

本文引用格式:王玮,梅长文,宫尚明,等.摆位误差对左乳腺癌术后放射治疗剂量分布的影响[J].安徽医学, 2024,45(2):168-173.DOI:10.3969/j.issn.1000-0399.2024.02.007

· 临床医学 ·

摆位误差对左乳腺癌术后放射治疗剂量分布的影响

王 玮 梅长文 宫尚明 牛振洋

[摘要] **目的** 使用千伏级锥形束计算机断层扫描(kV-CBCT)技术测量左乳腺癌术后放射治疗摆位误差,探讨摆位误差对剂量分布的影响。**方法** 选取2021年9月至2022年12月在宣城市人民医院接受放射治疗的左乳腺癌术后患者30例为研究对象,提取每位患者前3次放射治疗前的kV-CBCT图像,分别与计划CT图像配准,由配准系统计算获得患者左右(X)、头脚(Y)、胸背(Z)方向摆位误差。以第1次配准结果作为校正前的误差,以第2、3次配准结果作为校正后的误差,在治疗计划系统中按校正前、后误差大小平移计划中心点,计算校正前的计划(S-Plan)和校正后的计划(C-Plan)的剂量,并与治疗计划(T-Plan)进行比较,分析3者在计划靶区(PTV)、浅表区域、危及器官方面的剂量差异,以及计划的伽马通过率差异。**结果** 校正前摆位误差分别为 (1.85 ± 3.76) mm、 (-1.80 ± 3.25) mm、 (-2.10 ± 3.99) mm,校正后摆位误差平均值分别为 (0.04 ± 1.59) mm、 (0.10 ± 1.55) mm、 (-0.01 ± 1.47) mm。3组计划的PTV D_{98} 、 D_{95} 、 D_{mean} 、均匀性指数(HI)、适形性指数(CI)和浅表区域 D_{mean} 间差异均具有统计学意义($P<0.05$),两两比较显示,S-Plan和T-Plan、C-Plan间差异均具有统计学意义($P<0.05$),3组计划患侧肺的 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 、 D_{mean} 、心脏的 D_{mean} 、 V_5 和脊髓 D_{max} 间差异均具有统计学意义($P<0.05$),两两比较显示,S-Plan和T-Plan、C-Plan间差异均具有统计学意义($P<0.05$),3组计划的伽马通过率间差异具有统计学意义($P<0.05$),两两比较显示,S-Plan和T-Plan、C-Plan间差异均具有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 使用kV-CBCT测量并校正左乳腺癌术后放射治疗患者摆位,能有效减少摆位误差及其对剂量分布的影响,具有良好的可靠性和可重复性。

[关键词] 左乳癌;放射治疗;千伏级锥形束CT;摆位误差;剂量分布

doi:10.3969/j.issn.1000-0399.2024.02.007

The influence of setup errors on the dose distribution of postoperative radiotherapy for left breast cancer

WANG Wei¹, MEI Changwen¹, GONG Shanming¹, NIU Zhenyang²

1.Department of Radiation Oncology, Xuancheng People's Hospital, Xuancheng 242000, China;

2.Department of Radiation Oncology, No.901 Hospital of Joint Logistics Support Force of PLA, Hefei 230031, China

Funding project:Public health research fund of Xuancheng city(No.2022070)

