

·临床研究·

体表光学图像引导技术联合图像引导放疗技术等中心双引导复位在乳腺癌调强放疗中的应用

陈雪梅, 刘璐, 蔡维洵, 王亚娟, 何晓华, 何振宇, 林承光, 姜晓勃
(华南肿瘤学国家重点实验室//中山大学肿瘤防治中心放疗科, 广东广州510060)

摘要:【目的】探讨体表光学图像引导技术(SGRT)联合图像引导放疗技术(IGRT)在乳腺癌术后放疗中实施等中心双引导复位的可行性,评估新的复位模式相对于传统复位模式的误差精度差异。【方法】回顾性分析2021年7月13日至2022年10月15日在中山大学肿瘤防治中心ELEKTA infinity加速器放疗的乳腺癌保乳术后患者,按不同复位方式分为模拟机复位组(模拟组)41例和双引导复位组(双引导组)40例。模拟组采用模拟机进行复位,首次用CBCT扫描并记录摆位误差;双引导组采用体表光学设备AlignRT引导摆位并联合CBCT进行等中心双引导复位,记录CBCT配准获取的摆位误差。分别计算并比较两种复位方式的胸壁靶区(CROI)的整体摆位误差、患侧锁骨头区域(SROI)的局部残余误差和复位时间,分析SGRT联合IGRT双引导复位的CBCT误差值分布的优点。【结果】模拟组和双引导组在CROI区域的整体摆位误差(X/cm、Y/cm、Z/cm、Rx°、Ry°、Rz°)中,除了Ry、Rz方向无统计学意义($P>0.05$)外,其他方向摆位误差具有统计学意义($P<0.05$)。模拟组和双引导组在患侧SROI区域的局部残余误差(X/cm、Y/cm、Z/cm、Rx°、Ry°、Rz°)中,除X、Z轴平移方向无统计学差异($P>0.05$)外,其他方向均具有统计学意义($P<0.05$)。模拟组的复位时间为(505.36±21.96) s明显大于双引导组的(238.64±28.56) s, $t=-24.555$, $P=0.000$, 差异具有统计学意义($P<0.05$)。分析双引导组的CBCT误差值分布,发现X、Y、Z轴平移误差绝对值均覆盖在0.4 cm以内,而≤0.3 cm的比例分别为95%、93%和93%, Rx、Ry、Rz旋转误差绝对值≤1.5°的比例分别为90%、93%和90%。【结论】在乳腺癌调强放疗中,与传统的模拟机复位模式相比,SGRT联合IGRT进行等中心双引导复位,可以有效校正旋转角度和残余误差,提高放疗的精准度,复位时间更少,可行性高。这种精准、无标记的复位方式可在临床推广使用。

关键词:乳腺癌;锥形束CT;体表光学图像引导技术;双引导复位;无标记;残余误差

中图分类号:R737.9;R815 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-3554(2023)01-0085-08

DOI:10.13471/j.cnki.j.sun.yat-sen.univ(med.sci).20221208.002

Application of SGRT Combined with IGRT Isocenter Dual-guided Resetting in IMRT for Breast Cancer

CHEN Xue-mei, LIU Lu, CAI Wei-xun, WANG Ya-juan, HE Xiao-hua,
HE Zhen-yu, LIN Cheng-guang, JIANG Xiao-bo

(South China State Key Laboratory of Oncology, Department of Radiotherapy, Sun Yat-sen University Cancer Center,
Guangzhou 510060, China)

Correspondence to: JIANG Xiao-bo; E-mail: jiangxiaob@sysucc.org.cn

Abstract:【Objective】The objective is to investigate the possibility of isocenter dual-guided resetting of surface guided radiation therapy (SGRT) combined with image guided radiation therapy (IGRT) in postoperative radiotherapy for

收稿日期:2022-11-10

基金项目:国家自然科学基金(81872459);广东省自然科学基金(2018A030313666)

作者简介:陈雪梅,硕士,研究方向:放射治疗, E-mail: chenxuemei@sysucc.org.cn;姜晓勃,通信作者,研究方向:放射治疗, E-mail: jiangxiaob@sysucc.org.cn

