

• 临床研究 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.16.009

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240430.1105.008\(2024-04-30\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240430.1105.008(2024-04-30))

乳腺癌根治术后 VMAT 大分割放疗的剂量学分析及疗效研究^{*}

庄雅靖,王 宁,郭燕陶,廖平燕,刘晓东,孙海涛,陆源远,刘祥辰,黄国森[△]

(中山市中医院放疗科,广东中山 528400)

[摘要] **目的** 探讨乳腺癌根治术后容积弧形调强放疗(VMAT)大分割放疗与调强适形放疗技术(IMRT)常规分割放疗的有效性及安全性。**方法** 选取 2021 年 3 月 1 日至 2021 年 12 月 30 日该院收治的 85 例乳腺癌改良根治术患者为研究对象,按照随机数字表法分为 VMAT 组($n=41$)与 IMRT 组($n=42$)。VMAT 组采用 VMAT 大分割放疗,单次分割剂量 2.9 Gy/次,放疗总剂量 43.5 Gy/15 次;IMRT 组采用 IMRT 常规分割放疗,单次分割剂量 2.0 Gy/次,放疗总剂量 50.0 Gy/25 次。比较两组计划靶区 V_{95} 、 V_{110} 、适形指数、均匀指数、治疗时间,以及患侧肺 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 、平均剂量(D_{mean}),肱骨头 D_{mean} 和心脏 V_{30} 、 D_{mean} 。同时比较两组肿瘤局部复发、远处转移、无病生存及急性、慢性放射性损伤发生情况。**结果** 与 IMRT 组比较,VMAT 组 V_{95} 更高, V_{110} 、均匀指数更低,治疗时间更短,患侧肺 V_5 、 D_{mean} 及患侧肱骨头 D_{mean} 更低,患侧肺 V_{30} 更高,左侧乳腺癌的心脏 V_{30} 更低,右侧乳腺癌的心脏 D_{mean} 更低,差异有统计学意义($P<0.05$)。研究对象全部生存,无局部复发,两组远处转移率、无病生存率比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。随访 12 个月,两组 I~II 级急性放射性皮炎、放射性食管炎和慢性放射性皮炎、放射性肺炎发生率比较,差异无统计学意义($P>0.05$),VMAT 组 I~II 级肩关节功能障碍发生率低于 IMRT 组,差异有统计学意义($P<0.05$)。两组均无 II 级以上急、慢性放射性损伤发生。**结论** 乳腺癌改良根治术后 VMAT 大分割放疗有效、安全。

[关键词] 乳腺癌改良根治术;容积弧形调强放疗技术;大分割放疗;调强适形放疗技术;常规分割放疗;剂量学

[中图法分类号] R737.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2024)16-2448-05

Study on dosimetric analysis and efficacy of VMAT hypofractionated radiotherapy after breast cancer radical operation^{*}

ZHUANG Yajing, WANG Ning, GUO Yantao, LIAO Pingyan, LIU Xiaodong, SUN Haitao,

LU Yuanyuan, LIU Xiangchen, HUANG Guosen[△]

(Department of Radiotherapy, Zhongshan Municipal Hospital of Traditional Chinese Medicine, Zhongshan, Guangdong 528400, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the effectiveness and safety of volumetric modulated arc therapy (VMAT) hypofractionated radiotherapy and intensity modulated conformal radiotherapy technique (IMRT) conventional fractionated radiotherapy after breast cancer radical operation. **Methods** Eighty-five patients with breast cancer modified radical operation admitted and treated in this hospital from March 1, 2021 to December 30, 2021 were selected as the research subjects and divided into the VMAT group ($n=41$) and the IMRT group ($n=42$) according to the random number table method. The VMAT group adopted the hypofractionated radiotherapy, with the single fractionated dose of 2.9 Gy/frequency and radiotherapeutic total dose of 43.5 Gy/15 frequencies; the IMRT group adopted the IMRT conventional fractionated radiotherapy, with the single fractionated dose of 2.0 Gy/frequency and radiotherapeutic total dose of 50.0 Gy/25 frequencies. The planning target region V_{95} , V_{110} , conformity index, homogeneity index, treatment time, V_5 , V_{20} , V_{30} , average dose (D_{mean}) in the affected side lung, humeral head D_{mean} and heart V_{30} , D_{mean} were compared between the two groups. Meanwhile, local recurrence, distant metastasis, disease-free survival and acute and chronic radiation injury were compared between the two groups. **Results** Compared with the IMRT group, V_{95} in the VMAT was higher, V_{110} and homogeneity index were lower, the treatment time was shorter, V_5 in the affected lung, D_{mean} and D_{mean} in the affected humeral head were lower, V_{30} in the affected lung was higher, heart V_{30} in the

