

## 发泡胶固定的乳腺癌放疗摆位误差和 计划靶区体积范围

成媛<sup>1</sup> 李政欢<sup>3</sup> 陈宥霖<sup>2</sup> 李素玉<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(福建医科大学附属福州市第一医院 福州 350000)

<sup>2</sup>(福建省妇幼保健院 福州 350005)

<sup>3</sup>(中山大学附属第三医院 广州 510630)

**摘要** 乳腺癌放疗误差主要由摆位误差和呼吸运动组成,通过准确测量摆位误差为乳腺癌计划靶区体积(PTV)外扩范围提供临床参考依据,提高治疗精度。测量2021年6月至10月采用发泡胶固定的31例乳腺癌患者的摆位误差。每一例患者在治疗前三次以及治疗后的每周进行一次锥形束CT(CBCT)扫描,将获取的CBCT图像与治疗计划CT进行骨性配准,并记录配准结果得到摆位误差值,分析摆位误差,并据此计算PTV外放边界的大小。结果显示:31例患者共行131次CBCT扫描, $X$ (左右)、 $Y$ (头脚)和 $Z$ (腹背)方向的系统误差和随机误差的标准差分别是1.40 mm和0.67 mm、1.89 mm和0.56 mm、1.68 mm和1.16 mm;摆位误差的绝对值最大分别为4.9 mm、6.4 mm、8.7 mm;5.0 mm内误差在 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 方向分别占100%、98.47%、93.89%; $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 方向摆位误差小于3 mm的发生率分别为88.55%、79.39%、75.57%。经公式计算,得到本科室治疗乳腺癌临床靶区体积(CTV)到PTV外扩理论边界三个方向分别为3.98 mm、5.11 mm、5.02 mm。结果提示:发泡胶固定的乳腺癌调强放疗中,基于经验PTV外放边界的大小不能准确反映实际的摆位误差,需要基于CBCT测量和分析摆位误差、计算PTV外扩边界、指导临床靶区勾画范围具有实际的临床意义。

**关键词** 乳腺癌,发泡胶,调强放射治疗,摆位误差,外扩边界

中图分类号 R815

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2022-0027

## Setup error and planning target volume boundary in foam-immobilized radiotherapy for breast cancer

CHENG Yuan<sup>1</sup> LI Zhenghuan<sup>3</sup> CHEN Youlin<sup>2</sup> LI Suyu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Fuzhou No.1 Hospital Affiliated with Fujian Medical University, Fuzhou 350000, China)

<sup>2</sup>(Fujian Maternity and Child Health Hospital, Fuzhou 350005, China)

<sup>3</sup>(The Third Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510630, China)

**ABSTRACT** Radiotherapy error in breast cancer mainly comprises setup error and respiratory breast motion. An accurate measurement of the setup error can provide a clinical reference for breast cancer planning target volume (PTV) expansion and improve treatment accuracy. Setup error rates were measured in 31 patients with breast cancer who underwent im-age-guided radiotherapy between June and October 2021. Cone beam computed tomography

基金资助:福建省中青年骨干人才培养项目(2019-ZQN-23)

第一作者:成媛,女,1987年11月出生,2018年7月毕业于清华大学

通信作者:李素玉,副主任医师,E-mail: lisuyu2008@163.com

收稿日期:初稿 2022-03-03;修回 2022-06-21

Supported by Medical Elite Cultivation Program of Fujian, PRC (2019-ZQN-23)

First author: CHENG Yuan (female) was born in November 1987, and graduated from Tsinghua University in July 2018

Corresponding author: LI Suyu, associate professor, E-mail: lisuyu2008@163.com

Received 03 March 2022; accepted 21 June 2022

(CBCT) was performed for each patient first three times of treatment, and then once a week until the end of treatment. Bone registration was performed between the CBCT images and the CT images of the treatment plan. Record the registration results and obtain the setup errors. Calculated the external boundary of the PTV according to the setup error. A total of 131 CBCT scans were obtained for 31 patients. The standard deviation of systematic error and random error on the  $X$  (left and right),  $Y$  (the head and foot), and  $Z$  (the abdomen and back) axes were 1.40 and 0.67 mm, 1.89 and 0.56 mm, and 1.68 and 1.16 mm, respectively. The maximum absolute values of the setup errors were 4.9 mm, 6.4 mm, and 8.7 mm, respectively. The errors within 5.0 mm accounted for 100%, 98.47%, and 93.89%, respectively. The incidence of setup errors < 3 mm on the  $X$ ,  $Y$ , and  $Z$  axes were 88.55%, 79.39%, and 75.57%, respectively. Based on the outward expansion of the clinical target volume, the PTV theoretical boundaries of breast cancer were 3.98 mm, 5.11 mm, and 5.02 mm, respectively. In foam-immobilized radiotherapy for breast cancer, the actual setup error cannot be accurately reflected considering the empirical PTV external boundary. It is clinically significant to measure and analyze the setup error using CBCT to calculate the PTV external boundary and guide clinical target area delineation.

