

· 论 著 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2023.09.001

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20230417.1018.004.html\(2023-04-17\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20230417.1018.004.html(2023-04-17))

## CRT+IMRT 混合调强与 IMRT 技术在乳腺癌放疗计划的剂量学比较研究\*

刘礼东<sup>1</sup>, 李军烽<sup>1△</sup>, 钟美佐<sup>1</sup>, 郑乐<sup>1</sup>, 李书舟<sup>2</sup>, 秦勤<sup>1</sup>, 唐杜<sup>2</sup>, 张校铭<sup>1</sup>

(1. 湘雅常德医院肿瘤科, 湖南常德 415000; 2. 中南大学湘雅医院肿瘤科, 长沙 410008)

**[摘要]** **目的** 探讨适形放疗(CRT)+固定野调强放疗(IMRT)混合调强(HyIMRT)技术与 IMRT 技术在乳腺癌根治术后放疗计划的剂量学差异。**方法** 选取湘雅常德医院 2019—2020 年收治的左乳腺癌(10 例)和右乳腺癌(10 例)根治术后患者的 CT 图像,对患侧胸壁、内乳淋巴结区域及锁骨上淋巴结区域进行统一勾画,针对每例患者的 CT 图像分别设计 HyIMRT 计划与改进后的 IMRT 计划。比较计划靶区(PTV)和危及器官(OAR)相关剂量学参数,并使用 Bland-Altman 方法绘制两种计划方案的均值-差值散点图,判断两种计划方案的一致性。**结果** 两种计划乳腺癌 PTV 相关参数仅右乳 98%靶区体积受到的照射剂量( $D_{98}$ )、适形指数(CI)有明显差异( $P < 0.05$ ),HyIMRT 计划高于 IMRT 计划,其余参数均无明显差异( $P > 0.05$ )。左乳腺癌患者:相较于 IMRT 计划,HyIMRT 计划在右肺、双肺 5 Gy 剂量所包绕的体积( $V_5$ )及右乳平均照射剂量( $D_{mean}$ )和 5%乳腺体积受到的照射剂量( $D_5$ )存在一定优势( $P < 0.05$ );右乳腺癌患者:相较于 IMRT 计划,HyIMRT 计划在左肺、双肺  $V_5$ ,心脏  $D_{mean}$  及左乳  $D_{mean}$  和  $D_5$  存在一定优势( $P < 0.05$ )。两种计划方案的测试数据点几乎都落在 95%一致性区间内。**结论** 两种计划在乳腺癌术后放疗中一致性较好,都从计划设计层面考虑了呼吸运动的影响,能够为乳腺癌临床计划设计提供支持。

**[关键词]** 乳腺癌;乳房根治术;适形放射治疗;调强适形放射治疗;剂量学;Bland-Altman 一致性分析**[中图分类号]** R737.9 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2023)09-1281-06

## Dosimetric comparison of CRT+IMRT hybrid intensity-modulated radiation therapy and IMRT technique in radiotherapy planning for breast cancer\*

LIU Lidong<sup>1</sup>, LI Junfeng<sup>1△</sup>, ZHONG Meizuo<sup>1</sup>, ZHENG Le<sup>1</sup>, LI Shuzhou<sup>2</sup>,  
QIN Qin<sup>1</sup>, TANG Du<sup>2</sup>, ZHANG Xiaoming<sup>1</sup>

(1. Department of Oncology, Xiangya Changde Hospital, Changde, Hunan 415000, China;

2. Department of Oncology, Xiangya Hospital of Central South University, Changsha, Hunan 410008, China)

**[Abstract]** **Objective** To investigate the dosimetry differences between conformal therapy (CRT) and intensity modulated radiation therapy (IMRT) combined hybrid intensity-modulated radiation therapy (Hy-IMRT) and IMRT technique in radiotherapy planning for post-radical mastectomy. **Methods** CT images of left breast cancer patients (10 cases) and right breast cancer patients (10 cases) after radical mastectomy admitted to Xiangya Changde Hospital from 2019 to 2020 were selected. The chest wall of the affected side, the internal breast lymph node area and the supraclavicular lymph node area were uniformly delineated. According to the CT images of each patient, the HyIMRT plan and improved IMRT plan were designed respectively. Relevant dosimetric parameters of the planning target volume (PTV) and organ at risk (OAR) were compared, and the Bland-Altman method was used to draw the mean-difference scatter plots of the two plans, in order to determine the consistency of the two plans. **Results** Among the related breast cancer target parameters, only 98% target volume irradiation dose ( $D_{98}$ ) and conformal index (CI) of the right breast cancer were statistically different between the two plans ( $P < 0.05$ ).  $D_{98}$  and CI in HyIMRT plan were higher than

