

非均整器模式在左侧乳腺癌改良根治术后患者深吸气屏气容积旋转调强放疗中的剂量学优势

Dosimetric advantages of flattening filter free technique in deep inspiration breath-hold treatments of left-sided breast cancer after modified radical mastectomy with volumetric modulated arc therapy

Chai Linyan, Wang Kefeng, Fan Qihong, Zhang Xiaozhi, Meng Du

引用本文:

柴林燕, 王科峰, 范秋红, 等. 非均整器模式在左侧乳腺癌改良根治术后患者深吸气屏气容积旋转调强放疗中的剂量学优势[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2022, 46(10): 606–612. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202111019-00225

Chai Linyan, Wang Kefeng, Fan Qihong, et al. Dosimetric advantages of flattening filter free technique in deep inspiration breath-hold treatments of left-sided breast cancer after modified radical mastectomy with volumetric modulated arc therapy[J]. *International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine*, 2022, 46(10): 606–612. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202111019-00225

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202111019-00225>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

宫颈癌术后容积旋转调强放疗与5野调强放疗计划的剂量学比较

Dosimetric comparison between volumetric modulated arc radiotherapy and five fields intensity-modulated radiation therapy for postoperative cervical carcinoma

国际放射医学核医学杂志. 2018, 42(1): 41–46 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.01.008>

3种不同放疗技术在左侧乳腺癌保乳术后全乳腺放疗中的剂量学比较

Dosimetric comparison of three different radiotherapy techniques in whole breast radiotherapy after breast-conserving surgery for left breast cancer

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(9): 569–574 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201912030-00078>

前列腺癌容积旋转调强放疗中标志物可探测性研究

Research on detectability of markers in volume-modulated arc therapy for prostate cancer

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(12): 767–772 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202102024-00123>

乳腺癌改良根治术后放疗两种固定方式在锁骨上下区摆位误差的比较

Comparison of the setup errors of two mask systems for immobilizing supra/infraclavicular nodal region of breast cancer patients received postmastectomy radiotherapy

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(6): 348–356 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202005050-00068>

宫颈癌术后调强放疗中骨髓抑制与骨髓照射剂量体积的关系

The relationship between bone marrow suppression and dose volume of bone marrow irradiation for the postoperative cervical cancer patients received intensity modulated radiotherapy

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(3): 143–150 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201811039-00002>

¹⁸F-FDG PET/CT在乳腺癌术后随访中的价值

Clinical value of ¹⁸F-FDG PET/CT in follow-up of postoperative breast cancer

·临床研究·

非均整器模式在左侧乳腺癌改良根治术后患者深吸气屏气容积旋转调强放疗中的剂量学优势

柴林燕¹ 王科峰² 范秋红³ 张晓智¹ 蒙渡¹

¹西安交通大学第一附属医院放疗科, 西安 710061; ²陕西省康复医院内分泌科, 西安 710065; ³西安市第九医院放疗科, 西安 710069

通信作者: 王科峰, Email: wangkefeng84@163.com; 蒙渡, Email: dumeng2718@163.com

【摘要】目的 比较非均整器(FFF)模式和均整器(FF)模式在左侧乳腺癌改良根治术后深吸气屏气(DIBH)动态容积旋转调强放疗(VMAT)中的剂量学差异。**方法** 回顾性分析2020年12月至2021年5月在西安交通大学第一附属医院行DIBH放疗的16例左侧乳腺癌改良根治术后女性患者的临床资料, 年龄37~61(43.5±5.7)岁。对同一患者分别设计FFF和FF模式的VMAT计划, 给予计划靶区(PTV)相同的处方剂量50 Gy/25次, 在达到相同的剂量归一条件下, 比较靶区剂量学、危及器官受量及机器执行效率的差异。组间数据比较采用配对 t 检验。**结果** 2种模式下靶区PTV的 $D_{2\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 $D_{98\%}$ ($D_{x\%}$ 表示 $x\%$ 靶体积的受照剂量)、适形指数、平均指数及梯度指数差异均无统计学意义($t=-1.519\sim 1.644$, 均 $P>0.05$); FFF模式的心脏 $V_{5\text{Gy}}$ 、 $V_{30\text{Gy}}$ ($V_{x\text{Gy}}$ 表示 $\geq x\text{Gy}$ 体积占总体积的百分比)及平均剂量(D_{mean}), 患侧肺 $V_{5\text{Gy}}$ 、 $V_{10\text{Gy}}$ 及 D_{mean} , 全肺 $V_{5\text{Gy}}$ 、 $V_{10\text{Gy}}$ 、 $V_{20\text{Gy}}$ 及 D_{mean} , 患者受照剂量的 $V_{5\text{Gy}}$ 均优于FF模式, 组间比较差异均有统计学意义($t=-4.741\sim -2.156$, 均 $P<0.05$); FFF模式机器跳数是FF模式的1.32倍[(1073.41±143.79)MU对(815.70±87.69)MU], 但执行时间却减少为FF模式的88.9%[(128.00±11.64)s对(144.75±11.45)s], 且差异均有统计学意义($t=8.665$ 、 -4.373 , 均 $P<0.05$)。**结论** 2种模式下靶区剂量相似, FFF模式危及器官受照剂量更低, 并且可显著缩短DIBH治疗时间。

