

## 准直器角度对宫颈癌术后 VMAT 计划的影响

陈亚正, 肖明勇, 孙春堂, 廖雄飞, 许敬辉, 康盛伟, 黎杰, 王培  
四川省肿瘤医院放疗科, 四川 成都 610000

**【摘要】目的:**探讨准直器角度对宫颈癌术后旋转调强(VMAT)计划的影响。**方法:**选取一名宫颈癌术后病例进行 VMAT 计划设计(CCW179°~181°、CW181°~179°),采用不同的准直器角度:(0°,0°)、(0°,10°)、(0°,20°)、(0°,30°)、(0°,45°)、(-10°,10°)、(-20°,20°)、(-30°,30°)、(-45°,45°)。在 Varian Eclipse 系统上设计9个计划,从中筛选出剂量学最优和最差的两个角度,将此两个角度应用于20例宫颈癌术后患者,比较两组计划的靶区适形度(CI),剂量均匀性指数(HI),危及器官的体积剂量 $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ ,平均剂量( $D_{mean}$ ),以及跳数(MU)。用 SPSS 软件的配对  $t$  检验方法统计靶区和危及器官的剂量学参数。**结果:**以折线图表示9个计划的 CI 和 HI,以及膀胱、直肠等其他危及器官的体积剂量参数,剂量学参数最优和最差计划的准直器角度分别是(0°,30°)、(0°,0°)。20例宫颈癌术后的(0°,30°)和(0°,0°)两组计划当中,(0°,30°)计划靶区的 HI 和 CI 均优于(0°,0°)计划(HI: $t=6.666, 6.231, 15.464$ ; CI: $t=6.650, 6.35, 14.981, P<0.05$ ),膀胱的  $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $D_{mean}$  分别降低了 13.5%、3.4%、3.7% ( $t=4.649, 4.511, 3.833, P<0.05$ );直肠的  $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $D_{mean}$  分别降低了 13.4%、30.3%、6.6% ( $t=4.945, 4.455, 8.864, P<0.05$ );小肠的  $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $D_{mean}$  分别降低了 30.2%、48.4%、2.7% ( $t=3.972, 4.077, 9.604, P<0.05$ ),加速器执行一次计划的平均 MU 增加了 12.7% ( $t=7.028, P<0.05$ )。左右股骨头以及骶骨未见明显规律。**结论:**准直器角度对宫颈癌术后 VMAT 计划有明显的影响,在宫颈癌术后 VMAT 计划设计过程中,应充分考虑准直器角度的因素,以寻求更优质更有执行效率的治疗计划。

**【关键词】**宫颈癌术后;容积旋转调强;准直器角度;剂量

**【中图分类号】**R815

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2016)09-0885-07

## Effect of collimator angle on postoperative cervical carcinoma volumetric modulated arc therapy plan

CHEN Ya-zheng, XIAO Ming-yong, SUN Chun-tang, LIAO Xiong-fei, XU Jing-hui, KANG Sheng-wei, LI Jie, WANG Pei  
Department of Radiation Oncology, Sichuan Cancer Hospital, Chengdu 610000, China

**Abstract: Objective** To investigate the effect of collimator angle on postoperative cervical carcinoma volumetric modulated arc therapy (VMAT) plan. **Methods** The VMAT plans (CCW179°-181°, CW181°-179°) with different collimator angles including (0°,0°), (0°,10°), (0°,20°), (0°,30°), (0°,45°), (-10°,10°), (-20°,20°), (-30°,30°), (-45°,45°) were designed for a case with cervical carcinoma after operation. Among the 9 plans designed by using Varian Eclipse system, angles of the plans with the best and worst dosimetric parameters were screened out and applied to 20 postoperative cervical carcinoma patients. The conformal index (CI), homogeneity index (HI), the  $V_{10}$ ,  $V_{20}$ ,  $V_{30}$ ,  $V_{40}$  of organs at risk (OAR), mean dose ( $D_{mean}$ ), and monitor units were compared between the two groups. The paired  $t$  test of SPSS software was used to statistic the dose parameters of target volumes and OAR. **Results** The CI, HI and volume-dose parameters of OAR (such as bladder, rectum) of 9 plans were shown in line chart. The collimator angles of the plans with the best and worst dosimetric parameters were respectively (0°,30°), (0°,0°). Between the two groups of (0°,30°) and (0°,0°) treatment plans for 20 postoperative cervical carcinoma patients, HI and CI of planning target volume in (0°,30°) plan were superior to those in (0°,0°) plan (HI:  $t=6.666, 6.231, 15.464$ ; CI:  $t=6.650, 6.35, 14.981, P<0.05$ ). The  $V_{30}$ ,  $V_{40}$ ,  $D_{mean}$  of bladder decreased by 13.5%, 3.4%, 3.7% respectively ( $t=4.649, 4.511, 3.833, P<0.05$ ), and the  $V_{30}$ ,  $V_{40}$ ,  $D_{mean}$  of rectum decreased by 13.4%, 30.3%, 6.6% respectively ( $t=4.945, 4.455, 8.864, P<0.05$ ), and the  $V_{30}$ ,  $V_{40}$ ,  $D_{mean}$  of small intestine reduced by 30.2%, 48.4%, 2.7% respectively ( $t=3.972, 4.077, 9.604, P<0.05$ ). However, the average monitor units with a planning delivery increased by 12.7% ( $t=7.028, P<0.05$ ). No obvious characteristics were found in left and right femoral head and sacrum.

