

## TomoDirect技术在乳腺癌术后胸壁放疗中的应用

何亚男, 罗焕丽, 靳富, 柳先锋, 吴丽华  
重庆市肿瘤研究所/医院/癌症中心, 重庆 400030

**【摘要】目的:**探究螺旋断层固定野调强放疗(TD)技术在乳腺癌改良根治术后胸壁放疗中的应用,为临床提供指导。**方法:**收集本院10例乳腺癌根治术后患者(左乳5例、右乳5例),利用Eclipse10.0、TomoTherapy计划系统,分别制作适形固定野调强放疗(IMRT)、容积弧形调强(RapidArc)、螺旋断层调强放疗(HT)、TD计划。比较4种计划在靶区适形度(CI)、剂量均匀性(HI)和危及器官的剂量分布、机器跳数(MU)的差异。**结果:**RapidArc的CI达到 $0.86\pm0.01$ (左)、 $0.81\pm0.03$ (右),HT的HI低至 $0.04\pm0.00$ (左)、 $0.04\pm0.00$ (右),与其它技术相比,均有统计学差异( $P<0.05$ )。患侧肺、总肺的 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 在RapidArc中值最低,为 $11.64\pm0.45$ 、 $4.53\pm0.35$ (左), $19.25\pm6.11$ 、 $9.19\pm3.60$ (右);左侧病例中患侧肺 $V_5$ 在TD中最低,为 $41.61\pm3.97$ ,右侧病例中患侧肺 $V_5$ 在HT中最低,为 $40.08\pm2.47$ 。对健侧肺而言,TD占明显优势,不仅 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 为0,其 $V_5$ 值也低至 $0.56\pm0.18$ (左)、 $3.84\pm1.93$ (右)。左侧病例的心脏 $V_{30}$ 在RapidArc中最低,为 $1.75\pm0.21$ ;心脏 $V_{10}$ 则在TD中占优势,为 $25.27\pm0.96$ ,与其它技术相比( $P<0.05$ )。脊髓的最小值在IMRT中最低,平均值和最大值在TD中最低( $P<0.05$ )。身体低剂量区在IMRT、TD计划中最低( $P<0.05$ )。MU则在IMRT、RapidArc中最小。**结论:**作为一种乳腺癌术后胸壁放疗的新技术,TD在危及器官保护上有一定优势,临床中可与其他3种技术配合使用。

**【关键词】**乳腺癌;TomoDirect;固定野调强放疗;容积弧形调强;螺旋断层调强放疗;胸壁放疗

**【中图分类号】**R737.9; R815.2

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2017)06-0555-06

## TomoDirect in chest wall irradiation for postoperative patients receiving radical mastectomy

HEYanan, LUO Huanli, JIN Fu, LIU Xianfeng, WU Lihua  
Chongqing Cancer Hospital, Chongqing 400030, China

**Abstract: Objective** To explore the advantage of TomoDirect in the chest wall irradiation for patients after undergoing radical mastectomy, providing guidance for clinical use. **Methods** Ten patients after radical mastectomy for breast cancer (including 5 patients with left breast cancer and 5 with right breast cancer) were selected in the study. For the chest wall irradiation in 10 patients, intensity-modulated radiotherapy (IMRT) and volumetric-modulated arc therapy (RapidArc) plans were generated on Varian Eclipse treatment planning system (TPS), and helical tomotherapy (HT) and TomoDirect (TD) plans were also generated on tomotherapy TPS. The conformity index (CI), homogeneity index (HI) of target areas, dosimetric distribution of organ at risks (OAR), monitor unit (MU) were compared among four plans. **Results** The CI in RapidArc plan for left and right breast cancers was  $0.86\pm0.01$ ,  $0.81\pm0.03$ , respectively, and HI in HT plan was  $0.04\pm0.00$ ,  $0.04\pm0.00$ , respectively, with significant difference compared with those in the other plans ( $P<0.05$ ). The  $V_{20}$ ,  $V_{30}$  of ipsilateral lung and total lung was lowest in RapidArc plan ( $11.64\pm0.45$ ,  $4.53\pm0.35$  for left breast cancer, and  $19.25\pm6.11$ ,  $9.19\pm3.60$  for right breast cancer). The lowest  $V_5$  of ipsilateral lung in patients with left breast cancer was  $41.61\pm3.97$  which was found in TD plan, and that in patients with right breast cancer was  $40.08\pm2.47$  which was found in HT plan. For the contralateral lung, TD plan showed significant advantages because the  $V_{20}$ ,  $V_{30}$  of contralateral lung in TD plan was zero, and that the  $V_5$  of contralateral lung in TD plan was  $0.56\pm0.18$ ,  $3.84\pm1.93$  for the left and right breast cancer, respectively. The  $V_{30}$  was lowest in RapidArc plan ( $1.75\pm0.21$ ) ( $P<0.05$ ), and the  $V_{10}$  of heart was lowest in TD plan ( $25.27\pm0.96$ ), with significant difference compared with those in the other plans ( $P<0.05$ ). The lowest minimum dose of spinal cord was observed in IMRT plan, while the lowest mean and maximum doses of spinal cord were found in TD plan ( $P<0.05$ ). Among the four plans, IMRT and TD plans had the lowest dose in low-dose area, and IMRT and RapidArc plans had the least MU. **Conclusion** As a new technology for the breast cancer irradiation, TD was preponderant in OAR protection and can be used