\* 基金项目:国家自然科学基金项目(61906215);吴阶平医学基金项目(20201034)。 作者简介:刘礼东(1991—),工程师,硕士,主要从事

放射医学物理研究。△ 通信作者, E-mail: 83550245@qq.com。

those in IMRT plan, while the other parameters were not statistically different ( $P > 0.05$ ). The left breast cancer: compared with the IMRT plan, the HyIMRT plan had some advantages in the right lung and double lungs volume wrapped by the 5 Gy dose ( $V_5$ ), mean irradiation dose ( $D_{\text{mean}}$ ) of the right breast and 5% breast volume irradiation dose ( $D_5$ ). The right breast cancer: compared with the IMRT plan, the HyIMRT plan had some advantages in the left lung and double lungs  $V_5$ , the heart  $D_{\text{mean}}$ , the left breast  $D_{\text{mean}}$  and  $D_5$ . The test results for both plans were almost within the 95% consistency interval. **Conclusion** The two plans are well consistent in postoperative radiotherapy for breast cancer, and both consider the effects of respiratory movement from the planning design level, and can provide support for the design of clinical planning for breast cancer.

**[Key words]** breast carcinoma; radical mastectomy; conformal radiotherapy; intensity-modulated radiation therapy; dosimetry; Bland-Altman consistency analysis

目前,乳腺癌放疗常采用三维适形放疗(three-dimensional conformal radiotherapy, 3D-CRT)、固定野调强放疗(intensity modulated radiation therapy, IMRT)、容积旋转调强(volumetric modulated arc therapy, VMAT)等技术。在实际临床工作中使用 CRT 技术进行计划设计时虽然相对安全稳定,但靶区的均匀性和适形度较差;IMRT 技术在一定程度上虽能改善靶区的适形性和均匀性,但由于叶片凹凸槽效应的存在,其安全性较差且易受呼吸运动影响<sup>[1-3]</sup>。因此,为了减少呼吸运动,本研究对传统 IMRT 进行改进,同时使用 CRT+IMRT 混合调强(hybrid IMRT, HyIMRT)将适形与调强技术特点相结合,比较改进后的 IMRT 方法和 HyIMRT 方法在乳腺癌放疗计划设计靶区和危及器官(organ at risk, OAR)剂量学的差异,为乳腺癌临床计划设计提供新的思路。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取湘雅常德医院 2019—2020 年收治的 20 例乳腺癌根治术后女性患者,纳入标准:(1)经医学影像学 and 病理学检查确诊为乳腺癌;(2)术后均需接受胸壁区、内乳区、腋窝区及锁骨上区放疗;(3)患者自身无任何其他严重影响本次放疗的疾病,无其他特异排除标准。其中,左侧乳腺癌根治术后患者 10 例,年龄 40~63 岁,平均( $54.0 \pm 6.4$ )岁;右侧乳腺癌根治术后患者 10 例,年龄 27~65 岁,平均( $48.0 \pm 9.9$ )岁,所有患者在放疗前均签署知情同意书。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 体位固定及扫描

所有患者均选用仰卧位,利用乳腺托架结合真空垫进行体位固定,使用 Discovery CT590RT(美国 GE 公司)32 层大孔径定位 CT 进行螺旋扫描,在胸壁放疗位置和手术疤痕处用铅丝标记,并在胸壁处放置 0.5 cm 厚的补偿膜以覆盖胸壁放疗区域,扫描范围为下颌骨至全胸廓,扫描层厚和层距设为 2.5 mm,扫描方式均为平扫加增强,图像重建后经网络传输至

Varian Eclipse 计划系统进行计划设计。

#### 1.2.2 靶区及 OAR 勾画

临床医师参考肿瘤放射治疗协作组织(The Radiation Therapy Oncology Group, RTOG)乳腺癌勾画指南<sup>[4]</sup>在 CT 图像上勾画临床靶区(clinical target volume, CTV),范围包含患侧胸壁、内乳淋巴结区域及锁骨上、下淋巴结区域,计划靶区(planning target volume, PTV)在 CTV 基础上外扩 0.5 cm 得到。OAR 包含患侧肺、健侧肺、双肺、对侧乳腺、心脏、脊髓[脊髓外扩 0.5 cm 得到脊髓-计划危及器官体积(planning organ at risk volume, PRV)]等,靶区处方剂量均为 50 Gy/25 次。