**【收稿日期】**2016-05-08

**【基金项目】**四川省科技厅支撑项目青年基金(2015JQ0053)

**【作者简介】**陈亚正, 博士, 中级, 研究方向: 医学物理, E-mail: cyzufo@163.com

**【通信作者】**王培, E-mail: dengwangpei@163.com

**Conclusion** The collimator angle has significant impacts on the postoperative cervical carcinoma VMAT. During the process of postoperative cervical carcinoma VMAT planning, collimator angle should be taken into account in order to design a more optimized and effective treatment plan.

**Key words:** postoperative cervical carcinoma; volumetric modulated arc therapy; collimator angle; dose

## 前言

容积旋转调强技术(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)作为日趋成熟的放射治疗调强技术已经得到广泛应用。根据肿瘤的体积、数量、位置、分布等特点,VMAT计划可以得到比固定野调强技术(Fix field Intensity Modulated Radiotherapy, FIMRT)更有优势的剂量分布<sup>[1-3]</sup>。由于病人肿瘤的个体化因素<sup>[4-5]</sup>,在设计VMAT计划过程中,也要具备适应肿瘤类型的特点。宫颈癌VMAT计划中,准直器角度的选择对计划剂量分布有明显的影响。本文研究了在宫颈癌VMAT计划设计过程中准直器角度的不同所导致的计划之间的差别,为临床治疗提供更有效率的技术参考。

## 1 材料与方法

选取20例宫颈癌术后患者进行VMAT计划设计,所有病人靶区和危及器官均由同一名医生勾画,根据宫颈癌术后靶区分布的特点,靶区范围包括阴道残端及盆腹腔淋巴引流区(下至阴道残端下3 cm,上至L5椎体上缘,如做腹主动脉旁淋巴引流区照射时,上界延至肾血管水平)<sup>[6-7]</sup>。靶区命名分别为阴道部PCTV1,阴道残端PCTV2,淋巴结引流区PCTVln(无阳性淋巴结)。按照医生治疗方案,所有靶区处方为46 Gy/23 f。

首先选取一名病例选用双全弧照射(CCW179°~181°、CW181°~179°),采用不同的准直器角度(0°,0°)、(0°,10°)、(0°,20°)、(0°,30°)、(0°,45°)、(-10°,10°)、(-20°,20°)、(-30°,30°)、(-45°,45°)在Varian Eclipse计划系统上设计9个计划,筛选出剂量学最优和最差的两个角度。靶区的评估指标包括 $D_{98\%}$ 、 $D_{95\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 $D_{2\%}$ 、均匀性指数(HI)和适形指数(CI), $D_x$ 表示x%的靶区体积受到的照射剂量, $D_{mean}$ 为平均剂量。危及器官评估直肠、膀胱、小肠的体积剂量 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ , $D_{mean}$ 以及 $D_{1cc}$ ( $D_{1cc}$ 为1 cm<sup>3</sup>体积所受剂量)。HI的计算公式为<sup>[8]</sup>: $HI=(D_{2\%}-D_{98\%})/D_{50\%}$ ,HI取值越接近0,表示均匀性越好;CI的计算公式为: $CI=\frac{VT_{ref}}{VT} \cdot \frac{VT_{ref}}{V_{ref}}$ ,其中 $VT_{ref}$ 为95%参考等剂量线所包绕的靶区体积,VT为靶区体积, $V_{ref}$ 为95%参考等剂量线所包绕的体表轮廓内的体积,CI值越接近1,适形度越好。以折线图表示9

个计划的靶区HI、CI,以及危及器官体积剂量的变化规律。

将筛选出的两个角度应用于20例宫颈癌术后患者进行VMAT计划设计,用SPSS软件的配对t检验方法统计两组计划靶区、危及器官的剂量参数以及MU。 $P<0.05$ 为数据具有统计学意义。为了便于分析准直器角度对计划的影响,同一病人的不同计划除了准直器角度不同,其他设置优化参数均一致。