Corresponding author:NIU Zhenyang,nzy105yy@163.com

[Abstract] **Objective** This study aims to use kilovoltage cone-beam computed tomography (kV-CBCT) to measure the setup errors in postoperative radiotherapy for left breast cancer and investigate the influence of setup errors on dose distribution. **Methods** Thirty postoperative patients with left breast cancer who received radiation therapy in Xuancheng People's Hospital from September 2021 to December 2022 were selected, and the kV-CBCT images of each patient before the first three radiation treatments were extracted and registered with the planning CT images, respectively. And the patient's setup errors in the left-right (X), superior-inferior (Y), and anterior-posterior (Z) directions were calculated by the registration system. Using the first time's registration result as the setup error before correction, and the second and third registration results as the setup error after correction, the treatment plan system translated the isocenter of the plan based on the magnitude of the errors before and after correction. The doses of the simulated plan (S-Plan) and correction plan (C-Plan) were calculated and compared with the treatment plan (T-Plan) to analyze the differences in dose distribution in the planning target volume, surface margin, and organs at risk, as well as the differences in the gamma passing rates of the plans. **Results** The setup errors in the X, Y, and Z directions before correction were (1.85 ± 3.76) mm, and the setup errors after correction were (0.04 ± 1.59) mm, (0.10 ± 1.55) mm, and (-0.01 ± 1.47) mm, respectively. The differences in D_{98} , D_{95} , D_{mean} , HI, CI of planning target volume, and surface margin's D_{mean} among the three plans were statistically significant ($P<0.05$), and the comparison results showed that the differences between S-Plan and C-Plan, T-Plan were statistically significant ($P<0.05$). The differences in V_5 , V_{20} , V_{30} , D_{mean} of the ipsilateral lung, D_{mean} , V_5 of the heart, and D_{max} of the spinal cord among the three plans were all statistically significant.

基金项目:宣城市卫生健康科研项目(编号:2022070)

作者单位:242000 安徽宣城 宣城市人民医院放射治疗科(王玮,梅长文,宫尚明)

230031 安徽合肥 中国人民解放军联勤保障部队第901医院放射治疗科(牛振洋)

通信作者:牛振洋,nzy105yy@163.com

cally significant ($P<0.05$). The comparison results showed that the differences between S-Plan and C-Plan, T-Plan were statistically significant ($P<0.05$). The differences in gamma passing rate among the three plans were statistically significant ($P<0.05$), and the comparison results showed that the differences between S-Plan and C-Plan, T-Plan were statistically significant ($P<0.05$). **Conclusions** Using kV-CBCT to measure and correct the patient's treatment position can reduce setup errors, has good reliability and repeatability, and can reduce the influence on the dose distribution of setup errors.

[**Key words**] Left breast cancer; Radiation therapy; Kilovolt cone-beam CT; Setup error; Dose distribution

乳腺癌是女性发病率最高的恶性肿瘤,术后放射治疗可以提高治疗效果,改善患者生存质量^[1-3]。研究表明,乳腺癌术后约 10%~40% 的患者可能会出现局部复发,其中胸壁复发最为常见^[4-5]。而在分次放射治疗过程中,摆位误差常导致肿瘤靶区无法获得足够的照射剂量,从而影响治疗效果^[6-7]。因此,在实际工作中如何降低摆位误差是目前研究的重点。机载千伏级锥形束计算机断层扫描(kilovoltage cone beam computed tomography, kV-CBCT)是直线加速器和影像设备的有机结合,通过获取患者 kV-CBCT 图像和计划 CT 进行配准,计算摆位误差,并在线校正治疗床位置,最大限度降低摆位误差对放射治疗的影响^[8]。本研究通过比较左乳腺癌术后患者前 3 次放射治疗的 kV-CBCT 图像与计划 CT 的配准结果,得到摆位误差,进而研究摆位误差对患者放射治疗剂量分布的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2021 年 9 月至 2022 年 12 月在宣城市人民医院接受放射治疗的左乳腺癌术后患者 30 例,年龄 31~74 岁,中位年龄 57 岁。纳入标准:①原发于左侧,活检病理为乳腺癌,并接受乳腺癌根治术;②接受术后辅助放射治疗,靶区包括胸壁加锁骨上下淋巴引流区;③处方剂量为 50 Gy/25 fx。排除标准:①原发于右侧或双侧的乳腺癌患者;②患者一般情况差,不能主动配合摆位的;③kV-CBCT 扫描次数不够或图像质量不佳。