**KEYWORDS** Breast cancer, Styrofoam, Intensity modulated radiotherapy, Setup error, Extended boundary  
**CLC** R815

根据世界卫生组织国际癌症研究机构发布的2020年度癌症数据指出,乳腺癌取代肺癌成为全球第一大癌<sup>[1]</sup>。调强放射治疗(Intensity modulated radiation therapy, IMRT)作为一种精确放疗技术,在提高靶区剂量的同时,最大限度地减少周围正常组织或器官的照射剂量,以提高治疗增益比<sup>[2-4]</sup>,也能降低常规三维适形放疗的不良副反应<sup>[5-8]</sup>。

ICRU62 报告明确指出,为了确保IMRT的治疗精确度,勾画靶区时可以通过临床靶区体积(Clinical target volume, CTV)外放一定距离来形成计划靶区体积(Planning target volume, PTV)。这个外放需要兼顾摆位的误差和患者自身的器官运动,但这个外扩不能过大或过小,以免发生不必要照射或者肿瘤漏照射<sup>[9]</sup>。准确的放疗计划靶区是调强放射治疗的关键,而靶区的外放边界大小则依赖于患者定位采用的装置以及摆位的误差大小,这些都是临床医生关注的主要问题<sup>[10]</sup>。经图像引导的调强放疗可提高放疗精度<sup>[11]</sup>,从而提高肿瘤的局控率<sup>[12]</sup>。

目前,国内乳腺癌患者的固定常用乳腺托架、热塑膜、真空袋、发泡胶组合使用或单独使用<sup>[13-15]</sup>,不同的固定技术对于PTV外放边界也尚无统一的标准。本文通过应用Elekta Synergy直线加速器机载的千伏级锥形束CT(Cone-beam computed tomography, CBCT)测量基于发泡胶固定的乳腺癌患者治疗时期的摆位误差数据,对其进行统计和分析得到本科室PTV的外扩边界,为临床提供真实的数据基础。

## 1 资料与方法

### 1.1 病例选择

选取2021年6月至10月进行图像引导放射治疗的乳腺癌患者31例,患者最大年龄69岁,最小年龄25岁,中位年龄50岁,所有患者均无放疗禁忌症。

### 1.2 体位固定及CT扫描

31例患者均采用仰卧位,双侧上肢上举,采用发泡胶进行体位固定,如图1所示。



图1 乳腺癌发泡胶固定体位  
Fig.1 Breast cancer foam immobilize position

体位固定后,使用Siemens大孔径定位CT(Simens, Somatom Definition)对患者平静呼吸状态下平扫+增强CT模拟定位扫描,扫描层厚5 mm,扫描范围从第6颈椎到第2腰椎,整个肺和肝脏组织均包含在内,如图2所示。扫描条件为:管电压120 kV、管电流80 mAs。扫描完成后,定位CT图像

通过医学数字成像和通信(Digital imaging and communications in medicine, DICOM)传输至 Monaco 治疗计划系统工作站,由同一经验丰富的放