## 2 结果

### 2.1 9个不同准直器角度的计划剂量参数比较

**2.1.1 靶区剂量参数** 9个不同准直器角度计划的靶区剂量参数如表1所示。

**2.1.2 危及器官和正常组织体积剂量参数** 9个不同准直器角度计划的危及器官体积剂量参数如表2所示。

**2.1.3 靶区和危及器官的剂量参数折线图** 表1和表2分别为9个不同准直器角度的计划靶区和危及器官剂量参数,并以折线图的形式在图1上表示出来。统计数据表明:(0°,0°)计划的靶区低剂量 $D_{98\%}$ 不易达到处方要求(45~46 Gy),高剂量数值(热点)超过其他计划。靶区体积越大,此现象越明显。从靶区剂量参数 $D_{98\%}$ 、 $D_{95\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 $D_{2\%}$ 亦能推断(0°,0°)计划的靶区剂量均匀性最差。靶区折线图显示出HI、CI指数随准直器角度不同具有相同的变化趋势。在给出的九个准直器角度对应的计划当中,PCTVln和PCTV1在(0°,0°)计划的靶区剂量参数最差,(0°,30°)计划的靶区参数最优。PCTV2规律并不明显,因为此靶区体积很小,很容易达到处方剂量要求,对准直器角度不敏感。主要危及器官如直肠、膀胱、小肠的 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 均在(0°,30°)计划中表现的最低。其中直肠、膀胱的体积剂量曲线呈V字型, $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 在0°~30°范围内随着角度增加而降低。由于宫颈癌靶区形状的特殊性,直肠、膀胱和小肠镶嵌在靶区的内部和上下,在MLC适形过程中会受到明显的保护;左、右股骨头以及骶骨在靶区的外部边缘,对MLC的适形过程不会造成明显的影响,因此随着准直器角度的变化,这些器官呈现的剂量特性没有明显的规律。同时,从图1中f、g、h可以观察到这些危及器官的平均剂量 $D_{mean}$ ,以及 $D_{1cc}$ 也没有表现出明显的变化规律。

表1 9个计划的靶区剂量参数比较

Tab.1 Target dosimetric parameter comparison of 9 plans

Target	Collimator angle	D <sub>98%</sub> /cGy	D <sub>95%</sub> /cGy	D <sub>50%</sub> /cGy	D <sub>2%</sub> /cGy	CI	HI
PCTV1	(0°, 0°)	4 431.39	4 476.82	4 709.41	4 930.87	0.768	0.106
	(0°, 10°)	4 458.26	4 514.87	4 733.47	4 901.34	0.830	0.094
	(0°, 20°)	4 501.01	4 549.27	4 741.65	4 856.50	0.899	0.075
	(0°, 30°)	4 559.68	4 561.90	4 721.53	4 847.27	0.964	0.061
	(0°, 45°)	4 530.04	4 570.01	4 707.48	4 828.76	0.900	0.063
	(-10°, 10°)	4 464.21	4 514.17	4 721.10	4 846.02	0.843	0.081
	(-20°, 20°)	4 508.40	4 556.72	4 725.74	4 847.01	0.896	0.072
	(-30°, 30°)	4 552.60	4 599.07	4 774.53	4 895.29	0.949	0.072
	(-45°, 45°)	4 494.11	4 534.87	4 693.13	4 860.60	0.828	0.078
PCTV2	(0°, 0°)	4 593.70	4 626.80	4 747.11	4 817.93	0.981	0.047
	(0°, 10°)	4 612.79	4 655.35	4 753.95	4 813.21	0.988	0.042
	(0°, 20°)	4 605.67	4 632.34	4 751.38	4 818.25	0.981	0.045
	(0°, 30°)	4 614.91	4 638.20	4 723.80	4 837.99	0.991	0.047
	(0°, 45°)	4 602.47	4 619.49	4 726.03	4 810.63	0.983	0.044
	(-10°, 10°)	4 557.22	4 590.74	4 725.39	4 811.07	0.932	0.054
	(-20°, 20°)	4 611.59	4 643.57	4 741.16	4 807.10	0.991	0.041
	(-30°, 30°)	4 621.25	4 651.86	4 763.69	4 877.21	0.981	0.054
	(-45°, 45°)	4 563.73	4 601.08	4 747.42	4 829.13	0.954	0.056
PCTVln	(0°, 0°)	4 293.32	4 359.09	4 650.95	4 883.57	0.611	0.127
	(0°, 10°)	4 329.77	4 399.85	4 671.72	4 885.61	0.661	0.119
	(0°, 20°)	4 412.82	4 475.12	4 699.04	4 858.97	0.775	0.095
	(0°, 30°)	4 538.23	4 598.65	4 714.85	4 814.00	0.930	0.058
	(0°, 45°)	4 487.66	4 535.78	4 710.88	4 834.48	0.857	0.074
	(-10°, 10°)	4 368.74	4 436.16	4 681.03	4 851.32	0.706	0.103
	(-20°, 20°)	4 461.80	4 518.62	4 713.31	4 855.33	0.846	0.083
	(-30°, 30°)	4 524.51	4 573.19	4 765.63	4 896.59	0.923	0.078
	(-45°, 45°)	4 449.71	4 501.86	4 693.41	4 859.84	0.792	0.087