【关键词】 深吸气屏气; 容积旋转调强放疗; 非均整器模式; 均整器模式; 乳腺肿瘤; 剂量学

基金项目: 陕西省科技厅重点研发计划(2019SF-145); 西安交通大学第一附属医院新医疗新技术(XJYFY-2021J10)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202111019-00225

Dosimetric advantages of flattening filter free technique in deep inspiration breath-hold treatments of left-sided breast cancer after modified radical mastectomy with volumetric modulated arc therapy

Chai Linyan¹, Wang Kefeng², Fan QiuHong³, Zhang Xiaozhi¹, Meng Du¹

¹Department of Radiotherapy, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China; ²Department of Endocrinology, the Rehabilitation Hospital of Shaanxi, Xi'an 710065, China; ³Department of Radiotherapy, the Ninth Hospital of Xi'an, Xi'an 710069, China

Corresponding authors: Wang Kefeng, Email: wangkefeng84@163.com; Meng Du, Email: dumeng2718@163.com

【Abstract】Objective To compare the dosimetry difference between flattening filter free (FFF) mode and flattening filter (FF) mode in deep inspiration breath-hold(DIBH) treatments of left-sided breast cancer after modified radical mastectomy with volumetric modulated arc therapy (VMAT).

Methods Retrospectively analyzed the clinical data of 16 female patients with left breast cancer after modified radical mastectomy with DIBH radiotherapy in the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University from December 2020 to May 2021, aged 37 to 61 (43.5±5.7) years old. VMAT plans of FFF and FF modes were designed for the same patient, and the same prescription dose of 50 Gy/25 times was set in the planning target volume (PTV). Under the same dose normalization, the dosimetric parameters of the target and the organs at risk(OAR) and treatment efficiency were compared between the two plans. Paired *t*-test was used to compare the data between groups. **Results** No significant differences in $D_{2\%}$, $D_{50\%}$, $D_{98\%}$, CI, HI and GI were found in the target area between the two modes ($t=-1.519-1.644$; all $P>0.05$). FFF mode was superior to FF mode in protection of OAR, such as $V_{5\text{ Gy}}$, $V_{30\text{ Gy}}$ ($V_{x\text{ Gy}}$: $\geq x$ Gy volume as a percentage of total volume) and mean dose (D_{mean}) of heart; $V_{5\text{ Gy}}$, $V_{10\text{ Gy}}$ and D_{mean} of ipsilateral lung; $V_{5\text{ Gy}}$, $V_{10\text{ Gy}}$, $V_{20\text{ Gy}}$ and D_{mean} of whole lung; and $V_{5\text{ Gy}}$ of patient dose, and the differences between the two modes were statistically significant ($t=-4.741$ to -2.156 ; all $P<0.05$). The total monitor units of FFF mode was 1.32 times of that in FF mode ((1073.41±143.79) MU vs.(815.70±87.69) MU), but the total delivery time was reduced to 88.9% of that in FF mode((128.00±11.64) s vs.(144.75±11.45) s), and the differences between the two modes were statistically significant ($t=8.665$, -4.373 ; both $P<0.05$). **Conclusion** The target dose between the two modes were similar. The FFF mode can remarkably reduce the radiation dose of OAR and normal tissues, and can significantly shorten the time of DIBH therapy.

【 Key words 】 Deep inspiration breath-hold; Volumetric modulated arc therap; Flattening filter free; Flattening filter; Breast neoplasms; Dosimetry

Fund programs: Key R & D Plan of Shaanxi Science and Technology Agency (2019SF-145); New Medical Technology of the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University (XJYFY-2021J10)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202111019-00225](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202111019-00225)

据报道,乳腺癌在全球女性恶性肿瘤中的发病率位居第一^[1]。放疗可提高乳腺癌患者的术后生存率,降低其局部复发率^[2-4]。由于乳腺癌患者预后生存期相对较长,因此减少放疗对心脏和肺等危及器官的不良作用非常重要^[5]。目前,越来越多的左侧乳腺癌术后患者采用深吸气屏气(deep inspiration breath-hold, DIBH)放疗,此方法可有效降低心脏等器官的受照剂量^[6],但是DIBH技术仅在患者屏气间期直线加速器出束治疗,比传统治疗延长了治疗时间。乳腺癌改良根治术后放疗靶区形状极不规则,容积旋转调强放疗(volumetric modulated arc therapy, VMAT)对复杂靶区更具优势,采用DIBH结合VMAT技术不仅能提高靶区剂量分布,还可显著降低患者正常组织的受照剂量^[7-8]。

非均整器(flattening filter free, FFF)模式是一种新型的高剂量率技术,其可明显降低机头散射,缩短放疗照射时间,提高治疗效率^[9-10]。直线加速器中加均整器(flattening filter, FF)的作用是为了使靶区内剂量分布均匀,在调强技术未成熟之前,FF

对于靶区剂量分布非常重要,随着调强放疗和VMAT的普及,直线加速器均能通过多叶准直器的运动实现靶区内剂量的均匀分布,理论上完全可以移除FF^[11]。与FF模式相比较,FFF的射线质变软,剂量率增加,辐射野外散射减少,可降低正常组织的受照剂量,从而降低二次致癌的发生概率^[12]。

