

# EXacTrac和CBCT IGRT 在肺癌IMRT 应用研究

高绪峰 唐德文 王培 蒋聪 吴德全 张德康

**【摘要】 目的** 比较红外线标记自动摆位+EXacTrac (A)和人工摆位+CBCT IGRT 技术(B)在肺癌IMRT 中的摆位误差和摆位与误差修正时间。**方法** 选择20 例肺癌患者随机分为A、B 两组。A 组自动摆位后再用KV 级X 射线获取一组交叉X 线射野片,与DRR 匹配得到修正前误差;B 组采用人工摆位后运用CBCT 引导技术获取图像,与定位CT 图像匹配得到修正前误差。分别记录A、B 两组摆位与误差修正时间,误差修正后再以各自IGRT 技术得到修正后误差。组间比较采用配对t 检验。**结果** A 组和B 组修正后左右、上下、前后、绕前后方向误差均小于修正前的( $1.8\pm 1.3 : 0.4\pm 0.1$ 、 $2.7\pm 1.9 : 0.5\pm 0.1$ 、 $2.8\pm 1.7 : 0.4\pm 0.1$ 、 $1.6\pm 1.0 : 0.3\pm 0.9$ , $P=0.000$ 、 $0.000$ 、 $0.000$ 、 $0.000$ 和 $2.6\pm 1.9 : 0.5\pm 0.5$ 、 $3.1\pm 2.5 : 0.6\pm 0.6$ 、 $2.1\pm 1.8 : 0.5\pm 0.5$ 、 $0.9\pm 0.7 : 0.3\pm 0.1$ , $P=0.000$ 、 $0.000$ 、 $0.000$ 、 $0.000$ ),A 组修正后误差与B 组修正后误差相近( $0.4\pm 0.1 : 0.5\pm 0.5$ 、 $0.5\pm 0.1 : 0.6\pm 0.6$ 、 $0.4\pm 0.1 : 0.5\pm 0.5$ 、 $0.3\pm 0.9 : 0.3\pm 0.1$ , $P=0.204$ 、 $0.257$ 、 $0.518$ 、 $0.755$ ),A 组摆位与误差修正时间明显小于B 组( $199.1\pm 16.2 : 315.2\pm 13.7$ , $P=0.000$ )。**结论** EXacTrac 和CBCTIGRT 系统在调强放疗的应用能明显减小摆位误差,提高摆位精度,EXacTrac 系统的应用可明显缩短摆位与误差修正时间。

**【关键词】** 肺肿瘤/调强放射疗法; EXacTrac; CBCT; 摆位误差; 摆位与误差修正时间

**Application of EXacTrac and cone-beam computed tomography image-guided radiotherapy in intensity-modulated radiotherapy for lung cancer** Gao Xufeng, Tang Dewen, Wang Pei, Jiang Cong, Wu Dequan, Zhang Dekang. Department of Radiation Oncology, Sichuan Cancer Hospital, Chengdu 610041, China

Corresponding author: Zhang Dekang, Email: 1796280224@qq.com

**【Abstract】 Objective** To compare set-up error and the positioning and error correction time between the infrared markers automatic positioning+ EXacTrac (A) and the manual positioning+ cone-beam computed tomography (CBCT) image-guided radiotherapy (IGRT) (B) in intensity-modulated radiotherapy (IMRT) for lung cancer. **Methods** A total of 20 patients with lung cancer were randomly divided into Group A and Group B. In Group A, after automatic positioning, a group of orthogonal X-rays images were taken using kV X-rays, which matched digitally reconstructed radiographs to obtain errors before correction. In group B, after manual positioning, images were taken using CBCT, which matched reference computed tomography images to obtain errors before correction. The positioning and error correction time was recorded in both groups. After error correction, errors after correction were obtained in each group using IGRT. Between-group comparison was made using the paired t test. **Results** The errors in lateral, longitudinal, vertical, and spinning vertical directions were significantly reduced after correction in both Group A and B (A:  $1.8\pm 1.3$  vs.  $0.4\pm 0.1$ ,  $P=0.000$ ;  $2.7\pm 1.9$  vs.  $0.5\pm 0.1$ ,  $P=0.000$ ;  $2.8\pm 1.7$  vs.  $0.4\pm 0.1$ ,  $P=0.000$ ;  $1.6\pm 1.0$  vs.  $0.3\pm 0.9$ ,  $P=0.000$ ; B:  $2.6\pm 1.9$  vs.  $0.5\pm 0.5$ ,  $P=0.000$ ;  $3.1\pm 2.5$  vs.  $0.6\pm 0.6$ ,  $P=0.000$ ;  $2.1\pm 1.8$  vs.  $0.5\pm 0.5$ ,  $P=0.000$ ;  $0.9\pm 0.7$  vs.  $0.3\pm 0.1$ ,  $P=0.000$ ). There were no significant differences in errors after correction between Group A and Group B ( $0.4\pm 0.1$  vs.  $0.5\pm 0.5$ ,  $P=0.204$ ;  $0.5\pm 0.1$  vs.  $0.6\pm 0.6$ ,  $P=0.257$ ;  $0.4\pm 0.1$  vs.  $0.5\pm 0.5$ ,  $P=0.518$ ;  $0.3\pm 0.9$  vs.  $0.3\pm 0.1$ ,  $P=0.755$ ). However, the positioning and error correction time in Group A was significantly shorter than that in Group B ( $199.1\pm 16.2$  vs.  $315.2\pm 13.7$ ,  $P=0.000$ ). **Conclusions** The application of EXacTrac or CBCT IGRT can substantially reduce set-up errors and improve set-up accuracy in IMRT. In addition, the application of the EXacTrac system can substantially shorten the positioning and error correction time.

