wei, ZHENG Ai-qing, WANG Hao, SUN Jing-song, LIAN Ke-ming  
Radiotherapy Center, The Affiliated Hospital of Logistics University of Chinese People's Armed Police Force, Tianjin 300162, China

**Abstract:** Objective To analyze the placement error of the thoracic tumor patients by the online measurement of CVCT scanning technic led by on board imager (OBI) system with the linear accelerator. **Methods** 50 patients with thoracic tumor were selected for the research from December 2012 to August 2013. Every patient underwent CBCT scan with the help of the VARIAN Rapid Arc linear accelerator once a week. Lung tissues were matched automatically with the corresponding function of OBI system. The errors and the distributions of the target center in different directions were analyzed to find the repeatability and regular pattern. **Results** The total times of the CBCT scanning to 50 patients are 283. And the placement errors are (0.042±0.442) mm in head-feet direction, (-0.276±0.258) mm in left-right direction, (0.212±0.239) mm in up-down direction and (0.166±0.916) from the rotation angle. **Conclusion** CBCT scanning can effectively reduce the placement error and make sure the accuracy of the therapy target, which gives the reference for the target setting and the extensive ranges of different directions in the target area.

**Key words:** volumetric-modulated arc; placement error; cone-beam computed tomography; accuracy of treatment

### 前言

容积旋转调强放射治疗的根本目的是提高靶区肿瘤剂量,减少正常组织和重要器官的受量,提高肿瘤的局部控制率。由于胸部形状变化急剧且运动幅度大所以对胸部肿瘤的摆位精度提出了更高的要求。影

像引导放射治疗技术为实现这一要求提供了技术手段。直线极速器的机载影像引导系统可以在对胸部肿瘤的调强放射治疗时实行锥形束 CT(Cone Beam CT)扫描<sup>[1]</sup>,通过治疗前扫描图像获取患者体位和肿瘤的位置数据并与计划 CT 比较确定肿瘤等中心位置的三维误差,经过移床纠正误差,使剂量分布与肿瘤实际照射时相符。

### 1 材料和方法

#### 1.1 一般资料

自 2012 年 12 月 ~ 2013 年 8 月进行容积旋转调

**【收稿日期】**2014-07-24

**【作者简介】**孙小喆,男,主要从事肿瘤放射治疗物理工作,E-mail:xiaoze129@sohu.com。

强放射治疗胸部病人 50 例,共行 CBCT 扫描 283 次。男性 33 例,女性 17 例。所有患者均经病理和影像确诊。

## 1.2 设备和仪器

Varian IX 加速器、OBI 影像引导系统,Varian Eclipse 计划系统、飞利浦螺旋 CT、碳纤维固定板、热塑膜、数据分析统计软件 SPSS17.0。

## 1.3 体位固定和 CT 定位

患者仰卧位,双手上举,用热塑膜固定,使其完全冷却,防止变形萎缩。将患者固定于 CT 机床板上定位,用直径为 1 mm 的铅点在前面和左右做等中心标记点,根据激光灯标记基准线和体位参考线,然后用 CT 扫描机以 5 mm 的层厚扫描,获取所需扫描影像,CT 图像由网络传输至 Eclipse10.0 治疗计划系统制定治疗计划。同时将治疗计划和 CT 模拟图像通过网络系统传到治疗室的 OBI 影像引导系统<sup>[2]</sup>和 4DTC 系统。

## 1.4 治疗摆位和 CBCT 图像的获取

患者首次治疗时,治疗师根据治疗计划参数,在等中心激光灯的引导下进行摆位。摆位时患者的体位应与制作热塑膜固定和 CT 扫描时一致。摆位完成后 CBCT 通过连续的旋转扫描获得一系列图像后自动重建成三维图像,将该图像与治疗计划图像匹配对比。

## 1.5 图像的配准和摆位误差分析及调整

OBI 系统的图像配准软件,匹配方式分为手动匹配和自动匹配<sup>[3]</sup>。在获取的图像中选择合适的三维匹配框设定包括靶区的三维体积与计划 CT 的三维体积进行匹配,以治疗计划的照射野等中心为匹配的参考点<sup>[4]</sup>。得出三维坐标值头脚(Lng)左右(Lat)上下(Vrt)的平移误差和旋转误差<sup>[5]</sup>,这里得到的偏差值表示实际治疗值与计划参数的偏差(用“±”表示其方向)。根据文献研究和设备精度,如果第一次 CBCT 匹配时各方向摆位误差头脚(Lng)≤5 mm 左右(Lat)≤3 mm 上下(Vrt)≤3 mm,旋转误差(Rtn)<2°。则不做校正,直接实施治疗。如果偏差值超出需要进行移床校正,在热塑膜上重新标记摆位标记。下次摆位时均以新标记点为摆位标记点,并再次 CBCT 验证。