1.2 方法

1.2.1 模拟定位与靶区勾画 所有患者均为仰卧位,采用乳腺专用托架,并以真空垫固定。在平静呼吸状态下,行 CT 模拟定位扫描,扫描层厚为 5 mm,扫描范围从乳突至膈肌下缘。定位完成后由放射治疗医师依照国际辐射单位与测量委员会 83 号报告^[9]和乳腺癌放射治疗靶区勾画指南^[10],结合患者病情,使用 MONACO 治疗计划系统勾画靶区和危及器官。临床靶区范围为锁骨上、下淋巴引流区和胸壁区,计划靶区(planning target volume, PTV)由临床靶区在三维方向均匀外放 5 mm 并内收至皮肤下 3 mm 生成,浅表区域为 PTV 至皮肤表面间的 3 mm 区域。危及器官勾画包括:患侧肺、健侧肺、健侧乳腺、心脏和脊髓。靶区和危及

器官勾画完成后由同一名具有 20 年放射治疗经验的高级职称医师审核确认。

1.2.2 计划设计与评价 30 例左乳癌患者的调强放射治疗计划均采用 MONACO 治疗计划系统设计,治疗机为医科达 Synergy 型加速器,能量为 6 mV-X 射线,采用蒙特卡洛算法,3 mm 计算网格,5 野共面照射,射野角度分别为两对切线方向野和一个零度野,并选用自动边界外放功能(该值设为 2 cm)。所有患者处方剂量均为 50 Gy 并归一至 95% PTV,每周 5 次,5 周完成。

靶区评价指标包括:PTV 的 D_2 、 D_{98} 、 D_{95} 、 D_{mean} 、均匀性指数(homogeneity index, HI)和(conformity index, CI),其中 HI 计算公式为: $HI=(D_2-D_{98})/D_{50}$,HI 越小表示靶区剂量越均匀;CI 计算公式为: $CI=VT_{ref}^2/(VT \times V_{ref})$,式中 VT_{ref} 为处方剂量包绕的靶区体积,VT 为靶区体积, V_{ref} 为处方剂量包绕的全部体积,CI 越接近 1,适形度越高。危及器官的评价指标为:患侧肺的 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 、 D_{mean} ;健侧肺的 V_5 ;健侧乳腺的 D_{mean} ;心脏的 D_{mean} 、 V_5 ;脊髓的 D_{max} 。所有治疗计划均由上级物理师和医师共同审核通过。

1.2.3 kV-CBCT 扫描与图像配准 患者首次治疗摆位由放射治疗医师、物理师和技师共同参与,摆位完成后进行第 1 次 kV-CBCT 扫描。首先,在图像配准系统中,采用基于灰度值自动配准的方法,对采集的 kV-CBCT 图像与计划 CT 图像进行配准,由放射治疗医师对自动配准结果进行评估并手动调整直至满意。其次,由图像配准系统自动计算出摆位误差值。最后,将摆位误差值发送至加速器系统,由加速器系统对治疗床位置进行校正。所有患者前 3 次放射治疗前均行 kV-CBCT 扫描,采用上述相同的配准方式,并记录每位患者左右(X)、头脚(Y)和胸背(Z)方向的摆位误差值。

1.2.4 TPS 模拟存在摆位误差的计划 以第 1 次配准结果为校正前的摆位误差,以第 2、3 次配准结果为校正后的摆位误差。将每位患者经审核并实际应用于治疗的计划命名为治疗计划(treatment plan, T-Plan)。复制 T-Plan,分别按照校正前、后误差值平移复制的 T-Plan 等中心点,生成校正前的计划(simulated plan, S-Plan)和校正后的计划(corrected plan, C-Plan)。比较 3 组计划在 PTV、浅表区域和危及器官的剂量学差异。