^{*} 基金项目:广东省中山市医学科研项目(2021J201)。 [△] 通信作者, E-mail: 2364031470@qq.com。

left side breast cancer was lower, heart D_{mean} in the right side breast cancer was lower, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). All patients survived without local relapse. The distant metastasis rate and disease free survival rate had no statistical difference between the two groups ($P > 0.05$). Follow up lasted for 12 months, the incidence rates of grade I – II acute radiodermatitis, radiation esophagitis, chronic radiodermatitis and radiation pneumonia had no statistical differences between the two groups ($P > 0.05$). The incidence rate of grade I – II shoulder dysfunction in the VMAT group was lower than that in the IMRT group with statistical difference ($P < 0.05$). No grade II and above acute and chronic radiation injury in the two groups occurred. **Conclusion** VMAT hypofractionated radiotherapy after breast cancer radical operation is safe and effective.

[Key words] modified radical operation for breast cancer; volumetric modulated arc therapy; hypofractionated radiotherapy; intensity modulated radiotherapy; conventional fractionated radiotherapy; dosimetry

乳腺癌是女性发病率最高的恶性肿瘤^[1-2],放疗是乳腺癌最主要的治疗方法之一^[3],乳腺癌根治术后辅助性放化疗可降低肿瘤局部复发、远处转移及延长患者的总生存时间^[4]。目前临床治疗指南推荐有放疗适应证的乳腺癌根治术后使用常规分割放射治疗^[5],大多数乳腺癌患者经手术、多程化疗后容易合并焦虑、抑郁等心理状态,常规分割放疗有疗程较长且住院周期长、治疗费用高的缺点。目前有很多关于大分割放疗的研究日趋成熟并运用到临床实践中,而现有的研究采用的放疗技术大多为二维适形放疗(two dimension-conventional radiotherapy, 2D-CRT)、三维适形放疗(three dimension-conventional radiotherapy, 3D-CRT)和调强适形放疗(intensity modulated radiotherapy, IMRT),而容积弧形调强放疗(volumetric modulated arc therapy, VMAT)鲜有报道。本研究利用 VMAT 对乳腺癌根治术后进行大分割放射治疗,并与 IMRT 常规分割放疗进行疗效、急慢性放射性损伤比较,旨在通过使用 VMAT 优化放疗计划设计,提升治疗靶区剂量的准确性及均匀性并保护危及器官,从而提高疗效和减少放射性损伤,让患者有治疗获益的同时,有效缩短住院时间并提高医疗资源的利用率,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2021 年 3 月 1 日至 2021 年 12 月 30 日本院收治的 85 例乳腺癌改良根治术患者为研究对象。纳入标准:(1)18~70 岁;(2)符合美国国立综合癌症网络(National Comprehensive Cancer Network, NCCN)乳腺癌临床实践指南的乳腺癌改良根治术后的放疗指征;(3)Karnofsky 功能状态(Karnofsky performance status, KPS)评分 ≥ 70 分;(4)病理为浸润性腺癌;(5)具有乳腺癌局部及区域淋巴结复发的高危因素:T3~4、切缘阴性(>1 mm)、腋窝淋巴结转移数 ≥ 4 个(若是术前行新辅助化疗患者,临床分期为Ⅲ期或病理证实有阳性淋巴结者也可入组);(6)所有患者知情同意。排除标准:(1)既往有胸壁或淋巴结区

域放疗史者;(2)有双侧乳腺癌患者;(3)有锁骨上、内乳淋巴结转移、胸壁残留、远处转移者。本研究经医院伦理委员会批准[审批号:2021ZSZY-LLK-(005-127)],符合《赫尔辛基宣言》要求。