## 1.6 统计学方法

用 Eclipse 10.0 系统 Offline Review 软件对摆位数据进行离线查看,采用 SPSS17.0 软件进行数据分析。计量资料采用均数和标准差来表示。均值表示治疗过程中的系统误差,标准差表示随机误差。

## 2 结果

50 例患者共进行 CBCT 扫描 283 次,在三个方向上的平移误差头脚(Lng)(0.042±0.442) mm、左右(Lat)(-0.276±0.258) mm、上下(Vrt)(0.212±0.239) mm、旋转角度(Rtn)(0.166±0.916)。

## 3 讨论

表 1 不同方向的摆位误差和旋转误差结果

Tab.1 The Positioning Error of Different Directions and Rotation Error Results

	Mean	Standard deviation	Maximum value	Minimum value	Median	90% range
Lng (mm)	0.042	0.442	15	-1.2	-1	-3.9~4.7
Lat (mm)	-0.276	0.258	8	-6	1	-0.2~5.3
Vrt (mm)	0.212	0.239	5	-1	1	-0.2~4.5
Rtn (°)	0.166	0.916	2.1	-2	-1	-0.73~1.06

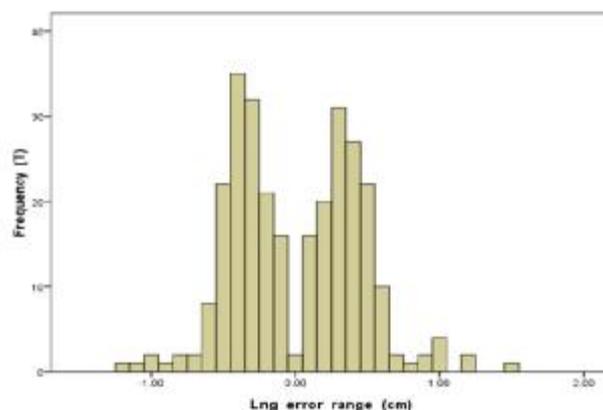


图 1 Lng 方向上的误差分析直方图

Fig.1 The Error Analysis of Longitudinal Direction Histogram

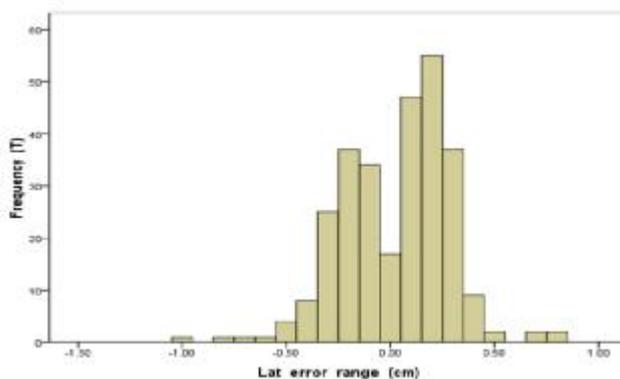


图 2 Lat 方向上的误差分析直方图

Fig.2 The Error Analysis of Lateral Direction Histogram

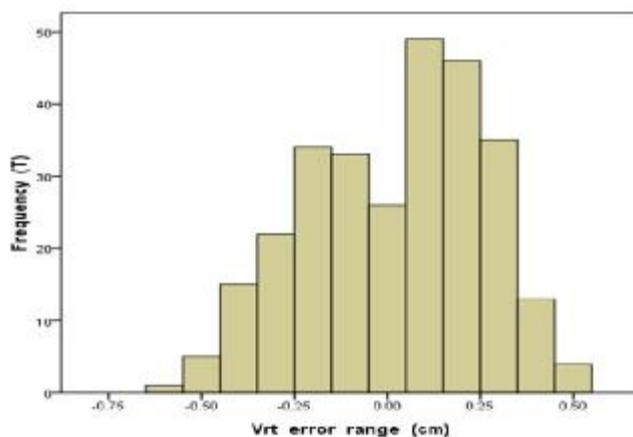


图 3 Vrt 方向上的误差分析直方图

Fig.3 The Error Analysis of Histogram Vertical Direction

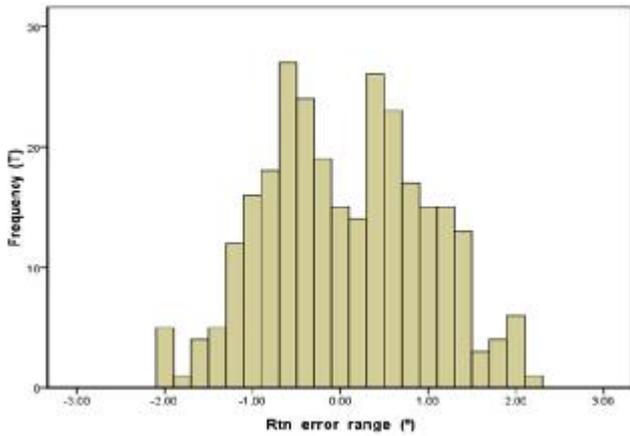


图 4 Rtn 方向上的误差分析直方图

Fig.4 The Error Analysis of the Rotational Direction of the Histogram