breast cancer. To assess the setup error accuracy between the new resetting mode and the traditional resetting mode.【Methods】Retrospective analysis was performed on breast cancer patients who underwent ELEKTA infinity accelerator radiotherapy in sun yat-sen university cancer center from July 13, 2021 to October 15, 2022. According to different reset methods, the patients were divided into a simulation group (41 cases) and a dual-guided group (40 cases). The simulation group was reset using a simulator, CBCT scans were performed and setup errors were recorded during the first treatment; The dual-guided group was guided by AlignRT and combined with CBCT for isocenter dual-guided resetting, and the setup error obtained by CBCT registration was recorded. The global setup errors of chest region of interest (CROI), the local residual errors of supraclavicular region of interest (SROI) and the resetting time of the two reset methods were calculated and compared respectively. The advantages of the CBCT error distribution in the dual-guided resetting of SGRT combined with IGRT were analyzed.【Results】The median of the global setup errors (X/cm , Y/cm , Z/cm , R_x° , R_y° , R_z°) of the simulation group and the median of the dual-guided group in the CROI were statistically significant ($P<0.05$) except the R_z and R_y directions. The local residual errors of the two groups of the SROI were calculated. The median of the errors of X/cm , Y/cm , Z/cm , R_x° , R_y° , R_z° were statistically significant ($P<0.05$) except the X and Y axis. The resetting time of the simulation group was significantly longer than that of the dual-guided group (238.64 ± 28.56) s, $t=-24.555$, $P=0.000$, and the difference was statistically significant ($P<0.05$). The CBCT error distribution of the dual-guide group was analyzed, and it was found that the absolute values of translation errors of X, Y and Z axis were all within 0.4 cm, while the proportions of ≤ 0.3 cm were 95%, 93% and 93%, respectively. The proportions of rotation errors of R_x , R_y and $R_z \leq 1.5^\circ$ were 90%, 93% and 90%, respectively.【Conclusion】In postoperative radiotherapy of breast cancer, SGRT combined with IGRT for isocenter dual-guided resetting can effectively correct the rotational setup errors and residual errors, and improve the accuracy of radiotherapy with less resetting time and high feasibility, which compared with the traditional simulator resetting mode. This precise, unmarked resetting method can be widely used in clinical practice.

Key words: breast cancer; cone beam CT; surface-guided radiation therapy; dual-guided resetting; unmarked, residual error

[J SUN Yat-sen Univ (Med Sci), 2023, 44(1): 85-92]

我国乳腺癌发病率逐年上升,病例数和死亡数均居世界第一^[1]。乳腺癌保乳术后放疗的5年生存率可达到91.1%^[2],在治疗时等中心位置的定位至关重要。乳腺癌治疗前复位就是对患者放疗计划中治疗等中心位置的再次复核和验证。精准复位有利于靶区达到良好的剂量分布,减少对周围正常组织的剂量传递,初始位置的准确性和日常摆位的误差仍是值得关注的焦点。传统的复位方式有模拟机复位、CT-sim复位、EPID复位等,均无法完全纠正患者体位姿势和旋转误差^[3-4]。Jiang^[5]等认为旋转误差会导致计划靶区的 D_{98} 、 D_{95} 和 $V_{100\%}$ 覆盖不足,靶区周围的危及器官剂量会增加。特别是锁骨上淋巴区域的大剂量照射可能出现手臂使用失常和肩部外展受损等副作用^[6],因此头偏角度和手臂外展度的重复性非常重要。同时,放射治疗师通常会在患者体表画线或纹身来标记治疗等中心点,可能存在标记线丢失、重复标记后识别困难、纹身过敏甚至感染、治疗结束后难以清除等问题,给患者带来了严重的心理负担,降低了日常摆位精度^[7-9]。体表光学图像引导放疗系统(surface-guided radiation therapy, SGRT)采用非接触式的自由空

间成像技术,可实现治疗前摆位和治疗中实时位置的追踪与监控^[10-11]。图像引导放疗技术(image-guided radiotherapy, IGRT)主要通过锥形束CT(cone beam CT, CBCT)来实现对摆位误差的校正。本研究主要目的是利用光学体表设备AlignRT(Vision RT, London, United Kingdom)引导摆位校正六维误差后,再联合CBCT扫描实现等中心双引导复位,改善乳腺癌的复位精度和标记方式。

1 材料与方 法

1.1 病例资料

回顾式分析2021年7月13日至2022年10月15日在中山大学肿瘤防治中心ELEKTA infinity加速器放疗的乳腺癌保乳术后患者,按不同复位方式分为模拟组(41例)和双引导组(40例)。纳入标准:年龄20~60岁;KPS大于80分;术后分期为 $T_{1-3}N_{1-3}M_0$ 的乳腺癌保乳术后患者;术后拟行调强放射治疗患者;患侧上臂上举外展自如的患者;患者自愿接受kV-CBCT图像引导放疗装置。排除标准:同时双侧乳腺

癌;既往胸壁或锁骨上放疗史;既往或治疗时合并有其他恶性肿瘤(皮肤癌、甲状腺乳头状癌等);存在乳腺癌放疗禁忌症;严重心功能不全;无法配合完成摆位者。患者放疗前均签署了知情同意书,已获得医院伦理委员会批准(B2020-379-01)。

1.2 主要设备及装置

瑞典医科达直线加速器ELEKTA infinity、Philips 16排螺旋CT模拟定位机,模拟定位机,monaco放疗计划系统(treatment planning system, TPS)、体表光学设备AlignRT、碳纤维头颈肩架(广州科莱瑞迪医疗器材有限公司)、医用发泡胶(广州富瑞健康科技有限公司)等。

