

双侧乳腺癌术后IMRT与VMAT的剂量学差异

史玉静¹, 鞠孟阳¹, 胡晓伟¹, 李金凯², 王沛沛², 李彩虹², 昌志刚², 孙新臣², 李顺梅², 郑海伦²

1. 南京医科大学特种医学系, 江苏 南京 210009; 2. 南京医科大学第一附属医院放疗科, 江苏 南京 210029

【摘要】目的:对比双侧乳腺癌术后放疗的不同治疗技术下靶区及危及器官的剂量学差异,探讨最佳治疗方案。**方法:**选择8例接受根治或者改良根治手术后的双侧乳腺癌患者,利用三维适形调强治疗系统为每例患者设计两种放疗方案。IMRT方案:设计10个野照射;VMAT方案:双侧胸壁同时进行两个Arc双弧照射。根据DVH图得出PTV的 D_{mean} 、 $V_{95\%}$ 、 $V_{107\%}$ 、 $V_{110\%}$,靶区适形度指数(CI)、均匀性指数(HI)及正常组织(肺和心脏)受量体积差异来比较两种治疗技术。**结果:**两种治疗技术均能满足处方需求。靶区覆盖率都归至95%时,IMRT计划中PTV的 D_{mean} 优于VMAT计划中靶区的 D_{mean} ($P=0.04$)。但是VMAT计划的 $V_{95\%}$ 比IMRT提高了 2.7 cm^3 ($P=0.02$),而 $V_{107\%}$ 和 $V_{110\%}$ 分别减少了 2.93 和 0.05 cm^3 ,变化具有统计学差异($P=0.03, 0.03$)。而且,在计划HI和CI方面,VMAT计划比IMRT计划更好($P=0.03, 0.05$)。危及器官肺的参数:相较于VMAT计划,除了 V_5 高于IMRT计划以外,其余参数均低于IMRT计划;而心脏的参数VMAT除了 V_{40} 以外其他的所有参数均高于IMRT计划,但是变化不具有统计学差异($P>0.05$)。**结论:**相较于IMRT技术,VMAT计划靶区剂量分布更均匀,靶区和肺等受量优于IMRT计划,心脏的受量差于IMRT技术,但是仍在可接受范围内。因此,对于根治术后的双侧乳腺癌患者,使用VMAT双弧计划设计能获得较好的治疗收益。

【关键词】双侧乳腺癌;剂量学差异;容积旋转调强;调强放疗;适形度指数;均匀性指数

【中图分类号】R815.6;R737.9;R312

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)04-0384-05

Dosimetric differences between IMRT and VMAT for bilateral breast cancer in postmastectomy radiotherapy

SHI Yujing¹, JU Mengyang¹, HU Xiaowei¹, LI Jinkai², WANG Peipei², LI Caihong², CHANG Zhigang², SUN Xincheng², LI Shunmei², ZHENG Hailun²

1. Department of Special Medicine, Nanjing Medical University, Nanjing 210009, China; 2. Department of Radiation Oncology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