**【Key words】** Lung neoplasms/intensity-modulated radiotherapy; EXacTrac; CBCT; Set-up errors; Positioning and error correction time

具备 EXacTrac 和 CBCT 两种 IGRT 技术<sup>[3]</sup>。应用 Novalis 实施 IGRT 时,摆位和误差修正一般采用两种方式,第 1 种(A)是运用 EXacTrac 系统<sup>[4]</sup>,该系统由一个红外线光学定位仪和 2 个交叉的千伏级 X 射线成像装置,以与相应图像配准软件组成,通过红外线光学定位仪检测患者体表的红外线定位标记球位置自动摆位,再用 X 射线成像系统装置获取图像并修正摆位误差;第 2 种(B)是人工摆位+CBCT 的 IGRT 技术,患者体表中心点与墙面激光灯重合完成摆位,再用 CBCT 的 IGRT 技术获取图像并修正摆位误差。本研究比较上述两种方式下肺癌 IMRT 中体位精度和摆位与误差修正时间。

## 材料与方法

1.一般临床资料:选择 2013 年 12 月至 2014 年 9 月治疗的 20 例肺癌患者进行分析研究,其中男 15 例、女 5 例,年龄 41~78 岁(中位数 57 岁)。鳞癌 13 例,腺癌 7 例;左肺 12 例,右肺 8 例。随机分为 A、B 两组,每组 10 例。两组病例分别采用以上 A、B 方式进行了摆位、误差修正并完成 IMRT。

2.设备及软件:16 排大孔径 CT 模拟定位机, Novalis TX 直线加速器机载 OBI 系统, EXacTrac 系统, Eclipse8.1 计划系统, Impact 系统。

3.CT 定位与治疗计划设计:A、B 两组均采用体部固定底板+真空垫+热塑体膜固定<sup>[5]</sup>,A 组将 5 个红外感应的红外线定位标记球固定在肿瘤附近的体膜表面,并在体膜表面标记红外线定位标记球的位置。CT 定位扫描层厚 3 mm,扫描范围包括环甲膜至肝下缘层面,A 组患者还应该包括 5 个红外线定位标记球范围。扫描所获得的图像传输至 TPS,物理师根据靶区勾画结果设计 IMRT 计划,生成治疗部位的 DRR,并将数据分别传输至加速器和 EXacTrac 系统。

4.摆位与误差修正的精度验证:A 组患者将 5 个红外线定位标记球按原位置于患者体表,运用 EXacTrac 光学定位仪检测红外线定位标记球位置,自动移动治疗床完成自动摆位,用 KV-X 射线获取一组交叉的 X 射线野片,获取参数为电压 120 kV,电流 160 mA。一组交叉的 X 射线野片是两张 45°斜入射图像,计算机通过随机、最优融合算法根据 X 射线野片的信息,在计划 CT 上找到与之对应的两张虚拟图像,再用 X 射线野片与虚拟图像做匹配,计算机可以推算出 KV-X 射线在标准入射方向上产生这两张虚拟图像所经过的中心和产生标准 DRR