1.2.5 计划的剂量验证 在治疗计划系统中,将 T-Plan 计划机架角和准直器角均归零并移植到 miniPhantom 模体,计算剂量分布并导出等中心层面剂量分布文件至 My QA 软件。采用 MatriXX 二维电离室矩阵,分别按照第 1 次配准结果和第 2、3 次配准结果移动治疗床,模拟校正摆位误差前、后的计划,使用角度归零多野合成的方法进行剂量验证测量,伽马通过率计算标准为 3 mm/3%。

1.3 统计学方法 使用 SPSS 20.0 进行统计分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,偏态分布计量资料以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示。对于符合正态分布的结果采用单因素方差分析,符合方差齐性的事后两两比较采用 LSD 检验,否则使用 Dunnett's t 检验。不符合正态分

布的结果采用 Friedman 检验,采用 Bonferroni 法校正显著性水平进行事后两两比较。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 摆位误差结果 30 例患者共接受 90 次 kV-CBCT 扫描,第 1 次配准结果显示,X、Y、Z 方向 5mm 内摆位误差分别占 73.33%(22/30)、83.33%(25/30)和 70.00%(21/30),第 2、3 次配准结果显示,X、Y、Z 方向摆位误差均小于 3 mm。校正后的 X、Y、Z 方向摆位误差和校正前相比均下降,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 1。

表1 前3次kV-CBCT扫描图像配准结果(mm)

kV-CBCT	考虑误差方向的摆位误差			不考虑误差方向的摆位误差		
	X	Y	Z	X	Y	Z
第1次	1.85±3.76	-1.80±3.25	-2.10±3.99	3.62±2.04	3.15±1.93	3.77±2.41
第2次	0.11±1.61 ^①	0.07±1.49 ^①	0.14±1.56 ^①	1.37±0.80 ^①	1.27±0.73 ^①	1.34±0.78 ^①
第3次	-0.04±1.59 ^①	0.13±1.64 ^①	-0.17±1.38 ^①	1.41±0.70 ^①	1.46±0.72 ^①	1.17±0.72 ^①
F值	5.354	7.271	6.749	29.303	20.746	28.329
P值	0.006	0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001

注:kV-CBCT为千伏级锥形束CT,X为左右方向,Y为头脚方向,Z为胸背方向;^①表示与第1次配准结果相比, $P < 0.05$ 。

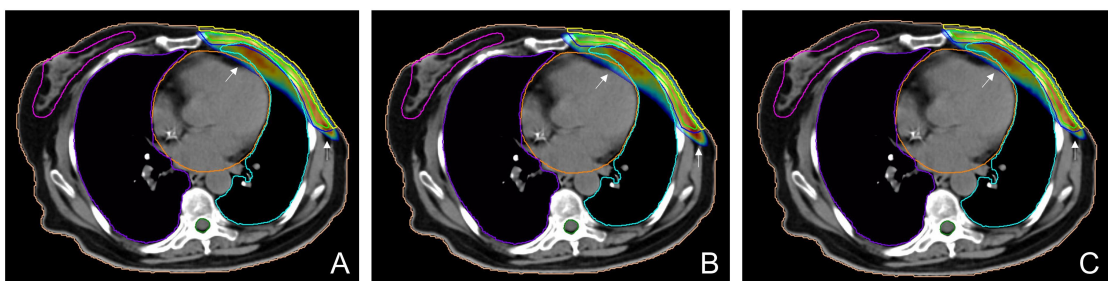
2.2 摆位误差对 PTV 与浅表区域剂量分布的影响 3 组计划的 $PTVD_{98}$ 、 D_{95} 、 D_{mean} 、HI、CI 和浅表区域 D_{mean} 间差异均具有统计学意义($P < 0.05$),两两比较结果显示,S-Plan 和 T-Plan 以及 S-Plan 和 C-Plan 间差异均具有

统计学意义($P < 0.05$),C-Plan 和 T-Plan 间差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 2。3 组计划剂量分布云图和剂量-体积直方图见图 1、2。