**【收稿日期】**2017-01-02

**【基金项目】**国家自然科学基金(11575038);重庆市卫生计生委医学科研项目(2015MSXM229)

**【作者简介】**何亚男,放疗物理师,E-mail: heyanan.1986@163.com

**【通信作者】**吴丽华,主管技师,研究方向:放疗技术,E-mail: 18983920716@qq.com

with the other three technologies.

**Keywords:** breast cancer; intensity-modulated radiation therapy; TomoDirect; helical tomotherapy; volumetric-modulated arc therapy; chest wall irradiation

## 前言

目前的研究显示,手术切除肿瘤或全乳切除加术后化疗及乳腺或胸壁放疗是中晚期乳腺癌的标准治疗模式<sup>[1-2]</sup>。传统的胸壁放疗多使用三维适形放疗(Three Dimensional Conformal Radiotherapy, 3D-CRT)或调强放疗(Intensity-Modulated Radiation Therapy, IMRT)技术。3D-CRT在保证疗效的同时,增加了心脏、患侧肺的受量,可能会导致患者肺功能、心脏功能下降,从而降低生存质量。随着放疗技术的发展,采用逆向计划的IMRT广泛运用于乳腺癌的治疗中<sup>[3-4]</sup>,它使用静态调强的方式,从切线方向布野。这种技术不仅能得到较好的靶区剂量均匀性和较高的适形度,也能较好地保护心脏和肺组织。但是,随着对靶区覆盖度和危及器官保护要求的增加,瓦里安(Varian)公司随后推出一种基于容积弧形调强的新技术RapidArc。作为一种剂量率不断变化的动态调强技术,它已经在头颈部肿瘤<sup>[5]</sup>、盆腔肿瘤的治疗中体现出了很大的优势。

安科锐(Accuray)公司推出的螺旋断层调强放疗(Helical Tomotherapy, HT)是近年来发展的一种较新的调强实施模式,它将螺旋CT和直线加速器融合在一起<sup>[6-8]</sup>,采用切片式出束,在CT引导下,360°聚焦断层照射肿瘤。HT在大多数肿瘤治疗中改善了靶区剂量均匀性、适形度,更好地保护危及器官<sup>[9]</sup>,特别适用于大靶区、复杂靶区或靶区、危及器官十分贴近的情况。而螺旋断层固定野调强放疗(TomoDirect, TD)技术是一种静态的、非旋转模式下的螺旋断层调强放疗。这项技术通过1~12个固定治疗角度,结合二元气动多叶光栅(Multi-Leaf Collimator, MLC)对射线进行快速调制以及通过治疗床的移动来产生高度适形的剂量分布。有学者研究了TD技术运用于食管癌的放疗<sup>[10]</sup>,发现其在靶区适形度指数(CI)、均匀性指数(HI)、肺的 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 上有明显优势;在全身、全脑全脊髓的照射上也有大量研究<sup>[11-12]</sup>,展现了TD技术的部分优势。目前,国内还鲜有研究TD技术在乳腺癌改良根治术后胸壁放射治疗中的应用,因此本文将TD技术与IMRT、RapidArc、HT技术进行比较,探讨其是否具有推广的优势,为乳腺癌根治术后胸壁的放疗提供指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要仪器与设备

放疗专用大孔径螺旋CT(Brilliance-16, Philips Medical Systems Inc., Cleveland, Ohio),美国Varian公司网络系统VARIS,医生工作站Somovision,放射治疗计划系统(Treatment Planning System, TPS)Eclipse10.0,医用直线加速器Varian IX,配备120片MLC,叶片宽度为5~10 mm,安科锐螺旋断层放射治疗系统(Accuray TomoTherapy System)。

