

多叶准直器角度改变对左侧全乳 大分割放疗瘤床推量的剂量学影响

陈车 陈睿 陆治江 罗德红

(遵义市肿瘤临床医学中心 遵义市第一人民医院(遵义医科大学第三附属医院)放疗中心 遵义 563099)

摘要 研究动态调强放疗方式下多叶准直器角度改变对左侧全乳大分割放疗内侧、中间和外侧瘤床同期推量的剂量学影响。选取2018年01月至2023年01月间于遵义第一人民医院收治的左侧乳腺癌保乳术后行全乳大分割放疗瘤床同期推量患者60例,按瘤床位置分为内侧、中间和外侧3组,分别对比各组患者多叶准直器角度改变的放疗计划(标记为Plan-A)与多叶准直器角度为 0° 的原放疗计划(标记为Plan-O)的靶区、心肺剂量学参数差异。结果显示:3组患者的Plan-A较Plan-O,靶区处方覆盖($V_{\text{处方}}(\%)$)、适形度指数(Conformity Index, CI)和均匀性指数(Homogeneity Index, HI)均无显著差异;在内侧组采用Plan-A相较于Plan-O,左肺(V_5 、 V_{10} 和 D_{mean})、心脏(V_8 和 D_{mean})和冠状动脉左前降支(LAD)(D_{max} 和 D_{mean})均降低,差异有统计学意义($p < 0.05$);同时Plan-A较Plan-O,在中间和外侧组中仅外侧组LAD(D_{max} 和 D_{mean})明显减小($p < 0.05$),其余心肺受量参数均无显著差异。准直器角度改变对左侧全乳大分割放疗瘤床推量靶区剂量学参数无明显影响,但能使内侧组患者的心肺受量较原放疗计划明显减小,故对于左侧大分割单纯全乳放疗内侧瘤床制定放疗计划建议选择改变多叶准直器角度。

关键词 乳腺癌,多叶准直器,大分割放疗,瘤床位置,剂量学

中图分类号 R815, R737.9

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2022-0141

引用该文:

陈车,陈睿,陆治江,等.多叶准直器角度改变对左侧全乳大分割放疗瘤床推量的剂量学影响[J].辐射研究与辐射工艺学报,2023,41(4):040302. DOI: 10.11889/j.1000-3436.2022-0141.

CHEN Che, CHEN Rui, LU Zhijiang, *et al.* Dosimetric effect of multi-leaf collimator angle change on the left-sided breast hypofractionated radiotherapy with simultaneous integrated boost[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2023, 41(4): 040302. DOI: 10.11889/j.1000-3436.2022-0141.



Dosimetric effect of multi-leaf collimator angle change on the left-sided breast hypofractionated radiotherapy with simultaneous integrated boost

CHEN Che CHEN Rui LU Zhijiang LUO Dehong

(Cancer Clinical Medical Center, Radiation Oncology Center, the First People Hospital of Zunyi/
the Third Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563099, China)

基金资助: 遵义市科技计划项目(HZ(2020)103号)资助

第一作者: 陈车,男,1990年01月出生,2016年7月于重庆大学获得硕士学位

通信作者: 罗德红,副主任医师, E-mail: 13985614568@163.com

收稿日期: 初稿 2022-12-28; 修回 2023-04-18

Supported by Zunyi Science and Technology Plan Project (HZ(2020)103)

First author: CHEN Che (male) was born in January 1990, and graduated from Chongqing University in July 2016

Corresponding author: LUO Dehong, associate chief physician, E-mail: 13985614568@163.com