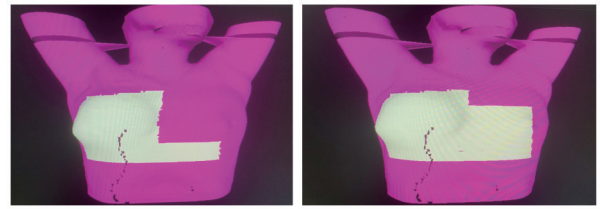
1.3 体位固定与CT定位

采用医用发泡胶联合碳纤维头颈肩架的固定方式,将发泡胶的布袋放在颈肩部固定架上,将异氰酸聚亚甲基聚亚苯基酯和复合聚醚类多元醇倒入布袋内混合均匀。患者仰卧位,双手上举外展,在其头部、手臂和肩胛骨等部位均留有明显的卡位凹槽,个体化的塑形方式使发泡胶与人体体表轮廓完美贴合,保证治疗时的体位重复性。使用Philips 16排螺旋大孔径CT模拟定位机进行图像采集,扫描层厚5 mm,管电压140 kV,扫描范围一般为第二颈椎上缘到第二腰椎下缘。用Monaco计划系统进行靶区勾画和计划设计,采用调强放疗(IMRT)技术,总剂量50~60 Gy,治疗总次数25~30次(2 Gy/次)。

1.4 AlignRT与CBCT参数设置

1.4.1 双引导组AlignRT扫描参数设置 双引导组患者在AlignRT系统导入治疗计划(RT plan)和体表外轮廓(RT structure),勾画2个ROI(region of interest)。1个ROI用于患者体表引导摆位(胸壁、胸骨、及患侧至健侧乳房皱褶下3 cm宽的条型带),另1个用于治疗中的实时监控,勾画范围扩大至健侧乳腺(患者双侧乳腺及乳房皱褶下3 cm宽的条型带),以防止治疗过程中机架角度在 $\pm 60^\circ$ 的范围内遮挡摄像机,导致体表信息覆盖不足25%,监测数据出现误差(图1)。治疗时Z轴(VRT cm)、Y轴(LNG cm)、X轴(LAT cm)方向的设置阈值为 ± 0.3 cm,相对应的YAW $^\circ$ 、Roll $^\circ$ 、Pitch $^\circ$ 六维角度的设置阈值为 $\pm 3^\circ$ 。每次采集图像需保证机架在 180° ,且无XVI板遮挡。

1.4.2 CBCT扫描参数设置 对Infinity自带的XVI成像系统进行扫描参数设置:电压120 kV,机架转速 $360^\circ/\text{min}$,kv准直器设置为M20,kv滤线器设置为F1,采集图像330帧/分,FOV成像范围为 $276.7\text{ mm}\times 409.6\text{ mm}$,扫描时机架逆时针旋转,角度为 180° 至 180° 。



Left for the guide positioning ROI, right for real-time monitoring ROI.

图1 ROI勾画

Fig. 1 ROI delineation

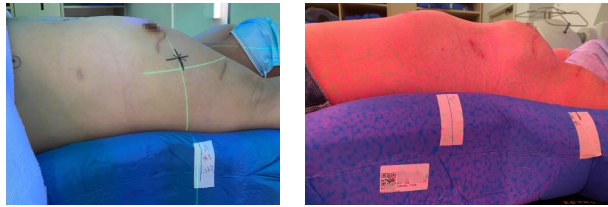
1.5 复位验证流程

1.5.1 模拟组患者复位验证流程 模拟组需到模拟定位机进行复位,复位步骤如下:①先按照定位CT线和患者体表的CT-mark点摆位;②根据计划中的移床参数移床至等中心;③与计划中的DRR图对比,根据骨性标志进行配准;④复位完成需要在固定装置上贴标记线并在患者身上打激光点(图2左)。记录患者的模拟机复位时间,复位时间定义为从患者接触治疗床到标记完成离开治疗床的时间。41例患者首次治疗前需到加速器行CBCT验证,采用复位标记线和激光点摆位,再进行CBCT扫描,灰度配准在线移床修正,后每周扫描1次。验证流程结束后(图3),记录首次CBCT的摆位误差,共41组数据。

