

网络出版时间: 2016-8-10 11:04:49 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/34.1065.R.20160810.1104.018.html>

◇ 临床医学研究 ◇

## CT-on-rail 图像引导技术在肺癌放疗中的应用

周梦熙, 王凡, 董东, 陈香存

**摘要** 目的 比较滑轨 CT(CT-on-rail) 和电子射野影像系统(EPID) 两种图像引导放射治疗(IGRT) 技术在肺癌放疗中的应用, 并比较不同图像匹配方式对放疗摆位精度的影响。方法 对 16 例肺癌患者在放疗期间每周行 1 次 EPID 和 CT 扫描并进行图像配准, 得出 X、Y、Z 3 个线性方向的误差值, 进行统计学分析, 对 2 种 IGRT 方法进行比较; 滑轨 CT 组分别有灰度、轮廓和骨性标志模式, 观察 3 种配准方式对摆位精度的影响。结果 CT 和 EPID 配准的 X、Y、Z 三维方向差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。CT 配准组中通过 3 种配准方法得出 X 轴、Z 轴图像匹配采用灰度模式比轮廓和骨性标志模式精度高, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ ); Y 轴上灰度模式和轮廓模式精度高于骨性标志模式, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。结论 基于 CT-on-rail 系统进行的图像引导放射治疗比基于 EPID 系统进行的图像引导放射治疗精度高; 在使用滑轨 CT 进行肺癌图像引导放疗时, 建议首选灰度模式配准。

**关键词** 滑轨 CT; 电子射野影像系统; 图像引导放射治疗; 摆位误差

中图分类号 R 734.2

文献标志码 A 文章编号 1000-1492(2016)10-1477-04

2016-07-28 接收

基金项目: 安徽省高等学校省级自然科学基金项目(KJ2009A82)

作者单位: 安徽医科大学第一附属医院肿瘤放疗科, 合肥 230022

作者简介: 周梦熙, 女, 硕士研究生;

王凡, 男, 教授, 主任医师, 硕士生导师, 责任作者, E-mail: wangfan1965@126.com

doi: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2016.10.018

图像引导放射治疗(image guided radiation therapy, IGRT) 是一种新型的、通过一系列影像系统进行靶区定位和患者摆位的肿瘤放疗技术<sup>[1]</sup>。在肿瘤放疗过程中结合 CT、核磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)、正电子发射计算机断层显像(positron emission tomography, PET) 或超声等影像设备, 借助某些特殊解剖结构与计划图像进行配准融合, 其目的是减少放疗期间靶区位移误差和摆位误差, 监测和校正放疗时肿瘤和正常组织运动引起的误差, 实时监测肿瘤及其标志物<sup>[2]</sup>, 更好地保护正常组织器官, 减轻放疗副作用, 提高肿瘤照射量。IGRT 包括电子射野影像系统(electronic portal imaging device, EPID)、KV 级 X 线摄片和透视、滑轨 CT(CT-on-rail)、锥形束 CT(cone beam computerized tomography, CBCT) 等。当前最常用的是 CT-on-rail 和 KV 级或 MV 级 CBCT, 其采集靶区 2D 图像, 并迅速将其重建为 3D 图像, 在整个治疗过程中对放射线和荧光进行监控, 以减少靶区运动和周围正常组织生理变化引起的摆位变化<sup>[3]</sup>。肺癌放疗过程中, 由于分次间的摆位误差、分次间的靶区移位和变形以及分次中的运动误差, 肺癌精确放疗的摆位重复性较差, 放疗精确度不如其他部位尤其是头颈部肿

drome model rats. **Methods** The PCOS model was established by using testosterone propionate injection combined with human chorionic gonadotropin to compare rat ovarian morphology, sex hormones levels, the expression of vascular endothelial growth factor(VEGF) in ovary and homeobox gene A10(HOXA10) in uterus before and after drug administration. **Results** In a comparison to the model group, the number of ovarian corpus luteum of the Ding Kundan group was increased, and the serum luteinizing hormone(LH) and androgens(T) level of the Ding Kundan group declined, but follicle stimulating hormone(FSH) increased, the expression of VEGF in ovary reduced while HOXA10 in uterus rose. On top of that, their differences were statistically significant( $P < 0.05$ ). **Conclusion** Ding Kundan has the function of promoting ovulation and can increase the role of endometrial receptivity. The mechanism may relate to the regulation of the serum sex hormones levels, the decrease of VEGF expression in ovary, and the addition of HOXA10 in uterus in PCOS model rats.