图像所经过的中心的偏差,得到患者左右、上下、前后、绕前后方向误差,定为修正前误差,记录摆位与误差修正时间,根据得到的修正前误差,对治疗床进行位置修正调整,再重复 X 线图像验证过程,得到各方向平移误差和旋转误差,定为修正后误差。B 组患者采用人工摆位,患者体表标记中心点与墙面激光灯重合即完成摆位,摆位完成后采用 CBCT 图像引导技术获取图像,获取参数为电压 110 kV,电流 20 mA, half-fan 滤线器,扫描角度 178°~182°E,图像与计划 CT 图像进行匹配,得到各方向平移误差和旋转误差,定为修正前误差,记录摆位与误差修正时间,调整治疗床修正误差后再重复 CBCT 图像验证过程,得到各方向平移误差和旋转误差,定为修正后误差。

5.统计方法:应用 SPSS 17.0 软件对两组的摆位误差、摆位与误差修正时间比较行配对 *t* 检验, $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结果

1.图像获取情况:共获取 192 组患者体位图像,A 组 96 组,每次摆位完成后均获取 X 线射野片,每次治疗体位下获取 2 张 X 线射野片为 1 组,摆位修正前与修正后各 48 组;B 组 96 组,首次治疗和每周在摆位修正前后各行 1 次 CBCT 扫描,每次治疗体位下获取的 CBCT 图像为 1 组图像,摆位修正前与修正后各 48 组。

2.A 组结果分析:A 组图像与计划系统生成 DRR 进行匹配(图 1),得到修正前误差和修正后误差,记录摆位误差和摆位与误差修正时间结果,详见表 1。单纯红外线感应摆位,摆位误差较大,最大见于前后方向,上下方向次之,经 KV X 射线图像匹配修正后误差较小,最大线性误差  $< 1$  mm,最大旋转误差  $< 0.5^\circ$ ,误差修正前后各方向误差差异均有统计学意义( $P = 0.000, 0.000, 0.000, 0.000$ )。

3.B 组结果分析:B 图像与计划 CT 图像进行匹配(图 2),得到修正前误差和修正后误差,记录摆位误差和摆位与误差修正时间结果,详见表 2。人工摆位误差较大,上下方向最大,左右方向次之,前后方向最小,经 CBCT 图像匹配修正误差后各个方向误差明显缩小,上下方向和前后方向误差均在 0~2 mm,左右方向误差在 0~1 mm,旋转误差  $< 0.5^\circ$ ,误差修正前后各方向误差差异均有统计学意义( $P = 0.000, 0.000, 0.000, 0.000$ )。

4.A 组与 B 组修正后比较:左右、上下、前后、绕前后方向比较  $P = 0.204, 0.257, 0.518, 0.755$ 。

## 讨 论

IMRT 是治疗肺癌较先进的技术,可以产生高度适合靶区形状的剂量分布,精确的体位定位、固定和重复摆位是实现精确放疗的关键<sup>[6]</sup>。然而患者在分次治疗时存在的摆位误差,影响放疗精确度<sup>[7-8]</sup>。有学者研究表明 EXacTrac 和 CBCTIGRT 技术都能有效修正摆位误差,提高放疗精确度,降低正常组织并发症,有可能提高 PTV 剂量,提高放疗 LC 率<sup>[9-11]</sup>。本研究中的 A 组和 B 组修正后误差均小于修正前误差,说明 EXacTrac 和 CBCT IGRT 技术在 IMRT 的应用能明显减少摆位误差,提高摆位精度,