表2 30例患者PTV和浅表区域剂量比较

评价指标	T-Plan	S-Plan	C-Plan	F/χ^2 值	P值
$PTVD_2$ (Gy)	53.72±0.69	53.97±0.51	53.77±0.72	1.236	0.295
$PTV D_{98}$ (Gy)	48.25±0.58 ^①	46.85±0.72	48.31±0.75 ^①	45.008	<0.001
$PTV D_{95}$ (Gy)	50.00(50.00,50.00) ^①	49.19(48.84,49.56)	49.65(49.41,50.01) ^①	40.829	<0.001
$PTV D_{mean}$ (Gy)	52.64(52.20,52.87) ^①	52.29(51.94,52.53)	52.37(52.24,52.86) ^①	12.309	0.002
PTV HI	0.13±0.04 ^①	0.15±0.04	0.13±0.03 ^①	4.523	0.013
PTV CI	0.69(0.64,0.78) ^①	0.62(0.59,0.68)	0.70(0.64,0.73) ^①	20.417	<0.001
浅表区域 D_{mean} (Gy)	45.85±0.34 ^①	44.60±0.41	45.67±0.45 ^①	87.132	<0.001

注:PTV为计划靶区,T-Plan为治疗计划,S-Plan为校正前计划,C-Plan为校正后计划;^①表示与S-Plan比较, $P < 0.05$ 。



注:A是T-Plan,B是S-Plan,C是C-Plan;S-Plan的心脏和正常组织所接受的剂量多于T-Plan和C-Plan。

图1 3组计划剂量分布云图比较

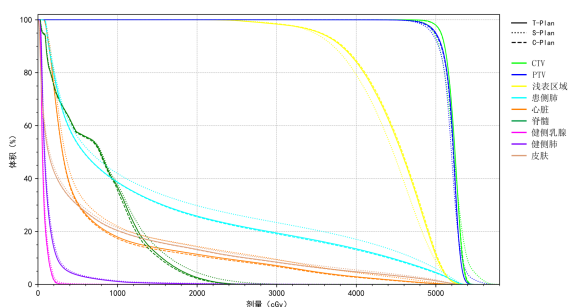


图 2 3 组计划剂量-体积直方图比较

2.3 摆位误差对危及器官剂量分布的影响 3 组计划的患侧肺 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 、 D_{mean} 、心脏 D_{mean} 、 V_5 和脊髓 D_{max} 间差异均具有统计学意义 ($P < 0.05$), 两两比较结果显示, S-Plan 和 T-Plan 以及 S-Plan 和 C-Plan 间差异均具有统计学意义 ($P < 0.05$), C-Plan 和 T-Plan 间差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。健侧肺 V_5 和健侧乳腺 D_{mean} 间差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 3。

2.4 摆位误差对剂量验证的影响 T-Plan、S-Plan 和 C-Plan 的伽马通过率分别为: $(96.89 \pm 0.82)\%$ 、 $(94.80 \pm 1.10)\%$ 、 $(96.68 \pm 0.94)\%$, 差异具有统计学意义 ($F = 43.057, P < 0.001$), 两两比较结果显示, S-Plan 和 T-Plan 以及 S-Plan 和 C-Plan 间差异均具有统计学意义 ($P < 0.001$), C-Plan 和 T-Plan 间差异无统计学意义 ($P = 0.392$)。

3 讨论

分次放射治疗模式下, 摆位的准确性和重复性是制约放射治疗效果的关键因素。医科达加速器通过 X 射线容积成像 (X-ray volume image, XVI) 系统实现 kV-CBCT 扫描与成像。XVI 系统通过将 kV-CBCT 图像与计划 CT 图像配准后, 由系统自动计算患者在 X、Y 和 Z 方向的摆位误差, 并在线校正患者体位, 从而提高放射治疗的精准性^[11-13]。根据误差的来源和性质不同, 摆位误差可分为系统误差和随机误差, 系统误差具有规