**Key words** polycystic ovary syndrome; Ding Kundan; vascular endothelial growth factor; homeobox gene A10

瘤,不仅会影响对病灶的疗效,还会增加对正常组织的放射性损伤。目前已有不少研究针对 CBCT 和 EPID 在肺癌放疗精度上进行比较,而对滑轨 CT 和 EPID 进行图像配准的研究较少。该文对滑轨 CT 和 EPID 两种 IGRT 方法在肺癌放疗中的应用进行研究,并比较分析灰度、轮廓、骨性标志 3 种不同图像配准方式对摆位精度的影响。

## 1 材料与方法

**1.1 病例资料** 收集 2015 年 8 月~2016 年 2 月经影像学 and 病理学确诊为肺癌并于安徽医科大学第一附属医院放疗科行肺癌精确放疗的 16 例患者的临床资料,其中男 12 例,女 4 例;年龄 20~70 岁,中位年龄 45 岁;放射治疗采用 2 Gy/次,5 次/周,DT 60 Gy/30 f,个别患者由于病灶体积过大或临近部位 2 年内已接受过放射治疗,故减少剂量至 40~46 Gy/20~23 f。考虑 IGRT 全过程耗时较长,排除高龄、身体状况差、无法配合的患者,所有研究对象 KPS 评分  $\geq 70$  分。

**1.2 摆位、CT 扫描及计划制定** 所有患者取仰卧位,双手上举抱肘置于额头上,经真空体模固定体位,在模拟机下定位,三维激光灯摆位 9 点法标记。定位后于西门子 Artist 加速器配备的滑轨 CT 扫描 CT 图像,扫描范围从环状软骨至双侧肋膈角,厚层为 5 mm。将扫描 CT 图像传输至放射治疗计划系统,进行靶区及重要危及器官包括皮肤、脊髓、肺、心脏、食管等的勾画。采用 Philips Pinnacle 系统制定放疗计划。

**1.3 图像采集及配准** 从放疗计划执行第 1 天起,每周进行 1 次图像引导放射治疗和图像配准,首先行体模固定,激光灯定位,后续操作均由 2 名放疗科技术人员和 1 名放疗科临床医师共同完成,排除主观意见引起的误差。先拍摄 EPID 0°和 90°正侧位片,技术人员通过一些特殊解剖结构手动与计划 CT 图像进行配准。EPID 正位片配准可得到 X 轴(左右)和 Y 轴(头脚) 2 个方向的误差值;EPID 侧位片可得出 Y 轴(头脚)和 Z 轴(上下) 2 个方向的误差值,本研究以正位片得到的 Y 值为准,记录每组数据。

EPID 摄片结束后行滑轨 CT 图像扫描。西门子公司的 CT Vision 系统采用 ONCOR 加速器和大孔径 OPEN CT 机在同一治疗室内共用 1 张治疗床,CT