#### 1.2.3 计划设计

所有患者在同一 CT 图像上分别设计 HyIMRT 和改进的 IMRT 两种计划方案。计划设计均在 Varian Eclipse 计划系统(13.6 版)上进行,基于 Varian Trilogy 加速器选取 6 MV 的 X 射线,采用各向异性分析算法(anisotropic analytical algorithm, AAA)进行优化,计算网格均设为 2.5 mm。(1)HyIMRT 计划:先用 CRT 对胸壁部分的靶区适形,沿内外切线方向布野以保证切肺最少,靠近胸壁一侧的射野准直器外放 2.5 cm;IMRT 部分在胸壁处仍沿内外切线方向布野,射野角度和 CRT 计划一致,之后根据患者实际情况内切野增大  $10^\circ \sim 30^\circ$ ,外切野减小  $10^\circ \sim 30^\circ$  各布野。锁骨上靶区设置  $0^\circ$ 、 $170^\circ$  进行照射,CRT 与 IMRT 剂量比例为  $3:2$ <sup>[5-6]</sup>,保证 95% 以上靶区体积被处方剂量线包绕,计划完成后需对 IMRT 部分的胸壁照射野使用“skin flash”工具来填充胸壁皮肤通量<sup>[7]</sup>,最后剂量计算生成 HyIMRT 计划。(2)IMRT 计划:由于呼吸运动的存在,IMRT 计划先将胸壁处的靶区向皮肤外延伸 2.5 cm,将其重新定义为新皮肤结构,对胸壁和锁骨上部分分开布野,胸壁部分的射野与胸壁向外延伸 2.5 cm 后的靶区适形,布野方式与 HyIMRT 计划中 IMRT 部分一致,保证 95% 以上靶区体积被处方剂量线包绕,最后重新修回新皮肤结构计算

剂量并生成 IMRT 计划,无须填充胸壁皮肤通量。

### 1.2.4 计划评估比较

根据国际辐射单位与测量委员会(International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU)83 号报告<sup>[8]</sup>的建议对两组方案进行评估。靶区评价参数:(1) $D_2$ ,表示 2%靶区体积受到的照射剂量,代表最大剂量;(2) $D_{98}$ ,表示 98%靶区体积受到的照射剂量,代表最小剂量;(3) $D_{50}$ ,表示 50%靶区体积受到的照射剂量;(4)均匀指数(homogeneity index, HI) =  $(D_2 - D_{98})/D_{50}$ ,HI 越小均匀性越好;(5)适形指数(conformity index, CI) =  $(V_{PTV,pre}/V_{PTV}) \times (V_{PTV,pre}/V_{pre})$ ,其中  $V_{PTV,pre}$  表示处方剂量包绕的靶区体积, $V_{PTV}$  表示靶区体积, $V_{pre}$  表示处方剂量线包绕的实际体积,CI 越接近于 1 适形性越好<sup>[8]</sup>。OAR 评价参数:(1)左乳腺癌评价参数包括左肺、右肺及双肺的 5、20 Gy 剂量所包绕的体积( $V_5$ 、 $V_{20}$ ),心脏 15、25、30、40 Gy 剂量所包绕的体积( $V_{15}$ 、 $V_{25}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ )及平均照射剂量( $D_{mean}$ ),对侧乳腺(右乳) $D_{mean}$ 、5%乳腺体积受到的照射剂量( $D_5$ ),脊髓-PRV 受到的最大照射剂量( $D_{max}$ );(2)右乳腺癌评价参数包括右肺及双肺的  $V_5$ 、 $V_{20}$ ,左肺  $V_5$ 、 $D_{max}$ ,心脏  $V_{15}$ 、 $V_{25}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$  及  $D_{mean}$ ,对侧乳腺(左乳) $D_{mean}$ 、 $D_5$ ,脊髓-PRV  $D_{max}$ 。此外,两组方案的机器跳数(monitor units, MU)也在比较范围内。