1.5.2 双引导组患者复位验证流程 双引导组患者40例无需模拟机复位,直接使用AlignRT联合CBCT进行等中心双引导复位。复位步骤如下:①先按照定位CT线和患者体表的CT-mark点摆位;②参照光学体表示意的等中心位置移床到大概等中心1 cm以内的范围,然后通过MOVE COUCH功能一键移床至治疗等中心;③打开Treatment capture获取图像,使用绿色体表姿势纠正功能,主要是纠正手臂外展和头偏程度等(图4);④打开DICOM体表,微调患者六维方向的误差到 $\pm 0.1\text{ cm}/\pm 1.5^\circ$ 以内,后通过CBCT进行六维方向的误差验证,进行移床校正;⑤采用灰度GreyT+R匹配方式,根据CBCT配准结果,当旋转角度在 $\pm 1.5^\circ$ 左右时,用AlignRT拍照获取2个体表供后续治疗使用:引导摆位参考体表(VRT1)和治疗监控参考体表(VRT2),在患者的固定器表面做标记线后复位完成(图2右)。验证流程结束后(图3),记录首次复位行CBCT的摆位误差,共40组数据。记录患者的复位时间,即从患者接触治疗床到准备治疗的时间。

1.6 图像配准结果回顾分析

因双引导组CBCT配准框需要与VRT1的ROI范围保持一致,为了保证和模拟组配准条件相同,治疗时的图像配准范围均为患侧胸壁靶区(chest region of interest, CROI):纵



left for resetting body surface marker of simulation group, right for unmarked dual-guided resetting group

图2 复位标记线

Fig. 2 Reset marker line

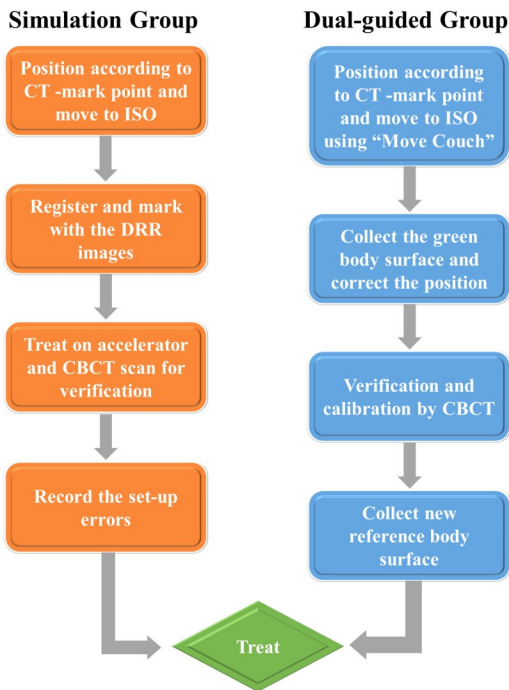
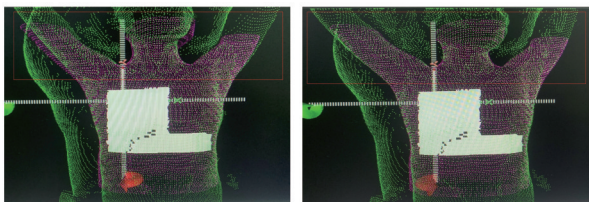


图3 模拟组与双引导组复位验证流程图

Fig. 3 Resetting verification flow charts of simulation group and dual-guided group



left before correction, right after correction.

图4 体表姿势纠正

Fig. 4 Posture correction

向从胸骨柄至PTV,横向以体中线至胸壁外侧1 cm。同时,本研究对锁骨头区域即锁上靶区(supraclavicular region of interest, SROI)进行了图像配准,该区域的重复性可减少甲

状腺、肱骨头等危及器官的剂量,降低放疗副反应,尽可能减少该区域的局部残余误差,保证锁上靶区剂量精准传递。患侧锁上靶区(SROI)配准范围:纵向从环状软骨至锁骨头下缘,横向以颈椎至肱骨头前缘。CROI和SROI的配准方式均为:GreyT+R自动匹配后手动微调。其中,CROI用于计划CT和CBCT之间的配准,其配准结果被定义为整体误差 E_{CROI} ,CROI的配准结果与SROI的配准结果之间的差值定义为SROI的局部残余误差 $\Delta E_R = E_{CROI} - E_{SROI}$ 。

1.7 统计学方法

使用SPSS 26.0软件对数据进行统计学分析,误差数据和复位时间均用绝对值表示,对数据进行Shapiro-Wilk(S-W)正态性检验。复位时间符合正态分布和方差齐性,采用独立t检验,以均值±标准差表示;误差数据不符合正态分布,方差不齐,采用Wilcoxon符号秩和检验,以中位数(下四分位数~上四分位数) $[M(P_{25} \sim P_{75})]$ 表示。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义(双尾)。

2 结果

2.1 传统复位方式与体表光学图像引导技术联合图像引导放疗技术进行等中心双引导复位的整体摆位误差结果

模拟组41例患者使用模拟机复位后行CBCT位置验证,双引导组40例患者使用AlignRT摆位后联合CBCT进行等中心双引导复位。对两组整体摆位误差结果进行比较,除了Y、Z轴方向旋转误差无统计学差异外,双引导组在X、Y、Z轴方向平移误差和X轴方向旋转误差均小于模拟组,差异具有统计学意义($P < 0.05$;表1)。