PCTV: Planning clinical target volume; CI: Conformal index; HI: Homogeneity index

表2 9个计划的危及器官体积剂量参数比较

Tab.2 OAR volume dose parameters comparison of 9 plans

OAR	Collimator angle	V <sub>20</sub> /%	V <sub>30</sub> /%	V <sub>40</sub> /%	D <sub>mean</sub> /cGy	D <sub>1cc</sub> /cGy
Rectum	(0°, 0°)	98.7	77.9	31.9	3 620.6	4 761.13
	(0°, 10°)	98.0	72.1	31.2	3 447.4	4 781.82
	(0°, 20°)	98.1	62.7	26.7	3 391.4	4 802.94
	(0°, 30°)	61.9	37.7	16.4	3 359.3	4 781.44
	(0°, 45°)	97.5	51.9	24.2	3 256.1	4 786.44
	(-10°, 10°)	97.5	71.0	29.6	3 509.2	4 797.46
	(-20°, 20°)	97.1	54.6	24.4	3 285.1	4 785.07

续表2(Continued Tab.2)

OAR	Collimator angle	V <sub>20</sub> /%	V <sub>30</sub> /%	V <sub>40</sub> /%	D <sub>mean</sub> /cGy	D <sub>1cc</sub> /cGy
Bladder	(-30°, 30°)	97.3	52.9	24.5	3 266.1	4 825.74
	(-45°, 45°)	95.3	52.2	26.0	3 236.3	4 727.92
	(0°, 0°)	100.0	72.6	28.9	3 527.6	4 722.38
	(0°, 10°)	98.5	66.3	27.3	3 447.4	4 699.02
	(0°, 20°)	97.8	67.1	27.0	3 470.9	4 719.47
	(0°, 30°)	89.0	34.3	15.6	3 396.3	4 691.01
	(0°, 45°)	95.0	61.9	27.7	3 345.7	4 690.57
	(-10°, 10°)	100.0	66.4	26.3	3 448.8	4 690.06
Intestine	(-20°, 20°)	100.0	67.6	26.1	3453.1	4 703.42
	(-30°, 30°)	99.5	66.4	29.6	3 450.8	4 740.31
	(-45°, 45°)	100.0	67.0	30.5	3 471.3	4 674.45
	(0°, 0°)	53.9	24.5	9.8	2 341.5	4 696.71
	(0°, 10°)	55.3	23.8	8.9	2 337.3	4 730.16
	(0°, 20°)	55.4	21.4	6.4	2 295.3	4 588.89
	(0°, 30°)	51.0	17.1	4.1	2 279.4	4 263.85
	(0°, 45°)	63.5	18.1	4.9	2 344.5	4 770.51
Left femoral head	(-10°, 10°)	54.7	22.9	7.0	2 294.8	4 672.29
	(-20°, 20°)	55.9	18.4	5.0	2 285.3	4 556.54
	(-30°, 30°)	58.8	18.7	5.1	2 341.5	4 585.40
	(-45°, 45°)	66.0	20.8	5.9	2 417.3	4 549.80
	(0°, 0°)	47.8	9.9	0.0	2 052.2	3 614.66
	(0°, 10°)	56.7	10.9	0.0	2 159.0	3 666.96
	(0°, 20°)	54.99	9.62	0.0	2 143.7	3 542.90
	(0°, 30°)	59.8	7.6	0.0	2 195.8	3 473.33
Right femoral head	(0°, 45°)	66.4	8.8	0.0	2 283.8	3 240.18
	(-10°, 10°)	62.3	14.9	0.0	2 257.7	3 784.34
	(-20°, 20°)	65.5	10.1	0.0	2 244.0	3 455.03
	(-30°, 30°)	82.8	13.7	0.0	2 504.5	3 541.01
	(-45°, 45°)	73.9	12.1	0.0	2 393.9	3 488.63
	(0°, 0°)	37.8	11.9	0.0	1 954.6	3 673.19
	(0°, 10°)	36.7	12.5	0.0	1 941.2	3 642.42
	(0°, 20°)	45.15	13.5	0.0	2 030.7	3 636.91
Sacrum	(0°, 30°)	47.4	8.99	0.0	2 043.0	3 452.56
	(0°, 45°)	48.8	7.4	0.0	2 036.3	3 252.33
	(-10°, 10°)	38.6	11.1	0.0	1 971.9	3 678.50
	(-20°, 20°)	54.6	9.2	0.0	2 140.0	3 543.74
	(-30°, 30°)	59.2	7.2	0.0	2 134.2	3 508.85
	(-45°, 45°)	65.9	7.5	0.0	2 225.3	3 506.16
	(0°, 0°)	97.7	66.8	29.5	3 439.6	4 753.23
	(0°, 10°)	96.2	66.2	28.9	3 415.8	4 734.82
	(0°, 20°)	96.5	66.3	28.1	3 412.2	4 766.44
	(0°, 30°)	96.3	64.2	27.7	3 379.5	4 776.55
	(0°, 45°)	95.7	66.8	28.0	3 397.8	4 777.34
	(-10°, 10°)	96.4	70.1	28.9	3 458.3	4 758.16
	(-20°, 20°)	95.9	61.4	27.3	3 346.7	4 748.67
	(-30°, 30°)	99.1	65.1	29.7	3 444.0	4 813.04
	(-45°, 45°)	97.8	71.1	29.6	3 472.7	4 726.28