疗科医生在平扫CT上勾画靶区及肺、心脏、健侧乳腺、脊髓等危及器官(Organs at risk, OARs),并由同一经验丰富的放疗科物理师进行计划方案的设计。

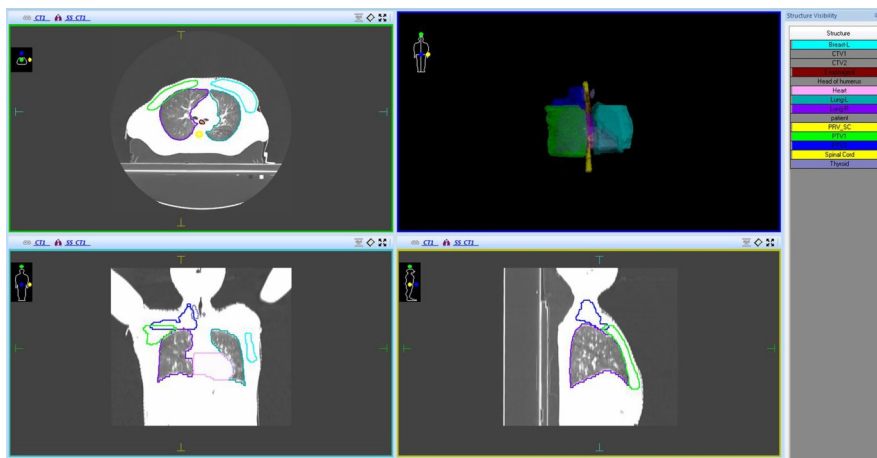


图2 乳腺癌CT扫描图像  
Fig.2 CT images of Breast cancer

### 1.3 CBCT 图像扫描和摆位误差记录

CBCT 图像扫描采用 Elekta Synergy 加速器的 XVI 机载千伏级影像系统,扫描参数:M20、100 kV、10 mAs,采用360°全弧扫描。31例患者治疗前,技术员对采集的千伏级CBCT图像与计划的定位CT图

像进行以骨匹配为主的自动配准,CBCT图像和计划CT图像达到临床要求的重合性,从而得到X轴(Lateral,左右方向)、Y轴(Longitudinal,头脚方向)和Z轴(Vertical,腹背方向)上的摆位误差,记录数值,图3为定位CT图像与CBCT图像的配准结果。

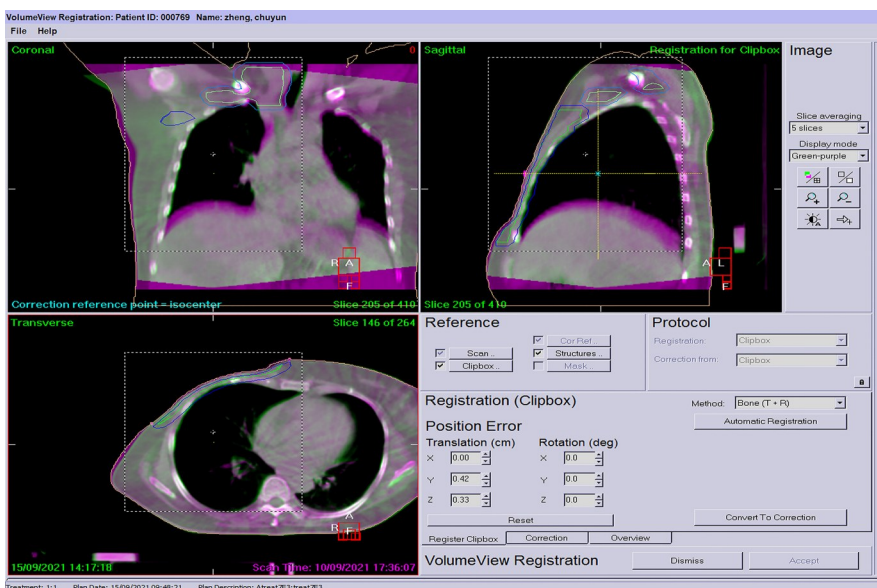


图3 定位CT图像与CBCT图像的配准骨性配准结果  
Fig.3 Osseous registration results of mmobilized CT images and CBCT images

### 1.4 计算PTV外扩边界

放射治疗中,系统误差的大小与设备(如加速器、激光定位系统等)机械误差的不确定度相关<sup>[16]</sup>,

在整个治疗期间来看,它通常是比较恒定的。随机误差具有偶然性,它表示患者每次治疗时重复摆位的差异。每个患者每次摆位误差均值为个体系统误

差,摆位误差标准差为个体随机误差;群体系统误差( $\Sigma$ )取个体系统误差的标准差,群体随机误差( $\delta$ )取个体随机误差的标准差<sup>[17]</sup>。根据 van Herk 等<sup>[18]</sup>的公式(式(1))来计算乳腺癌放疗中 PTV 外放边界。

$$M_{PTV}=2.5\Sigma+0.7\delta \quad (1)$$

### 1.5 统计学方法

31 例患者在三个方向的摆位误差采用 OriginPro 8 进行作出频率分布直方图,数据符合正态分布。采用 SPSS 20.0 软件对 131 组摆位数据进行均值单样本  $t$  检验,得到个体系统误差和随机误差,并进一步得到群体系统误差和随机误差。再依据 Van-Herk 的经典公式计算出摆位外扩边界值( $M_{PTV}$ )。