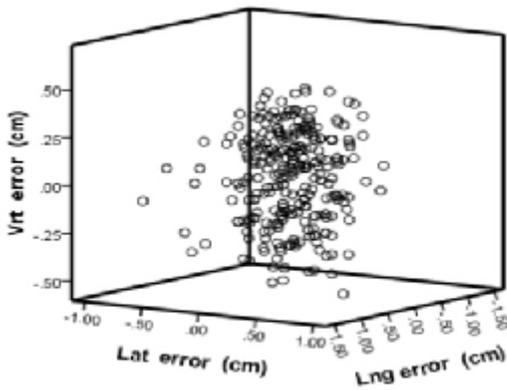


图 5 不同方向上的误差分析模型图

Fig.5 The Error Analysis Model Diagram of Different Directions

放射治疗作为肿瘤传统治疗的三大手段之一,在肿瘤的综合治疗中占有重要地位。当今,有大约 65%~75% 的患者在病程不同的时期接受过放射治疗。随着,放射治疗的不断发展,在三维适形放疗的基础上出现了一种新的技术——逆向调强放疗(IMRT)。它通过束流强度的调整,使高剂量区分布在三维方向上与肿瘤靶区一致,从而将辐射剂量集中到肿瘤以提高肿瘤的局部控制率,避免正常组织的受量。调强放疗的“高度适形”要求勾画的靶区必须准确,充分考虑摆位误差及患者的呼吸和器官运动。为避免摆位误差和器官形状以及位置的变化出现了一种新的技术,称之为影像引导调强放疗。这技术将放射治疗机与影像设备相结合,采集每次治疗时当前患者的实际位置是否与治疗计划时的情况一致,从而提高肿瘤靶区的照射精度。容积旋转调强放射治疗技术(VMAT)是在图像影像引导放射治疗技术(IGRT)基础上,集高精度加速器与逆向优化治疗计划设计软件、剂量验证系统<sup>[6]</sup>。容积旋转调强放射治疗是一种高精度的放射治疗技术,不仅对所用设备如 CT 定位机、直线加速器本身性能和精度要求很高,而且对摆位误差的精确度也提

出了更高的要求。

摆位误差分为系统误差  $\Sigma$  和随机误差  $\sigma$ <sup>[7]</sup>。系统误差主要来自于所用的设备、激光灯的误差及治疗师不同的执行标准。随机误差的特点就是具有随机性,主要与患者及治疗师的摆位有关,如患者的体重的增减、身体的运动、器官的移动、皮肤标记不清楚及治疗师摆位所造成的误差。摆位误差是我们无法避免的,但要尽可能的来减小误差。本次研究利用瓦里安直线加速器 OBI 影像引导系统 CBCT 技术,通过治疗前扫描图像获取患者体位和肿瘤的位置数据并与计划 CT 比较确定肿瘤等中心位置的三维误差,经过移床纠正误差,使剂量分布与肿瘤实际照射时相符。在 CBCT 影像匹配时当误差前后(Lng)  $\leq 5$  mm 左右(Lat)  $\leq 3$  mm 上下(Vrt)  $\leq 3$  mm,旋转误差(Rtn)  $< 2^\circ$ 。则不做校正,超出此范围的需做移床校正<sup>[8]</sup>。