1.2 方法

1.2.1 治疗方案

所有患者均接受乳腺癌改良根治术,围手术期予以 6~8 个周期化疗,辅助化疗方案相同或类似,化疗/手术结束 2~4 周后开始接受辅助放疗,其中激素受体阳性者接受辅助内分泌治疗,人表皮生长因子受体 2(human epidermal growth factor receptor 2, HER2)+++或 FISH 阳性者接受靶向治疗。放疗应用医科达直线加速器 6MV-X 线进行,由同一放疗和护理团队完成,放射治疗靶区勾画严格按照美国放疗肿瘤协作组(radiation therapy oncology group, RTOG)乳腺癌改良根治术后靶区勾画指南进行。按照随机数字表法分为 VMAT 组($n=41$)与 IMRT 组($n=42$),VMAT 组采用 VMAT 大分割放疗,单次分割剂量 2.9 Gy/次,放疗总剂量 43.5 Gy/15 次;IMRT 组采用 IMRT 常规分割放疗,单次分割剂量 2.0 Gy/次,放疗总剂量 50.0 Gy/25 次。危及器官限量:患侧肺平均剂量(mean dose, D_{mean}) ≤ 15 Gy、 $V_5 \leq 60\%$ 、 $V_{10} \leq 40\%$ 、 $V_{20} \leq 28\%$ 、 $V_{30} \leq 20\%$,脊髓最大剂量(maximum dose, D_{max}) ≤ 45 Gy,肱骨头 $D_{mean} \leq 40$ Gy,心脏 $D_{mean} \leq 10$ Gy、 $V_{20} \leq 30\%$ 、 $V_{30} \leq 15\%$,其中 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 分别表示 5、10、20、30 Gy 剂量所包裹的体积。

1.2.2 观察指标

(1)计划靶区(planning target volume, PTV)参数: V_{95} 、 V_{110} 、适形指数(conformity index, CI)、均匀指数(homogeneity index, HI)、治疗时间,其中 V_{95} 、 V_{110} 分别表示接受处方剂量 95%、110%的体积。(2)危及器官参数:患侧肺 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 、 D_{mean} ,肱骨头 D_{mean} 和心脏 V_{30} 、 D_{mean} 。(3)近期疗效:主要研究终点为肿瘤局部复发,次要研究终点为肿瘤远处转移,分析无病生存情况。(4)急、慢性放射性损伤:随访 12

个月,观察患者皮肤、食管等急性放射性损伤和皮肤、肺、患侧肩关节活动等慢性放射性损伤发生情况。急、慢性放射性损伤的评价标准参照急性放射评分标准,分为 0~Ⅳ级。

1.3 统计学处理

采用 SPSS23.0 软件进行数据分析,计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,比较采用 t 检验;计数资料以例数或百分比表示,比较采用 χ^2 检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 两组 PTV 剂量指标比较

与 IMRT 组比较,VMAT 组 V_{95} 更高, V_{110} 、HI 更低,治疗时间更短,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 1。

2.2 两组患侧肺及肱骨头、心脏剂量指标比较

与 IMRT 组比较,VMAT 组患侧肺 V_5 、 D_{mean} 及患侧肱骨头 D_{mean} 更低,患侧肺 V_{30} 更高,差异有统计学意义($P<0.05$)。与 IMRT 组比较,VMAT 组左

侧乳腺癌的心脏 V_{30} 更低,右侧乳腺癌的心脏 D_{mean} 更低,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 2、3。

2.3 近期疗效

随访至 2022 年 12 月,随访时间 12 个月,随访率 100%,85 例患者全部生存,无局部复发,2 例出现远处转移,其中 VMAT 组 1 例患者在放疗后 5 个月出现第 12 胸椎转移,IMRT 组 1 例患者在放疗后 8 个月发生右肺转移。两组远处转移率、无病生存率比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表 4。

表 1 两组 PTV 剂量指标比较($\bar{x}\pm s$)				
项目	VMAT 组 ($n=41$)	IMRT 组 ($n=42$)	t	P
$V_{95}(\%)$	98.57±0.79	97.51±0.58	6.93	<0.001
$V_{110}(\%)$	0.02±0.14	0.03±0.02	2.08	0.040
CI	0.58±0.08	0.58±0.07	-0.06	0.150
HI	0.15±0.04	0.22±0.02	13.29	<0.001
治疗时间(s/次)	180.61±5.75	307.21±7.89	-83.31	<0.001

表 2 两组患侧肺及肱骨头剂量指标比较($\bar{x}\pm s$)

项目	VMAT 组($n=41$)	IMRT 组($n=42$)	t	P
患侧肺				
$V_5(\%)$	56.39±6.34	89.28±2.68	-30.895	<0.001
$V_{20}(\%)$	31.27±1.13	31.05±1.35	0.995	0.323
$V_{30}(\%)$	22.03±1.29	18.33±0.54	<0.001	<0.001
$D_{mean}(Gy)$	1 475.27±102.91	1 605.50±64.17	-6.936	<0.001
患侧肱骨头 $D_{mean}(Gy)$	1 901.81±71.04	2 395.80±142.16	20.097	<0.001