Abstract: Objective To compare the dosimetric differences of target areas and organs-at-risk between volumetric modulated arc therapy (VMAT) and intensity-modulated radiotherapy (IMRT) plans for bilateral breast cancer in postmastectomy radiotherapy, and discuss the optimal treatment scheme. **Methods** A total of 8 patients receiving radical or modified radical mastectomy for bilateral primary breast cancer were enrolled in this study. Three-dimensional conformal radiotherapy system was used to design two radiotherapy plans, namely IMRT and VMAT, for each patient. There were 10 fixed fields in IMRT plan. In VMAT plan, the bilateral chest wall was treated with double-arc VMAT. The dosimetric parameters obtained by dose-volume histogram, including the mean dose, $V_{95\%}$, $V_{107\%}$, $V_{110\%}$, conformity index and homogeneity index of planning target volume (PTV), and the dosimetric parameters of normal tissues, such as lungs and heart, were compared between two plans. **Results** Both the two plans met the prescription requirements. When the target coverage reached 95%, the mean dose of PTV in IMRT plan was better than that in VMAT plan ($P=0.04$). Compared with those in IMRT plan, the $V_{95\%}$ of PTV in VMAT plan was increased by 2.7 cm^3 ($P=0.02$), while the $V_{107\%}$ and $V_{110\%}$ of PTV were decreased by 2.93 and 0.05 cm^3 , respectively ($P=0.03, 0.03$). Moreover, VMAT plan was superior to IMRT plan in the homogeneity index and conformity index ($P=0.03, 0.05$). The V_5 of lungs in VMAT plan was higher than that in IMRT plan, while the other parameters of lungs in VMAT plan were lower than those in IMRT plan. Except the V_{40} of heart, the dosimetric parameters of heart in VMAT plan were higher than those of IMRT, without statistical differences ($P>0.05$). **Conclusion** VMAT plan is superior to IMRT plan in dose distribution and the dosimetric parameters of target areas

【收稿日期】2018-12-19

【基金项目】国家自然科学基金(81472809, 81502653, 81672983, 81703028)

【作者简介】史玉静, 硕士研究生, 主要从事肿瘤放射治疗学相关研究, E-mail: 1208519910@qq.com

【通信作者】郑海伦, 主要从事肿瘤放疗技术相关研究, E-mail: zhenghailun13@163.com

and lungs. Although the dose of heart in VMAT plan is inferior to that in IMRT plan, the differences are still within acceptable range. Therefore, the patients receiving radical surgery for bilateral breast cancer can benefit more from double-arc VMAT.

Keywords: bilateral breast cancer; dosimetric difference; volumetric modulated arc therapy; intensity-modulated radiotherapy; conformity index; homogeneity index

前言

目前, 双侧原发性乳腺癌(Bilateral Primary Breast Cancer, BPBC)发生率逐年增高。相关数据显示, 该病种约占乳腺癌的2%~11%^[1], 而放疗对于BPBC术后辅助治疗起着重要的作用^[2]。然而, 国内目前关于BPBC的报道都侧重其临床特征, 鲜见放疗剂量学方面的研究^[3]。笔者采用IMRT和VMAT两种逆向调强放射治疗技术, 设计同一病例的双侧胸壁野放疗计划, 通过比较剂量学上的差异来探讨符合临床要求的最佳放疗方案, 以期在保障疗效的同时进一步减少放疗并发症, 提高生活质量。

1 材料与方法

1.1 临床资料

回顾性收集南京医科大学第一附属医院2014年1月~2017年6月行术后放疗的BPBC患者8例, 年龄48~67岁, 中位年龄56.5岁。入选条件: ①符合Robbins等^[4]和阚秀^[5]提出的BPBC诊断标准; ②接受双侧乳腺根治手术(Mastectomy)或改良根治手术(Modified Radical Mastectomy); ③进行双侧胸壁术后放疗。患者具体资料见表1。

表1 病人基本信息情况

Tab.1 Basic information of the patients

患者编号	年龄/岁	靶区体积/cm ³	MRM/M
1	67	1 363.2	MRM
2	53	984.1	M
3	61	891.5	M
4	61	1 224.5	MRM
5	50	1 289.6	MRM
6	48	779.3	M
7	54	1 507.18	MRM
8	59	1 842.65	MRM