Received 28 December 2022; accepted 18 April 2023

ABSTRACT This study aimed to evaluate the effects of multi-leaf collimator angle change on the dosimetric parameters of the medial, central, and lateral tumor bed boost in hypofractionated left whole-breast irradiation with dynamic multi-leaf collimator technology. Sixty patients with early breast cancer following conservative surgery who underwent hypofractionated radiotherapy with tumor bed boost were enrolled from The First People's Hospital of Zunyi between January 2018 and January 2023. All patients were classified into three groups according to the location of the tumor bed: medial, central, and lateral. The differences in target volume and cardiopulmonary dosimetric parameters between the plan of multi-leaf collimator angle change (labeled as Plan-A) and the original plan of 0° multi-leaf collimator angle (labeled as Plan-O) were compared in each group. The results did not show any significant differences in the coverage of the target prescription, conformability index, and homogeneity index between Plan-A and Plan-O of the three groups. In the medial group, the left lung V_5 , V_{10} , and D_{mean} ; heart V_8 and D_{mean} ; and left anterior descending artery (LAD) D_{max} and D_{mean} of Plan-A were significantly lower than those of Plan-O ($p < 0.05$). Meanwhile, in the central and lateral groups, only the LAD D_{max} and D_{mean} of Plan-A decreased significantly in the lateral group, and no differences were observed in other cardiopulmonary parameters compared to those in Plan-O ($p < 0.05$). In conclusion, the change in collimator angle did not have a significant effect on the target dosimetric parameters of hypofractionated radiotherapy with tumor bed boost for the left breast. On the contrary, it could significantly reduce the cardiopulmonary dose in the medial group compared to the original radiotherapy plan. Given this information, it is recommended to change the multi-leaf collimator angle for the radiotherapy plan of the medial tumor bed group in left whole-breast hypofractionated radiotherapy.

KEYWORDS Breast cancer, Multi-leaf collimator, Hypofractionated radiotherapy, Tumor bed location, Dosimetry

CLC R815, R737.9

近年来,放射治疗技术已经在乳腺癌的各个阶段得到了较大的发展^[1],使得早期乳腺癌保乳术后辅助全乳放疗大分割方式在临床实践中优势愈发明显^[2-3]。但因瘤床形状、体积及位置的复杂多样性等因素给乳腺癌放疗计划带来极大的挑战;同时由于瘤床推量最佳年龄段、方式及分割次数等仍未确定,使得全乳大分割放疗瘤床同期推量方式尚存较大争议^[4]。多叶准直器是现代调强放射治疗精确实施的关键部件^[5],动态调强放疗技术就是利用多叶准直器叶片的相对运动来实现射线强度的调节,其中包括调整准直器角度的方法。目前,针对不同瘤床位置来调整优化全乳放疗计划的研究还很少。

本研究选取心肺限量控制难度相对较大的左侧乳腺癌全乳大分割瘤床同期推量放疗患者:通过对比多叶准直器角度改变的动态调强计划(Plan-A)和多叶准直器角度保持0°的原动态调强计划(Plan-O)的剂量学参数,以明晰左侧全乳大分割放疗瘤床同期推量Plan-A较Plan-O剂量学的优劣,为不同瘤床位置乳腺癌通过调整多叶准直器角度改善放疗计划提供参考。

1 资料与方法

1.1 临床资料

收集了遵义市第一人民医院2018年01月至2023年01月间收治的早期浸润性乳腺癌患者共60例。纳入标准:左侧乳腺癌单纯全乳大分割放疗瘤床同期推量患者,临床TNM分期为pT₁₋₂N₀M₀I_A、II_A期(AJCC第8版分期);KPS评分≥80分;双侧上臂满足治疗体位的需要患者。所有患者或家属均知情同意且签署了《放疗知情同意书》,经本院伦理委员会审核通过(伦审(2023)—001号)。排除标准:有放疗史,双侧乳腺癌,乳房假体植入,以及肩膀活动受限患者。该60例患者中位年龄49岁(26~74岁),根据其瘤床位置的CT横断面,以乳头乳晕为中心标志划分三组分别为:内侧、中间以及外侧瘤床组,各20例。

1.2 CT定位和靶区、心肺勾画

60例患者均采用乳腺托架固定的仰卧体位,适当调整托架板高度使胸壁走行与定位机床面平行,患侧上臂充分上举以及头略偏健侧,并记录乳腺托架数据。定位CT扫描范围从颈下到膈下