本研究将多项新技术进行整合,在左侧乳腺癌改良根治术后DIBH放疗中,比较FFF和FF模式下VMAT计划的剂量学特性以及机器的执行效率,为临床治疗提供一定的参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

完全随机选取2020年12月至2021年5月在西安交通大学第一附属医院行放疗的16例左侧乳腺癌改良根治术后女性患者的临床资料进行回顾性分析,年龄37~61(43.5±5.7)岁。纳入标准:左侧乳腺癌改良根治术后;照射范围包括胸壁、锁骨上下等淋巴结区;一般情况良好,心肺功能基本正

常,并且可熟练配合 DIBH呼吸模式。本研究经西安交通大学医学院第一附属医院伦理委员会审批通过,批件号:2021伦审科字第(020)号,NO:XJTU1AF2021LSK-020。

1.2 CT定位

患者在 DIBH呼吸模式下进行 CT定位,用乳腺托架固定,所有患者均取仰卧位,双臂外展上举,左臂置于左侧固定位,右臂置于右侧固定位,右手握瑞典 Elekta公司的 Active Breathing Control呼吸控制开关,使左侧乳腺区域完全暴露,在 DIBH状态下,激光灯指示摆位,标记体表摆位标记线,并于相同的屏气状态下,使用荷兰飞利浦公司的 Brilliance Big Bore大孔径 CT进行扫描,扫描范围上至环状软骨,下至对侧乳腺褶皱下 2 cm,扫描层厚 0.5 cm,扫描后将 CT图像传输至瑞典 Elekta公司的 Monaco5.11.03治疗计划系统。

1.3 靶区以及危及器官的勾画

参照肿瘤放疗协作组织规范勾画靶区,由 1名副主任医师统一勾画临床靶区、计划靶区(plan target volume, PTV)及危及器官,危及器官包括心脏、患侧肺、健侧肺、全肺、健侧乳腺及脊髓等。

1.4 计划设计

采用 Monaco5.11.03治疗计划系统,对 16例患者分别设计 FFF和 FF2种 VMAT计划,采用瑞典 Elekta公司 Versa HD直线加速器 6 MV X射线,其中,FFF模式最高剂量率 1400 MU/min,FF模式最高剂量率 600 MU/min。PTV的处方剂量均为 50 Gy/25次。同一患者 2种计划均采用相同射野角度及计划优化参数,根据靶区形状设计 1个连续弧,起始角度 $300^{\circ}\pm 10^{\circ}$,旋转角度 $200^{\circ}\pm 10^{\circ}$ 。采用蒙特卡罗算法,旋转方向设为顺时针,每个扇区设为 30° ,最大弧数设为 2,最大控制点设为 120,通量平滑设为中等,最小子野宽度设为 0.7 cm,计算网格设为 0.3 cm。优化目标参数设置:心脏 $V_{5\text{Gy}} < 36\%$ 、 $V_{10\text{Gy}} < 20\%$ ($V_{x\text{Gy}}$ 表示 $\geq x$ Gy 体积占总体积的百分比),平均剂量(D_{mean}) < 6.5 Gy;左肺 $V_{5\text{Gy}} < 52\%$, $V_{10\text{Gy}} < 35\%$, $V_{20\text{Gy}} < 25\%$;右肺 $D_{\text{mean}} < 4$ Gy, $V_{5\text{Gy}} \leq 10\%$;右侧乳腺 $D_{\text{mean}} < 5$ Gy,脊髓最大剂量(D_{max}) ≤ 38 Gy。所有计划均由同 1名物理师设计。

1.5 计划评估

将 FFF-VMAT和 FF-VMAT2种计划均归一为 PTV的 $D_{95\%} \geq 50$ Gy($D_{x\%}$ 表示 $x\%$ 靶体积的受照剂

量),得到剂量体积直方图(dose volume histogram, DVH)和等剂量曲线分布,统计靶区 PTV的 $D_{2\%}$ 、 $D_{50\%}$ 及 $D_{98\%}$,靶区的剂量分布评估:(1)PTV的靶区适形指数(conformity index, CI) $= \frac{V_{T,\text{ref}}}{V_T} \times \frac{V_{T,\text{ref}}}{V_{\text{ref}}}$,其中, $V_{T,\text{ref}}$ 是处方剂量线包绕 PTV的体积, V_T 是 PTV的体积, V_{ref} 是处方剂量线所包绕的所有体积,CI值为 0~1,其越接近 1表示 PTV适形度越好^[13]。(2)PTV的靶区均匀指数(homogeneity index, HI) $= \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}}$,其中,HI值为 0~1,其越接近 0表示 PTV均匀性越好^[13]。(3)PTV的剂量梯度指数(gradient index, GI) $= \frac{V_{50\%}}{V_{100\%}}$ ($V_{x\%}$ 表示 $x\%$ 的处方剂量线所包绕的体积),GI越小表示剂量跌落越快^[14]。