M: 双侧乳腺根治手术; MRM: 改良根治手术

1.2 仪器设备

西门子16排大孔径CT(Somatom Sensation

Open CT), 瑞典Elekta公司MonacoV5.1物理计划系统, 比利时OFIT固定装置, 乳腺托架及热塑体膜。

1.3 体位固定及CT扫描

患者仰卧, 双手上举抓杆, 充分抬高上臂, 热塑体膜固定患者体位。用铅丝在胸壁皮肤上标记原乳房区的各边界, 手术疤痕处也贴铅丝标记, 并用5 mm补偿模覆盖于原乳房区。在自由平静呼吸状态下连续CT扫描, 层厚5 mm。扫描范围上界至环甲膜, 下界至原乳房沟下5 cm, 包括双侧胸壁及临近正常组织器官如肺脏、心脏等。获得的CT图象通过DICOM RT格式传输到MonacoSim工作站靶区勾画系统, 由主管医生勾画出靶区及危及器官。

1.4 靶区勾画

本研究中患者双侧乳腺及肿块均已切除, 故仅存在临床靶区(Clinical Target Volume, CTV)和计划靶区(Planning Target Volume, PTV)。由于胸壁是乳腺癌根治术或改良根治术后最常复发部位, 因而成为放疗的常规部位。根据国际辐射单位和测量委员会(ICRU)50、62号文件规定, 共同勾画CTV、PTV及危及器官。在CT窗宽500、窗位0的条件下勾画靶区和危及器官, 然后再由一位副主任医师或主任医师确认肿瘤靶区。定义CTV为皮肤及胸壁下0.5 cm, 上界至锁骨头上缘水平, 下界为原乳房沟下1~2 cm, 内界为胸骨旁, 外界为腋中线。同时定义心脏、双侧肺为危及器官。PTV为CTV内外后界各外放0.5 cm, 头侧界及脚侧界外放0.7~1.0 cm, 前界不超过皮下0.5 cm形成。由同一物理师为每例患者制定放疗治疗计划。

1.5 计划设计

使用瑞典Elekta公司Monaco5.1计划系统分别进行IMRT和VMAT计划设计。射线能量6 MV, 处方剂量50 Gy/25 f。IMRT计划: 设定一个治疗等中心, 两侧胸壁分别设定三切线野, 两个斜角射野, 共10野(260°、245°、230°、45°、30°、315°、330°、105°、120°、135°), 根据病人及部位不同, 设定的每个射野角度可在5°~15°内波动, 计划的子野个数60, 最小子野跳数为4 MU。VMAT计划: 设定同IMRT一样的治疗等中心, 由230°~20°及310°~130°的两Arc双弧照射, 射野角度也存在5°~15°的波动范围, 最大控制点数

