

## 锥形束CT离线校正肺癌摆位误差

刘洪源, 彭威, 杨锐, 梁志文, 李勤, 彭振军

华中科技大学同济医学院附属协和医院肿瘤中心, 湖北 武汉 430023

**【摘要】目的:**应用锥形束CT(CBCT)测量肺癌患者的摆位误差,探讨摆位误差离线校正方法。**方法:**选取21例胸部肿瘤患者,分次放疗前每日行CBCT扫描1次,通过与计划CT配准后,记录患者左右、前后及头脚方向的摆位误差,并计算出PTV的扩边大小。模拟两种摆位误差离线校正策略,分别通过首次治疗时图像引导(M1)和前3次治疗图像引导(M2)的摆位误差校正治疗床的位置,根据等中心的激光线在体模上重新标记等中心位置。分析采用不同策略校正后的摆位误差。**结果:**无图像引导时,本中心肺部肿瘤的摆位误差在左右、前后与头脚方向的摆位误差分别为 $(-0.40\pm 1.91)$ 、 $(-0.71\pm 0.38)$ 、 $(-1.37\pm 0.94)$  mm;与之相对应的计划靶区(PTV)扩边分别为5.49、4.31、8.96 mm。使用两种离线校正后,左右、前后与头脚方向的摆位误差分别为 $(0.13\pm 1.91)$ 、 $(-0.57\pm 0.38)$ 、 $(1.06\pm 0.94)$  mm(M1), $(0.05\pm 1.91)$ 、 $(-0.11\pm 0.38)$ 、 $(0.52\pm 0.94)$  mm(M2);对应的PTV扩边缩小为4.82、4.11、7.60 mm(M1),4.04、1.60、3.28 mm(M2)。**结论:**离线校正能减小摆位误差,缩小PTV扩边,保证治疗质量的同时提高临床效率。

**【关键词】**肺癌;调强放疗;锥形束CT;图像引导;摆位误差;靶区外放距离

**【中图分类号】**R730.55

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2016)06-0573-03

## Off-line correction for cone-beam CT setup errors of lung cancer

LIU Hong-yuan, PENG Wei, YANG Rui, LIANG Zhi-wen, LI Qin, PENG Zhen-jun

Cancer Center, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430023, China

**Abstract: Objective** To measure the setup errors of patients with lung cancer by using cone-beam CT (CBCT) and to study on the off-line correction for CBCT setup errors of lung cancer. **Methods** Totally, 21 patients with lung cancer were selectde. Before radiotherapy, each patient accepted a CBCT scan each day. After the registration with the planning CT, the setup errors from three directions, left-right (LR), anterior-posterior (AP), superior-inferior (SI) were recorded and the planning target volume (PTV) margin was calculated. Two kinds of off-line correction strategies for CBCT setup errors were simulated, correcting the position of treatment couch by the setup errors of image guidance in the first treatment (M1) and image guidance in the first three treatments (M2), and resetting the treatment isocenter markers on the thermoplastic mask according to the isocenter laser. The setup errors after the corrections of different strategies were analyzed. **Results** Without image-guidance, the setup errors of patients with lung cancer in the directions of LR, AP and SI were respectively  $(-0.40\pm 1.91)$  mm,  $(-0.71\pm 0.38)$  mm,  $(-1.37\pm 0.94)$  mm, and the corresponding PTV margins were respectively 5.49 mm, 4.31 mm, 8.96 mm. With two kinds of off-line corrections, the setup errors of M1 in the directions of LR, AP and SI were respectively  $(0.13\pm 1.91)$  mm,  $(-0.57\pm 0.38)$  mm,  $(1.06\pm 0.94)$  mm, and those of M2 were respectively  $(0.05\pm 1.91)$  mm,  $(-0.11\pm 0.38)$  mm,  $(0.52\pm 0.94)$  mm. The ccorresponding PTV margins of M1 were respectively 4.82 mm, 4.11 mm, 7.60 mm, and those of M2 were respectively 4.04 mm, 1.60 mm, 3.28 mm. **Conclusion** The off-line correction reduces the setup error and PTV margin, improves the treatment efficiency without affecting the treatment quality.

**Key words:** lung cancer; intensity-modulated radiotherapy; cone-beam CT; image guidance; setup error; planning target volume margin

## 前言

摆位误差是影响放射治疗精度的重要因素之一。图像引导放疗可在分次治疗前通过千伏级锥形束CT(Cone Beam CT, CBCT)在线校正患者的位置,减小摆位误差,提高放疗精度<sup>[1-3]</sup>。然而在线校正需要每次治疗前都拍摄影像引导患者摆位,这种方式

**【收稿日期】**2016-03-09

**【作者简介】**刘洪源,研究方向:放射剂量学,E-mail:liuhongyuan1991-@163.com

**【通信作者】**梁志文,研究方向:放射剂量学,E-mail:lwz1091981@163.com

使患者受到更多照射,同时也增加了工作负荷<sup>[4-5]</sup>。本文回顾性分析了本中心胸部肿瘤患者在线校正的摆位误差数据,模拟两种离线校正的方法减小摆位误差,在保证准确治疗的同时,简化本中心图像引导放疗的流程。