OAR: Organs at risk



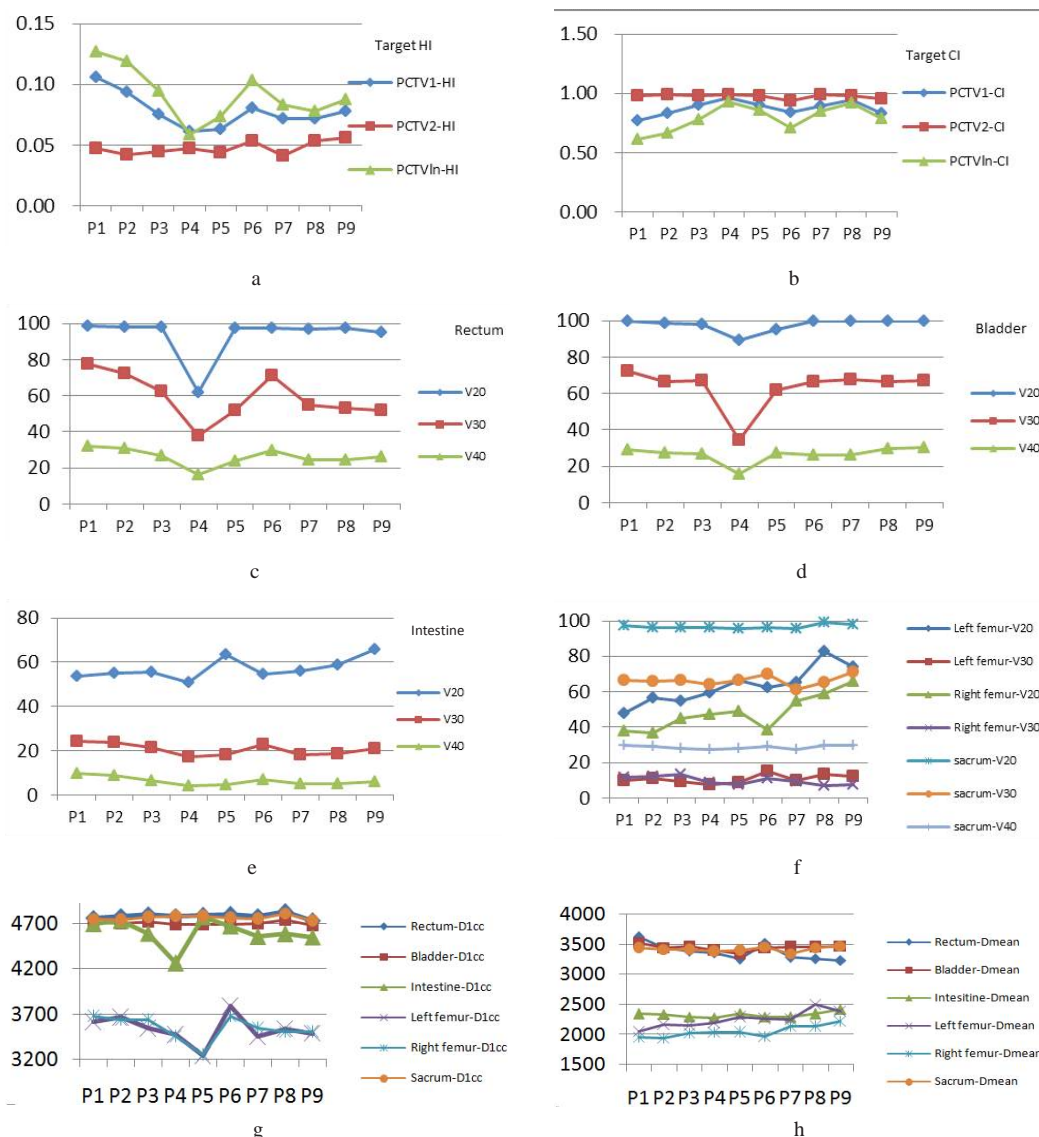


图1 9个不同角度的计划靶区以及危及器官剂量参数折线图

Fig.1 Line charts of dosimetric parameters of planning target volume and OAR with 9 different collimator angles

P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, and P9 represented the plan with the collimator angles of  $(0^\circ, 0^\circ)$ ,  $(0^\circ, 10^\circ)$ ,  $(0^\circ, 20^\circ)$ ,  $(0^\circ, 30^\circ)$ ,  $(0^\circ, 45^\circ)$ ,  $(-10^\circ, 10^\circ)$ ,  $(-20^\circ, 20^\circ)$ ,  $(-30^\circ, 30^\circ)$ , and  $(-45^\circ, 45^\circ)$ , respectively. The Fig.1a and b respectively represented HI and CI, and the fig.1c, d, e, f respectively showed the changing trend of  $V_{20}$ ,  $V_{30}$ ,  $V_{40}$  of organs such as rectum, bladder, small intestine and bones. Dose of one cubic centimeter for organs was shown in fig.1g, and  $D_{mean}$  of organs was shown in fig.1h.

## 2.2 $(0^\circ, 0^\circ)$ 和 $(0^\circ, 30^\circ)$ 两组计划剂量参数比较

将 $(0^\circ, 0^\circ)$ 和 $(0^\circ, 30^\circ)$ 计划应用于20例患者,两组计划的靶区、危及器官剂量参数如表3所示。