120,最小子野宽度0.6 cm。所有计划函数设定一致,两个计划的最终剂量优化结果为至少95%的PTV接

受到处方剂量,得到最优计划。具体如图1示。

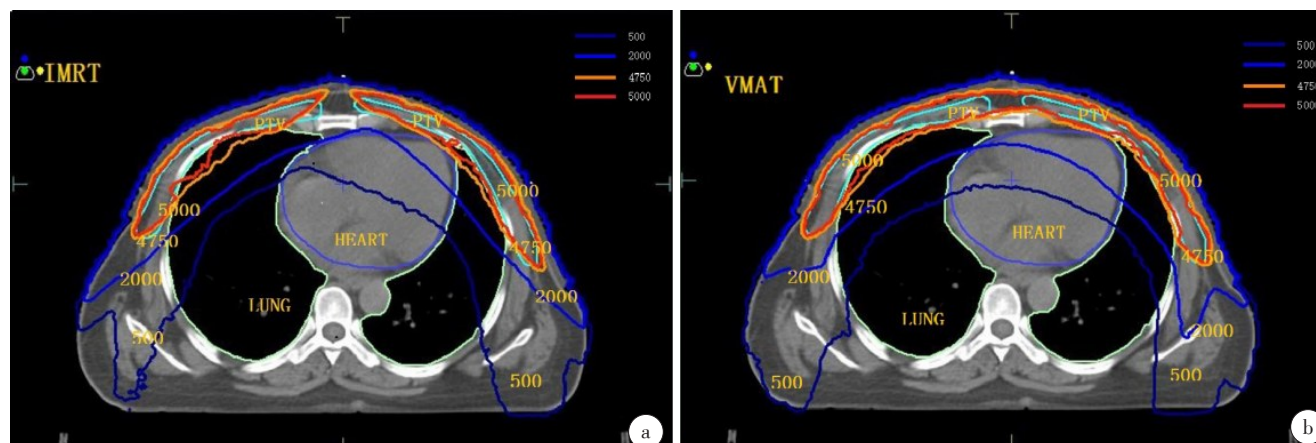


图1 IMRT(a)及VMAT(b)两种治疗技术的剂量分布

Fig.1 Dose distributions of intensity-modulated radiotherapy (IMRT) and volumetric modulated arc therapy (VMAT)

图中曲线分别为500、2 000、4 750、5 000 cGy 剂量分布曲线。

1.6 评价参数

所有计划均采用剂量体积直方图(Dose Volume Histogram, DVH)评估,其中靶区(PTV)的评价指标包括: $V_{95\%}$ 、 $V_{107\%}$ 、 $V_{110\%}$ 、 $D_{5\%}$ 、 $D_{95\%}$ 、适形度指数(Conformity Index, CI)和均匀性指数(Homogeneity Index, HI)、机器跳数等。 $V_{x\%}$ 代表接受 $x\%$ 处方剂量的靶区体积。 $D_{x\%}$ 为 $x\%$ PTV所受到的照射剂量。CI用以评价靶区与参考等剂量曲面的适形程度, $CI = V_{Rx}^2 / (V_T \times V_{Ri})$,其中, V_{Rx} 表示受到处方剂量照射的靶区体积, V_T 表示整个靶区体积, V_{Ri} 表示受到的处方剂量照射的身体体积。CI值为0~1,且越接近1,则适形度越高,计划越好;HI= $D_{5\%}/D_{95\%}$,HI值越大说明超过处方剂量越大,PTV内剂量分布也越不均匀。用双肺的 V_5 、 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{30} 和 D_{mean} ,心脏的 V_5 、 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 和 D_{mean} 等评价危及器官的受量及体积。 V_x 表示接受 x Gy剂量的体积百分比,具体如图2所示。

1.7 统计学方法

用SPSS 20.0软件,对计量资料采用均数±标准差表示,使用配对 t 检验方法对两组间的数据进行比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

全部病例完成计划设计,共获得16个治疗计划,并进行剂量比较分析。

2.1 横断面剂量分布分析

VMAT和IMRT计划在同一位置的横断面剂量分布如图1所示。深蓝色和淡蓝色分别为500和2 000 cGy

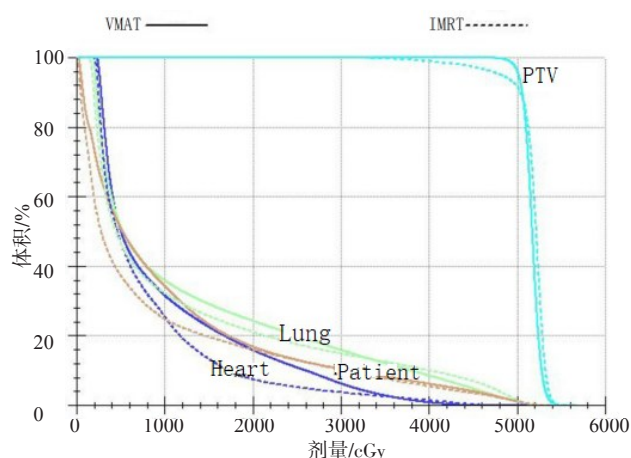


图2 靶区及危及器官的剂量体积变化

Fig.2 Dose-volume changes of target areas and organs-at-risk

的剂量分布范围。VMAT计划组500和2 000 cGy的剂量总面积大于IMRT计划,而心脏的受量范围差异不大,高剂量曲线(4 750 cGy以上,即图1中黄色及橙色剂量线包含区域)分布相对于IMRT计划的高剂量曲线圆滑规则。