### 1.3 统计学处理

使用 SPSS26.0 软件进行统计分析,符合正态分布计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,比较采用配对  $t$  检验;不符合正态分布的计量资料以  $M(Q_1, Q_3)$  表示,比较采用 Wilcoxon 秩和检验,以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。Bland-Altman 方法常用于比较两种方案的一致性<sup>[9-11]</sup>,以二者均值作为横坐标,差值作为纵坐标绘制均值-差值散点图,利用公式(1)和(2)计算两组数据的 95%一致性区间,观察 95%一致性区间内数据的数量以评价两种方案间的一致性。

$$95\% \text{一致性上限} = \text{差值平均数} + 1.96 \times \text{差值标准差} \quad (1)$$

$$95\% \text{一致性下限} = \text{差值平均数} - 1.96 \times \text{差值标准差} \quad (2)$$

## 2 结 果

### 2.1 两种计划 PTV 相关剂量学比较

两种计划乳腺癌 PTV 相关参数仅右乳的  $D_{98}$ 、CI 比较有明显差异( $P < 0.05$ ),HyIMRT 计划高于 IMRT 计划,其余参数均无明显差异( $P > 0.05$ ),见表 1、2。

### 2.2 两种计划 OAR 相关剂量学比较

左乳:HyIMRT 计划与 IMRT 计划在患侧肺(左

肺) $V_5$ 、 $V_{20}$  无明显差异( $P > 0.05$ );与 IMRT 计划比较,HyIMRT 计划在健侧肺(右肺)和双肺  $V_5$  分别降低 7.20%和 3.90%,在心脏  $V_{25}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$  分别增加 2.76%、2.58%和 1.62%,在对侧乳腺(右乳) $D_{mean}$  和  $D_5$  分别下降 1.55 Gy 和 2.83 Gy,HyIMRT 计划与 IMRT 计划上述 OAR 参数均有明显差异( $P < 0.05$ ),其余参数无明显差异( $P > 0.05$ )。右乳:HyIMRT 计划与 IMRT 计划在患侧肺(右肺) $V_5$ 、 $V_{20}$  无明显差异( $P > 0.05$ );与 IMRT 计划比较,HyIMRT 计划在健侧肺(左肺)和双肺  $V_5$  分别降低 5.51%和 2.60%,在心脏  $D_{mean}$  降低 0.86 Gy,对侧乳腺(左乳) $D_{mean}$  和  $D_5$  分别下降 1.74 Gy 和 2.66 Gy,HyIMRT 计划与 IMRT 计划上述 OARs 参数均有明显差异( $P < 0.05$ ),其余参数无明显差异( $P > 0.05$ ),见表 3、4。

表 1 左乳两种计划 PTV 相关剂量学比较( $n=10, \bar{x} \pm s$ )

项目	IMRT 计划	HyIMRT 计划	$t$	$P$
$D_2$ (Gy)	53.58±0.49	53.72±0.37	-0.58	0.58
$D_{98}$ (Gy)	49.14±0.61	48.93±0.44	1.01	0.34
$D_{50}$ (Gy)	52.45±0.42	52.06±0.33	1.87	0.09
HI	0.08±0.01	0.09±0.01	-2.08	0.07
CI	0.61±0.06	0.66±0.04	-2.14	0.06

表 2 右乳两种计划 PTV 相关剂量学比较( $n=10, \bar{x} \pm s$ )

项目	IMRT 计划	HyIMRT 计划	$t$	$P$
$D_2$ (Gy)	53.33±0.48	53.56±0.38	-1.10	0.30
$D_{98}$ (Gy)	48.51±0.83	49.14±0.54	-2.70	0.02
$D_{50}$ (Gy)	52.25±0.57	52.04±0.40	0.78	0.45
HI	0.09±0.02	0.09±0.01	1.10	0.30
CI	0.62±0.07	0.69±0.05	-4.62	<0.01

表 3 左乳两种计划 OAR 相关剂量学比较( $n=10$ )

项目	IMRT 计划	HyIMRT 计划	$t$	$P$
左肺				
$V_5(\bar{x} \pm s, \%)$	61.02±5.26	61.11±5.54	-0.12	0.91
$V_{20}(\bar{x} \pm s, \%)$	28.40±2.42	28.78±2.65	-0.73	0.49
右肺				
$V_5(\bar{x} \pm s, \%)$	10.99±4.39	3.79±2.30	5.14	<0.01
$V_{20}[M(Q_1, Q_3), \%]$	0.00(0.00,0.00)	0.00(0.00,0.00)	-1.07	0.29
双肺				
$V_5(\bar{x} \pm s, \%)$	33.10±4.84	29.20±3.34	4.35	<0.01
$V_{20}(\bar{x} \pm s, \%)$	12.61±1.68	12.76±1.59	-0.64	0.54
心脏				
$V_{15}(\bar{x} \pm s, \%)$	14.70±3.61	15.81±4.84	-1.45	0.18
$V_{25}(\bar{x} \pm s, \%)$	10.17±3.56	12.93±4.48	-5.64	<0.01