5 cm, 层厚 5 mm。由同一副主任医师在 Monaco 工作站手动勾画肿瘤靶区(GTV)、临床靶区(CTV)和心肺器官: GTV参考术前影像资料、术中放置的钛夹标记、术后血清肿、铅丝标记的瘢痕等决定; CTV上界不超过胸锁关节, 下界至已无乳腺隆起处, 内界不超过胸肋关节, 外界不超过腋中线, 前界为皮下 0.4 cm, 后界为胸大肌筋膜、肋骨及肋间肌前方; 计划肿瘤靶区(PGTV)在 GTV 基础上各方向均扩 1 cm, 收至 PTV 内; 计划靶区(PTV)在 CTV 基础上各方向外扩 0.5 cm, 前界收至皮下 0.3 cm。肺在肺窗下自肺尖勾画至肺底; 心脏自肺动脉干分叉下一层开始勾画, 止于横膈顶心尖部。LAD 沿着左心室和右心室之间的室间沟走行。

1.3 计划设计与评估

采用瑞典医科达 Precise 型医用直线加速器 6 MV 能量光子线和 MLCi2 型多叶准直器, 通过 Monaco5.11 治疗计划系统进行设计。采用 6 个射野顺时针共面布置, 角度分布与肺边缘大致相切, 前 3 个射野位于靶区上方均错开 15°, 后 3 个射野位于靶区下方均错开 15°, 所有计划均给予相同的目标函数等优化条件设计。多叶准直器角度保持为 0°的原计划即临床计划, 标记为 Plan-O, 如图 1 (a) 所示; 多叶准直器角度改变为平行于靶区 PTV 长轴动态调强计划, 标记为 Plan-A, 如图 1 (b) 所示。

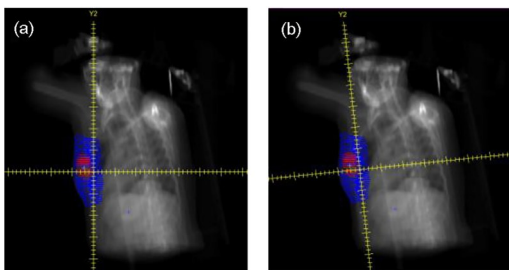


图 1 多叶准直器角度为 0°:(a)和平行于 PTV 长轴; (b)PTV-蓝色, PGTV-红色(彩色见网络版)

Fig.1 Multi-leaf collimator with 0°: (a) and parallel to the long axis of PTV; (b) PTV-blue, PGTV-red (color online)

通过治疗计划的剂量体积直方图(DVH)进行比较相应参数。(1)靶区参数: a)靶区处方剂量为 PGTV 48 Gy/15f 与 PTV 40.5 Gy/15f, 衡量靶区处方覆盖 $V_{\text{处方}}(\%)$; b)靶区与参考等剂量曲面的适形程度参数 CI (I_c), $I_c = V_{\text{Tref}}^2 / (V_T \times V_{\text{ref}})$, 其中, V_{Tref} 为处方剂量曲线包绕的靶区体积; V_T 为靶区体积; V_{ref} 为处方剂量曲线包绕的所有区域的体积。c)靶区内剂量的均匀性参数 HI (I_H), $I_H = D_{5\%} / D_{95\%}$, 其中, $D_{5\%}$ 为 5% 靶区体积受到的照射剂量; $D_{95\%}$ 为 95% 靶区受到的照射剂量。(2)心肺危及器官限量: a)左肺 ($V_5 < 50\%$ 、 $V_{10} < 40\%$ 、 $D_{\text{mean}} < 13 \text{ Gy}$); b)心脏不同剂量水平 ($V_8 < 25\%$ 、 $D_{\text{mean}} < 6.5 \text{ Gy}$)、冠状动脉左前降支 LAD $D_{\text{max}} < 40 \text{ Gy}$ 和 $D_{\text{mean}} < 20 \text{ Gy}$ 。

1.4 统计学处理

应用统计学软件 SPSS16.0 对数据进行分析, 结果以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。研究采用 F 检验对内侧、中间和外侧瘤床组三组间的 PGTV 与 PTV 体积差异进行比较, 同时应用配对 t 检验分别对各组 Plan-A 和 Plan-O 的剂量差异进行比较, $p < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果与讨论