2.2 PTV的剂量学比较

在IMRT计划中,靶区PTV的 D_{mean} 优于VMAT计划中靶区的 D_{mean} ($P=0.04$),机器跳数(MU)优于VMAT计划,差异不具有统计学意义($P=0.07$)。但是在 $V_{95\%}$ 方面,VMAT计划比IMRT计划提高了2.7 cm³ ($P=0.02$),而 $V_{107\%}$ 和 $V_{110\%}$ 分别减少了2.93和0.05 cm³,变化具有统计学差异($P=0.03, 0.03$)。而且,在计划的HI和CI方面,VMAT计划比IMRT计划更好($P=0.03, 0.05$)。详见表2。

表2 两种治疗技术的靶区剂量学比较($\bar{x} \pm s, n=16$)
Tab.2 Dosimetric comparison of target areas in two plans
($Mean \pm SD, n=16$)

参数	IMRT	VMAT	t 值	P 值
$V_{95\%}/cm^3$	95.40 \pm 3.10	98.10 \pm 1.23	2.87	0.02
$V_{107\%}/cm^3$	6.95 \pm 3.37	4.02 \pm 1.50	-2.70	0.03
$V_{110\%}/cm^3$	0.10 \pm 0.09	0.05 \pm 0.05	-2.70	0.03
CI	0.70 \pm 0.05	0.75 \pm 0.05	2.34	0.05
HI	1.13 \pm 0.18	1.07 \pm 0.01	-2.89	0.03
D_{mean}/Gy	51.8 \pm 0.26	51.70 \pm 0.23	-2.55	0.04
MU	1 467 \pm 433	1 670 \pm 262	2.10	0.07

CI:适形度指数;HI:均匀性指数;MU:机器跳数

2.3 危及器官的剂量学比较

VMAT 计划中肺参数除了 V_5 高于 IMRT 计划以外,其余参数 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{30} 和 D_{mean} 均低于 IMRT 计划;但 VMAT 的心脏 V_5 、 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{30} 和 D_{mean} 均高于 IMRT 计划,而 V_{40} 低于 IMRT 计划,变化不具有统计学差异($P>0.05$)。具体变化如表3和表4所示。

表3 危及器官肺的剂量体积变化($\bar{x} \pm s, n=16$)
Tab.3 Dose-volume changes of lungs ($Mean \pm SD, n=16$)

参数	IMRT	VMAT	P 值
$V_5/\%$	55.3 \pm 1.7	56.1 \pm 3.4	0.62
$V_{10}/\%$	40.2 \pm 4.7	39.1 \pm 3.4	0.42
$V_{15}/\%$	31.9 \pm 4.3	31.5 \pm 3.5	0.73
$V_{20}/\%$	26.3 \pm 4.0	26.2 \pm 3.6	0.97
$V_{30}/\%$	18.1 \pm 4.1	17.6 \pm 3.5	0.64
D_{mean}/Gy	14.0 \pm 1.6	13.8 \pm 1.4	0.59

表4 危及器官心脏的剂量体积变化($\bar{x} \pm s, n=16$)
Tab.4 Dose-volume changes of heart ($Mean \pm SD, n=16$)

参数	IMRT	VMAT	P 值
$V_5/\%$	51.7 \pm 22.0	56.7 \pm 10.5	0.51
$V_{10}/\%$	32.0 \pm 6.4	35.2 \pm 9.6	0.65
$V_{15}/\%$	20.1 \pm 11.2	25.6 \pm 8.9	0.26
$V_{20}/\%$	14.1 \pm 9.2	17.7 \pm 7.6	0.28
$V_{30}/\%$	6.9 \pm 4.1	7.2 \pm 1.6	0.74
$V_{40}/\%$	3.5 \pm 2.7	2.3 \pm 2.2	0.10
D_{mean}/Gy	9.9 \pm 3.4	10.8 \pm 2.4	0.45

