

## · 论著 ·

## 螺旋断层放射治疗乳腺癌摆位误差分析

朱夫海 胡小龙 刘鹤飞 吴伟章 王颖杰 夏廷毅

**【摘要】 目的** 基于螺旋断层放射治疗机自带的兆伏级(megavoltage computed tomography, MVCT)图像引导系统,分析乳腺癌患者的治疗摆位误差,并计算计划靶区(planning target volume, PTV)的外扩间距值。**方法** 本研究分析 2011 年 8 月至 2014 年 11 月在解放军空军总医院肿瘤放疗科行螺旋断层放射治疗的 14 例乳腺癌患者,每次治疗前均行 MVCT 图像扫描,将其与定位时的千伏级 CT(kilovoltage computed tomography, kVCT)图像融合配准,记录患者左右(X)、头脚(Y)、腹背(Z)和横断面方向旋转(Roll)的误差值,根据公式外扩间距  $M = 2.5 \Sigma + 0.78 - 3$ ,计算 PTV 的外扩间距值。**结果** 所有患者共行 314 次治疗前 MVCT 扫描,其中 X、Y、Z 三维方向平移误差值小于 5 mm,所占比例分别为 89.81% (282/314)、82.17% (258/314) 和 97.13% (305/314),Roll 方向旋转误差小于 2° 所占比例为 91.08% (286/314);X、Y、Z 和 Roll 方向摆位误差值分别为  $(4.26 \pm 3.70)$  mm、 $(3.10 \pm 2.80)$  mm、 $(2.02 \pm 1.50)$  mm 和  $(0.70 \pm 0.40)^\circ$ ,根据公式得出在 X、Y、Z 三个方向 PTV 外扩间距值分别为 4.56、3.44、2.79 mm。**结论** HT 自带 MVCT 图像引导系统应用下,乳腺癌放疗的摆位误差在可接受范围内,X、Y、Z 三维方向分别外扩边距值 5、3、3 mm,能够为临床精确治疗提供一定的质量保证。

**【关键词】** 乳腺肿瘤; 放射疗法; 体层摄影术,螺旋计算机

**【中图法分类号】** R737.9

**【文献标志码】** A

**Set-up errors in helical tomotherapy for breast cancer patients** Zhu Fuhai, Hu Xiaolong, Liu Hefei, Wu Weizhang, Wang Yingjie, Xia Tingyi. Department of Radiation Oncology, Air Force General Hospital, Beijing 100142, China

Corresponding author: Wang Yingjie, Email: wangyj9999@163.com; Xia Tingyi, Email: 68434886@163.com

**【Abstract】 Objective** To analyze the set-up errors of breast cancer patients based on helical tomotherapy treatment with mega-voltage CT (MVCT), and measure the margins of planning target volume (PTV). **Methods** We enrolled fourteen breast cancer patients treated with helical tomotherapy in Department of Radiation Oncology, Air Force General Hospital from August 2011 to November 2014. MVCT scanning was performed before each treatment and registered with the kilo-voltage CT (kVCT) image. The set-up errors of the transverse profile rotation (Roll), left-right (X), anterior-posterior (Y) and superior-inferior (Z) positions were recorded. The PTV margin was calculated based on the formula  $M = 2.5 \Sigma + 0.78 - 3$ . **Results** Three hundred and fourteen MVCT images were received for all patients. The set-up error frequency within 5 mm in the X, Y and Z directions was 89.81% (282/314), 82.17% (258/314) and 97.13% (305/314) respectively, and within 2° in the Roll direction was 91.08% (286/314). The average set-up errors were  $(4.26 \pm 3.70)$  mm,  $(3.10 \pm 2.80)$  mm,  $(2.02 \pm 1.50)$  mm and  $(0.70 \pm 0.40)^\circ$  in the X, Y, Z and Roll directions respectively. The PTV margins in X, Y, and Z directions were 4.56, 3.44 and 2.79 mm. **Conclusions** The breast cancer patients' set-up errors are acceptable based on MVCT of helical tomotherapy, and it can provide a certain quality assurance with the PTV margins of 5, 3 and 3 mm in X, Y and Z directions respectively.