2.1 靶区剂量比较

通过 F 检验对比分析, 得到三组间 PGTV 和 PTV 体积差异均无统计学意义 ($p > 0.05$), 具备临床可比性(表 1)。所有患者的 Plan-A 和 Plan-O 设计均能实现 >95% 处方剂量曲线对计划靶区的覆盖, 满足临床要求(表 2)。

通过分析 DVH 统计数据发现: 内侧组、中间组和外侧组 Plan-A 较 Plan-O, 放疗计划的 PGTV 与 PTV 的 $V_{\text{处方}}(\%)$ 无明显差异 ($p > 0.05$); 同时这两组计划的靶区 CI 与 HI 结果相似 ($p > 0.05$)。因此, 多叶准直器角度改变的放疗计划与原计划的靶区覆盖、适形性和均匀性差异较小即多叶准直器角度改变并未对各组靶区剂量学参数产生明显影响。

表 1 PGTV 和 PTV 体积
Table 1 Volume of PGTV and PTV (cm³)($\bar{x} \pm s$)

	内侧瘤床 Medial tumor bed	中间瘤床 Central tumor bed	外侧瘤床 Lateral tumor bed	F	p
PGTV	62.95±37.17	56.14±16.79	63.24±29.34	0.38	0.68
PTV	664.30±219.41	679.56±302.47	657.42±237.91	0.04	0.96

表2 靶区剂量学参数比较
Table 2 Comparison for target dosimetry parameters ($\bar{x} \pm s$)

参数 Parameter	内侧瘤床 Medial tumor bed			中间瘤床 Central tumor bed			外侧瘤床 Lateral tumor bed		
	Plan-A	Plan-O	<i>p</i>	Plan-A	Plan-O	<i>p</i>	Plan-A	Plan-O	<i>p</i>
PGTV $V_{\text{处方}}/\%$	96.68±1.17	96.70±1.13	0.92	98.22±1.18	98.19±1.03	0.83	98.37±1.05	98.41±1.16	0.70
CI	0.52±0.08	0.52±0.07	0.93	0.53±0.07	0.53±0.06	0.57	0.56±0.09	0.56±0.09	0.73
HI	1.06±0.01	1.06±0.01	0.72	1.05±0.01	1.05±0.01	0.58	1.05±0.01	1.05±0.01	0.67
PTV $V_{\text{处方}}/\%$	96.97±1.20	97.21±1.19	0.12	96.95±0.84	97.11±0.85	0.11	96.91±1.05	97.11±1.00	0.28
CI	0.75±0.06	0.75±0.06	1.00	0.77±0.06	0.77±0.06	0.07	0.77±0.05	0.77±0.05	0.48
HI	1.21±0.01	1.22±0.01	0.49	1.21±0.01	1.21±0.01	0.65	1.21±0.02	1.21±0.01	0.33

2.2 心肺受量比较

基于 Plan-A 与 Plan-O 放疗计划靶区剂量学差异较小, 进一步对比 60 例患者两种计划的心肺受量发现: 与 Plan-O 计划相比, 在内侧组和外侧组采用 Plan-A 使得左侧肺 V_5 、 V_{10} 和 D_{mean} 均降低, 但左侧肺受量差异仅在内侧组时有统计学意义 ($p < 0.05$); 而中间组采用 Plan-A 反而增加左肺 V_5 、 V_{10} 和 D_{mean} , 差异无统计学意义 ($p > 0.05$)。故内侧和外侧组采用 Plan-A 在降低左肺 V_5 、 V_{10} 和 D_{mean} 方面

要优于 Plan-O, 其中在内侧组时优势更为明显 (表3)。

同时, 还发现在内侧组时 Plan-A 的心脏 V_8 和 D_{mean} 均低于 Plan-O, 差异有统计学意义 ($p < 0.05$); 而在中间组和外侧组时 Plan-A 相较于 Plan-O, 心脏 V_8 和 D_{mean} 差异不明显 ($p > 0.05$)。此外, 在内侧与外侧瘤床组中, Plan-A 的 LAD D_{max} 和 D_{mean} 参数小于 Plan-O, 差异均有统计学意义 ($p < 0.05$)。综合得出, 同样只有在内侧组采用 Plan-A 较 Plan-O 对保护心脏及 LAD 优势最为明显, 见表4。