2.4 两计划 DVH 图比较

从图2可看出,VMAT(实线)计划靶区剂量比IMRT

计划(虚线)更优,二者高剂量跌落没有差异。但心肺的低剂量区(V_2 、 V_3)的体积 VMAT 计划相对较大。

3 讨论

放射治疗作为治疗乳腺癌最为有效的手段之一,可以明显降低高危乳腺癌术后患者局部复发率,在乳腺癌治疗中起着十分重要的作用^[6]。由于乳腺术后的外形不规则、上下部位的宽度不同导致各部位的源皮距不同,往往造成靶区的剂量分布不理想,不均匀差异可高达20%^[3]。而且,乳腺癌术后的胸壁往往呈“凹”型,计划制定过程中,部分肺组织不可避免地会被高剂量线覆盖。很多情况下在照射乳腺、胸壁时,心脏、肺等危及器官很难得到有效的保护。由放射治疗带来的远期副反应是乳腺癌术后10年、15年生存率降低的重要原因之一^[3],因此大多数研究者认为乳腺癌术后放疗成败的关键在于是否对心、肺进行有效保护。故在保证局部控制率的前提下,寻求一种降低心脏、肺脏等正常器官组织受量,增加靶区内剂量的治疗技术尤为重要。本文就 IMRT 和 VMAT 两种治疗技术进行剂量学比较发现,VMAT 计划的 PTV 受量 $V_{95\%}$ 、 $V_{107\%}$ 、 $V_{110\%}$ 和 HI、CI 均优于 IMRT 技术,这与大多数以往文献研究报道一致^[7-8],说明 VMAT 计划的适形性和均匀性均较 IMRT 技术好。但有研究表明^[9-12],CI 的值较好时,往往使周围的危及器官受到的低剂量照射明显增加,这与本研究中肺、心的 V_5 在 VMAT 技术中明显高于 IMRT 技术的结果一致。本研究中的 VMAT 计划 MU 数高于 IMRT 计划,这与以往的研究报道存在差异,主要原因可能是因为本文的 VMAT 计划设计使用的 $230^\circ \sim 20^\circ$ 及 $310^\circ \sim 130^\circ$ 两个 Arc 的双弧照射,每个弧旋转两次,所以 MU 也相应增加。本还进行了单个 Arc 的双弧计划,但是靶区剂量始终得不到有效提高,故参照 Nicolini 等^[13]和王宁等^[14]进行两个 Arc 的计划设计,得到满意的结果。此外,就靶区覆盖 $D_{100\%}$ 进行对比发现,VMAT($93.4\% \pm 2\%$)计划高于 IMRT($92.2\% \pm 2\%$)计划,这与多数研究报道一致。

再之,以往的文献资料报道肺 V_{20} 已经被证明是肺癌患者放射性肺炎的独立预测因子^[15]。此外 Krueger 等^[16]报道肺 V_5 是放射性肺炎的重要影响因素。本研究发现两类计划的双肺 V_{20} 均 $\leq 27\%$,从肺损伤方面考虑,所接受剂量百分体积均在正常耐受范围内。但肺的 VMAT 计划中除了 V_5 高于 IMRT 计划 0.8%,其余参数 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{30} 和 D_{mean} 分别低于 IMRT 计划 1.1%、0.4%、0.1%、0.5%、0.2 Gy;说明 VMAT 技术在降低正常肺组织的低剂量上要优于

IMRT计划,与杨振等^[17]结论一致。这是因为VMAT通过提高适形性的方法从而使得处方剂量集中于靶区部位,避免大面积的肺受到低剂量的照射。而VMAT计划中心脏的 V_5 、 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{30} 和 D_{mean} 分别高于IMRT计划5%、3.2%、5.5%、3.6%、0.3%、0.9 Gy, V_{40} 低于IMRT计划1.2%,二者的差异不具有统计学意义($P>0.05$)。这与蒙渡等^[18]报道单侧乳腺癌放射治疗技术剂量学比较的研究结果相一致。