**【Key words】** Breast neoplasms; Radiotherapy; Tomography, spiral computed

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-0807.2015.03.005

基金项目:中华国际医学交流基金先声抗肿瘤专项基金项目(CIMF-F-H001-211);空军总医院课题(KZ2014026);空军总医院临床攻关课题(KZG2011001)

作者单位:100142 北京,解放军空军总医院肿瘤放疗科

通信作者:王颖杰,Email: wangyj9999@163.com;夏廷毅,Email:68434886@163.com

乳腺癌的常规局部治疗手段包括肿块切除,以及序贯乳腺区域放射治疗。常规放射治疗(简称放疗)通常采用切线野照射方式<sup>[1]</sup>,三维适形放疗、调强放疗、螺旋断层放疗(helical tomotherapy, HT)等新技术的出现可以更好的保护乳腺后面的肺和心脏等正常组织<sup>[2-3]</sup>,螺旋断层放疗较普通调强治疗能获得更好的靶区适形性和均匀性,并且降低患侧肺和心脏的受量<sup>[3-4]</sup>,是一种精确的体外放射治疗技术。摆位误差的不确定性将直接导致病灶受照剂量不足,由此靶区外扩一定边距的计划靶区(planning target volume, PTV)成为有效减少摆位误差的措施之一。本研究通过对行 HT 治疗乳腺癌患者的影像引导摆位误差数据整理分析,计算出临床靶区(clinical target volume, CTV)到 PTV 的外扩间距值,旨在为 HT 治疗乳腺癌 PTV 的外扩提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 临床资料

本研究纳入 2011 年 8 月至 2014 年 11 月在解放军空军总医院肿瘤放疗科行 HT 的 14 例乳腺癌患者,均为女性,年龄范围为 33~80 岁,中位年龄 49 岁。病理证实浸润性导管癌 12 例,导管原位癌 1 例,浸润性小叶癌 1 例。其中改良根治术后 10 例,单纯切除 2 例,放、化疗结合 2 例。

### 1.2 CT 定位和计划设计

患者取仰卧位,体位固定采用全碳素纤维乳腺托架,患侧手臂上举握杆,将腋窝部分充分展开,防止皱褶处由于射线的照射出现破损,健侧手臂置于体侧,头偏向健侧方向,将颈部充分展开,在体表作好定位标记和乳腺范围标记。使用 16 排

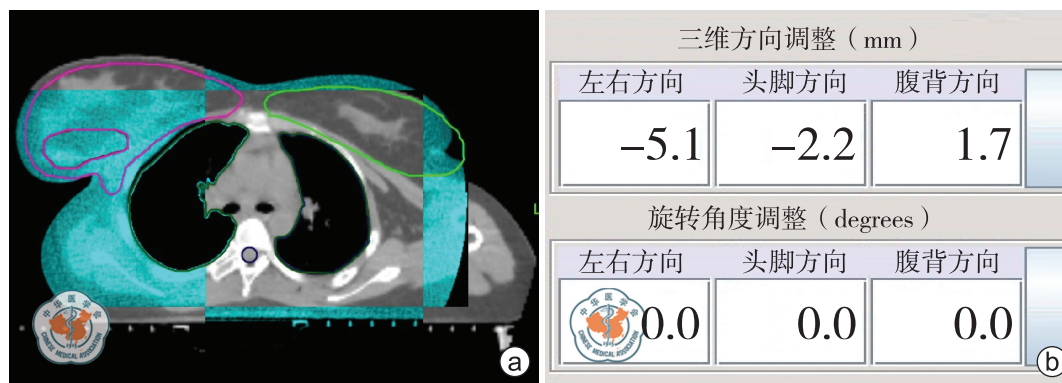
70 cm 孔径螺旋定位 CT 扫描机(SOMATOM Emotion, Siemens 公司,德国),扫描范围自颈部扫到腰椎水平,包括全肺。扫描层厚 4 mm,层间距 4 mm,扫描电压 130 kV,电流 25 mA。扫描后将 CT 横断面图像传输至 Focal 医师工作站,由放疗医师进行靶区勾画,勾画范围为胸壁和锁骨头下缘水平。物理师进行相应的辅助器官勾画后,传输至 HT 治疗计划系统,计划设计的优化结果得到临床医师许可后,行剂量验证,通过率>95%,即可实施治疗。