续表 3 左乳两种计划 OAR 相关剂量学比较( $n=10$ )

项目	IMRT 计划	HyIMRT 计划	$t$	$P$
$V_{30}(\bar{x}\pm s, \%)$	8.99±3.10	11.57±4.00	-6.53	<0.01
$V_{40}(\bar{x}\pm s, \%)$	7.26±2.59	8.88±3.35	-4.20	<0.01
$D_{mean}(\bar{x}\pm s, Gy)$	9.83±1.58	10.29±2.17	-1.03	0.33
右乳				
$D_{mean}(\bar{x}\pm s, Gy)$	3.44±0.87	1.89±0.58	6.43	<0.01
$D_5(\bar{x}\pm s, Gy)$	7.27±1.27	4.44±1.06	7.95	<0.01
脊髓-PRV $D_{max}(\bar{x}\pm s, Gy)$	35.10±8.90	34.08±9.78	1.20	0.26

表 4 右乳两种计划 OAR 相关剂量学比较( $n=10$ )

项目	IMRT 计划	HyIMRT 计划	$t$	$P$
左肺				
$V_5(\bar{x}\pm s, \%)$	8.79±3.15	3.28±2.12	5.68	<0.01
$D_{max}(\bar{x}\pm s, Gy)$	11.69±2.14	10.56±2.45	1.12	0.29
右肺				
$V_5(\bar{x}\pm s, \%)$	63.64±5.55	63.08±5.46	0.75	0.47
$V_{20}(\bar{x}\pm s, \%)$	29.70±1.69	30.30±3.93	-0.59	0.57
双肺				
$V_5(\bar{x}\pm s, \%)$	41.24±3.74	38.64±4.38	3.79	<0.01
$V_{20}(\bar{x}\pm s, \%)$	17.61±1.52	18.01±2.87	-0.65	0.53
心脏				
$V_{15}[M(Q_1, Q_3), \%]$	0.20(0.10, 0.97)	0.03(0.00, 0.75)	-0.76	0.45
$V_{25}[M(Q_1, Q_3), \%]$	0.00(0.00, 0.02)	0.00(0.00, 0.04)	0.92	0.36
$V_{30}[M(Q_1, Q_3), \%]$	0.00(0.00, 0.01)	0.00(0.00, 0.00)	-0.45	0.66
$V_{40}[M(Q_1, Q_3), \%]$	0.00(0.00, 0.00)	0.00(0.00, 0.00)	-1.00	0.32
$D_{mean}(\bar{x}\pm s, Gy)$	3.94±0.66	3.08±0.61	2.98	0.02
左乳				
$D_{mean}(\bar{x}\pm s, Gy)$	4.04±0.51	2.30±0.41	8.16	<0.01
$D_5(\bar{x}\pm s, Gy)$	8.02±1.29	5.36±2.85	4.32	<0.01
脊髓-PRV $D_{max}(\bar{x}\pm s, Gy)$	38.83±5.50	37.24±5.47	1.71	0.12

### 2.3 两种计划 MU 比较

左乳腺癌 IMRT 计划和 HyIMRT 计划的 MU 分别为(1 242.10±117.80)和(1 273.30±140.19);右乳腺癌 IMRT 计划和 HyIMRT 计划的 MU 分别为(1 175.70±181.79)和(1 234.60±199.67),上述参数差异均无统计学意义( $t = -0.53, -0.91, P = 0.61, 0.39$ )。