### 1.2 病例选择

收集本院治疗的典型乳腺癌根治术后患者10名,女性,年龄33~54岁,中位年龄45岁。其中原发病灶在左侧乳腺5名,右侧乳腺5名。

### 1.3 摆位固定和CT扫描

患者采用仰卧及患侧上肢外展90°的治疗体位进行摆位固定和CT扫描,采用Civco公司MT-350型号乳腺托架固定,调整头枕位置和上臂托槽高度、手柄位置和倾斜度,使上臂充分上举。在CT模拟定位机下进行平静呼吸CT扫描,扫描层厚5 mm。扫描范围包括整个患侧乳腺,为了完整包括肺、心脏等邻近正常组织器官,需将上下界外放3 cm左右的距离,获得CT影像后通过专用网络传输至TPS中。

### 1.4 放射治疗计划设计

**1.4.1 靶区勾画标准** 参照美国肿瘤放射治疗协作组织(Radiation Therapy Oncology Group, RTOG)乳腺癌放疗计划图谱(Breast Cancer Atlas for Radiation Therapy Planning: Consensus Definitions),上界至锁骨头下缘;下界至健侧乳腺下缘皮肤皱折下1.5 cm水平;前界至皮肤;内界至胸-肋关节;外界至背阔肌前缘;后界至肋前缘。实际勾画过程中根据肿瘤分期及部位进行适当调整。危及器官包括患侧肺、健侧肺、全肺、心脏、脊髓、周围软组织。最后将在TPS勾画完的结构传输至TomoTherapy的计划系统中。

**1.4.2 计划设计** IMRT计划采用Varian IX直线加速器的6 MV-X线,共6野照射。先确定好等中心的位置,起始野分别在靶区内外侧界的切线上,而后依次向中间选取相差20°的4个野,添加0.5 cm补偿膜。RapidArc计划则运用两个半弧,当病灶位于左侧时,逆时针从305°至179.9°,再反转至305°;当病灶位于右侧,则顺时针从55°至180.1°,再反转至55°。HT计划射野宽度(Field Width, FW)2.512 cm,螺距(Pitch)0.287,调制因子(Modulation Factor, MF)3;TD计划

则是选用Direct模式,角度、敷贴同IMRT保持一致,FW=2.5 cm,Pitch=0.251,MF=3。

4种方法胸壁处方剂量均为50 Gy/25次。约束条件参照ICRU 83号报告<sup>[13]</sup>,结合本病种实际情况,规定如下:PTV  $V_{95\%} \geq 95\%$  (95%的处方剂量应包含不少于95%的靶体积),患侧肺  $V_{20} \leq 20\%$ ,健侧肺  $V_{20} \leq 10\%$ ,脊髓最大量( $D_{\max}$ )  $\leq 40$  Gy,心脏  $V_{30} \leq 5\%$ 。其中, $V_x$ 表示某危及器官受 $\geq x$  Gy剂量的辐照体积占总体积的百分比, $V_x$ 越大则受照剂量越大。

### 1.5 剂量分布评价指标

比较4种计划靶区CI、HI,各个靶区和危及器官的剂量分布。

**1.5.1 CI和HI** 本研究中CI定义如下: $CI = (V_{T,ref}/V_T) \times (V_{T,ref}/V_{ref})$ ,其中 $V_{T,ref}$ 为参考等剂量面所包绕的靶区体积, $V_{ref}$ 为参考等剂量面所包绕的所有区域的体积, $V_T$ 为靶体积,这里参考等剂量面取95%的处方剂量线<sup>[14]</sup>。CI越接近于1,说明靶区的适形度越好。HI定义如下<sup>[15]</sup>: $HI = (D_{5\%} - D_{95\%})/D_{mean}$ ,其中 $D_{5\%}$ 、 $D_{95\%}$ 分别表示5%、95%体积的靶区所接受的照射剂量,HI值越接