### 1.3 影像引导扫描和误差数据获取

治疗前由两名技师按照皮肤标记用红色激光灯摆位治疗,每次治疗前均行 1 次兆伏级 CT(MVCT)扫描,扫描层厚为 4 mm,层间距 4 mm。将扫描后获取的 MVCT 和定位设计时的千伏级 CT(kVCT)融合配准,自动配准使用系统最精细影像分辨率(512×512),骨和软组织技术相结合的配准方式。首次治疗自动配准完成后由主治医师对配准结果进行确认,观察横断面、矢状面和冠状面三个方向是否与 kVCT 图像一致。如不一致,手动调整 MVCT 图像位置,直至两套 CT 图像的靶区位置能够完全重合,由技师记录下左右(X 方向)、头脚(Y 方向)、腹背(Z 方向)和横断面旋转(Roll)的摆位误差值,治疗床自动进行误差值的纠正后,可以实施放射治疗(图 1)。

### 1.4 统计学分析

所有患者的摆位误差数据均用 Excel 软件分析,系统误差由所有分次误差的平均值得出,随机误差由所有分次误差的标准差得出<sup>[5]</sup>,计算出每例患者所有分次摆位误差的平均值和标准差。根据 van Herk<sup>[6]</sup>推荐公式 PTV 外扩间距值(margin, M)=



注:a 为 MVCT 与 kVCT 图像配准图示;b 为摆位误差值调整图示;MVCT:兆伏级 CT;kVCT 为千伏级 CT

图 1 乳腺癌患者 MVCT 与 kVCT 配准示意图和摆位误差值

2.5  $\Sigma + 0.7\delta - 3$  计算,其中, $\Sigma$ 为每例患者系统误差的标准差值, $\delta$ 为每例患者随机误差的标准差值。

## 2 结果

### 2.1 摆位误差结果

14 例乳腺癌患者共行 314 次 MVCT 扫描,其中 X、Y、Z 方向的平移误差值分别为  $(4.26 \pm 3.70)$  mm、 $(3.10 \pm 2.80)$  mm、 $(2.02 \pm 1.50)$  mm,范围分别为 0~9.90 mm、0~9.70 mm、0~14.20 mm。表 1 显示,X、Y、Z 三个方向平移误差小于 3 mm 所占比例分别为 82.80% (260/314)、61.15% (192/314)和 89.49% (281/314);小于 5 mm 所占比例分别为 89.81% (282/314)、82.17% (258/314)和 97.13% (305/314)。所有患者三维方向的线性误差值和摆位误差值结果见表 2。

表 1 14 例乳腺癌患者在 X、Y、Z 三个方向的平移误差值百分比(总次数=314)

误差值	X 方向		Y 方向		Z 方向	
	次数	百分比 (%)	次数	百分比 (%)	次数	百分比 (%)
<3 mm	260	82.80	192	61.15	281	89.49
3~5 mm	22	7.01	66	21.02	24	7.64
>5 mm	32	10.19	56	17.83	9	2.87

表 2 14 例乳腺癌患者在 X、Y、Z 三个方向的平移误差值和 Roll 方向的旋转误差值( $\bar{x} \pm s$ )

患者编号	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Roll (°)
1	-3.96±4.80	-0.83±0.90	0.02±0.20	0.41±0.40
2	-3.29±1.90	-1.08±1.90	0.08±0.80	-0.19±0.10
3	0.56±1.50	4.62±5.00	-1.36±1.80	-0.28±0.10
4	-5.08±5.80	3.04±2.50	0.31±0.20	1.18±1.10
5	-4.86±4.40	2.10±2.80	-0.52±0.00	0.40±0.30
6	-3.49±2.60	3.26±3.70	-0.52±0.20	0.04±0.00
7	-4.75±5.20	2.00±2.30	-2.23±3.20	0.36±0.45
8	3.13±3.30	-0.18±0.65	0.22±0.25	-0.69±0.60
9	-5.96±7.10	1.22±1.00	0.05±0.30	1.46±1.10
10	2.50±3.25	1.91±1.16	-0.81±0.08	-0.10±0.00
11	-1.66±2.05	4.30±4.30	2.85±2.80	-0.17±0.00
12	-0.59±1.18	1.70±2.10	-0.76±1.30	0.18±0.25
13	3.52±2.70	2.44±2.55	2.34±2.55	-0.60±0.30
14	2.65±2.75	0.78±0.95	1.51±1.70	-0.30±0.00