机可沿导轨移动,称为 CT-on-rail 或者 In Room CT<sup>[4]</sup>。由放疗技术人员和临床医师共同将治疗床水平旋转 180°后,使 CT 机沿导轨移动到治疗部位进行 CT 扫描,将所得 CT 扫描图像和与计划 CT 图像进行图像配准,包括灰度模式、轮廓模式和骨性标志模式配准,获取患者 X、Y、Z 3 个方向上的线性误差值。其中灰度配准是计算机根据扫描图像不同组织的灰阶值自动进行图像匹配,轮廓配准是以靶区为中心的体表轮廓为准,骨性标志以椎体和棘突为标准。由技术人员手动移动使 CT 扫描图像在冠状面、矢状面、横断面上与计划 CT 图像最大程度重合,记录 3 种配准方式的误差结果。若所得线性误差  $\leq 0.3$  cm 即将治疗床旋转 180°后直接进行肺癌精确放射治疗,若线性误差  $> 0.3$  cm 即先行误差校正后行放疗。在配准全程中嘱患者平静呼吸,尽量避免剧烈咳嗽等大幅度胸部运动。每次配准后重新进行靶区勾画和放疗计划的制定。

**1.4 统计学处理** 应用 SPSS 16.0 软件进行分析,对计量资料均以  $\bar{x} \pm s$  表示,采用两独立样本  $t$  检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

本研究收集 16 例肺癌患者,共进行了 87 次 EPID 摄片与 In Room CT 扫描,操作过程中患者均未出现不适现象,依从性 100%。摆位、扫描、配准和治疗平均时间 EPID 组为 20 min,CT 组为 25 min。EPID 组和 CT 组以及灰度模式、轮廓模式、骨性标志模式 3 种配准方法所得误差结果及对比如下。

**2.1 EPID 和 CT-on-rail 配准摆位误差的比较** 通过两独立样本  $t$  检验显示 CT-on-rail 配准组 X、Y、Z 轴的平移误差均小于 EPID 配准组,在 X、Y、Z 3 个方向差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表 1。

表 1 EPID 和 CT-on-rail 配准  
3 个方向的摆位误差比较( $\text{cm } \bar{x} \pm s$ )

方向	EPID 组	CT 组	$t$ 值	$P$ 值
X	0.349 $\pm$ 0.221	0.203 $\pm$ 0.187	4.697	$< 0.001$
Y	0.369 $\pm$ 0.271	0.264 $\pm$ 0.212	2.835	0.005
Z	0.228 $\pm$ 0.222	0.163 $\pm$ 0.164	2.174	0.031

**2.2 不同配准方式间摆位误差的比较** 通过 K-W 检验显示灰度模式、轮廓模式和骨性标志模式 3 种配准方式之差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),见表 2。对 3 组数据进行两两配对  $t$  检验, X 轴、Z 轴图像匹

表2 3种不同配准方式3个方向的摆位误差比较( $\text{cm} \bar{x} \pm s$ )

方向	灰度模式	骨性模式	轮廓模式	$\chi^2$ 值	P 值
X	0.203 ± 0.187	0.297 ± 0.244 **	0.370 ± 0.272 ***	19.409	<0.001
Y	0.264 ± 0.212	0.366 ± 0.240 **	0.293 ± 0.239 <sup>#</sup>	13.052	0.001
Z	0.163 ± 0.164	0.283 ± 0.339 ***	0.231 ± 0.201*	17.185	<0.001

与灰度模式比较: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ , \*\*\*  $P < 0.001$ ; 与骨性标志模式比较: <sup>#</sup>  $P < 0.05$

配采用灰度模式比轮廓和骨性标志模式精度高, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); Y 轴上灰度模式和轮廓模式精度高于骨性标志模式, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。

### 3 讨论

放疗高剂量区的偏移不仅影响病灶放疗疗效, 还会增加对周围正常组织器官的放射性损伤, 较为明显的为放射性肺炎、放射性食管炎。肺癌放疗过程中有很多影响放疗精度的因素, 包括以下3个方面: 分次治疗的摆位误差, 包括皮下脂肪肌肉、定位机床和治疗机床差异、激光灯定位、体表定位线的宽度和清晰度引起的误差; 分次间的靶区移位和变形, 包括患者的消瘦和增胖、靶区的缩小变形、靶区和危及器官相对位置的改变; 分次中的靶区运动, 包括呼吸运动和心跳运动<sup>[5]</sup>。据 Borst et al<sup>[6]</sup>报道, 肺部肿瘤患者将有 51% 出现大于 5 mm 的摆位误差。因此, IGRT 在肺癌精确放疗中的应用值得探讨。