近0,表明PTV内部剂量分布越均匀。

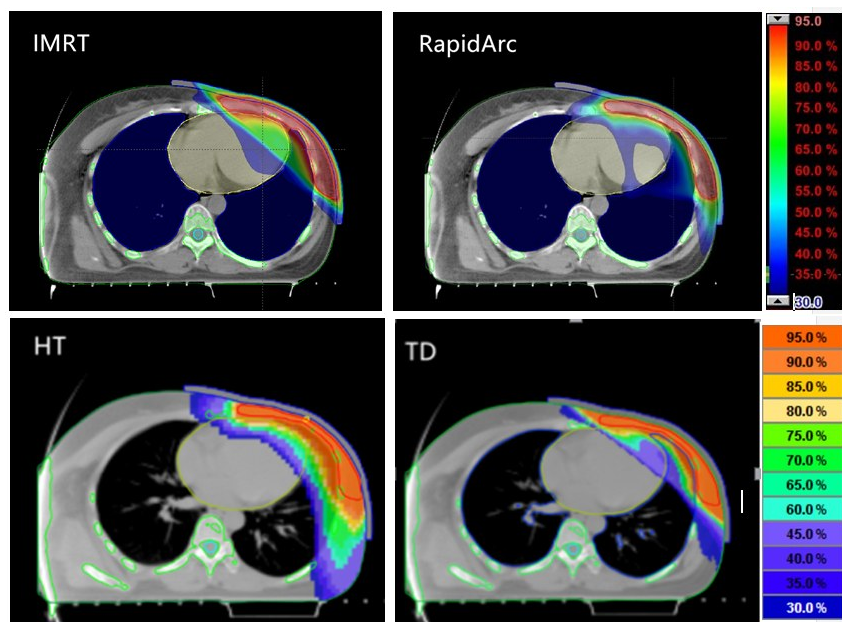
**1.5.2 危及器官** 健侧肺、患侧肺、全肺接受5、20和30 Gy的体积百分比 $V_5$ 、 $V_{20}$ 和 $V_{30}$ ;心脏接受10、30 Gy的体积百分比 $V_{10}$ 、 $V_{30}$ ;脊髓的 $D_{\max}$ 、 $D_{\min}$ 、 $D_{mean}$ ;身体正常组织接受5、10 Gy的体积百分比 $V_5$ 、 $V_{10}$ 。

### 1.6 统计学处理

数据用均数 $\pm$ 标准差表示。采用SPSS 23.0统计软件行配对 $t$ 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

通过4种放疗计划的对比发现,从靶区的角度,RapidArc在CI上占绝对优势,而HT在HI上优于其他的技术,但它们均不同程度上增加了危及器官的受量,低剂量区也相应增大,HT尤为明显;从危及器官的角度来看,IMRT、TD明显改善了患侧肺、总肺的低剂量区、脊髓的受量,大大减少了身体低剂量区的体积。心脏的低量在TD时最低,高量则是在RapidArc中最低。另外,MU值在IMRT、RapidArc计划中明显减少,剂量分布见图1,具体见表1和表2。



IMRT: Intensity-modulated radiotherapy; RapidArc: Volumetric-modulated arc therapy; TD: TomoDirect;  
HT: Helical tomotherapy

图1 IMRT、RapidArc、TD和HT计划的剂量分布情况  
Fig.1 Dose distribution of IMRT, RapidArc, TD and HT plan

## 3 讨论

放射治疗是乳腺癌术后的主要治疗方式,与身体其余部位的肿瘤相比,乳腺癌术后照射区域较广、靶区分散,且形状较不规则,加之胸部的重要器官较多,IMRT在治疗肿瘤的同时,不能较好地保护正常

组织,剂量分布也不够均匀。随着放疗技术的迅速发展,诸多新兴的技术,如RapidArc、HT、TD等<sup>[16-19]</sup>运用于乳腺癌的放射治疗中。Michalski等<sup>[20]</sup>研究发现,相比3D-CRT和IMRT,HT技术在HI和心脏受量中有优势,但在健侧肺 $V_5$ 、健侧乳腺、脊髓平均量、食