表 3 两组心脏剂量指标比较($\bar{x}\pm s$)

项目	VMAT 组 ($n=41$)	IMRT 组 ($n=42$)	t	P
左侧乳腺癌				
$V_{30}(\%)$	6.19±0.43	8.77±0.55	16.818	<0.001
$D_{mean}(Gy)$	834.75±15.78	827.95±12.91	0.995	0.323
右侧乳腺癌				
$V_{30}(\%)$	0	0		
$D_{mean}(Gy)$	224.67±9.05	384.24±7.99	-60.514	<0.001

2.4 两组急性放射性损伤比较

两组Ⅰ~Ⅱ级急性放射性皮炎、放射性食管炎发生率比较,差异无统计学意义($P>0.05$);两组均未发生Ⅱ级以上急性放射性损伤,见表 5。

2.5 两组慢性放射性损伤比较

两组Ⅰ~Ⅱ级慢性放射性皮炎、放射性肺炎发生率比较,差异无统计学意义($P>0.05$);与 IMRT 组

比较,VMAT 组Ⅰ~Ⅱ级肩关节功能障碍发生率更低,差异有统计学意义($P<0.05$);两组均未出现Ⅱ级以上慢性放射性损伤,见表 6。

表 4 两组局部复发、远处转移及生存情况[$n(\%)$]				
项目	VMAT 组($n=41$)	IMRT 组($n=42$)	χ^2	P
局部复发	0	0		
远处转移	1(2.44)	1(2.38)	<0.001	0.986
无病生存	40(97.56)	41(97.62)	1.334	0.513

表 5 两组急性放射性损伤比较[$n(\%)$]				
项目	VMAT 组($n=41$)	IMRT 组($n=42$)	χ^2	P
放射性皮炎				
Ⅰ~Ⅱ级	5(12.20)	4(9.52)	0.153	0.696
Ⅱ级以上	0	0		
放射性食管炎				
Ⅰ~Ⅱ级	8(19.51)	6(14.29)	0.404	0.525
Ⅱ级以上	0	0		

表 6 两组慢性放射性损伤比较[n(%)]				
项目	VMAT 组(n=41)	IMRT 组(n=42)	χ^2	P
放射性皮炎			0.772	0.380
I~Ⅱ级	4(9.76)	2(4.76)		
Ⅱ级以上	0	0		
放射性肺炎			0.131	0.718
I~Ⅱ级	3(7.32)	4(9.52)		
Ⅱ级以上	0	0		
肩关节功能障碍			3.931	0.047
I~Ⅱ级	2(4.88)	8(19.05)		
Ⅱ级以上	0	0		

3 讨 论

NCCN 指南^[6]推荐乳腺癌根治术后有放疗适应证者予常规分割放疗,针对胸壁及区域淋巴结予 45.0~50.4 Gy/25~28 次,5 次/周。从放射生物学原理分析,乳腺癌的 α/β 值为 3~4 Gy,对单次放射治疗剂量的变化较敏感,故对乳腺癌采用大分割放疗(单次剂量>2 Gy)将能更有效控制肿瘤,且在等效生物剂量下不会增加慢性放射性损伤。目前,国内外许多关于早期乳腺癌保乳术后大分割放疗的临床研究证实了大分割放疗与常规分割放疗的疗效和不良反应相似^[7-10],论证了大分割放疗的有效性及其安全性。

基于众多保乳术后大分割放疗的临床证据,NC-CN 指南^[6]建议乳腺癌保乳术后患者可选择大分割放疗(40.0~42.5 Gy/15~16 次)。然而基于乳腺癌根治术后的的大分割放疗的研究报道相对较少,乳腺癌根治术后大分割放疗暂未被写入治疗指南。现有研究发现,乳腺癌改良根治术后大分割放疗的局部控制率、生存率、不良反应发生情况与常规分割放疗比较,差异无统计学意义($P>0.05$)^[8,11]。LIU 等^[11] meta 分析发现,大分割及常规分割放疗的总生存率、无病生存率、局部复发率、远处转移率、急性放射性皮炎、急性肺损伤和慢性放射性皮炎、淋巴水肿、臂丛神经损伤、放射性心脏毒性无明显差别。本现研究通过使用 VMAT 技术对乳腺癌改良根治术后患者进行大分割放疗,结果发现使用 VMAT 技术优化放疗计划明显提高了 PTV 剂量的均匀性,提高了临床靶区 V_{95} 剂量覆盖率,降低 V_{110} 高剂量区。