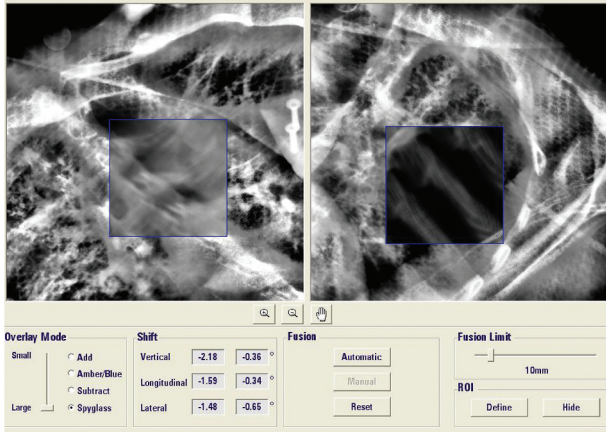


图 1 肺癌患者 EXacTrac 图像与数字重建影像匹配示例

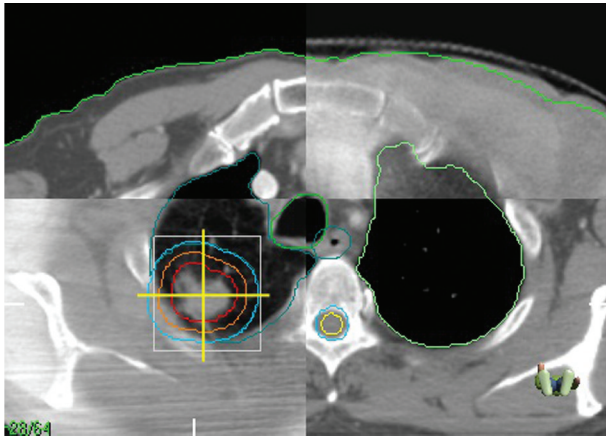


图 2 肺癌患者 CBCT 图像与计划 CT 图像匹配示例

与以上学者研究结果一致。修正后误差即残留误差, A 组修正后误差与 B 组修正后误差相近,说明通过 EXacTrac 系统完成摆位与误差修正和通过人工摆位+CBCT 完成误差修正所残留的误差差异不显著。A 组摆位与误差修正时间明显小于 B 组,说明 EXacTrac 系统较人工摆位+CBCT 完成摆位与误差修正用时短,可缩短摆位与误差修正时间。摆位与误差修正耗时过长,会增加患者自主运动的可能性,进而增加患者治疗体位的位置偏差,在残留误差差异不显著情况下应采用较短时间内完成摆位与误差修正的方法。

目前有大量研究 X 线平片和 CBCT 图像成像剂量的报道。焦升超等<sup>[12]</sup>在用正交 KV 级 X 线平片修正肝癌放疗摆位误差可行性研究中,摆位完成分别获取 KV 级 X 线平片和 CBCT 图像,CBCT 成像所需帧数上导致积分剂量是正交 KV 级 X 线平片的 9 倍。Shi 等<sup>[13]</sup>在前列腺 IMRT 中用 EXactracIGRT 技术测量体位误差,并测量成像剂量,结果显示 EXactrac 成像剂量低于 CBCT。但有学者报道 CBCT IGRT 技术能获取患者治疗部位的三维图像有较高分辨率,能看到软组织、能清晰显示肿瘤大小和正常组织位置,而 EXacTrac IGRT 技术只能获取二维图像,在精确配准和图像可视性方面 CBCT 优于 EXacTrac<sup>[12,14]</sup>。

可以看出,EXacTrac 系统借助红外线光学定位仪检测患者体表红外线定位标记球的位置自动摆位,是集自动摆位和摆位验证为一体的系统,较人工摆位+CBCT IGRT 技术而言,缩短了摆位与误差修正时间,能尽量减小患者因耗时过长而产生自主运动的可能性,提高设备利用效率。

EXactrac 在成像剂量方面低于 CBCT,但 CBCT 在精确配准和图像可视性方面优于 EXacTrac,因此在临床治疗患者时,根据实际情况选择适合患者摆位与误差修正方法是放疗技师工作中应十分注意的问题。

表 1 10 例肺癌患者红外线标记自动摆位+EXacTrac 图像引导技术摆位误差和摆位与误差修正时间

项目	修正前误差 (mm)				摆位与误差修正时间 (s)	修正后误差 (mm)			
	左右方向	上下方向	前后方向	绕前后方向 (°)		左右方向	上下方向	前后方向	绕前后方向 (°)
平均值	1.8	2.7	2.8	1.6	199.1	0.4	0.5	0.4	0.3
标准差	1.3	1.9	1.7	1.0	16.2	0.1	0.1	0.1	0.9
最大值	5.0	6.5	7.3	4.0	230.0	0.6	0.8	0.9	0.5
最小值	0.1	0.2	0.1	0.1	169.0	0.1	0.2	0.2	0.1