律性, 主要与设备有关, 能够减小甚至消除; 随机误差具有随机性, 是不可预知的, 主要与患者的体型变化、器官运动及摆位有关。

XVI 系统提供多种配准方式, 由于乳腺术后胸壁缺乏特定的骨性标识, 因此本研究采用基于灰度值自动配准结合手动调整的配准方式。本研究结果表明, 第一次放射治疗的摆位误差中, 无论是否考虑误差方向, Z 轴偏差均最大。这与曹井丽等^[14]研究结果相同, 原因是治疗前患者呼吸训练不足, 紧张导致的呼吸幅度过大。第二、三次放射治疗是在第一次扫描并校正患者体位后, 从结果来看, X、Y、Z 方向摆位误差均呈下降趋势。这一结果表明, 利用 kV-CBCT 校正患者体位可靠性高、重复性强。包兴等^[15]对保乳术后患者的研究也表明, 前 3 次连续 CBCT 会减小放射治疗过程中的摆位误差。

摆位误差是影响放射治疗精确实施的关键因素, 无疑会影响剂量分布。系统误差导致剂量分布的整体偏移, 随机误差导致靶区边缘剂量的改变, 使得其凹凸变化与治疗计划不一致。所以摆位误差使得实际照射的剂量分布与计划的剂量分布存在偏差, 临床上不能准确评估靶区及正常组织的受照剂量。本研究结果显示, 相较于 T-Plan, S-Plan 的靶区剂量下降相对明显, 而 C-Plan 变化较小差异无统计学意义。胸壁是乳腺癌术后最常见的复发部位, 其中皮肤层复发风险最高^[16], 因此保证浅表区域剂量对于临床评估调强放射治疗计划尤其重要^[17]。本研究结果表明, S-Plan 组的浅表区域 D_{mean} 低于 T-Plan ($P < 0.05$), 而 C-Plan 和 T-Plan 间差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。因此, 采用 kV-CBCT 减少摆位误差, 确保浅表区域获得足够的照射剂量, 对乳腺癌术后放射治疗有重要意义。

放射性肺损伤和心脏损伤是乳腺癌术后放射治疗的常见并发症。现有研究表明, 影响乳腺癌术后放射性肺损伤的因素主要有患侧肺 V_5 、 V_{20} 和 D_{mean} ^[18]。在乳腺癌术后放射治疗中, 左乳癌和右乳癌对于心脏的剂

表 3 30 例患者 OARs 剂量比较

评价指标	T-Plan	S-Plan	C-Plan	F/χ^2 值	P 值
患侧肺 V_5 (%)	54.31 ± 2.55 ^①	56.19 ± 2.57	54.78 ± 2.42 ^①	4.737	0.011
患侧肺 V_{20} (%)	22.35 ± 1.91 ^①	23.60 ± 1.69	22.48 ± 2.25 ^①	3.806	0.026
患侧肺 V_{30} (%)	16.21 ± 1.14 ^①	16.95 ± 1.21	16.01 ± 1.08 ^①	5.835	0.004
患侧肺 D_{mean} (Gy)	14.24 (12.76, 15.01) ^①	15.40 (14.63, 15.78)	14.33 (12.86, 15.07) ^①	48.452	<0.001
健侧肺 V_5 (%)	3.22 (1.66, 4.26)	3.05 (1.72, 4.09)	3.14 (1.52, 4.41)	3.161	0.206
健侧乳腺 D_{mean} (Gy)	0.86 (0.70, 1.10)	0.91 (0.75, 1.24)	0.86 (0.70, 1.23)	5.597	0.061
心脏 D_{mean} (Gy)	8.33 ± 0.97 ^①	9.39 ± 1.03	8.39 ± 0.91 ^①	11.715	<0.001
心脏 V_5 (%)	34.63 ± 3.03 ^①	37.86 ± 2.98	34.58 ± 3.11 ^①	11.815	<0.001
脊髓 D_{max} (Gy)	26.97 (25.82, 27.64) ^①	29.38 (28.46, 30.35)	27.06 (26.08, 28.13) ^①	49.226	<0.001