危及器官评价参数包括心脏 $V_{5\text{Gy}}$ 、 $V_{30\text{Gy}}$ 、 D_{mean} ,左肺(患侧肺) $V_{5\text{Gy}}$ 、 $V_{10\text{Gy}}$ 、 $V_{20\text{Gy}}$ 、 D_{mean} ,右肺(健侧肺) $V_{5\text{Gy}}$ 、 D_{mean} ,全肺 $V_{5\text{Gy}}$ 、 $V_{10\text{Gy}}$ 、 $V_{20\text{Gy}}$ 、 D_{mean} ,右侧乳腺(健侧乳腺) $V_{5\text{Gy}}$ 、 D_{mean} ,脊髓外放 0.5 cm的脊髓危及器官计划体积的 D_{mean} 、 D_{max} ,以及 5 Gy剂量线所包绕的体积与体表范围内的所有组织体积的百分比。

计划执行效率评估:统计 FFF与 FF模式下 2种 VMAT计划的机器总跳数以及 Versa HD直线加速器的执行时间。本研究统计的机器执行时间为机器开始出束至整个弧出束结束的连续时间,不包括 DIBH间歇的自由呼吸停止出束的时间。

1.6 统计学方法

应用 SPSS 23.0软件对数据进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,2种计划间比较采用配对 t 检验(方差齐)。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 DVH和等剂量曲线分布比较

16例乳腺癌改良根治术后患者 2种计划均满足 95%以上的靶区体积达到处方剂量 50 Gy,其中 1例患者 2种计划的 DVH和等剂量曲线分布对比如图 1和图 2所示,结果显示 2种计划的靶区剂量分布相似,但 FFF模式下危及器官的受照剂量明显低于 FF模式。

2.2 靶区剂量及机器参数比较

由表 1可知,2种计划的 6个靶区剂量学参数

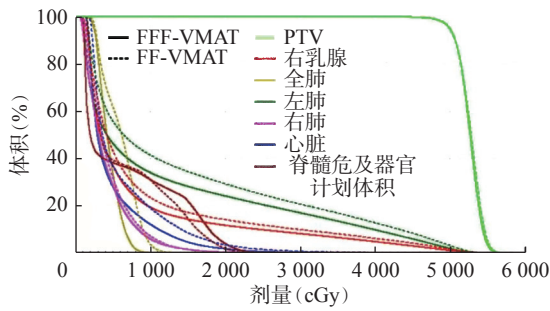


图1 左侧乳腺癌改良根治术后患者(女性, 46岁)2种容积旋转调强技术计划靶区及危及器官的剂量体积直方图 FFF为非均整器; VMAT为容积旋转调强放疗; FF为均整器; PTV为计划靶区

Figure 1 Dose volume histogram comparison of the two volumetric modulated arc therapy plans in a patient (female, 46 years old) with left breast cancer after modified radical mastectomy

$D_{2\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、CI、HI、GI均相近, 且差异均无统计学意义(均 $P>0.05$); FFF模式机器的总跳数明显高于FF模式, 且为FF模式的1.32倍, 差异有统计学意义($P<0.05$); 但FFF模式的执行时间为FF的88.9%, 且二者间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.3 危及器官的受照剂量比较

2种计划的危及器官受照剂量如表2所示。由表2可知, FFF模式下, 心脏受照剂量的 $V_{5\text{Gy}}$ 、

表1 16例左侧乳腺癌改良根治术后女性患者2种VMAT计划的靶区剂量及机器参数比较($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of target dosimetric and machine parameters between the two volumetric modulated arc therapy plans in 16 female patients with left breast cancer after modified radical mastectomy ($\bar{x} \pm s$)

参数	FFF-VMAT	FF-VMAT	t值	P值
$D_{2\%}$ (cGy)	5 640.22±70.09	5 613.52±63.07	1.644	0.121
$D_{50\%}$ (cGy)	5 323.74±48.55	5 307.29±51.74	1.462	0.164
$D_{98\%}$ (cGy)	4 881.38±32.21	4 891.64±31.88	-1.386	0.186
适形指数	0.87±0.49	0.87±0.05	-0.490	0.631
均匀指数	0.14±0.02	0.14±0.01	1.415	0.178
梯度指数	3.24±0.66	3.30±0.67	-1.519	0.150
机器跳数(MU)	1 073.41±143.79	815.70±87.69	8.665	<0.001
执行时间(s)	128.00±11.64	144.75±11.45	-4.373	0.001

注: FFF为非均整器; VMAT为容积旋转调强放疗; FF为均整器; $D_{x\%}$ 表示x%靶体积的受照剂量

$V_{30\text{Gy}}$ 及 D_{mean} , 患侧肺 $V_{5\text{Gy}}$ 、 $V_{10\text{Gy}}$ 及 D_{mean} , 全肺 $V_{5\text{Gy}}$ 、 $V_{10\text{Gy}}$ 、 $V_{20\text{Gy}}$ 及 D_{mean} , 患者受照剂量的 $V_{5\text{Gy}}$ 均低于FF模式, 组间比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$); 虽然患侧肺 $V_{20\text{Gy}}$, 健侧肺 D_{mean} 、 $V_{5\text{Gy}}$, 健侧乳腺 D_{mean} , 脊髓危及器官计划体积的 D_{mean} 、 D_{max} , 均略低于FF模式, 但其差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。