将此两个角度应用于20例宫颈癌术后患者,统计两组计划的剂量学参数。表3数据表明, $(0^\circ, 30^\circ)$ 计划的靶区适形度和剂量均匀性均优于 $(0^\circ, 0^\circ)$ 计划( $P < 0.05$ )。膀胱的 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $D_{mean}$ 分别降低了13.5%、3.4%、3.7%( $t=4.649, 4.511, 3.833, P < 0.05$ );直肠的 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $D_{mean}$ 分别降低了13.4%、30.3%、6.6%( $t=4.945, 4.455, 8.864, P < 0.05$ );小肠的 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $D_{mean}$ 分别降低了30.2%、48.4%、2.7%( $t=3.972, 4.077, 9.604,$

$P < 0.05$ ),而 $V_{20}$ 增加了4.6%( $t=1.091, P < 0.05$ )。 $(0^\circ, 30^\circ)$ 计划的平均MU增加了12.7%( $t=7.028, P < 0.05$ )。需要指出的是两组计划膀胱的 $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 均是100%,没有比较的意义,表3不再列出。

## 3 讨论

VMAT技术拥有比固定野IMRT更多的自由度,在照射病人过程中能够不断改变着机架旋转速度、剂量率、子野大小等各种复杂的参数,优化靶区和正常器官剂量的同时也缩短了治疗时间,减少了出束跳数<sup>[9-10]</sup>。而准直器角度也是影响VMAT计划和执

表3 (0°,0°)和(0°,30°)两组计划的靶区、危及器官剂量参数

Tab.3 Dosimetric parameters of targets and OAR of two groups of plans with collimator angles of (0°, 0°) and (0, 30°)