通过本次数据分布显示和分析,所有误差数据均呈正态分布。表 1 统计结果可以看出,胸部肿瘤患者摆位误差头脚方向最大,左右次之,上下最小。随机误差大于摆位误差,摆位误差平均小于 3 mm。通过图 1~ 图 5 各个方向上的误差分布显示,所有误差数据呈正态分布。前后、左右、上下、旋转最大误差分别为 15 mm, 8 mm, 8 mm,  $2.1^\circ$ 。图 1~ 图 5 摆位误差直方图表明,前后方向上 90% 的平移误差  $< 3$  mm,左右方向上 90% 的平移误差  $< 3$  mm,上下方向上 90% 的平移误差  $< 3$  mm,旋转方向 90% 的旋转误差  $< 2^\circ$ 。本次数据数值显示为绝对值。根据误差范围的分析,医生在勾画靶区时可参考摆位误差,对误差较大的方向进行适当的边界外扩防止靶区的遗漏,减少肿瘤复发的可能。根据 ICRU62 号报告<sup>[9]</sup>和误差分布范围,我们认为胸部病人 CTV 的外方边界为上下方向为 4 mm、左右方向为 6 mm,前后方向为 10 mm。分析引起头脚方向偏大的主要原因为在治疗时患者身体与热塑膜固定板的相对位置很难与 CT 定位时的位置保持一致。为达到这一目的,我们发现增加患者摆位标记线,能大大提高定位时患者体位与摆位时体位的重复性。定位时根据热塑膜固定板上的刻度线在患者肿瘤区域的两侧分别勾画三条不同刻度的垂线,以保证治疗时患者与固定板的位置一致。同时在热塑膜的上下界各标记两条横线和垂线,保证热塑膜与患者身体位置的一致。制作热塑膜的时候选择患者合适的体位,制作后要让热塑膜在患者身体上冷却 20 min 左右才可取下。当患者体重或病情明显变化时需要重新制模定位。胸部体模可以一定程度的限制呼吸运动,由于双手上举没有固定,容易造成 CBCT 时误差偏大。不同的匹配方式和匹配范围也会影响匹配的结果。有研究认为应用四维 CT 或 PET-CT 图像和 CBCT 图像匹配会消除这个误差<sup>[10]</sup>。

综上所述,在容积旋转调强放射治疗中,影像引导放射治疗技术起到了非常重要的作用。CBCT 扫描技术能使准确地剂量精确的照射在靶区内,提高了治

疗精度,减小了摆位误差。本文的结果优于张淑慧文献报道的结果<sup>[1]</sup>,这说明了中心已达到精确放射治疗的标准要求。影响摆位误差的因素很多,分布在肿瘤放射治疗的不同环节,需要我们进一步的学习和改进。

### 【参考文献】

- [1] Nithianathan S, Schafer S, Uneri A, et al. Demons deformable registration of CT and cone-beam CT using an iterative intensity matching approach [J]. *Med Phys*, 2011, 38(4): 1785-1798.
- [2] 孙小喆,孟慧鹏,毛京群,等. OBI 影像引导放射治疗系统的质量保证(QA)及维护保养[J]. *中国医学物理学杂志*, 2013, 30(6): 4527-4529.  
Sun XZ, Meng HP, Mao JQ, et al. OBI image guided radiation therapy system of quality assurance (QA) and maintenance[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2013, 30(6): 4527-4529.
- [3] Varian Medical Systems OBI 1.5 Physics Course[M]. 2013, 1:1-230.
- [4] 许峰,柏森,王瑾,等.用锥形束 CT 图像测量放疗摆位误差[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2007, 16(6): 461-464.  
Xu F, Bai S, Wang Q, et al. With the cone beam CT image radiation beam position measurement error [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2007, 16(6): 461-464.
- [5] 何强,荆保国,朱云.鼻咽癌放射治疗不同摆位技术方法的精度比较[J]. *实用医学杂志*, 2007, 23(10): 1538-1540.
- [6] 尹文晶,孙颖,迟峰,等.应用锥形束 CT 研究鼻咽癌容积弧形调强放射治疗的摆位误差 [J]. *中山大学学报 (医学科学版)*, 2012, 33(5): 678-682.  
Yin WJ, Sun Y, Chi F, et al. Application of cone beam CT study nasopharyngeal carcinoma volume the positioning error of arc intensity-modulated radiation therapy [J]. *Journal of Sun Yat-sen University (Medical Science Edition)*, 2012, 33(5): 678-682.
- [7] Hurkmans CW, Remeijer P, Lebesque JV, et al. Set-up verification using portal imaging: review of current clinical practice[J]. *Radiotherapy and oncology*, 2001, 58(2): 105-112.
- [8] 刘均,陈宏,王永刚,等.图像引导鼻咽癌调强放疗位置误差导致剂量差异分析[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2011, 20(2): 160-163.  
Liu J, Chen H, Wang YG, et al. Image-guided nasopharyngeal carcinoma intensity-modulated radiotherapy dose difference resulted position error analysis [J]. *Chinese journal of radiation oncology*, 2011, 20(2): 160-160.
- [9] ICRU. Reports 62 ICIU Publication [C].
- [10] Lei X, Brian T, Eduard S. Overview of imageguided radiation therapy[J]. *Med Dosimetry*, 2006, 31: 91-112.