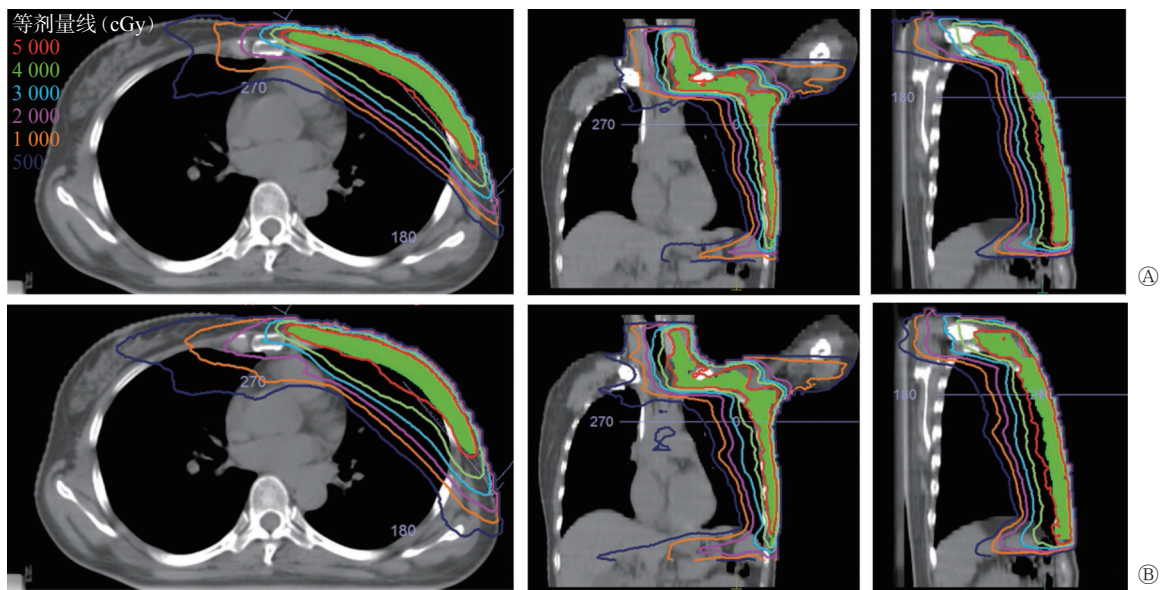


图2 左侧乳腺癌改良根治术后患者(女性, 46岁)2种容积旋转调强放疗计划同一CT图像等剂量线分布比较 A为FFF-VMAT计划; B为FF-VMAT计划。A和B图从左至右依次为横断面、冠状面、矢状面图。FFF为非均整器; VMAT为容积旋转调强放疗; FF为均整器

Figure 2 Comparison of isodose distribution in the same CT images with two volumetric modulated arc therapy plans of a patient (female, 46 years old) with left breast cancer after modified radical mastectomy

表2 16例左侧乳腺癌改良根治术后女性患者2种VMAT计划的危及器官剂量学比较($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of dosimetry of organs at risk of two volumetric modulated arc therapy plans in 16 female patients with left breast cancer after modified radical mastectomy ($\bar{x} \pm s$)

参数	FFF-VMAT	FF-VMAT	t值	P值
心脏				
V _{5 Gy} (%)	32.19±7.18	34.27±7.29	-2.156	0.048
V _{30 Gy} (%)	1.33±1.07	1.70±1.27	-2.632	0.019
D _{mean} (cGy)	508.50±84.96	587.43±126.48	-2.689	0.017
左肺(患侧肺)				
V _{5 Gy} (%)	52.02±3.80	55.82±3.55	-4.741	<0.001
V _{10 Gy} (%)	37.80±5.53	40.65±4.23	-2.494	0.025
V _{20 Gy} (%)	27.45±4.82	29.19±3.94	-2.058	0.057
D _{mean} (cGy)	1 418.31±136.02	1 516.83±171.71	-2.467	0.026
右肺(健侧肺)				
V _{5 Gy} (%)	12.83±2.57	13.59±3.04	-0.986	0.340
D _{mean} (cGy)	278.43±57.28	294.51±44.58	-0.908	0.378
全肺				
V _{5 Gy} (%)	34.88±3.14	36.96±3.92	-2.156	0.048
V _{10 Gy} (%)	21.23±3.44	22.87±3.92	-2.320	0.035
V _{20 Gy} (%)	12.55±1.93	13.71±1.61	-2.600	0.020
D _{mean} (cGy)	829.55±63.94	919.68±59.36	-3.928	0.001
右乳腺(健侧)				
V _{5 Gy} (%)	23.41±4.06	23.41±3.99	0.001	0.999
D _{mean} (cGy)	425.96±88.41	435.89±92.34	-0.830	0.420
脊髓外放 0.5 cm				
D _{max} (cGy)	2 677.70±471.84	2 681.10±506.08	-0.064	0.950
D _{mean} (cGy)	627.55±159.14	610.19±162.16	1.184	0.255
患者受照剂量				
V _{5 Gy} (%)	25.71±3.74	27.48±3.74	-2.465	0.026

注: FFF 为非均整器; VMAT 为容积旋转调强放疗; FF 为均整器; V_{x Gy} 为≥x Gy 体积占总体积的百分比; D_{mean} 为平均剂量; D_{max} 为最大剂量