## 1 材料与方法

### 1.1 病例选择

选择2015年1月~10月在华中科技大学同济医学院附属协和医院肿瘤中心治疗的经病理学证实的21例胸部肿瘤患者(其中1例患者有2个靶区),其中男12例,女9例,年龄54~79岁,中位年龄58岁,卡氏评分均 $\geq 70$ 。

### 1.2 CT模拟定位

扫描时,患者仰卧于平板床上,双手上举交叉置于额头,热塑体模固定其体位。训练病人平静呼吸,在患者的肚脐下3 cm表面放置一红外反射标记盒,床尾的摄像机可实时监测由红外反射标记盒所反应的运动,用其来代替患者的呼吸(图1)。扫描层厚为3 mm,扫描范围为环甲膜至膈肌下缘。在常规螺旋扫描三维CT(3DCT)后完成四维CT扫描,并按时相方式重建0%~90%时相的影像。所有影像均上传至Eclipse治疗计划系统。



图1 患者4D CT扫描

Fig.1 Four-dimensional CT scan

### 1.3 计划设计

医师在3DCT上勾画靶区,参考MIP(Max Intensity Projection)<sup>[6]</sup>影像和时相影像勾画内靶区(ITV),ITV外放5 mm得到计划靶区(PTV)。将3DCT作为计划CT,设计调强计划,布野数5~7个,在瓦里安电子直线加速器Trilogy上实施治疗计划。

### 1.4 在线校正

患者在分次治疗前均进行CBCT扫描,获得的CBCT

图像与计划CT进行图像配准,所有图像配准均采用自动配准中的骨性匹配,匹配范围包括肿瘤靶区和附近的骨性结构,分别获得左右、前后及头脚3个方向的平移矢量,进行在线摆位校正,并移动治疗床<sup>[7]</sup>。

### 1.5 离线校正

模拟两种方式进行离线校正:首次治疗时图像引导(M1)的摆位误差和前3次治疗图像引导(M2)的平均摆位误差校正治疗床的位置(方法一:将每次治疗时得到的摆位误差分别减去首次治疗得到的摆位误差M1作为新的摆位误差;方法二:将每次治疗得到的摆位误差分别减去前3次治疗得到的平均摆位误差M2作为新的摆位误差)。根据墙上的激光线在体模上重新标记等中心位置后,之后的治疗不再做图像引导。

## 2 结果

### 2.1 摆位误差

21例患者总共176次CBCT扫描数据显示,在左右、前后和头脚3个方向上,本中心肺癌患者的摆位误差分别为 $(-0.40 \pm 1.91)$ 、 $(-0.71 \pm 0.38)$ 、 $(-1.37 \pm 0.94)$  mm。采用两种离线校正方法(M1、M2)修正等中心位置后,左右、前后和头脚3方向上摆位误差如表1所示。

表1 不同方式下摆位误差大小(mm)

Tab.1 Setup errors after different corrections (mm)

Method	Left-right	Anterior-posterior	Superior-inferior
None	$-0.40 \pm 1.91$	$-0.71 \pm 0.38$	$-1.37 \pm 0.94$
M1	$0.13 \pm 1.91$	$-0.57 \pm 0.38$	$1.06 \pm 0.94$
M2	$0.05 \pm 1.91$	$-0.11 \pm 0.38$	$0.52 \pm 0.94$

### 2.2 PTV扩边

个体摆位误差中的系统误差与随机误差分别由该患者治疗过程中所有摆位误差的平均值及标准差来表示。群体摆位误差中的系统误差( $\Sigma$ )与随机误差( $\delta$ )则分别由个体系统误差的标准差和个体随机误差的标准差表示。根据Van Rooijen等<sup>[7]</sup>的公式 $M = 2.5\Sigma + 0.7\delta$ 计算PTV扩边,能保证90%群体患者95%的处方剂量能包全ITV。无图像引导及M1、M2两种离线校正方式的PTV扩边如表2所示,其显示3个方向上的外扩范围有明显降低。

## 3 讨论

本研究使用的Trilogy加速器,配备了千伏级

表2 不同方式下PTV外扩边界大小(mm)  
Tab.2 Planning target volume margin after different  
corrections (mm)

Method	Left-right	Anterior-posterior	Superior-inferior
None	5.49	4.31	8.96
M1	4.82	4.11	7.60
M2	4.04	1.60	3.28