EPID 是获取图像的最常用方法, 具有操作简便、快速、经济等优点, 能实时测量和纠正摆位误差, 可降低系统误差和随机误差, 提高摆位精度<sup>[7]</sup>。但也有一定的局限性, 例如, 对软组织的显像能力不足, 操作时只能使用兆级能量, 使患者在治疗时被迫接受额外剂量<sup>[8]</sup>。西门子 CT-on-rail 系统是国内首套集滑轨 CT 和直线加速器于同一机房、共用同一治疗床的图像引导放疗系统。该系统优势在于成像速度快、成像剂量低, 优良的软组织对比度、清晰的图像分辨率, 完整的解剖可视性, 机架系统支持滑轨式设计, 可靠的 DICOM 连接性5个方面<sup>[9]</sup>。治疗机床的精确水平移动不仅提高放疗精度, 还能节省治疗时间。In Room CT 扫描的图像可以达到比传统的 EPID 更好的组织对比度而且该系统的射线利用效率高, 患者接受的射线剂量少<sup>[10]</sup>。本次研究结果也提示滑轨 CT 相对于 EPID 在 X、Y、Z 轴上误差值更小, 放疗精度更高。建议在肺癌放疗过程中首选应用滑轨 CT 进行图像引导放疗, 不仅更好监测靶区的变化, 还能对周围敏感组织包括食管、肺、心

脏、脊髓等进行剂量保护。

然而, CT-on-rail 系统仍存在一些不足, 体现在以下几点: 摆位、扫描和配准平均时间 EPID 组为 20 min, CT 组为 25 min, 耗时较长, 增加工作量, 临床应用困难; 患者全程保持双手上举抱肘姿势, 加上天气和自身因素, 部分患者无法坚持; 滑轨 CT 虽然避免了 CT 扫描后治疗的重复摆位误差, 但是在治疗床旋转 180°过程中因震荡、旋转而造成的误差不可避免; 仍存在呼吸运动对放疗精度的影响; 不同观察者主观判断的不同, 也会对配准精度产生影响。

本研究结果显示利用骨性模式配准在三维方向误差均大于灰度模式配准; 在 Y 轴上与轮廓配准也存在差异。骨性配准以骨密度计算, 速度快, 适合于骨组织较多, 且相互连接移动较小的头部肿瘤及盆腔肿瘤<sup>[11]</sup>。灰度配准是运算配准框内所有不同灰阶值, 是一种精确配准运算方式, 主要适用于一些骨性组织较少部位, 或一些骨性配准不能实现者, 尤其照射靶区周围是低密度组织时更具优势<sup>[12]</sup>, 如胸部肿瘤、肝胆部肿瘤等。肺癌照射野范围内无近距离骨性标志, 一般以肩胛骨、胸骨、椎体和棘突为标准, 以上骨性结构不仅受呼吸运动的影响, 还与双手上举抱肘的体位、患者与真空体模的匹配程度密切相关。肺癌周围富有软组织, 各组织相连紧密, 位置相对固定, 而灰度配准正是以配准框内不同组织的灰阶值来运算, 对于肺癌十分适用。Wang et al<sup>[13]</sup> 纳入 19 例肺癌患者进行带有呼吸门控 IGRT, 比较骨性配准及灰度配准 2 种方式之间的差异, 结果显示灰度配准在头脚方向误差较骨性配准更小。本研究结果显示轮廓模式在 X 轴和 Z 轴上精度不如灰度模式, 而在 Y 轴上与灰度模式差异无统计学意义, 原因在于轮廓模式是以照射靶区为中心的体表轮廓为标准, 主要影响因素为皮下脂肪和肌肉厚度增减和体位改变, 影响扫描 CT 图像与计划 CT 在 X 轴和 Z 轴上的重合度, 而对 Y 轴影响很小。因此在每次定位配准前应询问患者体重, 考虑体重因素导致的摆位误差。