Target	Parameter	(0°,0°)	(0°,30°)	t value	P value
PCTV1	D <sub>98%</sub> /cGy	4 454.70±42.55	4 487.07±52.18	2.797	0.014
	D <sub>95%</sub> /cGy	4 503.84±38.42	4 530.76±47.20	2.009	0.063
	D <sub>50%</sub> /cGy	4 720.41±47.20	4 710.03±24.63	1.468	0.163
	D <sub>02%</sub> /cGy	4 904.33±40.62	4 835.80±16.10	7.900	0.000
	HI	0.095±0.015	0.074±0.012	6.666	0.000
	CI	0.81±0.06	0.86±0.06	6.650	0.000
PCTV2	D <sub>98%</sub> /cGy	4 506.67±54.04	4 526.92±57.55	3.624	0.002
	D <sub>95%</sub> /cGy	4 556.92±49.08	4 570.78±48.05	2.164	0.047
	D <sub>50%</sub> /cGy	4 738.48±22.61	4 728.05±18.69	1.785	0.094
	D <sub>02%</sub> /cGy	4 851.12±31.74	4 822.81±14.80	3.633	0.002
	HI	0.727±0.016	0.626±0.013	6.231	0.000
	CI	0.89±0.05	0.91±0.60	6.350	0.000
PCTVln	D <sub>98%</sub> /cGy	4 209.00±93.85	4 433.15±63.51	14.381	0.000
	D <sub>95%</sub> /cGy	4 286.91±89.27	4 482.91±73.81	10.675	0.000
	D <sub>50%</sub> /cGy	4 641.30±85.4	4 695.81±22.98	2.425	0.029
	D <sub>02%</sub> /cGy	4 863.19±12.14	4 840.34±16.43	4.284	0.001
	HI	0.141±0.02	0.086±0.015	15.464	0.000
	CI	0.56±0.11	0.79±0.08	14.981	0.000
Bladder	V <sub>30%</sub> /%	72.06±15.23	62.30±10.68	4.649	0.001
	V <sub>40%</sub> /%	28.90±8.50	27.90±3.20	4.511	0.000
	D <sub>mean</sub> /cGy	3 527.60±20.31	3 396.30±18.69	3.833	0.000

行效率的一个重要的自由度。计划系统生产商对计划过程中如何选择最佳准直器角度并没有明确的说明和解释。不同部位肿瘤的VMAT计划设计对准直器角度要求也不一样。鉴于此,国内外学者关于准直器角度对IMRT计划进行了不同方面的研究<sup>[11-14]</sup>。李长虎等<sup>[11]</sup>研究了0°和90°的准直器对长条状靶区的计划剂量、控制点以及MV方面的影响,认为MLC垂直于长条状靶区进行调强会提高机器治疗效率,减少控制点数目和跳数。陈恩乐等<sup>[12]</sup>研究了食管癌在静态和动态调强下两种准直器角度下(0°,90°)计划子野数或控制点数和Mu的差异,认为垂直于靶区长轴,在不影响靶区和危及器官受量情况下,可明显减少子野数目和机器跳数,提高了加速器的治疗效率。Sharma等<sup>[14]</sup>研究了准直器角度对腮腺癌IMRT剂量的影响,方法是将准直器角度以30°递增在0°~90°之间做了4个计划,结论是准直器角度的变化没有对腮腺癌IMRT计划产生明显的影响。Isa<sup>[13]</sup>研究

了不同的准直器角度(0°、15°、30°、45°、60°、75°)对前列腺癌VMAT的差异,结论是准直器角度对靶区的剂量覆盖程度没有明显的影响,75°和90°时直肠的受量最低。

宫颈癌术后VMAT对准直器角度有明显的依赖性,在设计方案的9个计划中,准直器角度为0°时靶区剂量不易达到处方要求,剂量HI和CI最差,危及器官体积剂量得不到有效的降低。临床对宫颈癌计划要求在满足靶区剂量的前提下,危及器官如直肠、膀胱、小肠所受剂量尽量越低越好,由数据统计和分析,相比其他角度的计划,30°计划既提高了靶区的剂量均匀性和适形度,又大幅度降低了危及器官的所受量。图1的HI图可以看到,(0°,0°)~(0°,45°)之间、(-10°,10°)~(-45°,45°)之间的曲线均是波谷形,CI图在这两个区间均是波峰形,HI的最小值和CI的最大值均产生在(0°,30°)计划中,次之发生在(-30°,30°)的计划中,即(-30°,30°)的计划靶区剂量稍差于

( $0^\circ, 30^\circ$ )。HI 和 CI 的这种变化是由于宫颈癌术后靶区的形状所产生。此外,膀胱、直肠  $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$  随准直器角度变化的曲线趋势基本一致。左右股骨头以及骶骨的剂量变化没有明显特点和规律,这可能是由于这些组织位于靶区周边外围,对 MLC 的适形过程产生不了明显的干扰。

20 例患者的 ( $0^\circ, 30^\circ$ ) 和 ( $0^\circ, 0^\circ$ ) 两组计划中,从靶区的适形度、剂量均匀性、处方剂量覆盖程度,以及危及器官的体积剂量和 MV 方面, ( $0, 30^\circ$ ) 计划的剂量学优于 ( $0^\circ, 0^\circ$ ) 准直器角度的计划。入选本研究的 20 例患者肿瘤靶区的头脚方向的平均长度为 21.5 cm, 平均体积为  $818.8 \text{ cm}^3$ 。数据表明:分期不同导致肿瘤范围不同,若有阳性淋巴结并且侵犯到腹主动脉,则淋巴引流区的长度会达到 32 cm 左右<sup>[15-16]</sup>,此时需要重新统计数据分析有利于计划剂量的最佳准直器角度。需要说明的是本文章研究结果是针对于本方案设计的九个准直器角度而言,不排除有利于计划剂量更优的其他角度。