的CBCT图像引导系统,可以在线获取靶区和周围组织的容积图像,与计划CT进行配准,精确得到左右、前后和头脚3个方向的摆位误差,并传递给治疗床,通过调整治疗床的位置,在线校正摆位系统误差<sup>[8]</sup>。王丹等<sup>[9]</sup>对12例中上段食管癌患者的摆位误差进行了分析,得出左右、前后和头脚三个方向的摆位误差分别为 $(-0.32\pm 2.67)$ 、 $(-0.91\pm 2.63)$ 、 $(-1.17\pm 2.58)$  mm;吴钦宏等<sup>[10]</sup>用负压成型垫固定患者体位,并用CBCT测量体部肿瘤患者的摆位误差,结果显示左右、前后和头脚3个方向的摆位误差分别为 $(-0.5\pm 2.8)$ 、 $(0.4\pm 3.4)$ 、 $(0.0\pm 3.0)$  mm;曹晓辉等<sup>[11]</sup>分析CBCT图像引导下的胸部肿瘤摆位误差,左右、前后、头脚3个方向的摆位误差分别为 $(-0.16\pm 3.25)$ 、 $(-2.43\pm 2.14)$ 、 $(-1.36\pm 5.43)$  mm。但这些研究都没有考虑如何通过CBCT测得的摆位误差离线校正患者摆位。本研究回顾性地分析了胸部肿瘤患者的摆位误差,通过两种离线校正方法来调节患者的摆位,显著性地缩小了计划靶区的外放距离。

本研究中离线校正的模拟方法实质上是通过修正患者首次或前几次图像引导摆位误差,重新设置患者治疗射野等中心的位置。即对个体患者而言其作用相当于在不改变患者摆位误差分布的情况下,把数据整体拉向原点(图2),使个体患者的系统误差

更接近零,从而降低群体的系统误差。两种离线校正的方法使摆位误差更集中于零点,即零点附近的摆位误差增多,摆位误差减小。从PTV的扩边公式可知,群体随机误差( $\delta$ )无法改变,群体的系统误差( $\Sigma$ )在离线校正后明显降低,而且从两者的系数来看,系统误差的系数更高(2.5 vs 0.7),说明减小群体系统误差对缩小PTV扩边作用更大<sup>[12]</sup>。

从表1、表2可知,离线校正方法明显减小了3个方向上的摆位误差,对3个方向的PTV扩边有明显缩小。从图2中可以明显看出,M2的数据相对零点更集中,对个体患者而言表示其系统误差更接近于零,因此方法M2对个体患者的摆位误差校正更好。

摆位误差是影响放射治疗精度的重要因素之一<sup>[12-15]</sup>。离线校正方法能保证患者治疗精度,一定程度上缩短患者治疗时间、减少患者的受照剂量,减轻工作人员的工作负荷,同时也显著性地减小了系统误差,缩小了PTV的外放距离,降低了正常组织照射剂量,对临床上具有一定的指导意义。

## 【参考文献】

- [1] TOPOLNIAK R, SONKE J J, NIJKAMP J, et al. Breast patient setup error assessment: comparison of electronic portal image devices and cone-beam computed tomography matching results [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 78(4): 1235-1243.
- [2] YEUNG A R, LI J G, SHI W, et al. Tumor localization using cone-beam CT reduces setup margins in conventionally fractionated radiotherapy for lung tumors [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 74(4): 1100-1107.
- [3] BISSONNETTE J P, PURDIE T G, HIGGINS J A, et al. Cone-beam computed tomographic image guidance for lung cancer radiation therapy [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 73(3): 927-934.
- [4] 尹勇,袁双虎,刘同海,等. 加速器附加锥形束CT图像质量评价[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2007, 16(3): 225-228.  
YIN Y, YUAN S H, LIU T H, et al. Evaluation of varian kV X-ray cone beam CT image [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2007, 16(3): 225-228.
- [5] WANG J, BAI S, CHEN N, et al. Preliminary study on the clinical feasibility and effect of online cone beam computer tomography-guided intensity-modulated radiotherapy for nasopharyngeal cancer [J]. Radiother Oncol, 2008, 90(2): 221-227.
- [6] UNDERBERG R W, LAGERWAARD F J, SLOTMAN B J, et al. Use of maximum intensity projections (MIP) for target volume generation in 4DCT scans for lung cancer [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 63(1): 253-260.
- [7] VAN ROOIJEN D C, VAN WIERINGEN N, STIPPEL G, et al. Dose-guided radiotherapy: potential benefit of online dose recalculation for stereotactic lung irradiation in patients with non-small-cell lung cancer [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 83(4): e557-e562.
- [8] LETOURNEAU D, WANG J W, OLDHAM M, et al. Cone-beam-CT guided radiotherapy: technical implementation [J]. Radiother Oncol, 2005, 75(3): 279-286.

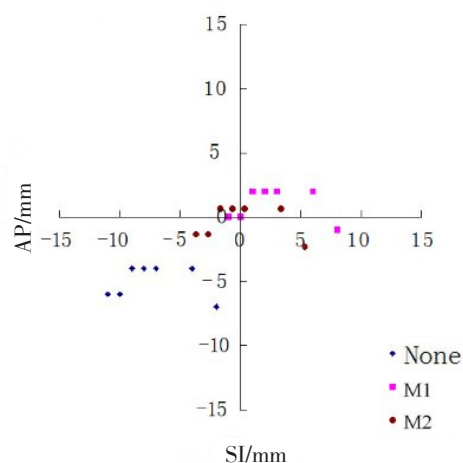


图2 患者个体化摆位误差分布

Fig.2 Distribution of setup errors

(下转 583 页)