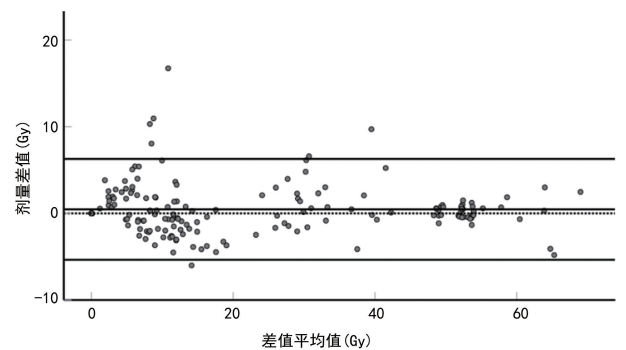
### 2.4 Bland-Altman 一致性分析

计算两种计划在左乳腺癌靶区  $D_2, D_{98}, D_{50}$ , OAR 左肺、右肺及双肺的  $V_5, V_{20}$ , 心脏  $V_{15}, V_{25}, V_{30}, V_{40}, D_{mean}$ , 脊髓-PRV  $D_{max}$  及对侧乳腺(右乳)  $D_{mean}, D_5$  等 17 个剂量学参数 170 个数据点;右乳腺癌

区  $D_2, D_{98}, D_{50}$ , OAR 右肺及双肺的  $V_5, V_{20}$ , 左肺  $V_5, D_{max}$ , 心脏  $V_{15}, V_{25}, V_{30}, V_{40}, D_{mean}$ , 脊髓-PRV  $D_{max}$  及对侧乳腺(左乳)  $D_{mean}, D_5$  等 17 个剂量学参数 170 个数据点 IMRT 剂量-HyIMRT 剂量的均值和差值,见表 5。Bland-Altman 方法以两种计划的均值为横坐标,差值为纵坐标绘制出均值-差值散点图,二者差值的平均值越接近于 0 表明两种方法一致性越好。均值-差值散点图显示,无论是左乳腺癌还是右乳腺癌,IMRT 计划和 HyIMRT 计划的测试数据点几乎都落在 95%一致性区间内,二者的差值平均值均接近于 0(左乳腺癌 0.46,右乳腺癌 0.87),见图 1、2。

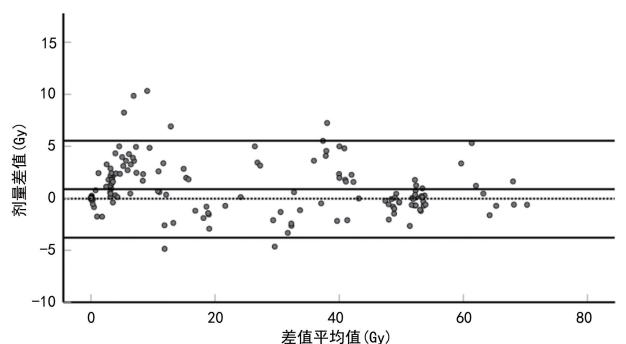
表 5 两种计划相关剂量学参数的差值平均值、差值标准差及 95%一致性界限

部位	差值平均值	差值标准差	95%一致性上限	95%一致性下限
左乳	0.46	2.97	6.28	-5.36
右乳	0.87	2.38	5.53	-3.79



上方实线:95%一致性上限;下方实线:95%一致性下限;中间实线:两种方案所有参数差值的平均值;虚线:差值平均数为 0 的位置。

图 1 左乳腺癌两种计划方案相关剂量学参数的均值-差值散点图



上方实线:95%一致性上限;下方实线:95%一致性下限;中间实线:两种方案所有参数差值的平均值;虚线:差值平均数为 0 的位置。

图 2 右乳腺癌两种计划方案相关剂量学参数的均值-差值散点图

## 3 讨论

乳腺癌术后放疗患者靶区范围包含胸壁、内乳淋巴结及锁骨上淋巴结区域,导致靶区形状大都不太规则,相较于 CRT,IMRT 具有能利用单中心点实现全

靶区照射,避免冷热剂量点出现等优势而被广泛应用<sup>[12-14]</sup>。但乳腺解剖位置毗邻心脏和肺,在实际治疗过程中对于呼吸运动较大的患者如果没有采取任何呼吸运动管理,使用传统的 IMRT 易出现靶区漏照风险。目前已有大量文献指出,呼吸运动的存在会减少靶区受照剂量,增加正常组织照射风险<sup>[15-16]</sup>。