## 2 结果与讨论

### 2.1 摆位误差数据分析

对这 31 例乳腺癌患者进行的 CBCT 扫描校准过程中产生的 131 组三维方向的摆位数据进行统计分析, $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 轴方向的个体摆位误差如表 1 所示。三个方向的摆位误差频率分布直方图如图 4 所示。进一步处理分析得到 31 例患者的群体  $X$ 、 $Y$ 和  $Z$ 轴方向的系统误差和随机误差的标准差分别是 1.40 mm 和 0.67 mm、1.89 mm 和 0.56 mm、1.68 mm 和 1.16 mm,最大绝对摆位误差为 4.9 mm、6.4 mm、8.7 mm(表 2)。采用 SPSS 软件得到 131 组摆位数据的位移误差分别为: $X$ 方向为 $(-0.18\pm 1.43)$  mm, $Y$ 方向为 $(0.36\pm 1.92)$  mm, $Z$ 方向为 $(-0.42\pm 1.82)$  mm。31 例乳腺癌患者摆位误差发生率如表 3 所示。

表 1 31 例乳腺癌患者个体摆位误差  
Table 1 Individual set-up error in 31 patients with breast cancer

患者编号 No.	$X$ 方向(左右) $X$ direction (left-right)		$Y$ 方向(头脚) $Y$ direction (the head and foot)		$Z$ 方向(腹背) $Z$ direction (the abdomen and back)	
	系统误差	随机误差	系统误差	随机误差	系统误差	随机误差
	Systematic error	Random error	Systematic error	Random error	Systematic error	Random error
1	-0.37	1.81	-0.37	1.48	0.90	3.06
2	-3.18	0.64	1.03	1.64	-0.28	0.59
3	-1.40	3.14	-2.65	1.07	-2.30	3.55
4	-0.98	1.40	0.80	1.17	4.15	1.39
5	1.50	0.88	0.53	0.98	1.63	0.56
6	-1.78	0.85	0.73	1.35	0.95	1.04
7	1.28	0.79	-1.43	1.58	-0.45	0.40
8	1.80	0.44	2.07	1.40	-0.53	2.25
9	0.43	1.75	-2.21	2.03	-2.67	4.65
10	1.30	0.61	0.10	0.46	-2.33	0.59
11	1.30	0.89	2.45	0.44	1.60	1.03
12	-3.24	2.22	-1.72	2.10	1.58	1.20
13	-1.52	1.17	-3.60	1.13	-4.56	0.80
14	-1.13	1.03	-0.10	1.31	-0.43	1.90
15	0.63	1.02	3.30	1.28	-0.20	1.07
16	0.53	0.68	0.58	1.76	1.23	0.85
17	-1.30	0.61	0.58	2.97	1.58	1.00
18	0.13	2.68	2.03	1.12	-2.13	4.67
19	-1.33	1.48	3.08	0.46	-2.80	1.41
20	0.17	2.00	-0.30	0.35	-2.40	0.44
21	-2.08	1.33	-1.58	1.71	0.43	4.85
22	0.00	1.35	0.65	1.11	0.15	1.06

续表

患者编号 No.	X方向(左右)		Y方向(头脚)		Z方向(腹背)	
	X direction (left-right)		Y direction (the head and foot)		Z direction (the abdomen and back)	
	系统误差	随机误差	系统误差	随机误差	系统误差	随机误差
	Systematic error	Random error	Systematic error	Random error	Systematic error	Random error
23	0.53	0.29	0.13	1.50	-0.90	0.26
24	0.68	1.42	-0.34	0.96	-1.24	1.34
25	1.28	1.40	3.73	0.59	-0.93	1.68
26	-1.58	1.13	0.42	0.80	0.02	1.37
27	2.05	1.31	2.23	1.14	0.38	1.20
28	0.33	2.00	2.93	0.67	0.60	1.99
29	-0.33	1.85	0.83	1.16	0.63	1.42
30	-0.38	0.83	-0.17	1.55	-0.30	1.53
31	1.03	0.32	-3.33	0.74	-3.10	0.92