表3 左肺受照剂量比较
Table 3 Dose comparison for the left lung ($\bar{x} \pm s$)

参数 Parameter	内侧瘤床 Medial tumor bed			中间瘤床 Central tumor bed			外侧瘤床 Lateral tumor bed		
	Plan-A	Plan-O	<i>p</i>	Plan-A	Plan-O	<i>p</i>	Plan-A	Plan-O	<i>p</i>
$V_5/\%$	51.14±6.12	52.43±5.63	0.005	46.12±3.12	45.93±3.43	0.68	45.60±6.22	46.15±6.21	0.31
$V_{10}/\%$	38.07±6.31	39.06±6.33	0.01	31.33±3.03	31.29±2.85	0.93	33.23±6.19	33.72±6.27	0.32
$D_{\text{mean}}/\text{Gy}$	11.10±1.53	11.35±1.57	0.02	9.98±0.61	9.87±0.75	0.21	9.85±1.36	10.07±1.31	0.07

表4 心脏及LAD受照剂量比较
Table 4 Dose comparison for the heart and LAD ($\bar{x} \pm s$)

参数 Parameter	内侧瘤床 Medial tumor bed			中间瘤床 Central tumor bed			外侧瘤床 Lateral tumor bed		
	Plan-A	Plan-O	<i>p</i>	Plan-A	Plan-O	<i>p</i>	Plan-A	Plan-O	<i>p</i>
Heart $V_8/\%$	22.22±7.04	22.78±7.65	0.01	19.77±7.23	19.76±7.04	0.95	17.93±3.54	17.91±3.48	0.95
$D_{\text{mean}}/\text{Gy}$	6.30±2.32	6.52±2.49	0.02	5.36±1.51	5.37±1.46	0.81	5.14±1.06	5.22±1.03	0.23
LAD D_{max}/Gy	30.11±10.43	31.12±9.87	0.02	25.00±11.88	25.53±11.17	0.07	29.07±7.62	29.63±7.57	0.004
$D_{\text{mean}}/\text{Gy}$	20.25±7.16	20.93±7.01	0.005	18.05±8.19	17.76±7.05	0.62	18.38±6.78	18.86±6.80	0.001

2.3 讨论

左侧乳腺癌患者心脏在解剖学上接近靶区, 相较于右侧乳腺癌患者更容易发生放射性心脏损伤, 而乳腺癌瘤床形状与位置的复杂多样性增加了放疗计划制定难度^[6-9]。以往研究大多数致力于

通过变换射线性质^[10-11] 和改善放疗技术^[12-13] 以优化乳腺癌放疗计划。常规动态调强技术方式下多叶准直器角度处于 0°, 于是有一些研究者发现, 适当调整多叶准直器角度对放疗计划质量有较大影响^[14-18]。调整多叶准直器角度的设计已经在一

些病种里面得到很好实践，比如鼻咽癌、肺癌、宫颈癌和前列腺癌等，不仅提高了计划质量，而且降低相关特定危及器官的照射量^[19-22]。陈恩乐等^[23]在10例食管癌放疗计划通过相同方式改变多叶准直器角度使其平行于靶区长轴可提升计划效率，但在靶区剂量和危及器官受量上未做详细叙述。目前虽有不少关于乳腺癌放射治疗中通过调整准直器来优化放疗计划的尝试和结论，但是在具体乳腺癌保乳术后瘤床同期推量大分割放射治疗设计中多叶准直器角度的设置仍然没有一定标准。研究中多叶准直器角度调整为平行于PTV长轴的设置，也使得多叶准直器运动方向与PTV长轴垂直，减少了心肺等危及器官优化区域体积和多叶准直器运动距离，但是针对不同瘤床位置同期推量全乳放疗中多叶准直器的角度改变产生的剂量学差异犹未可知。