2.2 模拟组与双引导组患侧锁骨头区域(SROI)的局部残余误差

对模拟组与双引导组CROI区域的整体误差进行了CBCT配准后,计算CROI的配准结果与SROI的配准结果差值,得到患侧锁骨头区域SROI的局部残余误差。结果发现,双引导组在Y轴方向的平移残余误差和X、Y、Z轴方向的旋转残余误差比模拟组小,差异有统计学意义($P < 0.05$;表2)。

2.3 模拟组与双引导组复位时间统计

模拟组复位时间为:(505.36±21.96) s,双引导组复位时间为:(238.64±28.56) s,两组比较 $t = -24.555, P = 0.000$,两组复位时间的差异具有统计学意义($P < 0.05$)。

2.4 体表光学图像引导技术联合图像引导放疗技

术双引导复位的 CBCT 误差值分布优点

对双引导组的 40 组 CBCT 误差分布频值进行统计,绘制平移误差分布散点图(图 5)和旋转误差分布散点图(图 6)。其中,X、Y、Z 轴方向平移误差绝对值均覆盖在 0.4 cm 以内,而 ≤ 0.3 cm 的比例分别为 95%、93% 和 93%,X、Y、Z 轴方向旋转误差绝对值 $\leq 1.5^\circ$ 的比例分别为 90%、93% 和 90%。

3 讨论

传统的复位方式中,模拟机复位主要以骨性标志进行刚性配准,简单快捷,然而乳房是软组织,受呼吸运动影响较大,可能出现靶区与正常组织分辨不清的情况^[12-13]。CT-sim 复位以计划 CT 为基准,但因扫描是瞬时图像,只能通过等中心上下层面(层厚 3 ~ 5 mm)来判断,影响复位精度^[14]。EPID 复位需手动计算移床值,二维图像也无法完全纠正旋转误差^[15-16]。中山大学肿瘤防治中心放疗团队首创全新的乳腺癌放疗复位方式,即在体表光学图像引导摆位的基础上,联合图像引导技术进行等中心双引导复位。本研究发

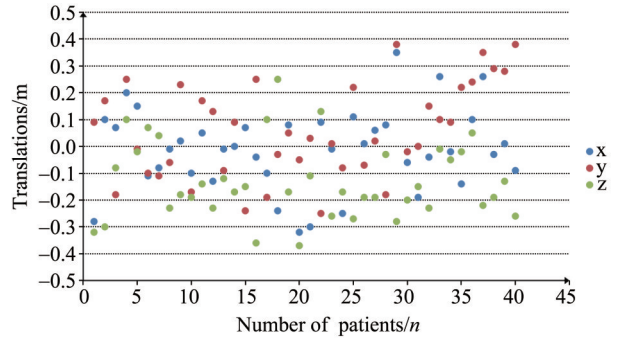


图 5 平移误差分布散点图

Fig. 5 The scatter plot of translational setup error distribution

现,在 X、Y、Z 轴平移和 Rx 旋转方向上双引导复位模式行 CBCT 位置验证的误差在均明显小于模拟机复位的 CBCT 验证误差,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。双引导组的 Ry、Rz 中位数值比模拟组小,说明在六维方向的摆位误差上,双引导复位模式优于传统的模拟机复位模式。双引导组在用 AlignRT 引导摆位时需将旋转方向的误差调整至 $\pm 1.5^\circ$ 以

表 1 模拟组与双引导组使用不同复位方式行 CBCT 扫描的整体摆位误差

Table 1 The global setup errors of CBCT scanning with different reset methods in simulation

Setup errors(E_{CROI})	group and dual-guided group		$[M (P_{25} \sim P_{75})]$	
	Simulation group	Dual-guided group	z	P
X/cm	0.190(0.075 ~ 0.380)	0.090(0.040 ~ 0.180)	-2.614	0.009
Y/cm	0.210(0.135 ~ 0.440)	0.140(0.063 ~ 0.238)	-2.826	0.005
Z/cm	0.26(0.16 ~ 0.51)	0.17(0.10 ~ 0.23)	-3.143	0.002
Rx/ $^\circ$	0.90(0.50 ~ 1.75)	0.60(0.33 ~ 1.00)	-2.832	0.005
Ry/ $^\circ$	0.80(0.50 ~ 1.25)	0.70(0.43 ~ 1.20)	-0.369	0.712
Rz/ $^\circ$	0.90(0.35 ~ 1.50)	0.65(0.40 ~ 1.18)	-1.075	0.282

CROI: chest region of interest.