3 讨论

乳腺癌术后患者采用 DIBH 技术, 不仅可预防呼吸运动造成的靶区漏照, 还可降低心脏及肺等危及器官的受照剂量^[15]。然而, 由于 DIBH 仅在患者屏气间期直线加速器出束治疗, 会大幅延长治疗时间, 导致很多需要 DIBH 治疗的患者无法耐受^[16]。目前国内各大放疗中心均可开展调强放疗和 VMAT 技术, 采用调强放疗, FFF 通过多叶准直器运动可满足靶区剂量分布的均匀性^[17-18], FFF 模式使加速器输出剂量大幅提高, 可显著缩短放疗照射时间^[10,19]。

我们在左侧乳腺癌改良根治术后患者的 DIBH VMAT 中, 分别采用 FFF 和 FF 模式进行照射, 结果表明 2 种模式下靶区剂量相似, FFF 模式危及器官受照剂量更低, 并且可显著缩短治疗时间。

本研究中 FFF 模式 VMAT 计划与传统 FF 模式均能满足临床治疗要求, 2 种模式靶区覆盖率 D_{2%}、D_{50%} 及 D_{98%} 相似, CI、HI 及 GI 比较差异也均无统计学意义(均 P>0.05), 这与既往相关研究结果一致, FFF 模式与 FF 模式靶区剂量分布无明显差异^[20-21]。

在危及器官保护方面, 本研究 FFF 模式的心脏 V_{5 Gy}、V_{30 Gy}、D_{mean}, 患侧肺 V_{5 Gy}、V_{10 Gy}、D_{mean}, 全肺 V_{5 Gy}、V_{10 Gy}、V_{20 Gy}、D_{mean}, 患者受照剂量的 V_{5 Gy} 均低于 FF 模式, 且差异均有统计学意义(均 P<0.05)。在健侧乳腺、健侧肺及脊髓方面, FFF 模式略优于 FF 模式, 但差异均无统计学意义(均 P>0.05)。有研究表明, 与传统的 FF 模式相比, FFF 模式去除了均整器, 机头内射束特性改变, 减少了散射和机头漏射, 从而降低了照射野外的剂量^[22-23], 因此可更好地保护危及器官及正常组织, 减少全身低剂量照射, 从而降低了二次致癌等并发症发生的概率^[24-25]。特别是对于胸壁较易复发的乳腺癌改良根治术后患者, FFF 射束中低能部分的 X 射线更多, 有利于提高皮肤浅层剂量, 弥补了建成效应造成的剂量不足, 更适用于乳腺癌这种接近体表的靶区^[26]。总之, 与 FF 模式相比, FFF 模式 VMAT 在危及器官的保护方面更具优势。

从机器效率来看, 本研究结果显示, FFF 模式的机器跳数是 FF 模式的 1.32 倍, 但机器出束时间却缩短为 FF 模式的 88.9%, 大大缩短了患者的治疗时间, 这与 Koivumäki 等^[27]的研究结果一致, 虽然 FFF 模式的机器跳数增加, 但出束时间反而减少, 因此 FFF 模式具有更高的机器执行效率。

综上所述, FFF 和 FF 模式 VMAT 2 种计划均能满足临床治疗需求, 2 种计划的靶区剂量分布相似, FFF 模式在危及器官保护方面优于 FF 模式, 尤其在治疗效率方面, 由于 DIBH 延长了治疗时间, FFF 模式的高剂量率可明显缩短 DIBH 的治疗时间, 提高患者的治疗效率和舒适度, 使更多的患者可以耐受 DIBH 治疗, 因此 FFF 模式在左侧乳腺癌改良根治术后患者的 DIBH 临床治疗中有应用

价值, 由于本研究仅纳入了 16 例患者, 数据样本偏小, 不足以提供足够的依据, 后续仍需扩大样本量, 进行更深入的研究。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 柴林燕负责论文的撰写和放疗计划的设计; 王科峰负责数据的统计分析; 范秋红负责数据的记录和分析; 蒙渡负责靶区的勾画; 张晓智负责靶区及放疗计划的审核