(上接第 33 页)

学差异;机器总跳数(MU)同样无统计学差异,治疗时间(T)有统计学差异,仰卧位的治疗计划执行时间相比俯卧位平均多出 20 s,这 20 s 的差异主要是由于仰卧位计划多了一段大于 15°的 BEAM OFF 弧,机架空转产生的时间。实际应用中,一般的 RapidArc 执行时间均在 2 min 以内,即便是本研究的仰卧位计划其执行时间也均未超过 2 min,这个时间的差异在临床应用中是可以接受的。

综上所述,胸部偏后背肿瘤 RapidArc 采用仰卧位设计治疗计划满足临床要求,可推广使用。

### 【参考文献】

- [1] ICRU. Prescribing, Recording, and Reporting Photon-Beam Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT) [J]. *Journal of the ICRU*, 2010, 10(1): 23-29.
- [2] 张桂芳,卢洁,王传栋,等.乳腺癌根治术后两种调强放疗模式的剂量学研究[J]. *中华放射医学与防治杂志*, 2011, 31(4): 456-459.  
Zhang GF, Lu J, Wang CD, et al. Dosimetric comparison of two intensity modulated radiotherapy modes for breast cancer after radical mastectomy[J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2011, 31(4): 456-459.
- [3] Akira S, Kenshiro S, Tsuyoshi O, et al. Single-Arc volumetric modulated arc therapy planning for left breast cancer and regional nodes[J]. *Radiation Res*, 2012, 53(1): 151-153.
- [4] 杨波,庞廷田,孙显松,等.宫颈癌术后盆腔容积调强弧形治疗与固定野调强放疗计划的剂量学研究 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2012, 21(6): 538-539.  
Yang B, Pang TT, Sun XS, et al. Dosimetric study of volumetric intensity-modulated arc therapy and fixed field intensity-modulated radiotherapy for cervix cancer[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2012, 21(6): 538-539.
- [5] 陈明伟,邓小武,黄劲敏,等.非晶硅平板电子射野影像用于放射治疗剂量学质量控制检验的应用[J]. *癌症*, 2007, 26(11): 1272-1275.  
Chen MW, Deng XW, Huang SM, et al. Application of amorphous silicon electronic portal imaging device (a-Si EPID) to dosimetry quality assurance of radiation therapy [J]. *Chinese Journal of Cancer*, 2007, 26(11): 1272-1275.
- [6] Peter W, Kit CC, Cheng KW, et al. Volumetric intensity-modulated arc therapy vs conventional intensity-modulated radiation therapy in nasopharyngeal carcinoma: a dosimetric study [J]. *Radiation Res*, 2012, 54(3): 532-535.
- [7] 吴昊,韩树奎,孙艳,等.局部进展期鼻咽癌快速旋转调强与固定野动态调强放疗的剂量学比较[J]. *中华放射医学与防治杂志*, 2010, 19(5): 410-413.  
Wu H, Han SK, Sun Y, et al. Dosimetric comparison of RapidArc with fixed gantry dynamic IMRT for LoCo-reg Ionally advanced nasopharyngeal carcinoma[J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2010, 19(5): 410-413.