表 2 模拟组与双引导组患侧锁骨头区域(SROI)的局部残余误差

Table 2 Local residual errors in the SROI of simulation group and dual-guided group $[M (P_{25} \sim P_{75})]$

Residual errors(ΔE_R)	Simulation group	Dual-guided group	z	P
X/cm	0.140(0.075 ~ 0.250)	0.165(0.063 ~ 0.210)	-0.458	0.647
Y/cm	0.210(0.070 ~ 0.295)	0.080(0.053 ~ 0.155)	-3.041	0.002
Z/cm	0.110(0.040 ~ 0.215)	0.075(0.020 ~ 0.140)	-1.789	0.074
Rx/ $^\circ$	0.90(0.60 ~ 1.75)	0.70(0.35 ~ 1.10)	-2.600	0.009
Ry/ $^\circ$	1.40(0.40 ~ 1.80)	0.65(0.35 ~ 1.25)	-2.735	0.006
Rz/ $^\circ$	0.90(0.40 ~ 1.50)	0.60(0.20 ~ 0.80)	-3.026	0.002

SROI: Supraclavicular region of interest.

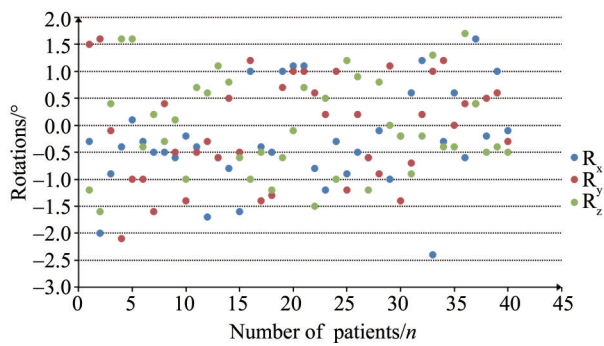


图6 旋转误差分布散点图

Fig. 6 The scatter plot of rotational setup error distribution

内, CROI 配准结果发现三个方向旋转误差绝对值 $\leq 1.5^\circ$ 的比例在90%以上,说明使用DICOM体表摆位与CBCT配准结果具有较好地一致性。Kügele等^[17]报告了使用SGRT的X、Y、Z轴平移误差 ≤ 0.4 cm的占比95%,而本研究中X、Y、Z轴平移误差 ≤ 0.3 cm的比例在93%以上, ≤ 0.4 cm的比例高达100%。

乳腺癌放疗的靶区包括锁骨上淋巴引流区域时,危及器官也包括颈椎、甲状腺和肱骨头。有研究认为,旋转角度是使计划靶区的 D_{95} 覆盖率在98%以上的重要指标,当旋转角度在 2° 以上时,可能导致PTV受照剂量不足^[18];而CROI和SROI区域之间的位置相对变化,会导致局部区域的残余误差^[19-20];Kapanen等^[21]认为手臂外展的准确性可以有效减少残余误差,降低因放疗引起的晚期副反应,如肩关节持续疼痛、无法上举等;Shen等^[22]对乳腺癌放疗患者的真空袋头颈部和肩部位置进行了卡位改良,限制头部的纵向运动,防止因手臂的旋转角度引起靶区的形变,结果发现SROI旋转方向上的残余误差 R_y 、 R_z 显著减少,此结果与本研究相似。双引导组复位后的SROI区域的旋转误差 R_x 、 R_y 、 R_z 值和Y轴平移误差分别为 0.70° 、 0.65° 、 0.60° 、 0.080 cm,明显小于模拟组的 0.90° 、 1.40° 、 0.90° 、 0.210 cm,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。模拟组在 R_y 轴上的残余误差值 1.4° 大于整体误差值 0.8° ,说明在不纠正头偏角度和手臂外展度的情况下,只通过CBCT校正平移误差,有可能造成锁上靶区的旋转误差变大,靶区和危及器官受照剂量的不确定性增加。双引导组中AlignRT的绿色体表姿势纠正功能可以获取长达100 cm的摆位情形,直观地调整患者手臂的外展度和头偏程度至正确体位,摆位时可对旋转角度进行微调,我们认为是使用了此功能的原因,大幅降低了旋转和局部残余误差,AlignRT和CBCT的联合使用尽可能降低了危及器官的受照剂量,确保锁骨上靶区剂量输送的准确性。SGRT技术

给予复位流程一个很大的外在助力,明确又客观的三维摆位引导信息和绿色体表提供的整体姿势纠正功能,最大程度地将摆位点放在等中心的位置,之后通过CBCT扫描获取的影像可以进一步实现靶区和危及器官的配准。SGRT联合IGRT的双引导等中心复位,让治疗精度得到保证。

双引导复位模式中,患者无需去模拟机复位,简化了工作流程,有效节省了患者的时间。复位时我们仅在固定装置上做了标记线,患者身体上是无标记的,这为后续治疗提供了便利。摆位时对齐标记线后,打开AlignRT,移床至治疗等中心,参考绿色体表调整整体姿势,再对三维误差进行实时调整,整个流程可在1 min左右完成,比之前研究中的摆位时间大大降低^[23]。Jimenez等^[24]和Sauer等^[25]比较了标记线摆位和光学体表无标记摆位之间的差异,发现光学体表引导的摆位准确性更高,时间更短,这一结论与本研究相同。这种无标记的摆位方向还可以减轻患者皮肤痕迹的心理影响和激光打点产生的疼痛,可以避免因标记线缺失等问题导致治疗位置的不准确性^[26-27]。