与 IMRT 比较,VMAT 可使靶区剂量分布更均匀^[12-15]。研究认为,VMAT 能更好地保护乳腺癌患者的肺、心脏等危及器官^[16-17]。本研究使用 VMAT 大分割放疗与 IMRT 常规分割放疗,均未发生Ⅱ级以上的放射性皮炎,这可能是技术改进所导致的生物学效应不同。同时 VMAT 大分割放疗技术缩短了单次放疗时间,这与 PRASUN 等^[18]的研究结果一致。放射性肺炎是乳腺癌放疗常见的重要并发症,BEACH

等^[19]认为肺 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 可有效预测放射性肺炎,其发生率随着 V_{10} 的增加而增加。此外,放射性肺炎发生率也会随着肺受照 D_{mean} 增加而增加^[20]。本研究发现,VMAT 大分割放疗技术患侧肺的整体受照剂量都低于 IMRT 常规分割放疗计划,患侧肺 V_5 、 D_{mean} 明显下降。由此可见,VMAT 大分割放疗技术可减少放射性肺炎的发生。本研究发现两种计划的放射性食管炎发生率相当,均无Ⅱ级以上的放射性食管炎发生,这与 WEST 等^[21]的研究结果一致。放射性心脏毒性是影响乳腺癌患者放疗后生活质量的主要因素之一,也是造成患者非肿瘤死亡的主要因素之一^[22-23]。ABRAHAM 等^[24]研究发现,冠状动脉疾病与心脏受照射的 D_{mean} 呈正相关,ZUREICK 等^[25]研究强调了左冠状动脉前降支受照剂量对心脏影响的重要性。本研究发现,VMAT 大分割放疗技术降低了左侧乳腺癌患者心脏 V_{30} ,并使右侧乳腺癌患者心脏 D_{mean} 明显降低。因此得知,无论是左侧还是右侧乳腺癌,VMAT 大分割放疗技术对心脏的保护均优于 IMRT 常规分割放疗技术。

剂量学上,VMAT 大分割放疗技术减少了患侧肱骨头 D_{mean} ,后期随访也发现 VMAT 组肩关节功能障碍发生率明显降低。在急慢性放射性损伤的随访中发现,两种计划均有 I~Ⅱ级放射性皮炎及放射性食管炎,但差异无统计学意义($P>0.05$),无患者发生Ⅱ级以上急慢性放射性损伤。SAYAN 等^[26]通过分析乳腺癌乳房切除术后大分割放疗相关研究发现,大分割放疗后患者肺、心脏和胸壁毒性的长期发生率均<1%。本研究随访 12 个月,发现所有研究对象生存,未出现照射野内复发,85 例患者中 2 例出现远处转移,其中 VMAT 组 1 例患者在放疗后 5 个月出现第 12 胸椎转移,IMRT 组 1 例患者在放疗后 8 个月发生右肺转移,两组远处转移率、无病生存率比较,差异无统计学意义($P>0.05$),这与季美晨等^[27]研究结果一致。

综上所述,乳腺癌改良根治术后 VMAT 大分割放疗与 IMRT 常规分割放疗的疗效及不良反应发生情况相当。利用 VMAT 对乳腺癌改良根治术后患者进行大分割放疗,可使治疗计划更优化,降低了患侧肺、肱骨头、心脏的受照剂量,慢性放射性损伤上降低了 I~Ⅱ级肩关节功能障碍发生率,放射野皮肤、肺、心脏等组织的急性和慢性放射性损伤发生率无明显差异,且缩短了单次治疗时间、放疗疗程,进而使医疗资源得到更有效利用。这说明 VMAT 大分割放疗是一种短疗程、安全、有效的乳腺癌术后放疗方案,可考虑替代 IMRT 常规分割放疗在临床上推广使用。但由于各研究的质量参差不齐,各研究病例选择标准、技术规范、剂量分割方案仍不统一,且纳入的研究数量有限,因此尚需通过开展高质量的多中心随机临床