注:修正前后左右、上下、前后、绕前后方向比较 $P=0.000,0.000,0.000,0.000$

表 2 10 例肺癌患者人工摆位+CBCT 图像引导技术摆位误差和摆位与误差修正时间

项目	修正前误差(mm)				摆位与误差修正时间(s)	修正后误差(mm)			
	左右方向	上下方向	前后方向	绕前后方向(°)		左右方向	上下方向	前后方向	绕前后方向(°)
平均值	2.6	3.1	2.1	0.9	315.2	0.5	0.6	0.5	0.3
标准差	1.9	2.5	1.8	0.7	13.7	0.5	0.6	0.5	0.1
最大值	8.0	9.0	7.0	3.0	350.0	1.0	2.0	2.0	0.5
最小值	0.0	0.0	0.0	0.0	295.0	0.0	0.0	0.0	0.1

注:修正前后左右、上下、前后、绕前后方向比较 $P=0.000,0.000,0.000,0.000$

### 参 考 文 献

- [1] Sterzing F, Engenhardt-Cabillic R, Flentje M, et al. Image-Guided Radiotherapy; a new dimension in radiation oncology [J]. Dtsch Arztebl Int, 2011, 108 ( 16 ): 274-280. DOI: 10.3238/arztebl.2011.0274.
- [2] Gupta T, Narayan CA. Image-guided radiation therapy; Physician's perspectives [J]. J Med Phys, 2012, 37 ( 4 ): 174-182. DOI: 10.4103/0971-6203.103602.
- [3] Wen N, Walls N, Kim J, et al. Clinical use of dual image-guided localization system for spine radiosurgery [J]. Technol Cancer Res Treat, 2012, 11 ( 2 ): 123-131. DOI: 10.7785/ctrt.2012.500241
- [4] 高绪峰, 梁黎, 吴德全, 等. EXacTrac X 线图像引导系统在胸部肿瘤治疗应用的初步评估 [J]. 肿瘤预防与治疗, 2012, 25 ( 6 ): 351-353. DOI: 10.3969/j.issn.1674-0904.2012.06.005.
- [5] 刘利彬, 吴君心, 瞿宜艳, 等. 应用 CBCT 研究胸腹部肿瘤 IMRT 两种体位固定技术的摆位误差 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23 ( 1 ): 48-52. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2014.01.013.
- [6] Xing L, Thorndyke B, Schreiber E, et al. Overview of image guided radiation therapy [J]. Med Dosim, 2006, 31 ( 2 ): 91-112. DOI: 10.1016/j.meddos.2005.12.004
- [7] Gottlieb KL, Hansen CR, Hansen O, et al. Investigation of respiration induced intra-and inter-fractional tumour motion using a standard cone beam CT [J]. Acta Oncol, 2010, 49 ( 7 ): 1192-1198. DOI: 10.3109/0284186X.2010.498834.
- [8] Higgins J, Bezjak A, Hope A, et al. Effect of image-guidance frequency on geometric accuracy and setup margins in radiotherapy for locally advanced lung cancer [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 80 ( 5 ): 1330-1337. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2010.04.006.
- [9] Udrescu C, Morne X F, Tanguy R, et al. EXacTrac snap verification; a new tool for ensuring quality control for lung stereotactic body radiation therapy [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2013, 85 ( 1 ): 89-94. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2012.09.020.
- [10] Worm ES, Hansen AT, Petersen JB, et al. Inter-and intrafractional localisation errors in cone-beam CT guided stereotactic radiation therapy of tumours in the liver and lung [J]. Acta Oncol, 2010, 49 ( 7 ): 1177-1183. DOI: 10.3109/0284186X.2010.498435.
- [11] 王义海, 吴恒, 张瑾熔, 等. CBCT 配准前后的肺癌调强放疗计划比较研究 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23 ( 1 ): 65-67. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2014.01.019.
- [12] 焦升超, 戴建荣, 王维虎, 等. 利用正交千伏级 X 线透视图像修正肝癌放疗摆位误差的可行性研究 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2011, 20 ( 3 ): 233-235. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2011.03.018.
- [13] Shi C, Tazi A, Fang DX, et al. Study of EXacTrac X-ray 6D IG-RT setup uncertainty for marker-based prostate IMRT treatment [J]. J Appl Clin Med Phys, 2012, 13 ( 3 ): 37-57. DOI: 10.1120/jaemp.v13i3.3757.
- [14] Clemente S, Chiumento C, Fiorentino A, et al. Is EXacTrac X-ray system an alternative to CBCT for positioning patients with head and neck cancers? [J]. Med Phys, 2013, 40 ( 11 ): 1117-1125. DOI: 10.1118/1.4824056.

(收稿日期: 2015-02-04)