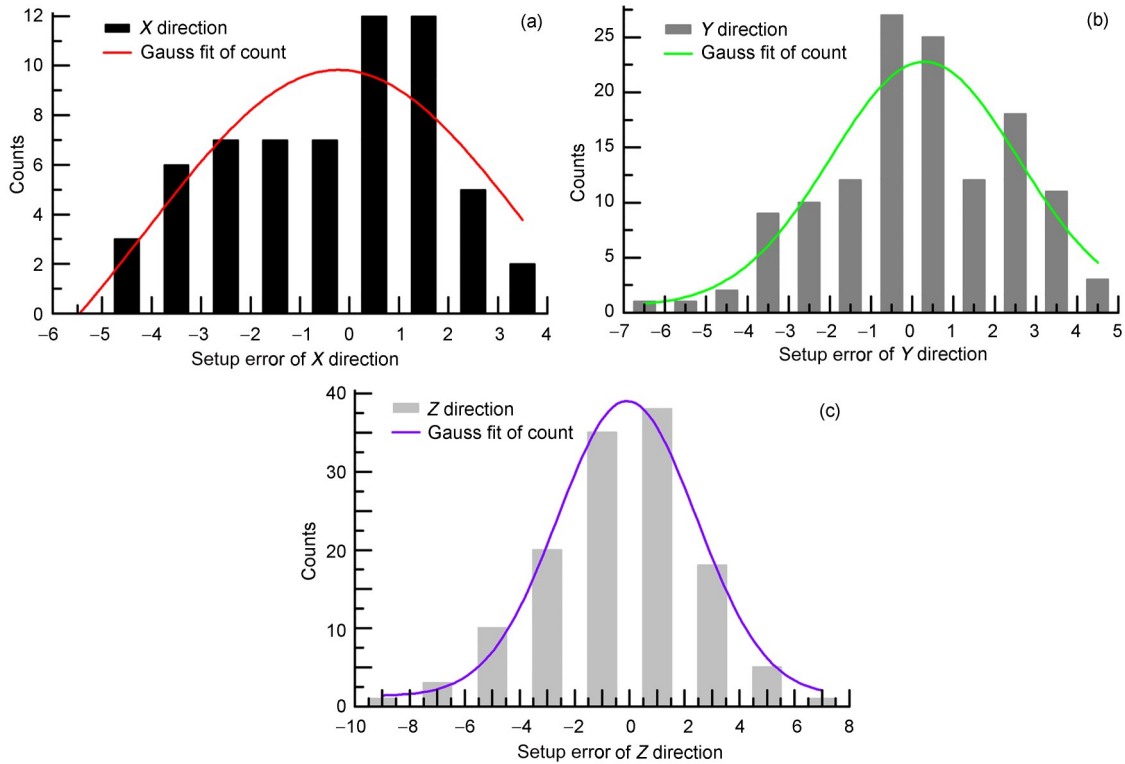


图4 X/Y/Z方向的摆位误差频率分布直方图  
Fig.4 Frequency distribution histogram of set-up error in X/Y/Z direction

表2 31例乳腺癌患者群体摆位误差  
Table 2 Group set-up error in 31 patients with breast cancer

坐标方向	绝对最大值	绝对最小值	群体系统误差	群体随机误差
Coordinate direction	Absolute maximum	Absolute minimum	Population systematic error	Population random error
X轴 X axis	4.9	0	1.40	0.67
Y轴 Y axis	6.4	0	1.89	0.56
Z轴 Z axis	8.7	0	1.68	1.16



表3 31例乳腺癌患者摆位误差发生率  
Table 3 Incidence of set-up errors in 31 breast cancer patients (times /%)

误差范围 Error range	X方向(左右) X direction (left-right)	Y方向(头脚) Y direction (the head and foot)	Z方向(腹背) Z direction (the abdomen and back)
≤3 mm	116(88.55)	104(79.39)	99(75.57)
3~5 mm	15(11.45)	25(19.08)	24(18.32)
>5 mm	0(0.00)	2(1.53)	8(6.11)

注：误差发生率=摆位在某范围内的次数/摆位总次数×100%。

Note: setup error rate = number of positions within a certain range / total number of positions × 100%.

## 2.2 PTV外扩边界的分析

31例乳腺癌患者的摆位误差和PTV外扩边界

如表4所示。根据公式(1)可以分别得出X、Y、Z轴方向的基于CTV外扩得到PTV的边界理论值分别为3.98 mm、5.11 mm、5.02 mm。

表4 乳腺癌患者摆位误差及PTV外扩边界  
Table 4 Set-up errors of breast cancer patients and expand margins of PTV (mm)

	X方向(左右) X direction (left-right)	Y方向(头脚) Y direction (the head and foot)	Z方向(腹背) Z direction (the abdomen and back)
$\Sigma$	1.40	1.89	1.68
$\delta$	0.67	0.56	1.16
$M_{PTV} / \text{mm}$	3.98	5.11	5.02