试验以做进一步论证。

参考文献

- [1] HAQUE M N,TAZIN T,KHAN M M,et al. Predicting characteristics associated with breast cancer survival using multiple machine learning approaches[J]. *Comput Math Methods Med*, 2022,2022;1249692.
- [2] 陈茂山,吕青.《基于人口登记数据 2000—2020 年全球乳腺癌发病和死亡率分析》要点解读[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2022,29(4):401-406.
- [3] DEMIRCAN N V,BESE N. New approaches in breast cancer radiotherapy [J]. *Eur J Breast Health*, 2023,20(1):1-7.
- [4] Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group (EBCTCG). Radiotherapy to regional nodes in early breast cancer: an individual patient data meta-analysis of 14 324 women in 16 trials[J]. *Lancet*, 2023,402:1991-2003.
- [5] 中国医师协会放射肿瘤治疗医师分会. 乳腺癌放射治疗指南(中国医师协会 2020 版)[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2021,30(4):321-342.
- [6] GRADISHAR W J,MORAN M S,ABRAHAM J,et al. Breast cancer, version 3. 2022, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology[J]. *J Natl Compr Canc Netw*, 2022,20:691-722.
- [7] 王钦,倪文婕,王秀楠,等. 分次间随机摆位误差对早期乳腺癌大分割放疗中靶区和危及器官剂量分布的影响[J]. *重庆医学*, 2023,52(12):1822-1826.
- [8] MURRAY BRUNT A,HAVILAND J S,WHEATLEY D A,et al. Hypofractionated breast radiotherapy for 1 week versus 3 weeks (FAST-Forward): 5-year efficacy and late normal tissue effects results from a multicentre, non-inferiority, randomised, phase 3 trial[J]. *Lancet*, 2020,395(10237):1613-1626.
- [9] 张雪莹. 大分割放疗在早期乳腺癌保乳根治术后的临床应用效果[J]. *河南医学研究*, 2021,30(27):5046-5048.
- [10] 宋玉春,王淑莲. 乳腺癌保乳术后大分割放疗的不良反应研究进展[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2022,31(12):1179-1184.
- [11] LIU L,YANG Y,GUO Q,et al. Comparing hypofractionated to conventional fractionated radiotherapy in postmastectomy breast cancer: a meta-analysis and systematic review[J]. *Radiat Oncol*, 2020,15(1):1-15.
- [12] WANG S L,FANG H,SONG Y W,et al. Hypofractionated versus conventional fractionated postmastectomy radiotherapy for patients with high-risk breast cancer: a randomised, non-inferiority, open-label, phase 3 trial[J]. *Lancet Oncol*, 2019,20(3):352-360.
- [13] ZHANG Y,HUANG Y,DING S,et al. A dosimetric and radiobiological evaluation of VMAT following mastectomy for patients with left-sided breast cancer[J]. *Radiat Oncol*, 2021,16(1):171.
- [14] 高艳,钟鹤立,李壮玲,等. 乳腺癌改良根治术后容积调强弧形治疗与调强放疗剂量比较的 meta 分析[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2021,30(11):1159-1166.
- [15] WANG R,SHEN J,YAN H,et al. Dosimetric comparison between intensity-modulated radiotherapy and volumetric-modulated arc therapy in patients of left-sided breast cancer treated with modified radical mastectomy: CONSORT [J]. *Medicine*, 2022,101:e28427.
- [16] MARRAZZO L,MEATTINI I,SIMONTACCHI G,et al. Updates on the PBI-IMRT-Florence trial (NCT02104895) technique: from the intensity modulated radiation therapy trial to the volumetric modulated arc therapy clinical practice [J]. *Pract Radiat Oncol*, 2022,13:28-34.
- [17] 王雯,王洪志,宁方玲,等. 不同布野方式对左侧乳腺癌改良根治术后放射治疗计划的影响[J]. *滨州医学院学报*, 2023,46(2):95-100.
- [18] PRASUN P,KHARADE V,PAL V,et al. Dosimetric comparison of hypofractionated regimens in breast cancer using two different techniques: intensity-modulated radiation therapy (IMRT) and volumetric-modulated arc therapy (VMAT)[J]. *Cureus*, 2023,15(4):e38045.
- [19] BEACH T A,GROVES A M,WILLIAMS J P,et al. Modeling radiation-induced lung injury: lessons learned from whole thorax irradiation [J]. *Int J Radiat Biol*, 2020,96(1):129-144.
- [20] KARLSEN J,TANDSTAD T,SOWA P,et al. Pneumonitis and fibrosis after breast cancer radiotherapy: occurrence and treatment-related predictors[J]. *Acta Oncol*, 2021,60(12):1651-1658.

(下转第 2457 页)