### 2.2 PTV 外扩间距值

根据外扩间距值的公式  $M = 2.5 \Sigma + 0.7\delta - 3$  (要求 90% 的患者 CTV 最小累及剂量至少达到 95% 的处方剂量)得出在三维 X、Y、Z 方向 PTV 外扩间距值分别为 4.56、3.44、2.79 mm (表 3)。因此,临床治疗中外扩间距在 X、Y、Z 三个方向的推荐值分别为 5、3、3 mm。

表 3 摆位误差值和 PTV 外扩间距值(mm)

方向	系统误差	随机误差的标准差( $\delta$ )	系统误差的标准差( $\Sigma$ )	间距值(M)
X	-1.52	1.98	2.47	4.56
Y	1.81	2.20	1.96	3.44
Z	0.08	0.20	0.03	2.79

## 3 讨论

国际辐射单位和剂量委员会(International Commission on Radiation Units and Measurement)对计划靶区 PTV 的补充定义是一个集合概念,是由可能的所有几何变化所确定的;为了保证 CTV 获得规定的剂量,考虑到 CTV、照射过程中器官的生理移动和日常摆位的不确定性引起的照射过程中靶位置和靶体积的变化等因素而扩大照射组织范围<sup>[7]</sup>。HT 作为一种全新的、先进的放疗设备,采用螺旋断层调强配合二元式气动多叶准直器实现靶区雕刻剂量分布,靶区周边正常组织高剂量梯度迅速跌落并且保持靶区剂量的均匀性和适形性<sup>[8]</sup>。在治疗计划设计时,物理师需根据具体病种、放疗技术进行个体化的 PTV 外扩间距值方案,保证治疗计划的精确实施<sup>[9-10]</sup>。

Cheng 等<sup>[11]</sup>对行 MVCT 影像引导 HT 的乳腺癌患者的摆位误差进行分析,X、Y、Z 三个方向的 PTV 外扩间距值分别为 4.99、4.86、6.41 mm;Yang 等<sup>[12]</sup>对采取切线野中野治疗的乳腺癌患者误差结果分析,X 方向的外扩间距值为 2.6 mm,Y 方向的外扩间距值 4.6 mm,Z 方向的外扩间距值为 3.1 mm,如果每次治疗前行影像引导扫描,PTV 在三维方向(X、Y、Z)分别外扩 3、5、4 mm 是比较合适的。该结论证实了本文结果。徐金济等<sup>[13]</sup>利用电子射野影像系统对 30 例左侧乳腺癌术后患者的摆位误差结果分析,患者的 Z 方向误差值最大,平均值为  $(2.44 \pm 2.17)$  mm;其次为 Y 方向,平均值为  $(2.01 \pm 1.32)$  mm;X 方向误差值最小,平



均值为 $(1.27 \pm 0.88)$  mm。本研究 X 方向的误差值最大,平均值为 $(4.26 \pm 3.70)$  mm;Y 方向误差值为 $(3.10 \pm 2.80)$  mm;Z 方向的误差值最小,平均值为 $(2.02 \pm 1.50)$  mm。笔者分析患者初次治疗时 Z 方向误差值均较大,考虑到 HT 摆位等中心为机架等中心外 700 mm 处的虚拟等中心,治疗床板进入到实际的治疗等中心时会有一定的下沉深度,所以初次摆位床下沉的校正系统会自动记忆,在以后分次治疗时会应用床下沉的校正从而减少 Z 方向的摆位误差。

增加图像引导的频率在一定程度上能提高每日摆位精度,在目前没有更精确的图像引导策略之前,每次治疗前行图像引导扫描是非常有必要的<sup>[14-15]</sup>。每日 MVCT 扫描时间通常需要 1~3 min,成像剂量约为 1~2 cGy,远低于锥形束 CT 的成像剂量标准(头颈部:9 cGy,胸腹部:3.8 cGy)<sup>[16]</sup>。HT 仅能通过机架旋转对横断面方向的旋转误差值进行校正,对于冠状面和矢状面方向的旋转误差不能有效校正,故该文中未将其纳入研究。国外相关研究证明,旋转误差值小于 1° 不会影响 95% 的 CTV 体积接受的处方剂量,临床治疗中小角度的旋转是可以忽略的<sup>[17]</sup>。该研究中所有患者的横断面旋转误差值小于 1° 的次数占比为 71.34%,有 91.08% 的摆位横断面旋转误差值小于 2°<sup>[17]</sup>。