本研究主要探讨了AlignRT联合CBCT在乳腺癌术后放疗中实施等中心双引导复位的可行性,并未分析后续治疗中AlignRT引导摆位的CBCT误差数据,关于误差这部分已在之前的研究中表述^[23]。在复位流程中我们需注意2个问题:①患者体表与固定装置之间不匹配可能会造成2~5 mm的几何误差^[28],首次复位为了确认两者之间的对应关系,我们必须使用计划CT中的CT-mark点摆位,调整Y轴方向平移和旋转误差,即使移床至等中心后仍需利用AlignRT再次微调平移和旋转;②进行CBCT扫描后,需要观察3个方向的旋转角度,必须在 1.5° 内,才能进行VRT1体表的采集,保证后续治疗前摆位的准确性,若不满足条件,则需重新复位再次进行CBCT配准,配准结果不计入本次研究中。本研究的局限性在于其为回顾性分析,两组患者非随机入组,体型、BMI指数可能存在差异,评估患者的体型、胸廓的形状及上肢的活动度对摆位误差的影响需做进一步研究。此外,双引导复位模式的准确性高,总体复位时间4 min左右小于模拟机的8 min,但仍超出正常治疗摆位所需的时间,加速器每日治疗人次较多,我们需要继续做好流程优化管理,更好地为患者服务。

综上,乳腺癌术后放疗中使用SGRT(AlignRT)联合IGRT(CBCT)进行等中心双引导复位,与传统的模拟机复位相比更有优势,可实时迅速地引导三维摆位,有效校正旋转误差和残余误差,明显改善了复位精度,这种精准、无标记的复位方式可在临床推广使用。

参考文献

- [1] 张春灵,王宁,邴雪,等. MRI影像组学在乳腺癌诊疗中的应用进展[J]. 影像诊断与介入放射学, 2022, 31(5): 377-381.
Zhang CL, Wang N, Bing X, et al. The application of MRI imageomics in the diagnosis and treatment of breast cancer [J]. *Diagn Imaging & Interv Radiol*, 2022, 31(5): 377-381.
- [2] de Boniface J, Szulkin R, Johansson ALV. Survival after breast conservation vs mastectomy adjusted for comorbidity and socioeconomic status: a Swedish national 6-year follow-up of 48986 women [J]. *JAMA Surg*, 2021, 156(7): 628-637.
- [3] Franco P, Arcadipane F, Ragona R, et al. Volumetric modulated arc therapy (VMAT) in the combined modality treatment of anal cancer patients [J]. *Br J Radiol*, 2016; 89(1060): 20150832.
- [4] 陈雪梅,黄晓彤,蔡维洵,等. 锥形束CT离线校正正在乳腺癌放疗摆位中的应用[J]. 广东医学, 2022, 43(7): 811-816.
Chen XM, Huang XT, Cai WX, et al. Application of off-line correction of cone-beam CT in breast cancer radiotherapy setting [J]. *Guangdong Med J*, 2022, 43(7): 811-816.
- [5] Jiang P, Zhang X, Wei S, et al. Set-up error and dosimetric analysis of HexaPOD evo RT 6D couch combined with cone beam CT image-guided intensity-modulated radiotherapy for primary malignant tumor of the cervical spine [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2020, 21(4): 22-30.
- [6] Bruce J, Mazuquin B, Mistry P, et al. Exercise to prevent shoulder problems after breast cancer surgery: the PROSPER RCT [J]. *Health Technol Assess*, 2022, 26(15): 1-124.
- [7] Jimenez RB, Batin E, Giantsoudi D, et al. Tattoo free setup for partial breast irradiation: a feasibility study [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2019, 20(4): 45-50.
- [8] Rigley J, Robertson P, Scattergood L. Radiotherapy without tattoos: could this work? [J]. *Radiography (Lond)*, 2020, 26(4): 288-293.
- [9] Javor J, Cashell A, Rosewall T, et al. Eliminating tattoos for short course palliative radiation therapy: set-up error, satisfaction and cost [J]. *J Med Imaging Radiat Sci*, 2022, 53(2 Suppl): S56-S62.
- [10] Acosta AM, Mikalsen SG, Hellenbust TP. Positioning errors in free breathing and DIBH breast cancer radiotherapy: SGRT vs skin markers [J]. *Radiother Oncol*, 2019, 133: S1100. doi: 10.1016/S0167-8140(19)32428-4.
- [11] Laaksomaa M, Sarudis S, Rossi M, et al. AlignRT® and Catalyst™ in whole-breast radiotherapy with DIBH: is IGRT still needed? [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2019, 20(3): 97-104.
- [12] 高吉福,汪智勇. 胸腹部肿瘤调强放疗首次摆位误差的分析[J]. 医疗装备, 2016(6): 41-42.
Gao JF, Wang ZY. Analysis of initial positioning error in intensity modulated radiotherapy for thoracic and abdominal tumors [J]. *Med Equip*, 2016(6): 41-42.
- [13] 于松茂,杨敬贤,康加阜,等. 不同部位肿瘤患者模拟机复位误差的对比分析[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(2): 141-144.
Yu SM, Yang JX, Kang JF, et al. Comparison of reset errors in simulator for patients with tumors in different locations [J]. *Chin J of Med Phys*, 2018, 35(2): 141-144.
- [14] 张爱华,张军,胡健,等. CT用于腹部放射治疗前等中心位置验证的临床应用[J]. 中国医学装备, 2020, 17(3): 53-56.
Zhang AH, Zhang J, Hu J, et al. Clinical application of CT in the verification of isocenter position pre abdominal radiotherapy [J]. *Chi Med Equip*, 2020, 17(3): 53-56.
- [15] Topolnjak R, Sonke JJ, Nijkamp J, et al. Breast patient setup error assessment: comparison of electronic portal image devices and cone-beam computed tomography matching results [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 78(4): 1235-43.
- [16] Dhar D, Mallik S, Goswami J. Validation of a simple technique for accurate treatment delivery for bilateral breast irradiation using the electronic portal imaging device [J]. *J Cancer Res Ther*, 2022, 18(4): 1159-1161.
- [17] Kügele M, Mannerberg A, Nørring Bekke S, et al.