表1 左侧乳腺癌靶区和危及器官在4种技术中受量的对比

Tab.1 Dosimetric comparison among four radiation plans for left breast cancer

Parameter	IMRT	RapidArc	HT	TD	P value					
					IMRT vs. HT	RapidArc vs. HT	IMRT vs. RapidArc	IMRT vs. TD	RapidArc vs. TD	HT vs. TD
CI	0.72±0.03	0.86±0.01	0.57±0.03	0.55±0.01	0.006	0.000	0.006	0.004	0.000	0.493
HI	0.07±0.00	0.08±0.00	0.04±0.00	0.06±0.00	0.005	0.004	0.423	0.354	0.060	0.002
Heart V <sub>10</sub> /%	34.20±3.51	39.20±2.74	34.25±2.69	25.27±0.96	0.986	0.324	0.176	0.056	0.005	0.028
Heart V <sub>30</sub> /%	6.33±1.19	1.75±0.21	7.63±1.26	4.50±0.86	0.113	0.008	0.020	0.139	0.046	0.060
R-Lung V <sub>5</sub> /%	2.16±0.59	13.74±4.21	15.92±1.55	0.56±0.18	0.000	0.699	0.051	0.028	0.033	0.001
R-Lung V <sub>20</sub> /%	0.00±0.00	0.00±0.00	0.07±0.02	0.00±0.00	0.024	0.028	0.374	-	0.374	0.024
R-Lung V <sub>30</sub> /%	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	-	-	-	-	-	-
L-Lung V <sub>5</sub> /%	60.35±1.26	71.40±5.27	40.77±1.28	41.61±3.97	0.000	0.005	0.099	0.004	0.017	0.782
L-Lung V <sub>20</sub> /%	19.66±0.31	11.64±0.45	26.31±0.29	16.70±0.93	0.000	0.000	0.000	0.026	0.014	0.000
L-Lung V <sub>30</sub> /%	11.80±0.36	4.53±0.35	19.44±0.66	9.51±0.57	0.000	0.000	0.000	0.060	0.004	0.001
Total lung V <sub>5</sub> /%	30.31±0.75	41.56±2.23	27.91±0.72	20.52±1.73	0.074	0.004	0.004	0.006	0.004	0.022
Total lung V <sub>20</sub> /%	9.51±0.07	5.64±0.24	12.76±0.11	8.05±0.41	0.000	0.000	0.000	0.026	0.014	0.001
Total lung V <sub>30</sub> /%	5.71±0.16	2.20±0.19	9.41±0.33	4.61±0.26	0.000	0.000	0.000	0.059	0.003	0.001
Body V <sub>5</sub> /%	24.17±1.17	28.53±1.72	39.67±1.89	21.27±1.25	0.000	0.006	0.006	0.102	0.026	0.000
Body V <sub>10</sub> /%	12.94±0.58	16.16±0.98	24.53±2.28	13.15±0.61	0.003	0.006	0.002	0.664	0.010	0.005
Spinal cord- D <sub>min</sub> /cGy	10.24±2.38	18.46±6.54	24.00±3.90	15.60±3.30	0.002	0.121	0.140	0.018	0.474	0.002
Spinal cord- D <sub>max</sub> /cGy	95.10±6.54	659.10±73.00	753.80±46.26	66.00±7.32	0.000	0.193	0.001	0.000	0.001	0.000
Spinal cord- D <sub>mean</sub> /cGy	52.82±3.83	201.88±19.91	292.60±16.82	40.20±2.96	0.000	0.002	0.002	0.007	0.002	0.000
MU	858.80±63.32	911.80±62.69	5 189.80±142.07	612.00±180.31	0.000	0.000	0.395	0.000	0.000	0.005

CI: Conformal index; HI: Homogeneity index; MU: Monitor unit

管受量等均较高。本文涉及10例乳腺癌改良根治术后胸壁的放疗,统计4种技术的数据显示:RapidArc计划的CI达到0.86±0.01(左)、0.81±0.03(右),明显优于其余的3种技术,这充分说明RapidArc计划改善剂量分布的优势;另在HT计划中,HI值低至0.04±0.00(左)、0.04±0.00(右),这也证实了大多数学者关于HT能明显改善靶区均匀性的论断。

放射性肺炎(Radiation Pneumonitis, RP)是乳腺癌放疗中一项重要的并发症,多发生于放疗后3个月,概率约为1.0%~2.4%。多数学者认为它的发生主要与患者年龄、一般身体状况、肿瘤部位、肺的辐照剂量和辐照体积等众多因素有关<sup>[21-22]</sup>,因此在放疗计划中肺的照射量是问题的核心,是众多学者关注的热点。Dang等<sup>[23]</sup>学者研究发现,肺的平均量和V<sub>20</sub>是引起RP的重要因素。Agrawal等<sup>[24]</sup>验证了肺的受照

体积与RP发生密不可分,其中V<sub>5</sub>、V<sub>20</sub>、平均量可以用于RP的评估。Goddu等<sup>[25]</sup>在对比左侧乳腺癌3D-CRT和HT计划时得出结论,HT不仅在适形度和均匀性上优于3D-CRT,它还降低了患侧肺的V<sub>5</sub>和心脏的平均剂量。Reynders等<sup>[26]</sup>在剂量研究中发现,Tomotherapy、TD这两种治疗方式可以在产生等同于或优于传统治疗剂量分布的前提下,较好保护危及器官。在我们的研究中,对4种放疗技术进行比较,TD、HT降低了患侧肺、总肺的V<sub>5</sub>;RapidArc降低了患侧肺、总肺的V<sub>20</sub>、V<sub>30</sub>;而健侧肺则是在从切线方向走野的IMRT和TD中受量最小。因此,如果病人的一般情况差,身体免疫力低下,或者有基础肺疾病(如慢性阻塞性肺炎、尘肺等),较低剂量的肺照射引起RP可能性大,建议使用TD、HT技术;如果病人一般情况较好,能耐受一定量的辐照,建议使用RapidArc