图像引导放射治疗是肺癌精确放疗中的一个巨大进步,但仍然有一些因素导致临床适用性较小和放疗精度下降,需要进一步研究和探讨。

### 参考文献

- [1] Simpson D R, Lawson J D, Nath S K, et al. A survey of image-guided radiation therapy use in the united states [J]. *Cancer*, 2010, 116(16): 3953-60.
- [2] 于金明,袁双虎. 图像引导放射治疗研究及其发展[J]. *中华肿瘤杂志*, 2006, 28(2): 81-3.
- [3] Eng T, Ha C S. Image-guided radiation therapy in lymphoma management[J]. *Radiat Oncol J*, 2015, 33(3): 161-71.
- [4] 夏邦传,徐子海. 基于 CT-on-rail 系统开展的图像引导自适应放疗研究进展[J]. *中国医疗设备*, 2013, 28(1): 62-5.
- [5] 殷蔚伯,谷铣之. 肿瘤放射治疗学[M]. 4 版. 北京:中国协和医科大学出版社, 2008: 175.
- [6] Borst G R, Sonke J J, Betgen A, et al. Kilo-voltage cone-beam computed tomography setup measurements for lung cancer patients: first clinical results and comparison with electronic portal-imaging device [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007, 68(2): 555-61.
- [7] 郭根燕,刘晓岚,郑旭,等. 电子射野影像系统对鼻咽癌调强放疗摆位误差的测量[J]. *中国辐射卫生*, 2011, 20(3): 321-4.
- [8] 陆维,许婷婷. 应用 CBCT、EPID 研究鼻咽癌 2 种体位固定方式摆位误差的比较分析[J]. *中国癌症杂志*, 2014, 24(7): 535-9.
- [9] 甘晓根,徐子海. 西门子 SOMATOM OPEN CT 简介及在放射治疗中的优势[J]. *临床工程*, 2011, 26(3): 100-1.
- [10] 夏邦传,廖福锡,徐子海. 西门子 CT 图像引导下的放疗系统简介[J]. *医疗卫生装备*, 2010, 31(8): 115-7.
- [11] 尚凯,迟子峰. 胸段食管癌 IGRT 中摆位误差分析[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2015, 24(1): 70-3.
- [12] 吴志勤,张力. 肺癌图像引导放疗不同配准方式对摆位误差的影响[J]. *温州医科大学学报*, 2014, 44(11): 822-4.
- [13] Wang X, Zhong R, Bai S, et al. Lung tumor reproducibility with active breath control(ABC) in image-guided radiotherapy based on cone-beam computed tomography with two registration methods [J]. *Radiother Oncol*, 2011, 99(2): 148-54.

## The application of IGRT based on CT-on-rail system in lung cancer

Zhou Mengxi, Wang Fan, Dong Dong, et al

(Dept of Radiation Oncology, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022)

**Abstract Objective** To compare the application of CT-on-rail system and EPID of radiotherapy in lung cancer and to explore the effects of different matching models on positioning precision. **Methods** 16 patients with lung cancer were recruited in this study. Each patient received IGRT based on CT-on-rail system and EPID each week, respectively. Compared the difference of set-up errors between two groups. Besides, the group of CT-on-rail system included grey-scale model, bone model and outline model, and the difference among them were compared. **Results** There was significant difference between the average set-up errors of EPID and CT-on-rail system in the direction of X, Y and Z axis ( $P < 0.05$ ). In the lung cancer patients treated using CT-on-rail system, image matching using grey-scale model precise in the direction of X and Z axis ( $P < 0.05$ ), while grey-scale and outline model precise in the direction of Y axis ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** CT-on-rail system is better than EPID in detecting set-up error of the lung cancer patient. Grey-scale model should be applied in the image matching of IGRT in lung cancer.

**Key words** CT-on-rail; EPID; image guided radiation therapy; set-up error