## 2.3 讨论

为避免漏照肿瘤区域和肿瘤区域周围的正常组织的非必要照射,乳腺癌放疗计划靶区勾画须考虑摆位误差、靶区运动度等因素,摆位误差在患者的放射治疗过程中无可避免,同时它也是确保调强放射治疗精确实施的关键点。根据摆位误差的分析结果来量化和合理定义PTV外扩边界是保证现代放疗技术治疗质量的核心环节<sup>[19]</sup>。ICRU24号报告中明确提出,在放疗过程中移动体位3 mm,放疗的疗效下降3.3%,移动6 mm,则下降33.1%<sup>[20]</sup>。正因为摆位误差对放射治疗的巨大影响,图像引导技术在放疗中的运用顺理成章。目前,主要使用X射线摄影、电子射野影像系统、CBCT、超声等影像技术进行摆位误差的验证<sup>[21]</sup>。程延<sup>[22]</sup>指出,直线加速器的机载千伏级CBCT是常用的一种图像引导放疗的方法,通过CBCT获取的图像成像质量佳,有助于和计划CT配准,纠正摆位误差。

CBCT影像技术具有高分辨率的特性,能从X、Y、Z方向上分析患者图像的位移误差,更直观地显示靶区和危及器官的形态结构。本文回顾分析了Elekta Synergy直线加速器机载千伏级CBCT采集的31例乳腺癌患者的131组摆位误差数据,研究结果表明:在发泡胶固定的乳腺癌调强放疗中,摆位

误差在Y、Z方向上(1.89±0.56、1.68±1.16) mm较大,与刘翠翠等<sup>[23-24]</sup>采用CBCT测量分析乳腺癌放疗期间的摆位误差有类似的结果。笔者认为,X轴方向的误差因素主要考虑与患者体位固定时发泡胶成型后的包裹性相关;Y轴方向的误差主要考虑与患者双手上举的固定性和重复性(手臂支撑架的使用)以及呼吸运动相关,而研究结果中的X轴方向的摆位误差(1.40±0.67) mm较小,这表明在X轴方向上乳腺癌放疗中使用发泡胶来固定患者有较好的重复性和精确度;Y、Z轴方向的误差主要考虑患者分次间的双手上举(体位重复性)、体型差异、体重差异、呼吸运动,以及床的沉降有关。除此之外,从患者摆位误差发生率结果来看,三个方向的摆位误差波动性不大,75%以上都控制在小的误差范围内(≤3 mm),但Z轴方向误差>5 mm的概率较大,这说明需要在乳腺癌放疗摆位的日常操作中进一步提高和规范技师的操作。

另外,对于PTV的外扩边界,采用了van Herk提出的公式(1),其中,系统误差对基于CTV的PTV外扩边界大小有较大的贡献。系统误差主要与硬件设备的不确定性相关,完全可以通过规范日常的质量控制工作来加以控制。通过公式计算,使得90%乳腺癌患者的CTV累计剂量至少能接受到95%处方剂量的X、Y、Z轴方向的理论PTV外扩边界值分

别为 3.98 mm、5.11 mm、5.02 mm。从摆位误差发生率分析(表 3)得到,摆位误差>5 mm 的有 9 次,占总摆位次数的 6.9%。因此,目前本科室取 5 mm 的 PTV 外扩边界,从摆位误差的分析结果来看是不够的。同时,为了保证摆位的重复性,还应该对摆位技师加强培训和管理,对患者进行适当的宣教和呼吸训练,以减少无效摆位的发生。

### 3 结论

本研究在采用发泡胶固定的乳腺癌调强放疗中,合理利用千伏级 CBCT 来测量摆位误差的大小,并引导摆位误差的纠正。摆位误差数据的分析能给临床 PTV 外扩边界提供参考依据,从而实现乳腺癌患者的个体化服务,是具有实际临床意义的。

**作者贡献声明** 成媛是本研究的实验设计者和实验研究执行人,主导完成数据分析,论文初稿的写作及参考文献分析;陈宥霖参与实验设计和实验结果处理;李政欢指导实验设计和实验结果分析;李素玉指导论文写作与修改。所有作者均已阅读并认可该论文最终版的所有内容。