表2 右侧乳腺癌靶区和危及器官在4种技术中受量的对比

Tab.2 Dosimetric comparison among four radiation plans for right breast cancer

Parameter	IMRT	RapidArc	HT	TD	P value					
					IMRT vs. HT	RapidArc vs. HT	IMRT vs. RapidArc	IMRT vs. TD	RapidArc vs. TD	HT vs. TD
CI	0.66±0.02	0.807±0.033	0.48±0.03	0.50±0.03	0.002	0.000	0.004	0.003	0.000	0.385
HI	0.07±0.01	0.080±0.006	0.04±0.00	0.06±0.00	0.015	0.006	0.335	0.404	0.083	0.000
Heart V <sub>10</sub> /%	11.78±5.58	28.290±7.613	28.36±3.92	7.14±2.20	0.084	0.989	0.157	0.408	0.026	0.001
Heart V <sub>30</sub> /%	0.01±0.01	0.050±0.033	1.03±0.55	0.00±0.00	0.135	0.138	0.297	0.374	0.198	0.134
R-Lung V <sub>5</sub> /%	68.56±2.77	76.581±5.052	40.09±2.47	54.62±2.54	0.002	0.000	0.286	0.009	0.007	0.011
R-Lung V <sub>20</sub> /%	21.40±1.41	19.250±6.111	25.02±1.58	20.14±2.22	0.011	0.359	0.699	0.465	0.833	0.066
R-Lung V <sub>30</sub> /%	12.47±1.42	9.189±3.596	19.18±1.23	10.94±0.89	0.000	0.037	0.405	0.394	0.562	0.003
L-Lung V <sub>5</sub> /%	10.09±5.46	18.608±3.110	19.46±2.98	3.84±1.93	0.249	0.795	0.283	0.336	0.001	0.003
L-Lung V <sub>20</sub> /%	0.00±0.00	0.00±0.00	0.56±0.12	0.00±0.00	0.010	0.010	-	-	-	0.010
L-Lung V <sub>30</sub> /%	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	-	-	-	-	-	-
Total Lung V <sub>5</sub> /%	38.37±1.80	51.48±3.51	31.05±1.97	32.86±1.83	0.000	0.000	0.003	0.029	0.004	0.380
Total Lung V <sub>20</sub> /%	12.33±0.62	10.80±3.29	14.46±0.85	11.34±1.07	0.011	0.310	0.633	0.313	0.822	0.049
Total Lung V <sub>30</sub> /%	7.37±0.70	2.25±2.06	10.93±0.71	6.18±0.42	0.000	0.047	0.381	0.243	0.605	0.004
Body V <sub>5</sub> /%	28.18±2.26	33.75±2.93	36.56±0.99	24.09±1.75	0.026	0.359	0.198	0.286	0.004	0.001
Body V <sub>10</sub> /%	15.16±1.23	18.65±1.95	22.71±0.54	14.36±1.07	0.003	0.087	0.171	0.670	0.015	0.002
Spinal cord- D <sub>min</sub> /cGy	8.90±0.94	27.060± 13.973	21.60±1.81	15.20±1.16	0.000	0.708	0.256	0.000	0.437	0.004
Spinal cord- D <sub>max</sub> /cGy	122.24±29.57	631.64± 148.56	729.60±82.91	67.60±5.14	0.001	0.620	0.028	0.109	0.018	0.001
Spinal cord- D <sub>mean</sub> /cGy	55.72±5.96	215.52±35.10	272.20±38.33	42.00±3.07	0.004	0.252	0.007	0.040	0.006	0.004
MU	940.80±98.87	786.80±52.86	5 631.60±272.97	7 483.60±411.67	0.000	0.000	0.341	0.000	0.000	0.016