研究选取60例左侧全乳大分割放疗瘤床同期推量患者，以原发肿瘤所在位置分为内侧、中间和外侧三组，对比分析三组各自的Plan-A与其原计划Plan-O靶区剂量参数、左肺和心脏照射量的差异。研究结果表明：动态调强方式下，多叶准直器角度的改变放疗计划即Plan-A较原计划Plan-O靶区剂量参数差异较小，原因可能是选取的60例患者计划都是采用两侧切线野布置，准直器角度改变基本上在5°左右的范围，其改变幅度较小使得计划系统只需稍稍调整射线束即可达到优化目标，所以使得Plan-A与Plan-O的靶区剂量参数差异性并不大；这与顾恒乐等^[24]在准直器角度对食管癌的剂量学影响研究中发现准直器角度0°与5°的靶区剂量学差异不明显的结果相一致。而准直器的角度改变使得多叶准直器的凹槽形状与靶区边缘更贴合，使得多叶准直器效率增加以及计划跳数的减少^[23]，继而使得散射线及漏射线减小，最终降低了患侧肺低剂量范围 V_5 、 V_{10} 及 D_{mean} ；且内侧瘤床组准直器角度改变使得漏散射线减小更为明显，使得患侧肺的 V_5 、 V_{10} 及其 D_{mean} 较原计划有相对明显的降低。同时，内侧瘤床的位置靠近心脏极易使得心脏受到照射损伤，所以其位置的特殊性一直是临床关注的重点；由本研究结果知道，同样的限制条件下通过准直器角度的改变来降低放疗对心脏的散射，因此降低了内侧瘤床组心脏 V_8 及 D_{mean} 以及LAD的照射量；而在中间瘤床组准直器角度改变可能增加对心脏的散射量，反而略微增加心脏的受量，此时采用准直器角度改

变计划不利于心脏的保护；由于瘤床位置远离心脏使得外侧瘤床准直器角度改变对心脏受量影响较小。由此可见，三组患者的调强放疗计划均未因多叶准直器角度改变造成靶区剂量覆盖率的明显降低或者增大，也并未造成靶区适形性和均匀度的明显下降；进一步分析得出多叶准直器角度改变的动态调强计划较原计划在三组中心肺受量差异有所不同，特别是在内侧组时，选择多叶准直器角度改变能明显减少心肺的受量，这说明在内侧瘤床时多叶准直器角度改变才有较大剂量学优势。研究选取60例患者均基于相同的6个照射野于两侧相切照射、特定的目标优化函数以及科室所配置的硬件设备来对比准直器角度改变对计划剂量学参数的影响，有一定的局限性。

3 结论

研究了多叶准直器角度改变对左侧全乳大分割放疗三组瘤床同期推量剂量学影响：（1）多叶准直器角度改变对靶区处方覆盖、CI和HI参数影响较小；（2）在内侧瘤床推量情况下，多叶准直器角度改变能明显减小心肺的照射，具有较大剂量学优势，值得临床推广。

作者贡献声明 陈车负责数据采集和论文撰写；陈睿、陆治江协助完成病例搜集及数据分析；罗德红指导论文修改。全体作者都阅读并同意最终的文本。

参考文献

- 1 Shah C, Bauer-Nilsen K, McNulty R H, *et al.* Novel radiation therapy approaches for breast cancer treatment [J]. *Seminars in Oncology*, 2020, 47(4): 209-216. DOI: 10.1053/j.seminoncol.2020.05.003.
- 2 Andrade T R M, Fonseca M C M, Segreto H R C, *et al.* Meta-analysis of long-term efficacy and safety of hypofractionated radiotherapy in the treatment of early breast cancer[J]. *The Breast*, 2019, 48: 24-31. DOI: 10.1016/j.breast.2019.08.001.
- 3 Kim D Y, Park E, Heo C Y, *et al.* Hypofractionated versus conventional fractionated radiotherapy for breast cancer in patients with reconstructed breast: Toxicity analysis[J]. *The Breast*, 2021, 55: 37-44. DOI: 10.1016/j.breast.2020.11.020.
- 4 Yu T, Li Y K, Sun T, *et al.* A comparative study on hypofractionated whole-breast irradiation with sequential