注: T-Plan 为治疗计划, S-Plan 为校正前计划, C-Plan 为校正后计划; ^①表示和 S-Plan 比较, $P < 0.05$ 。

量限值不同,差异较大^[10],为减少剂量限值不同对实验结果的影响,本研究所选取的患者均为原发于左侧。本研究表明,几乎所有的危及器官剂量学指标,S-Plan 都高于 T-Plan,这与罗惠煌等^[19]研究结果相似。只有健侧肺 V_5 和健侧乳腺 D_{mean} 的差异无统计学意义,笔者分析是由于本研究中,射野未直接穿过健侧肺和健侧乳腺,移动中心点对其剂量影响很小。C-Plan 和 T-Plan 相比较,所有的危及器官剂量学指标变化均很微小。相关研究表明,呼吸运动、kV-CBCT 扫描频率也是乳腺癌摆位误差的重要影响因素^[20-21],后续研究中,可纳入更多病例,并进一步探索放射治疗期间呼吸运动、kV-CBCT 验证频率对摆位误差和剂量分布的影响,以期更好地为临床治疗提供指导。

第一次放射治疗行 kV-CBCT 扫描后图像配准得到的误差可以看作系统误差,其产生于从患者定位制模开始,经过 CT 定位扫描、靶区勾画、计划设计评估、通过网络传输到加速器及首次摆位治疗整个过程中,首次治疗对该误差进行补偿后,第二、三次放射治疗行 kV-CBCT 扫描后图像配准得到的误差大为降低,可以看作治疗分次间的随机误差。对系统误差进行补偿后,在随机误差无法避免的情况下,C-Plan 和 T-Plan 的整体剂量分布一致,不管是靶区的剂量还是危及器官的受照剂量,其剂量偏差都在临床要求范围内。本研究中的剂量验证工作得出了同样的结果,系统误差不进行补偿的情况下,伽马通过率降低 2% 左右,进行补偿后随机误差存在的情况下,伽马通过率基本一致。这与沈浩等^[22]使用 ArcCHECK 研究摆位误差对容积旋转调强剂量验证影响的结果一致。另调强放射治疗具有高度适形性和计划实施的复杂性,在临床治疗前对每位患者的放射治疗计划进行剂量验证也是必须开展的工作^[23]。

综上所述,左乳腺癌术后患者放射治疗前进行 kV-CBCT 扫描、图像配准和校正患者治疗体位,可以减少摆位误差,并具有良好的可靠性和可重复性。摆位误差会影响实际放射治疗时 PTV、OARs 和浅表区域的剂量分布,通过使用 kV-CBCT 校正患者治疗体位对于左乳腺癌术后患者放射治疗的精准实施具有重要意义。