总体上,靶区剂量分布VMAT优于IMRT,但是在胸骨处高剂量区没有明显断开,这点不如IMRT的切线野技术。但是对于高剂量分布($V_{107\%}$ 、 $V_{110\%}$),VMAT控制的较好,且靶区的CI和HI优于IMRT技术。本研究中心脏的受照体积除了 V_{40} 以外,其他参数均高于IMRT技术,但是变化不具有统计学差异,而评价心脏的指标常以 V_{30} 作为基准,以往研究表明心脏 V_{30} 的剂量在10%以下,发生放射性心损伤的几率明显降低^[19],而本研究的心脏 V_{30} 均在7.2%以下,低于10%,故可接受。有学者研究Tomo Therapy在双侧乳腺癌放疗中的应用的可行性,发现Tomo在肺、心脏等危及器官的受量体积方面控制的较IMRT好^[20-21],平均心脏 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 分别为6.8%、5.1%、3.9%、3.08%,明显优于本文中VMAT的心脏受量,但对于VMAT和Tomo之间的差异还未有相关研究。

4 结论

VMAT在双侧乳腺癌根治术后放疗计划的均匀性和适形性均优于IMRT,且靶区和肺的受量也优于IMRT,但是对于危及器官心脏的受量差于IMRT技术,但是仍在可接受范围内,故相比较之下,对于根治术后的双侧乳腺癌患者可考虑VMAT双弧计划设计能达到较好的治疗收益。