参 考 文 献

- [1] Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2018, 68(6): 394–424. DOI: [10.3322/caac.21492](https://doi.org/10.3322/caac.21492).
- [2] Joseph B, Farooq N, Kumar S, et al. Breast-conserving radiotherapy with simultaneous integrated boost; field-in-field three-dimensional conformal radiotherapy versus inverse intensity-modulated radiotherapy — a dosimetric comparison: do we need intensity-modulated radiotherapy?[J]. *South Asian J Cancer*, 2018, 7(3): 163–166. DOI: [10.4103/sajc.sajc_82_18](https://doi.org/10.4103/sajc.sajc_82_18).
- [3] Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group (EBCTCG). Effect of radiotherapy after breast-conserving surgery on 10-year recurrence and 15-year breast cancer death: meta-analysis of individual patient data for 10 801 women in 17 randomised trials[J]. *Lancet*, 2011, 378(9804): 1707–1716. DOI: [10.1016/S0140-6736\(11\)61629-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)61629-2).
- [4] Bartelink H, Horiot JC, Poortmans P, et al. Recurrence rates after treatment of breast cancer with standard radiotherapy with or without additional radiation[J]. *N Engl J Med*, 2001, 345(19): 1378–1387. DOI: [10.1056/NEJMoa010874](https://doi.org/10.1056/NEJMoa010874).
- [5] Abdel-Qadir H, Austin PC, Lee DS, et al. A population-based study of cardiovascular mortality following early-stage breast cancer[J]. *JAMA Cardiol*, 2017, 2(1): 88–93. DOI: [10.1001/jamacardio.2016.3841](https://doi.org/10.1001/jamacardio.2016.3841).
- [6] Sakka M, Kunzelmann L, Metzger M, et al. Cardiac dose-sparing effects of deep-inspiration breath-hold in left breast irradiation: is IMRT more beneficial than VMAT?[J]. *Strahlenther Onkol*, 2017, 193(10): 800–811. DOI: [10.1007/s00066-017-1167-0](https://doi.org/10.1007/s00066-017-1167-0).
- [7] Tang G, Earl MA, Luan S, et al. Comparing radiation treatments using intensity-modulated beams, multiple arcs, and single arcs[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 76(5): 1554–1562. DOI: [10.1016/j.ijrobp.2009.04.003](https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2009.04.003).
- [8] Ha B, Suh HS, Lee J, et al. Long-term results of forward intensity-modulated radiation therapy for patients with early-stage breast cancer[J]. *Radiat Oncol J*, 2013, 31(4): 191–198. DOI: [10.3857/roj.2013.31.4.191](https://doi.org/10.3857/roj.2013.31.4.191).
- [9] Lechner W, Kragl G, Georg D. Evaluation of treatment plan quality of IMRT and VMAT with and without flattening filter using Pareto optimal fronts[J]. *Radiother Oncol*, 2013, 109(3): 437–441. DOI: [10.1016/j.radonc.2013.09.020](https://doi.org/10.1016/j.radonc.2013.09.020).
- [10] Fu GS, Li MH, Song YX, et al. A dosimetric evaluation of flattening filter-free volumetric modulated arc therapy in nasopharyngeal carcinoma[J]. *J Med Phys*, 2014, 39(3): 150–155. DOI: [10.4103/0971-6203.139003](https://doi.org/10.4103/0971-6203.139003).
- [11] Lim TY, Dragojević I, Hoffman D, et al. Characterization of the Halcyon™ multileaf collimator system[J/OL]. *J Appl Clin Med Phys*, 2019, 20(4): 106–114[2021-11-18]. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/acm2.12568>. DOI: [10.1002/acm2.12568](https://doi.org/10.1002/acm2.12568).
- [12] Spruijt KH, Dahele M, Cuijpers JP, et al. Flattening filter free vs flattened beams for breast irradiation[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2013, 85(2): 506–513. DOI: [10.1016/j.ijrobp.2012.03.040](https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2012.03.040).
- [13] Singla R, King S, Albuquerque K, et al. Simultaneous-integrated boost intensity-modulated radiation therapy (SIB-IMRT) in the treatment of early-stage left-sided breast carcinoma[J]. *Med Dosim*, 2006, 31(3): 190–196. DOI: [10.1016/j.meddos.2005.11.001](https://doi.org/10.1016/j.meddos.2005.11.001).
- [14] Paddick I, Lippitz B. A simple dose gradient measurement tool to complement the conformity index[J]. *J Neurosurg*, 2006, 105 Suppl: S194–201. DOI: [10.3171/sup.2006.105.7.194](https://doi.org/10.3171/sup.2006.105.7.194).
- [15] Browne P, Beaton NR, Sharma H, et al. Identifying breast cancer patients who gain the most dosimetric benefit from deep inspiration breath hold radiotherapy[J]. *J Med Radiat Sci*, 2020, 67(4): 294–301. DOI: [10.1002/jmrs.415](https://doi.org/10.1002/jmrs.415).
- [16] 刘穆平, 初磊, 邓煜, 等. 呼吸门控技术以及非均整模式应用于早期非小细胞肺癌小病灶立体定向放疗的优势[J]. *肿瘤预防与治疗*, 2019, 32(8): 707–710. DOI: [10.3969/j.issn.1674-0904.2019.08.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-0904.2019.08.009).
Liu MP, Chu L, Deng Y, et al. Advantages of stereotactic body radiation therapy using flattening filter free techniques and active breathing control for early-stage non-small cell lung cancer with small lesions[J]. *J Cancer Control Treat*, 2019, 32(8): 707–710. DOI: [10.3969/j.issn.1674-0904.2019.08.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-0904.2019.08.009).
- [17] Li CQ, Chen JH, Zhu J, et al. Plan quality comparison for cervical carcinoma treated with Halcyon and Trilogy intensity-modulated radiotherapy[J/OL]. *J Cancer*, 2019, 10(24): 6135–6141[2021-11-18]. <https://www.jcancer.org/v10p6135.htm>. DOI: [10.7150/jca.32500](https://doi.org/10.7150/jca.32500).
- [18] Mancosu P, Castiglioni S, Reggiori G, et al. Stereotactic body radiation therapy for liver tumours using flattening filter free beam: dosimetric and technical considerations[J/OL]. *Radiat Oncol*, 2012, 7: 16[2021-11-18]. <https://ro-journal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1748-717X-7-16>. DOI: [10.1186/1748-717X-7-16](https://doi.org/10.1186/1748-717X-7-16).
- [19] Fu WH, Dai JR, Hu YM, et al. Delivery time comparison for intensity-modulated radiation therapy with/without flattening filter: a planning study[J]. *Phys Med Biol*, 2004, 49(8): 1535–