- or simultaneous integrated boost on different positions after breast-conserving surgery[J]. *Scientific Reports*, 2021, **11**: 18017. DOI: 10.1038/s41598-021-97520-z.
- 5 Sastre-Padro M, Welleweerd J, Malinen E, *et al.* Consequences of leaf calibration errors on IMRT delivery [J]. *Physics in Medicine and Biology*, 2007, **52**(4): 1147-1156. DOI: 10.1088/0031-9155/52/4/019.
- 6 Michalski A, Atyeo J, Cox J, *et al.* A dosimetric comparison of 3D-CRT, IMRT, and static tomotherapy with an SIB for large and small breast volumes[J]. *Medical Dosimetry*, 2014, **39**(2): 163-168. DOI: 10.1016/j.meddos.2013.12.003.
- 7 Masannat Y A, Lazaraviciute G, Garbett I K, *et al.* The relationship between cardiac dosimetry and tumour quadrant location in left sided whole breast and chest wall adjuvant radiotherapy[J]. *Breast Disease*, 2021, **41**(1): 67-74. DOI: 10.3233/bd-201025.
- 8 Bouchardy C, Rapiti E, Usel M, *et al.* Excess of cardiovascular mortality among node-negative breast cancer patients irradiated for inner-quadrant tumors[J]. *Annals of Oncology*, 2010, **21**(3): 459-465. DOI: 10.1093/annonc/mdp341.
- 9 Bräutigam E, Track C, Seewald D H, *et al.* Medial tumor localization in breast cancer — an unappreciated risk factor? [J]. *Strahlentherapie Und Onkologie*, 2009, **185**(10): 663-668. DOI: 10.1007/s00066-009-1984-x.
- 10 Fekete G, Újrhidy D, Együd Z, *et al.* Partial breast radiotherapy with simple teletherapy techniques[J]. *Medical Dosimetry*, 2015, **40**(4): 290-295. DOI: 10.1016/j.meddos.2015.03.006.
- 11 Abo-Madyan Y, Polednik M, Rahn A, *et al.* Improving dose homogeneity in large breasts by IMRT[J]. *Strahlentherapie Und Onkologie*, 2008, **184**(2): 86-92. DOI: 10.1007/s00066-008-1730-9.
- 12 Kim M J, Park S H, Son S H, *et al.* Comparison study of the partial-breast irradiation techniques: Dosimetric analysis of three-dimensional conformal radiation therapy, electron beam therapy, and helical tomotherapy depending on various tumor locations[J]. *Medical Dosimetry*, 2013, **38**(3): 327-331. DOI: 10.1016/j.meddos.2013.03.004.
- 13 潘香, 杨毅, 侯宇, 等. 基于 Monaco 的不同布野方式在左乳腺癌保乳术后调强放疗中的剂量学差异[J]. *实用临床医药杂志*, 2021, **25**(1): 1-5. DOI: 10.7619/jcmp.20200621.
- PAN Xiang, YANG Yi, HOU Yu, *et al.* Dosimetric differences of different radiation modes based on Monaco in postoperative intensity modulated radiotherapy of patients with left breast-conserving surgery for breast cancer[J]. *Journal of Clinical Medicine in Practice*, 2021, **25**(1): 1-5. DOI: 10.7619/jcmp.20200621.
- 14 LoSasso T. IMRT delivery performance with a varian multileaf collimator[J]. *International Journal of Radiation Oncology*Biography*Physics*, 2008, **71**(1): S85-S88. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2007.06.082.
- 15 Okumura M, Obata Y, Shimomura K, *et al.* The effect of gantry and collimator angles on leaf limited velocity and position in dynamic multileaf collimator intensity-modulated radiation therapy[J]. *Physics in Medicine and Biology*, 2010, **55**(11): 3101-3113. DOI: 10.1088/0031-9155/55/11/008.
- 16 李长虎, 张春莉, 徐利明, 等. 多叶准直器角度因素对调强放疗计划实施效率的影响[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2013, **22**(6): 482-484. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2013.06.016.
- LI Changhu, ZHANG Chunli, XU Liming, *et al.* The influence of multileaf collimator angle on delivery efficiency for IMRT treatment[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2013, **22**(6): 482-484. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2013.06.016.
- 17 王升晔, 杜向慧, 陈明. 减少乳腺癌心脏照射剂量的放疗技术研究进展[J]. *影像研究与医学应用*, 2019, **3**(23): 1-5.
- WANG Shengye, DU Xianghui, CHEN Ming. Techniques to reduce the cardiac dose in breast cancer radiotherapy[J]. *Journal of Imaging Research and Medical Applications*, 2019, **3**(23): 1-5.
- 18 张桂芳, 卢洁, 马长升, 等. 直线加速器二级准直器在乳腺癌根治术后调强放疗计划中的应用[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2017, **37**(8): 594-598. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.08.006.
- ZHANG Guifang, LU Jie, MA Changsheng, *et al.* Application of liner-accelerator two-degrade collimator in the treatment of breast cancer after radical mastectomy with intensity-modulated radiotherapy[J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2017, **37**(8): 594-598. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.08.006.
- 19 解小丽, 翟小娟. 调整次级准直器对鼻咽癌放疗剂量分布的影响[J]. *中国医疗器械信息*, 2020, **26**(8): 42-43. DOI: 10.15971/j.cnki.cmdi.2020.08.022.
- XIE Xiaoli, ZHAI Xiaojuan. The impact of collimator for