技术。

另外,乳腺癌(特别是左侧)病人在放疗时,由于肿瘤和心脏距离较近,在3D-CRT、IMRT等计划的照射野设计时,为了考虑到靶区的覆盖率,心脏都或多或少受到局部高剂量照射或者全心低剂量照射。在放疗中心脏因辐照所致损伤被称为放射性心脏损伤(Radiation-Induced Heart Disease, RIHD)<sup>[27]</sup>,常表现为缺血性心脏病、心包炎、心功能减退。近年来,随着RapidArc、HT等放疗技术的开展,大大降低了乳腺癌病人发生RIHD的风险。Hijal等<sup>[28]</sup>在乳腺癌同步补量照射中,对HT和3D-CRT计划进行比较并得出结论,HT计划降低了心脏V<sub>5</sub>,但V<sub>30</sub>、平均量不及3D-CRT控制的好。杨波等<sup>[29]</sup>研究发现,HT较之IMRT,心脏D<sub>max</sub>、V<sub>20</sub>、V<sub>30</sub>、分别降低了12%、71%、82%。Gyenes等<sup>[30]</sup>研究发现,心脏V<sub>30</sub>受量越低,发生局部缺血性心脏病的几率就越小。本文中,心脏V<sub>10</sub>的受量在TD计划中占明显优势,左侧降至25.268±

0.960,右侧则为7.135±2.198;心脏V<sub>30</sub>的受量在左侧乳腺癌的RapidArc计划中最低,值为1.750±0.214,在右侧4种技术无明显区别。由此可见,TD、RapidArc技术能很好地保护心脏组织,降低心血管事件的发生率。临床中如遇到左侧乳腺癌病人心脏功能低下时,需慎重选择。

在乳腺癌放疗中,由于脊髓和靶区距离较远,因此不会有大剂量射线经过脊髓,脊髓的受量主要是散射引起。本文也附带收集了这4种技术的脊髓受量,发现在两侧乳腺癌中,脊髓最小值在IMRT计划中最低,脊髓的最大值、平均值则在TD计划中最低。由此可见正是由于以上两种方式采用的射野角度均在靶区的切线方向,避开了脊髓,才大大降低了脊髓的受量。另外,HT、TD特有的MVCT(Megavolt Computed Tomography)<sup>[31]</sup>在每次治疗前扫描重建患者的三维影像,并和计划CT进行实时匹配,纠正摆位误差。基于这样的技

术,TD不仅在计划上对脊髓的控制有绝对优势,在计划实施过程中,通过位置验证,也保障了每次剂量传输的稳定性。同样,基于这种切线野的设计,IMRT、TD计划的低剂量区Body  $V_5$ 、 $V_{10}$ 均小于RapidArc、HT计划,这样就减少靶区周围正常组织受照范围,从而减少放射损伤,降低皮肤放射毒性反应的发生率,也降低了二次致癌率。同时我们也观察了MU这个指标,统计发现IMRT、RapidArc计划的MU平均值明显低于HT、TD计划的平均值。较小的MU值不仅提高了加速器的使用效率,还缓解了患者的不适感,提升了治疗效果,降低了二次致癌率。

综上所述,TD技术在心脏、患侧肺和总肺的低剂量区、脊髓的受量控制方面占绝对优势,并且降低了身体正常组织的受照剂量。RapidArc技术能够在保证靶区最优适形度的前提下,有效地降低心肺的高剂量照射范围。HT技术虽提高了靶区的均匀性,但在各危及器官受量上优势不明显。综合各因素,本研究旨在为乳腺癌改良根治术后胸壁放疗提供指导,临床中需考虑到病人实际情况,RP、RIHD的发生率,在需要更好地控制危及器官受量的情况下,建议使用TD技术;在需要兼顾靶区和危及器官受量、工作效率的情况下,推荐用RapidArc技术;在需要提高靶区均匀性,而病人可耐受较高危及器官剂量时,推荐使用HT技术。