- Surface guided radiotherapy (SGRT) improves breast cancer patient setup accuracy [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2019, 20(9): 61-68.
- [18] Liu H, Andrews M, Markovich A, et al. Dosimetric effect of uncorrected rotations in lung SBRT with stereotactic imaging guidance [J]. *Phys Med*, 2017, 42: 197-202.
- [19] Batumalai V, Holloway L, Delaney GP. A review of setup error in supine breast radiotherapy using cone-beam computed tomography [J]. *Med Dosim*, 2016, 41(3): 225-229.
- [20] Zhou J, Li S, Ye C, et al. Analysis of local setup errors of sub-regions in cone-beam CT-guided post-mastectomy radiation therapy [J]. *J Radiat Res*, 2020, 61(3): 457-463.
- [21] Kapanen M, Laaksomaa M, Skyttä T, et al. Residual position errors of lymph node surrogates in breast cancer adjuvant radiotherapy: comparison of two arm fixation devices and the effect of arm position correction [J]. *Med Dosim*, 2016, 41(1): 47-52.
- [22] Shen K, Xiong J, Wang Z, et al. Design of a new breast vacuum bag to reduce the global and local setup errors and to reduce PTV margin in post-mastectomy radiation therapy [J]. *J Radiat Res*, 2020, 61(6): 985-992.
- [23] 陈雪梅, 黄晓彤, 王亚娟, 等. 体表光学设备 AlignRT 在乳腺癌根治术后调强放疗引导摆位中的应用 [J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2022, 29(19): 1408-1414.
- Chen XM, Huang XT, Wang YJ, et al. AlignRT SGRT system positioning accuracy on breast mastectomy IMRT radiotherapy patients [J]. *Chin J of Cancer Prev and Treat*, 2022, 29(19): 1408-1414.
- [24] Naidoo W, Leech M. Feasibility of surface guided radiotherapy for patient positioning in breast radiotherapy versus conventional tattoo-based setups—a systematic review [J]. *Tech Innov Patient Support Radiat Oncol*, 2022, 22: 39-49.
- [25] Sauer TO, Ott OJ, Lahmer G, et al. Prerequisites for the clinical implementation of amarkerless SGRT-only workflow for the treatment of breast cancer patients [J]. *Strahlenther Onkol*, 2022: 1-8. doi: 10.1007/s00066-022-01966-7.
- [26] Landeg SJ, Kirby AM, Lee SF, et al. A randomized control trial evaluating fluorescent ink versus dark ink tattoos for breast radiotherapy [J]. *Br J Radiol*, 2016, 89(1068): 20160288, doi: 10.1259/bjr.20160288.
- [27] Sueyoshi M, Olch AJ, Liu KX, et al. Eliminating daily shifts, tattoos, and skin marks: streamlining isocenter localization with treatment plan embedded couch values for external beam radiation therapy [J]. *Pract Radiat Oncol*, 2019, 9(1): e110-e117.
- [28] Zhang J, Chen Y, Chen Y, et al. A noninvasive body setup method for radiotherapy by using a multimodal image fusion technique [J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2017, 16(6): 1187-1193.

(编辑 余菁)