VMAT 作为成熟的治疗方式已经得到广泛应用,由于牵涉到众多复杂的参数,有必须要充分挖掘每个参数的性能和使用空间。宫颈癌靶区的形状决定了选择较为合适的准直器角度能使计划剂量参数得到进一步优化,同时也能提高加速器执行效率。在 VMAT 中,除了准直器角度是重要的因素之一,控制点个数 (Gantry spacing, 两个控制点之间的机架角度) 也是影响计划剂量和加速器治疗效率的因素<sup>[9]</sup>,这是我们研究的下一个课题。总之,宫颈癌旋转调强计划需要考虑准直器角度带来的影响,选择最优的准直器角度对提高病人治疗的增益比和加速器工作效率有重要的临床意义。

## 【参考文献】

- [1] CHEN H, CRAFT D L, GIERGA D P. Multicriteria optimization informed VMAT planning[J]. Med Dosim, 2014, 39(1): 64-73.
- [2] WOLFF D, STIELER F, WELZEL G, et al. Volumetric modulated arc therapy (VMAT) vs serial tomotherapy, step-and-shoot IMRT and 3D-conformal RT for treatment of prostate cancer[J]. Radiat Oncol, 2009, 93(2): 226-233.
- [3] TEOH M, CLARK C H, WOOD K, et al. Volumetric modulated arc therapy: a review of current literature and clinical use in practice[J]. Br J Radiol, 2011, 84(1007): 967-996.
- [4] KNÖÖS T, WIESLANDER E, COZZI L, et al. Comparison of dose calculation algorithms for treatment planning in external photon beam therapy for clinical situations[J]. Phys Med Biol, 2006, 51(22): 5785-5807.
- [5] SCHREIBMANN E, DHABAAN A, ELDER E, et al. Patient-specific quality assurance method for VMAT treatment delivery[J]. Med Phys, 2009, 36(10): 4530-4535.
- [6] International Commission on Radiation Units and Measurements. The ICRU Report 83: prescribing, recording and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT)[R]. Strahlenther Onkol: Hodapp N, 2012: 1.
- [7] PADDICK I. A simple scoring ratio to index the conformity of radiosurgical treatment plans: technical note[J]. J Neurosurg, 2000, 93(3): 219-222.
- [10] DAVIDSON M T, BLAKE S J, BATCHELAR D L, et al. Assessing the role of volumetric modulated arc therapy (VMAT) relative to IMRT and helical tomotherapy in the management of localized, locally advanced, and post-operative prostate cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 80(5): 1550-1558.
- [8] QUAN E M, LI X, LI Y, et al. A comprehensive comparison of IMRT and VMAT plan quality for prostate cancer treatment[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 83(4): 1169-1178.
- [9] SHEPARD D, POPPLE R. Volumetric modulated arc therapy [J]. Med Phys, 2013, 40(6): 250-253.
- [10] TEOH M, CLARK C H, WOOD K, et al. Volumetric modulated arc therapy: a review of current literature and clinical use in practice[J]. Br J Radiol, 2011, 84(1007): 967-996.
- [11] 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. LI C H, ZHANG C L, XU L M, et al. The influence of multileaf collimator on delivery efficiency for IMRT treatment[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2013, 22(6): 482-484.
- [12] 陈恩乐, 吴魁, 董, 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. CHEN E L, WU K, DONG S, et al. Impacts of the angle of multileaf collimator on efficiency of intensity modulated radiation therapy[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2015, 32(3): 437-439.
- [13] ISA M, REHMAN J, AFZAL M, et al. Dosimetric dependence on the collimator angle in prostate volumetric modulated arc therapy[J]. Int J Cancer Ther Oncol, 2014, 2(4): 020419.
- [14] SHARMA S, MANIGANDAN D, SUBRAMANI V, et al. How collimator rotation influence IMRT dose distribution and dose delivery: assessment in case of carcinoma parotid[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 78(3): S766-S767.
- [15] KOH W J, GREER B E, ABU-RUSTUM N R, et al. Cervical cancer [J]. J Natl Compr Canc Netw, 2013, 11(3): 320-343.
- [16] NIJKAMP J, DE HAAS-KOCK D F M, BEUKEMA J C, et al. Target volume delineation variation in radiotherapy for early stage rectal cancer in the Netherlands[J]. Radiother Oncol, 2012, 102(1): 14-21.

(编辑:薛泽玲)