在本研究中作者使用 HyIMRT 计划将静态 CRT 同 IMRT 技术相结合,在 CRT 部分以切线为主,靠近胸壁一侧的射野准直器外扩 2.5 cm 来减少呼吸运动的影响,保证放疗时靶区能在照射范围内,提高照射准确度;对于 IMRT 部分,射野保持与 CRT 部分相一致的切线布野,减少非切线野存在导致正常组织受量增加,这与张庆怀等<sup>[17]</sup>的研究方法一致,最后对 IMRT 部分照射胸壁的射野进行皮肤通量填充,提高皮肤浅表剂量。为减少呼吸运动影响,作者对传统 IMRT 方法也进行了改进,即对胸壁靶区进行处理,将其向皮肤外延伸 2.5 cm,重新定义为新皮肤结构,计划设计时对扩展后的靶区进行适形优化,使靶区和扩充区之间形成空气散射区,设计完成后将皮肤结构修回至正常范围进行剂量计算(无须通量计算),由于光栅在设计时已对延伸部分适形,皮肤外存在的空气散射区,能够增加皮肤浅表剂量,降低呼吸运动影响。因此,两种方法都从计划设计层面进一步减小乳腺癌放疗受呼吸运动影响的问题。

本研究结果显示,在靶区剂量分布上,两种计划在左、右乳腺癌靶区 HI 都较为接近,HyIMRT 计划 CI 稍高于 IMRT 计划,这是由于 HyIMRT 计划使用了 CRT 技术对靶区更加适形。在 OAR 方面,两种计划在左、右乳腺癌患侧肺  $V_5$  和  $V_{20}$  上无明显差异,健侧肺使用 HyIMRT 计划相比 IMRT 计划在  $V_5$  上可能更具优势;使用 HyIMRT 计划略微增加了心脏的受量,这是由于 CRT 部分利用多叶准直器(multi-leaf collimator,MLC)限制心脏剂量的效果较 IMRT 计划单独设置优化条件差,这与赵洪利等<sup>[18]</sup>和赵培峰等<sup>[19]</sup>的研究结果较为相符;对于对侧乳腺,HyIMRT 计划明显优于 IMRT 计划,这是由于 HyIMRT 计划使用 CRT 适形靶区时,MLC 对乳腺区域进行了遮挡使剂量降低;两种计划脊髓-PRV  $D_{max}$  和 MU 均无明显差异。已有部分学者使用 Bland-Altman 方法研究两种方案的一致性和可行性<sup>[9,20-21]</sup>。本研究也通过绘制两种计划的均值-差值散点图分析一致性,结果显示:两种计划方案的测试数据点几乎都落在 95% 一致性区间内,区间外的数据点较少,表明两种计划方案一致性较好,在实际应用中可以相互替换。

乳腺癌根治术后患者的生存周期较长,在放疗过程中降低放射性肺炎和缺血性心脏疾病的发生,能较

大程度提升患者的生活质量<sup>[22-23]</sup>。因此,在实际计划设计时,对于右乳腺癌可以使用 HyIMRT 计划更好地保护心脏和肺;对于左乳腺癌肺功能不好、健侧肺需要重点保护的患者建议使用 HyIMRT 计划,对于无法开展呼吸屏气管理同时需要保护心脏的左乳腺癌患者则建议使用改进后的 IMRT 计划。使用 HyIMRT 计划时皮肤外无法自动生成空气散射区,需借助工具进行填充,贺慧芳等<sup>[24]</sup>表示使用工具进行通量扩充后,皮肤表面剂量会明显提升;但在大多数医院繁杂的计划设计往往会忽略最后通量的填充扩展,此时选用改进后的 IMRT 计划可以在皮肤外自动生成空气散射区,对于资历尚浅的物理师和工作任务繁重的剂量师此方案可能是更好的选择。

目前,乳腺癌根治术后的计划设计办法很多,本研究中作者只讨论了 HyIMRT 和 IMRT 两种计划的剂量学差异,后续作者将扩大入组样本量,使用 VMAT 等更多技术进行比较分析,以针对乳腺癌患者个体化差异选择最适合的计划设计方法。此外,随着呼吸运动管理的广泛应用,今后此两种方法在呼吸屏气管理中的运用也将是作者研究的重点。

## 参考文献

- [1] FERLAY J, COLOMBET M, SOERJOMATARAM I, et al. Cancer statistics for the year 2020: an overview[J/OL]. *INT J Cancer*, 2021 [2022-08-11]. <https://doi.org/10.1002/ijc.33588>.
- [2] SMITH G L, SMITH B D. Sea change: a decade of intensity-modulated radiation therapy for treatment of breast cancer[J]. *J Natl Cancer Inst*, 2020, 112(3): 221-223.
- [3] BAI X, LIU Z, ZHANG J, et al. Comparing of two dimensional and three dimensional fully convolutional networks for radiotherapy dose prediction in left-sided breast cancer[J/OL]. *Sci Prog*, 2021, 104(3) [2022-08-11]. <https://doi.org/10.1177/003685042111038162>.
- [4] NOVIKOV S N, KRZHIVITSKI P I, MELNIK Y S, et al. Atlas of sentinel lymph nodes in early breast cancer using single-photon emission computed tomography: implication for lymphatic contouring[J]. *Radiat Oncol Jour*, 2021, 39(1): 8-14.
- [5] 李超, 胡艳, 李晶晶, 等. 混合野调强增加调强野比例在乳腺癌保乳术后放疗中的应用研究[J].