1547. DOI: [10.1088/0031-9155/49/8/011](https://doi.org/10.1088/0031-9155/49/8/011).
- [20] 贺先桃, 谭军文, 龙雨松, 等. 鼻咽癌 FFF 与 FF 模式下 VMAT 计划剂量学比较[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2018, 27(4): 401-405. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2018.04.014](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2018.04.014).
- He XT, Tan JW, Long YS, et al. Comparison of dosimetric characteristics between flattening-filter-free and flattening filter mode VMAT plans in nasopharyngeal carcinoma[J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2018, 27(4): 401-405. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2018.04.014](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2018.04.014).
- [21] 罗红樱, 周剑良, 单国平, 等. 左侧乳腺癌术后放疗无均整器模式剂量学优势分析[J]. *中国医学物理学杂志*, 2021, 38(3): 281-286. DOI: [10.3969/j.issn.1005-202X.2021.03.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-202X.2021.03.003).
- Luo HY, Zhou JL, Shan GP, et al. Dosimetric advantages of postoperative radiotherapy in flattening filter-free mode for left-sided breast cancer[J]. *Chin J Med Phys*, 2021, 38(3): 281-286. DOI: [10.3969/j.issn.1005-202X.2021.03.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-202X.2021.03.003).
- [22] Lai YQ, Chen YY, Wu SG, et al. Modified volumetric modulated arc therapy in left sided breast cancer after radical mastectomy with flattening filter free versus flattened beams[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(14): e3295. DOI: [10.1097/MD.0000000000003295](https://doi.org/10.1097/MD.0000000000003295).
- [23] 李定杰, 刘如, 杨成梁, 等. 脑肿瘤立体定向放射外科中有无均整器模式剂量学比较[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2020, 29(1): 39-42. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2020.01.009](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2020.01.009).
- Li DJ, Liu R, Yang CL, et al. Dosimetric comparison between non-coplanar volumetric modulated arc therapy using flattening filter and flattening filter-free beams during stereotactic radiosurgery for brain tumors[J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2020, 29(1): 39-42. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2020.01.009](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2020.01.009).
- [24] Pokhrel D, Halfman M, Sanford L. FFF-VMAT for SBRT of lung lesions: improves dose coverage at tumor-lung interface compared to flattened beams[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2020, 21(1): 26-35. DOI: [10.1002/acm2.12764](https://doi.org/10.1002/acm2.12764).
- [25] 张基永, 彭逊. 基于周围型肺癌高剂量率无均整过滤器模式下的 2 种动态适形弧计划比较[J]. *中南大学学报(医学版)*, 2021, 46(6): 615-619. DOI: [10.11817/j.issn.1672-7347.2021.200515](https://doi.org/10.11817/j.issn.1672-7347.2021.200515).
- Zhang JY, Peng X. Comparison of 2 dynamic conformal arc plans based on high-dose rate flattening filter free beams for peripheral lung cancer[J]. *J Cent South Univ: Med Sci*, 2021, 46(6): 615-619. DOI: [10.11817/j.issn.1672-7347.2021.200515](https://doi.org/10.11817/j.issn.1672-7347.2021.200515).
- [26] 吴丽丽, 张基永, 黄宝添, 等. 非均整模式光子线在乳腺癌调强放疗的剂量学评估[J]. *中国医学物理学杂志*, 2017, 34(11): 1086-1090. DOI: [10.3969/j.issn.1005-202X.2017.11.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-202X.2017.11.002).
- Wu LL, Zhang JY, Huang BT, et al. Evaluation of intensity-modulated radiotherapy using flattening filter free photon beams for patients with breast cancer[J]. *Chin J Med Phys*, 2017, 34(11): 1086-1090. DOI: [10.3969/j.issn.1005-202X.2017.11.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-202X.2017.11.002).
- [27] Koivumäki T, Heikkilä J, Väänänen A, et al. Flattening filter free technique in breath-hold treatments of left-sided breast cancer: the effect on beam-on time and dose distributions[J]. *Radiother Oncol*, 2016, 118(1): 194-198. DOI: [10.1016/j.radonc.2015.11.032](https://doi.org/10.1016/j.radonc.2015.11.032).

(收稿日期: 2021-11-19)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

关于论文题目的要求

1. 题名应以准确、简明的词语反映文章中最重要、最特定的内容。一般使用能充分反映论文主题内容的短语, 不必使用具有主、谓、宾结构的完整语句, 最好不用标点符号。中文题名一般不宜超过 20 个汉字。一般不设副题名。确有必要时, 推荐用冒号将副题名与主题名分开; 或者用与主题名字体、字号不同的文字排印副题名, 以示区别。
2. 题名用词应有助于选定关键词和编制题录、索引等。应尽量避免使用非公知公认的缩略语、字符、代号等, 也不应将原形词和缩略语同时列出。题名中的外文人名用原文。
3. 文稿最好独立成篇。有的作者在一个大题目下写多篇文章, 每篇加副题。遇此情况, 建议分别改写为独立的单篇。若一篇文章很长, 需要连载时在题名后注“(续)”或“(续一)”、“(续二)”, 并应在连载的各部分结尾处注“(未完待续)”, 最后部分结尾处注“(完)”。
4. 英文题名应与中文题名含义一致。

本刊编辑部