### 参考文献

- Sung H, Ferlay J, Siegel R L, *et al.* Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA: a Cancer Journal for Clinicians, 2021, **71**(3): 209-249. DOI: 10.3322/caac.21660.
- Vrieling C, van Werkhoven E, Maingon P, *et al.* Prognostic factors for local control in breast cancer after long-term follow-up in the EORTC boost vs. No boost trial: a randomized clinical trial[J]. JAMA Oncology, 2017, **3**(1): 42-48. DOI: 10.1001/jamaoncol.2016.3031.
- 陈维军, 狄小云, 王彬冰, 等. 乳腺癌保乳术后两种逆向调强放疗计划的剂量学比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2010, **27**(5): 2100-2104. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2010.05.008.  
CHEN Weijun, DI Xiaoyun, WANG Binbing, *et al.* Dosimetric comparison of two common inverse intensity modulated radiotherapy of breast cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2010, **27**(5): 2100-2104. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2010.05.008.
- 阮长利, 宋启斌, 胡钦勇, 等. 乳腺癌根治术后适形和调强混合放疗计划与单纯调强放疗计划的剂量学比较[J]. 中国医疗设备, 2016, **31**(11): 116-118. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2016.11.033.
- RUAN Changli, SONG Qibin, HU Qinyong, *et al.* Dosimetry comparison of IMRT with 3D-CRT and simple IMRT for breast cancer after radical surgery[J]. China Medical Devices, 2016, **31**(11): 116-118. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2016.11.033.
- Pignol J P, Truong P, Rakovitch E, *et al.* Ten years results of the Canadian breast intensity modulated radiation therapy (IMRT) randomized controlled trial[J]. Radiotherapy and Oncology, 2016, **121**(3): 414-419. DOI: 10.1016/j.radonc.2016.08.021.
- Barnett G C, Wilkinson J, Moody A M, *et al.* A randomised controlled trial of forward-planned radiotherapy (IMRT) for early breast cancer: baseline characteristics and dosimetry results[J]. Radiotherapy and Oncology, 2009, **92**(1): 34-41. DOI: 10.1016/j.radonc.2009.03.003.
- Schubert L K, Gondi V, Sengbusch E, *et al.* Dosimetric comparison of left-sided whole breast irradiation with 3DCRT, forward-planned IMRT, inverse-planned IMRT, helical tomotherapy, and topotherapy[J]. Radiotherapy and Oncology, 2011, **100**(2): 241-246. DOI: 10.1016/j.radonc.2011.01.004.
- Williams T M, Moran J M, Hsu S H, *et al.* Contralateral breast dose after whole-breast irradiation: an analysis by treatment technique[J]. International Journal of Radiation Oncology\*Biophysics, 2012, **82**(5): 2079-2085. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2011.01.049.
- 吴志勤, 余建义, 阎华伟, 等. 锥形束 CT 引导下乳腺癌保乳术后调强放疗摆位误差及配准方式分析[J]. 中国全科医学, 2017, **20**(15): 1903-1905, 1910. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9572.2017.15.023.  
WU Zhiqin, YU Jianyi, YAN Huawei, *et al.* Setup errors and registration algorithm of intensity modulated radiation therapy after breast conserving surgery of breast cancer based on cone-beam CT[J]. Chinese General Practice, 2017, **20**(15): 1903-1905, 1910. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9572.2017.15.023.
- 张惠玲, 许会军, 吴小良, 等. CBCT 对肺癌 SBRT 摆位误差及靶区外放边界的校正价值[J]. 河北医药, 2019, **41**(24): 3777-3779, 3783. DOI: 10.3969/j.issn.1002-7386.2019.24.023.  
ZHANG Huiling, XU Huijun, WU Xiaoliang, *et al.* The setup error and the determination of target position based on cone beam CT for early non-small cell lung cancer by stereotactic body radiation therapy[J]. Hebei Medical