- 当代医学,2021,27(6):1-5.
- [6] 张彦秋,韩阿蒙,李金旺,等. CRT+ARC 技术在肺癌“T”形靶区患者放射治疗中的剂量学研究[J]. 中国医学物理学杂志,2017,34(7):712-718.
- [7] 宾石珍,张俊俊,单冬勇,等. 两种皮肤通量外扩方法在乳腺癌根治术后调强放疗计划中的剂量学比较[J]. 中国医学物理学杂志,2020,37(10):1237-1241.
- [8] 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.
- [9] 刘礼东,杨振,邱小平,等. 利用 Delta4 对放疗计划进行剂量体积直方图评价的可行性研究[J]. 中国医学物理学杂志,2018,35(1):25-30.
- [10] MÖLLER S,DEBRABANT B,HALEKOH U, et al. An extension of the bland-altman plot for analyzing the agreement of more than two raters[J]. *Diagnostics (Basel)*,2021,11(1):54.
- [11] CHRISTENSEN H S,BORGBJERG J B,BØRTY L, et al. On Jones et al. 's method for extending Bland-Altman plots to limits of agreement with the mean for multiple observers[J]. *BMC Med Res Methodol*,2020,20(1):304.
- [12] LIU H,KURC T. Deep learning for survival analysis in breast cancer with whole slide image data[J]. *Bioinformatics*,2022,38(14):3629-3637.
- [13] 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.
- [14] SHAH C,OBI E,TOM M C, et al. Initial outcomes with image-guided partial breast irradiation delivered with intensity-modulated radiation therapy[J]. *Breast J*,2020,26(2):227-230.
- [15] WOLF J,KURZ S,ROTHER T, et al. Incidental irradiation of the regional lymph nodes during deep inspiration breath-hold radiation therapy in left-sided breast cancer patients: a dosimetric analysis[J]. *BMC Cancer*,2022,22(1):682.
- [16] NICHOLAS O,BOWDEN C,SELBY A, et al. Comparative dosimetric analysis and normal tissue complication probability modelling of four-dimensional computed tomography planning scans within the UK NeoSCOPE Trial[J]. *Clin Oncol*,2020,32(12):828-834.
- [17] 张庆怀,张彦秋,杨鑫,等. CRT+VMAT 技术在左侧乳腺癌保乳术后放射治疗中的剂量学研究[J]. 肿瘤学杂志,2018,24(5):518-522.
- [18] 赵洪利,陈颖,王骁踊,等. 乳腺癌根治术后调强放疗的一体化射野设计[J]. 中华放射医学与防护杂志,2020,40(2):116-121.
- [19] 赵培峰,周钢,孙彦泽,等. 左乳癌保乳术后混合调强放疗中利用多叶准直器遮挡技术减少心脏受照剂量的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志,2019,39(2):107-112.
- [20] GERKE O. Reporting standards for a Bland-Altman agreement analysis: a review of methodological reviews[J]. *Diagnostics (Basel)*,2020,10(5):334.
- [21] KIM J,LEE J H, et al. A novel graphical evaluation of agreement[J]. *BMC Medical Research Methodology*,2022,22(1):51.
- [22] PANG Y,WEI Y,KARTSONAKI C, et al. Associations of adiposity and weight change with recurrence and survival in breast cancer patients: a systematic review and meta-analysis[J]. *Breast Cancer*,2022,29(4):575-588.
- [23] 胡健,李祥攀,阮长利,等. 左侧乳腺癌患者根治术后靶区分割式计划和常规调强计划的剂量学比较研究[J]. 中华放射医学与防护杂志,2019,39(11):820-826.
- [24] 贺慧芳,杨雨岩,王鹏,等. 两种射野边界外扩方法在乳腺癌保乳术后容积旋转调强计划中的剂量学比较研究[J]. 中国医学装备,2022,19(3):23-27.

(收稿日期:2022-11-02 修回日期:2023-03-05)