综上所述,HT 自带 MVCT 图像引导系统应用下,乳腺癌放疗的摆位误差在可接受范围内,临床治疗中 PTV 的边距值在 X、Y、Z 三维方向分别外扩 5、3、3 mm 是安全有效的。

## 参 考 文 献

- [1] Probst H, Bragg C, Green D, et al. A systematic review of methods to immobilise breast tissue during adjuvant breast irradiation[J]. Radiography, 2013, 20(1): 70-81.
- [2] 李益坤, 刘海, 王晓萍, 等. 螺旋断层放疗与常规调强放疗在乳腺癌保乳术后同步推量中的剂量学比较[J]. 临床肿瘤学杂志, 2013, 18(7): 648-651.
- [3] Qiu J, Liu Z, Yang B, et al. Low-dose-area-constrained helical Tomotherapy-based whole breast radiotherapy and dosimetric comparison with tangential field-in-field IMRT[J]. Biomed Res Int, 2013, 2013:513708.
- [4] 杨波, 刘志凯, 侯晓荣, 等. 乳腺癌保乳术后螺旋断层治疗技术的剂量学研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2013, 22(5): 411-414.
- [5] 胡逸民, 张红志, 戴建荣. 肿瘤放射物理学[M]. 北京:原子能出版社, 1999: 456-471.
- [6] Van Herk M. Errors and margins in radiotherapy[J]. Semin Radiat Oncol, 2004, 14(1): 52-64.
- [7] Stroom JC, Heijmen BJ. Geometrical uncertainties, radiotherapy planning margins, and the ICRU-62 report[J]. Radiother Oncol, 2002, 64(1): 75-83.
- [8] 马林. 螺旋断层放疗系统的临床应用[J]. 中国医疗设备, 2014, 29(10): 12-14.
- [9] 朱夫海, 吴伟章, 王勇, 等. 胰腺癌患者螺旋断层放疗摆位误差分析[J]. 中国医学物理学杂志, 2013, 30(6): 4480-4483.
- [10] 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.
- [11] Cheng KF, Wu VW. Comparison of the effectiveness of different immobilization systems in different body regions using daily megavoltage CT in helical tomotherapy[J]. Br J Radiol, 2014, 87(1034):20130494.
- [12] Yang DS, Yoon WS, Chung SY, et al. Set-up uncertainty during breast radiotherapy. Image-guided radiotherapy for patients with initial extensive variation [J]. Strahlenther Onkol 2013, 189(4): 315-320.
- [13] 徐金济, 成俊, 李伟, 等. 左侧乳腺癌改良根治术后逆向调强放疗治疗的摆位误差分析[J]. 中国医学物理学杂志, 2013, 30(5): 4358-4386.
- [14] 孔玲玲, 程健, 李宝生, 等. 保留乳房术后放疗锥形束 CT 引导系统摆位误差预测的可行性研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2013, 20(12): 949-952.
- [15] 文婷, 黎静, 张晋建, 等. 评估影像引导频度对不同部位肿瘤螺旋断层放疗精度的影响[J]. 临床肿瘤学杂志, 2013, 18(6): 544-548.
- [16] 杨波, 邱杰, 王欣海, 等. OBI 系统在放射治疗摆位中的临床应用[J]. 中国医学装备, 2008, 5(8): 1-4.
- [17] Astreimidou E, Bel A, Raaijmakers CP, et al. Adequate margins for random setup uncertainties in head-and-neck IMRT [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 61(3):938-944.

(收稿日期:2015-04-23)

(本文编辑:刘军兰)

朱夫海, 胡小龙, 刘鹤飞, 等. 螺旋断层放射治疗乳腺癌摆位误差分析[J/CD]. 中华乳腺病杂志:电子版, 2015, 9(3): 178-181.