- Journal, 2019, **41**(24): 3777-3779, 3783. DOI: 10.3969/j.issn.1002-7386.2019.24.023.
- 11 马茗微, 王淑莲, 覃仕瑞, 等. 面罩及乳腺托架固定下乳腺癌保乳术后放疗锁骨上下区摆位误差分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, **28**(3): 217-221. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2019.03.012.  
MA Mingwei, WANG Shulian, QIN Shirui, *et al.* Breast board combined with a thermoplastic head mask immobilization can improve the reproducibility of the treatment setup for breast cancer patients receiving whole breast and supraclavicular nodal region irradiation[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, **28**(3): 217-221. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2019.03.012.
  - 12 张一戈, 邱小平, 陈维军, 等. 基于图像引导技术对头颈部肿瘤临床摆位误差的剂量学影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2015, **32**(1): 25-30. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2015.01.007.  
ZHANG Yige, QIU Xiaoping, CHEN Weijun, *et al.* Dosimetry influence study on head & neck cancer clinical placement error based on imageguided radiotherapy technique[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2015, **32**(1): 25-30. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2015.01.007.
  - 13 郭守娟. 锥形束CT图像引导下真空垫固定乳腺癌术后放疗摆位误差分析[J]. 中国医学工程, 2021, **29**(4): 23-25. DOI: 10.19338/j.issn.1672-2019.2021.04.006.  
GUO Shoujuan. Setup error of CBCT image-guided postoperative radiotherapy for breast cancer surgery with vacuum pad fixation[J]. China Medical Engineering, 2021, **29**(4): 23-25. DOI: 10.19338/j.issn.1672-2019.2021.04.006.
  - 14 房建南, 马玉家, 石俊田, 等. 发泡胶与乳腺托架在乳腺癌保乳术后IMRT中固定精度比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, **28**(5): 369-372. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2019.05.010.  
FANG Jiannan, MA Yujia, SHI Juntian, *et al.* Comparison of imbolization accuracy between styrofoam and breast carrier in intensity-modulated radiotherapy after breast conservative surgery for breast cancer patients [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, **28**(5): 369-372. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2019.05.010.
  - 15 唐成琼, 王翠翠, 刘浩, 等. 基于CBCT的两种体位固定方式在乳腺癌保乳术后调强放疗的摆位误差比较[J]. 重庆医学, 2019, **48**(23): 3994-3996. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8348.2019.23.009.  
TANG Chengqiong, WANG Cuicui, LIU Hao, *et al.* Error comparison of two body position fixation methods for breast cancer after breast conserving surgery based on CBCT[J]. Chongqing Medicine, 2019, **48**(23): 3994-3996. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8348.2019.23.009.
  - 16 刘再生, 江波, 石祥礼, 等. 宫颈癌图像引导调强放疗治疗减少摆位误差的分析[J]. 安徽医药, 2017, **21**(2): 303-306. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6469.2017.02.030.  
LIU Ransheng, JIANG Bo, SHI Xiangli, *et al.* Setup error analysis for cervical cancer in image guided intensity modulated radiotherapy[J]. Anhui Medical and Pharmaceutical Journal, 2017, **21**(2): 303-306. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6469.2017.02.030.
  - 17 苏霁清. CBCT在鼻咽癌调强放疗不同配准部位获得的摆位误差差异研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.  
SU Jiqing. A study on difference of setup errors in CBCT on different registrations in intensity modulated radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma[D]. Changsha: Central South University, 2013.
  - 18 van Herk M. Errors and margins in radiotherapy[J]. Seminars in Radiation Oncology, 2004, **14**(1): 52-64. DOI: 10.1053/j.semradonc.2003.10.003.
  - 19 李志聪, 李陆军, 向昭雄, 等. 鼻咽癌IMRT两种不同体位固定方法的摆位误差分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, **25**(3): 226-227. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2016.03.007.  
LI Zhicong, LI Lujun, XIANG Zhaoxiong, *et al.* Analysis of setting error of two different postural fixation methods for nasopharyngeal carcinoma IMRT[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2016, **25**(3): 226-227. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2016.03.007.
  - 20 Shalek R J. Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or gamma rays in radiotherapy procedures[J]. Medical Physics, 1977, **4**: 461. DOI: 10.1118/1.594356.
  - 21 林荫光, 黄向炼, 苏鑫, 等. 乳腺癌术后精确放疗计划靶区构建的研究[J]. 中国医疗设备, 2021, **36**(9): 159-162. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2021.09.037.  
LIN Yinguang, HUANG Xianglian, SU Xin, *et al.* Study on planning target volume construction of precision radiotherapy after breast cancer operation[J]. China Medical Devices, 2021, **36**(9): 159-162. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2021.09.037.
  - 22 程延. 肺癌千伏级CBCT图像引导下放疗摆位误差及摆位边界的研究[D]. 石家庄: 河北医科大学, 2016.  
CHENG Yan. A study of image registration and set-up



- margins in kV cone-beam computed tomography image-guided radiotherapy for lung carcinoma[D]. Shijiazhuang: Hebei Medical University, 2016.
- 23 刘翠翠, 李建彬, 范廷勇, 等. 锥形束CT引导自主呼吸控制保乳术后三维适形部分乳腺外照射术腔中银夹位移的研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2008, 17(1): 43-46. DOI: 10.3321/j.issn: 1004-4221.2008.01.011.
- LIU Cuicui, LI Jianbin, FAN Tingyong, *et al.* Cone-beam computed tomography guided study on silver clips displacement in breast cancer patients treated by three-dimensional conformal partial breast irradiation assisted by active breathing control after breast-conserving surgery[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2008, 17(1): 43-46. DOI: 10.3321/j. issn: 1004-4221.2008.01.011.
- 24 陈偲晔, 王淑莲, 唐玉, 等. 左侧乳腺癌保乳术后采用深吸气屏气放疗技术的应用与摆位误差[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(5): 504-508. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2018.05.014.
- CHEN Siye, WANG Shulian, TANG Yu, *et al.* Application and set-up error of deep inspiration breath-hold (DIBH) technique for whole breast irradiation in left breast cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2018, 27(5): 504-508. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 1004-4221.2018.05.014.