【参考文献】

- [1] HARTMAN M, CZENE K, REILLY M, et al. Genetic implications of bilateral breast cancers: a populating based cohort study[J]. *Lancet Oncol*, 2005, 6(6): 377-379.
- [2] WADASAWALA T, VISARIYA B, SARIN R, et al. Use of tomotherapy in treatment of synchronous bilateral breast cancer: dosimetric comparison study [J]. *Br J Radiol*, 2015, 88(1048): 20140612.
- [3] 韩有溪. 双乳癌术后胸壁同时照射与分次照射剂量学比较[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2013.
HAN Y X. Simultaneous irradiation and subirradiation dosimetry were compared between breast and chest wall [D]. Urumqi: Xinjiang Medical University, 2013.
- [4] ROBBINS C F, BERG J W. Bilateral primary breast cancer: a prospective clinic opathological study [J]. *Cancer*, 1964, 17(12): 1501-1527.
- [5] 阎秀. 乳腺癌临床病理学[M]. 北京: 北京医科大学中国协和医科大学联合出版社, 1993: 98-102.
KAN X. Clinical pathology of breast cancer [M]. Beijing: Beijing Medical University & China Union Medical University Press, 1993: 98-102.
- [6] KIM S J, LEE M J, YOUN S M. Radiation therapy of synchronous bilateral breast carcinoma (SBBC) using multiple techniques[J]. *Med Dosim*, 2017, 43(1): 55-68.
- [7] 杨思源, 张季, 潘香, 等. 左乳癌保乳术后瘤床同步加量静态调强和容积旋转调强的剂量学差异[J]. *中国医学物理学杂志*, 2017, 34(9): 874-878.
YANG S Y, ZHANG J, PAN X, et al. The difference in the dosimetry of postoperative tumor bed in the postoperative tumor bed with increased static intensity and volume rotation[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2013, 34(9): 874-878.
- [8] SEPPÄLÄ J, HEIKKILÄ J, MYLLYOJA K, et al. Volumetric modulated arc therapy for synchronous bilateral whole breast irradiation-a case study [J]. *Rep Pract Oncol Radiother*, 2015, 20(5): 398-402.
- [9] VAN PARIJS H, REYNDERS T, HEUNINCKX K, et al. Breast conserving treatment for breast cancer: dosimetric comparison of different non-invasive techniques for addition-alboost delivery [J]. *Radiat Oncol*, 2014, 9: 36.
- [10] YOO S, BLITZBLAU R, YIN F F, et al. Dosimetric comparison of preoperative single-fraction partial breast radiotherapy techniques: 3DCRT, noncoplanar IMRT, coplanar IMRT, and VMAT [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2015, 16(1): 5126.
- [11] WANG J, LI X, DENG Q, et al. Postoperative radiotherapy following mastectomy for patients with left-side breast cancer: a comparative dosimetric study [J]. *Med Dosim*, 2015, 40(3): 190-194.
- [12] PARK S H, KIM J C. Comparison of electron and X-ray beams for tumor bed boost irradiation in breast-conserving treatment [J]. *J Breast Cancer*, 2014, 16(3): 300-307.
- [13] NICOLINI G, CLIVIO A, FOGLIATA A, et al. Simultaneous integrated boost radiotherapy for bilateral breast: a treatment planning and dosimetric comparison for volumetric modulated arc and fixed field intensity modulated therapy [J]. *Radiat Oncol*, 2019, 4: 27.
- [14] 王宁, 王彬, 陈阿龙, 等. 前列腺癌同步加量放疗dIMRT和Rapid Arc比较研究[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2017, 24(6): 403-408.
WANG N, WANG B, CHEN A L, et al. Comparative study on synchronous radiotherapy dIMRT and Rapid Arc in prostate cancer [J]. *Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment*, 2013, 24(6): 403-408.
- [15] GRAHAM M V, PURDY J A, EMAMI B, et al. Clinical dose-volume histogram analysis for pneumonitis after 3D treatment for non-small cell lung cancer (NSCLC) [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1999, 45(2): 323-329.
- [16] KRUEGER E A, FRAASS B A, MCSHAN D L, et al. Potential gains for irradiation of chest wall and regional nodes with intensity modulated radiotherapy [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2003, 56(4): 1023-1037.
- [17] 杨振, 张红, 井建国, 等. 局部晚期和晚期肺癌混合调强放疗计划的剂量学研究[J]. *中国现代医学杂志*, 2011, 21(9): 1079-1084.
YANG Z, ZHANG H, JING J G, et al. Dosimetry study of hybrid intensity-modulated radiation therapy for locoregionally and metastatically advanced lung cancer [J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2011, 21(9): 1079-1084.
- [18] 蒙渡, 刘锐, 王书文, 等. 早期左侧乳腺癌保乳术后IMRT与VMAT两种放射治疗技术的剂量学研究[J]. *西部医学*, 2016, 28(11): 1535-1539.
MENG D, LIU R, WANG S W, et al. Comparing the radiological dose distribution between VMAT and IMRT applied in radiotherapy of early left breast cancer patients after breast-conserving surgery [J]. *Medical Journal of West China*, 2016, 28(11): 1535-1539.
- [19] 王书文, 和新盈, 何海涛, 等. 左侧乳腺癌保乳术后放疗对病人心肌钙蛋白的影响[J]. *现代肿瘤医学*, 2009, 17(6): 1079-1081.
WANG S W, HE X Y, HE H T, et al. Serum cardiac troponin T levels in patients with left side breast-conserving surgery undergoing radiotherapy [J]. *Journal of Modern Oncology*, 2009, 17(6): 1079-1081.
- [20] WADASAWALA T, VISARIYA B, SARIN R, et al. Use of tomotherapy in treatment of synchronous bilateral breast cancer: dosimetric comparison study [J]. *Br J Radiol*, 2015, 88(1048): 20140612.
- [21] KADAR-PERSON O, KOSTICH M, ZAGAR T M, et al. Helical tomotherapy for bilateral breast cancer: clinical experience [J]. *Breast*, 2016, 28: 79-83.

(编辑: 薛泽玲)