- nasopharyngeal carcinoma in radiotherapy[J]. China Medical Device Information, 2020, **26**(8): 42-43. DOI: 10.15971/j.cnki.cmdi.2020.08.022.
- 20 王学敏, 毛惠会, 常晓斌, 等. 准直器角度对肺癌SBRT-VMAT 治疗计划的影响[J]. 现代肿瘤医学, 2021, **29**(6): 1005-1008. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4992.2021.06.021. WANG Xuemin, MAO Huihui, CHANG Xiaobin, *et al.* Effects of collimator angle on stereotactic body radiation therapy-volumetric modulated arc therapy in lung cancer [J]. Journal of Modern Oncology, 2021, **29**(6): 1005-1008. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4992.2021.06.021.
- 21 林建海, 傅志超, 骆华春, 等. 宫颈癌放疗中多叶准直器角度改变对放疗过程的影响[J]. 现代肿瘤医学, 2019, **27**(23): 4256-4258. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4992.2019.23.030. LIN Jianhai, FU Zhichao, LUO Huachun, *et al.* The effects of angle change of multileaf collimator on dose distribution in cervical cancer radiation therapy[J]. Journal of Modern Oncology, 2019, **27**(23): 4256-4258. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4992.2019.23.030.
- 22 曹征, 李红霞, 鲍杨漪. 前列腺癌调强计划改变多叶准直器角度对直肠和膀胱剂量的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2010, **27**(3): 1844-1847. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2010.03.006. CAO Zheng, LI Hongxia, BAO Yangyi. The impact of change angle of multi-leaf collimator on the dose distribution of the intensity-modulated radiation therapy plan for prostate cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2010, **27**(3): 1844-1847. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2010.03.006.
- 23 陈恩乐, 吴魁, 董事, 等. 改变多叶准直器角度对调强放疗计划效率的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2015, **32**(3): 437-439. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2015.03.030. CHEN Enle, WU Kui, DONG Shi, *et al.* Impacts of the angle of multi- leaf collimator on efficiency of intensity-modulated radiation therapy[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2015, **32**(3): 437-439. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2015.03.030.
- 24 顾恒乐, 王昊, 陈华, 等. 准直器角度对胸上段食管癌容积旋转调强放疗剂量的影响[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2016, **36**(7): 505-508. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2016.07.006. GU Hengle, WANG Hao, CHEN Hua, *et al.* Dosimetric impact of collimator angles on VMAT planning for upper thoracic esophageal carcinoma[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2016, **36**(7): 505-508. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2016.07.006.