参考文献

- [1] ZHANG R, ZHANG S, ZENG H, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2016[J]. J Natl Cancer Cent, 2022, 2(1): 1-9.
- [2] CHEN S Y, TANG Y, WANG S L, et al. Timing of chemotherapy and radiotherapy following breast-conserving surgery for early-stage breast cancer: a retrospective analysis[J]. Front Oncol 2020, 10:571390.
- [3] 中国抗癌协会乳腺癌专业委员会. 中国抗癌协会乳腺癌诊治指南与规范(2021 年版)[J]. 中国癌症杂志, 2021, 31(10): 954-1040.
- [4] PEDERSEN R N, ESEN B Ö, MELLEMKJÆR L, et al. The incidence of breast cancer recurrence 10-32 years after primary diagnosis[J]. J Natl Cancer Inst, 2022, 114(3):391-399.
- [5] 贾丽丽,左东明,王敬,等. 老年进展期乳腺癌改良根治术后同侧局部复发的影响因素[J]. 中国老年学杂志,2021,41(18): 3947-3950.
- [6] ZHOU Y, AI Y, HAN C, et al. Impact of setup errors on multi-isocenter volumetric modulated arc therapy for craniospinal irradiation[J]. J Appl Clin Med Phys, 2020, 21(11):115-123.
- [7] TSUJII K, UEDA Y, ISONO M, et al. Dosimetric impact of rotational setup errors in volumetric modulated arc therapy for postoperative cervical cancer[J]. J Radiat Res, 2021, 62(4): 688-698.
- [8] 梁广立,杜武,蒋胜鹏,等. 乳腺癌保乳术后调强放射治疗影像引导技术的研究进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2023, 46(4):462-467.
- [9] HODAPP N. The ICRU report 83: prescribing, recording and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT)[J]. Strahlenther Onkol, 2012, 188(1): 97-99.
- [10] 国家癌症中心/国家肿瘤质控中心. 乳腺癌术后放射治疗靶区勾画和计划设计指南[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2022, 31(10):863-878.
- [11] 张利,倪千喜,余功奕. 基于 KV-CBCT 影像引导下非小细胞肺癌自适应放射治疗可行性研究[J]. 中国医疗设备, 2023, 38(2):52-56.
- [12] SELVAN K T, PADMA G, REVATHY M K, et al. Dosimetric effect of rotational setup errors in single-isocenter volumetric-modulated arc therapy of multiple brain metastases[J]. J Med Phys, 2019, 44(2):84-90.
- [13] 罗灿,彭丽洁,杨定强,等. TiGRT IVS 与 XVI 图像引导系统在宫颈癌放射治疗摆位误差分析中的对比研究[J]. 中国医疗设备,2022,37(12):69-72.
- [14] 曹井丽,高文超,秦琪,等. 不同体位固定方式对乳腺癌放射治疗摆位精度的影响[J]. 现代肿瘤医学,2021,29(3): 507-511.
- [15] 包兴,卫鑫,白明华,等. 乳腺癌保乳术后及乳房重建术后患者放射治疗期间 CBCT 验证摆位误差分析[J]. 重庆医学, 2023,52(4):481-485,490.
- [16] 何惠珍,叶洁仪,何艳萍,等. 乳腺癌改良根治术后胸壁复发结节的超声图像特征及预测模型构建[J]. 临床超声医学杂志, 2023, 25(2):101-104.
- [17] WANG L, QIU G, YU J, et al. Effect of auto flash margin on superficial dose in breast conserving radiotherapy for breast cancer[J]. J Appl Clin Med Phys, 2021,22(6):60-70.
- [18] HANANIA A N, MAINWARING W, GHEBRE Y T, et al. Radiation-induced lung injury: assessment and management

- [J]. Chest, 2019,156(1):150-162.
- [19] 罗惠煌,童远和,王永斌.早期左侧乳腺癌术后锥形束 CT 引导下 VMAT 摆位误差致靶区及危及器官受照剂量变化研究[J].中外医学研究,2020,18(36):66-68.
- [20] DEKKER J, ESSERS M, VERHEIJ M, et al. Dose coverage and breath-hold analysis of breast cancer patients treated with surface-guided radiotherapy[J]. Radiat Oncol, 2023, 18(1):72.
- [21] BORM K J, JUNKER Y, DÜSBERG M, et al. Impact of CBCT frequency on target coverage and dose to the organs at risk in adjuvant breast cancer radiotherapy[J]. Sci Rep,2021, 11(1):17378.
- [22] 沈浩,夏兵.基于 ArcCHECK 模体的 VMAT 计划验证及摆位误差对剂量验证的影响[J].中国医学物理学杂志,2020, 37(4):431-438.
- [23] 李克,张战民,邱凌平,等.PD 与 Dolphin 验证系统在乳腺癌调强放射治疗计划剂量验证中的应用[J].实用癌症杂志, 2023, 38(6):1013-1017.
- (2023-06-26 收稿)
(本文编校:刘菲,胡欣)