## 【参考文献】

- [1] HABERMANN E B, ABBOTT A, PARSONS H M, et al. Are mastectomy rates really increasing in the United States? [J]. *J Clin Oncol*, 2010, 28(21): 3437-3441.
- [2] EL SAGHIR N S, KHALIL M K, EID T, et al. Trends in epidemiology and management of breast cancer in developing Arab countries: a literature and registry analysis [J]. *Int J Surg*, 2007, 5(4): 225-233.
- [3] ABO-MADYAN Y, POLEDNIK M, RAHN A, et al. Improving dose homogeneity in large breasts by IMRT: efficacy and dosimetric accuracy of different techniques [J]. *Strahlenther Onkol*, 2008, 184(2): 86-92.
- [4] DONOVAN E M, YARNOLD J R, ADAMS E J, et al. An investigation into methods of IMRT planning applied to breast radiotherapy [J]. *Br J Radiol*, 2008, 81(964): 311-322.
- [5] 刘同海,尹勇,陈进琥,等.鼻咽癌旋转调强与固定野调强同步加量计划比较研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2010, 19(6): 486-492.
- [6] LIU T H, YIN Y, CHEN J H, et al. Comparative study of treatment planning between intensity-modulated arc therapy and simultaneously integrated boost intensity-modulated radiotherapy in nasopharyngeal carcinoma [J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2010, 19(6): 486-492.
- [7] MACKIE T R, HOLMES T, SWERDLOFF S, et al. Tomotherapy: a new concept for the delivery of conformal radiotherapy [J]. *Med Phys*, 1993, 20(6): 1709-1719.
- [8] MACKIE T R, BALOG J, RUCHALA K, et al. Tomotherapy [J]. *Semin Radiat Oncol*, 1999, 9(1): 108-117.
- [9] YANG J N, MACKIE T R, RECKWERDT P, et al. An investigation of tomotherapy beam delivery [J]. *Med Phys*, 1997, 24(3): 425-436.
- [10] COON A B, DICKLER A, KIRK M C, et al. Tomotherapy and multifield intensity-modulated radiotherapy planning reduce cardiac doses in left-sided breast cancer patients with unfavorable cardiac anatomy [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 78(1): 104-110.
- [11] 刘志强,胡志辉,戴建荣,等.螺旋断层固定野调强放疗技术在中段食管癌放疗中的应用[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2016, 36(6): 430-434.
- [12] LIU Z Q, HU Z H, DAI J R, et al. TomoDirect in the clinical implementation of mid-esophageal carcinoma [J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2016, 36(6): 430-434.
- [13] SALZ H, BOHRISCH B, HOWITZ S, et al. Intensity-modulated total body irradiation (TBI) with TomoDirect™ [J]. *Radiat Oncol*, 2015, 10(1): 58.
- [14] 徐英杰,胡志辉,戴建荣,等. Tomo Direct技术在全脑全脊髓放疗中的应用[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2015, 35(6): 445-448.
- [15] XU Y J, HU Z H, DAI J R, et al. Application of TomoDirect for craniospinal irradiation [J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2015, 35(6): 445-448.
- [16] International Commission on Radiation Units and Measurements. Report 83. Prescribing, recording, and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT) [R]. Oxford: Pergamon Press, 2010.
- [17] PADDICK I. A simple scoring ratio to index the conformity of radiosurgical treatment plans [J]. *J Neurosurg*, 2000, 93 (Suppl 3): 219-222.
- [18] CLAUS F, MIJNHEER B, RASCH C, et al. Report of a study on IMRT planning strategies for ethmoid sinus cancer [J]. *Strahlenther Onkol*, 2002, 178(10): 572-576.
- [19] JOHANSEN S, COZZI L, OLSEN D R. A planning comparison of dose patterns in organs at risk and predicted risk for radiation induced malignancy in the contralateral breast following radiation therapy of primary breast using conventional, IMRT and volumetric modulated arc treatment techniques [J]. *Acta Oncol*, 2009, 48(4): 495-503.
- [20] VATANEN T, TRANEUS E, LAHTINEN T. Comparison of conventional inserts and an add-on electron MLC for chest wall irradiation of left-sided breast cancer [J]. *Acta Oncol*, 2008, 48(3): 446-451.
- [21] COZZI L, FOGLIATA A, NICOLINI G, et al. Clinical experience in breast irradiation with intensity modulated photon beams [J]. *Acta Oncol*, 2005, 44(5): 467-474.
- [22] FONG A, BROMLEY R, BEAT M, et al. Dosimetric comparison of intensity modulated radiotherapy techniques and standard wedged tangents for whole breast radiotherapy [J]. *J Med Imaging Radiat Oncol*, 2009, 53(1): 92-99.
- [23] 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]. *Med Dosim*, 2014, 39(2): 163-168.
- [24] LO Y C, YASUDA G, FITZGERALD T J, et al. Intensity modulation for breast treatment using static multi-leaf collimators [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2000, 46(1): 187-194.
- [25] LINGOS T I, RECHT A, VICINI F, et al. Radiation pneumonitis in breast cancer patients treated with conservative surgery and radiation therapy [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1991, 21(2): 355-360.
- [26] DANG J, LI G, MA L, et al. Predictors of grade  $\geq 2$  and grade  $\geq 3$  radiation pneumonitis in patients with locally advanced non-small cell lung cancer treated with three-dimensional conformal radiotherapy [J]. *Acta Oncol*, 2013, 52(6): 1175-1180.

(下转 578 页)