

## 宫颈癌容积旋转调强计划设计中铅门设置的影响

陈宁<sup>1</sup>, 周剑良<sup>1</sup>, 邱杰<sup>2</sup>, 杨波<sup>2</sup>, 庞廷田<sup>2</sup>, 刘楠<sup>2</sup>, 刘峡<sup>2</sup>, 董婷婷<sup>2</sup>, 张福泉<sup>2</sup>

1. 南华大学核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院放疗科, 北京 100032

**【摘要】目的:**研究宫颈癌容积旋转调强技术(VMAT)中铅门设置对靶区的均匀性(HI)、适形度(CI)、机器跳数(MU)及危及器官受量的影响,从而得出针对宫颈癌VMAT设计的最优方案。**方法:**采用Eclipse TPS(8.6)系统中VMAT对随机抽取的12例宫颈癌患者用3种铅门设置方法进行计划设计,分别为:固定铅门在15 cm宽度(x1、x2方向铅门与射野中心距离基本相等,因宫颈癌靶区较大,靶区两侧边缘包绕不全,铅门横向方向大小为15 cm),称为2ARC计划;铅门固定在包绕靶区(两个全弧的x1、x2方向都完全包绕其方向靶区,铅门横向距离大于15 cm)位置进行计划优化,称为MAX计划;固定铅门在15 cm(x方向,第一个全弧arc1中x1方向能够完全包绕此方向靶区,外廓0.5 cm,对侧靶区包绕不全;第二个全弧arc2中x2方向能够完全包绕此方向靶区,外廓0.5 cm,对侧靶区包绕不全),称为HALF计划。最终得出靶区的CI、HI、MU以及危及器官受量。采用SPSS 12.0统计学软件对3种计划两两进行比较,作 $t$ 检验分析。**结果:**MAX计划膀胱 $V_{30}$ ( $V_x$ 表示x Gy剂量所对应的危及器官的相对体积)、 $V_{40}$ 、平均剂量( $D_{mean}$ )、最大剂量( $D_{max}$ )较2ARC、HALF计划受量都高,具有统计学意义;直肠的 $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $V_{50}$ 、 $D_{mean}$ 受量较其他两种计划设计受量都高,有统计学意义;小肠的 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $V_{50}$ 、 $D_{mean}$ 较2ARC计划受量高, $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $D_{mean}$ 较HALF计划受量高,有统计学意义;骨髓的 $V_{20}$ 、 $V_{40}$ 、 $D_{mean}$ 较其他两个计划都高,有统计学意义;左右股骨头 $D_5$ 受量、脊髓最大剂量都较其它两种计划高,有统计学意义,但其MU较其它两种方法都少,且具有统计学意义。3种方法靶区剂量的HI、CI比较,差异无统计学意义,2ARC与HALF计划的差异无统计学意义。3种方法靶区剂量都达到了临床要求。**结论:**MAX计划危及器官受量较高,不适合临床应用,2ARC计划与HALF计划无太大差别,适合临床应用。

**【关键词】**宫颈癌;容积旋转调强;铅门设置;散射剂量评价

**【中图分类号】** R144; R811.1

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1005-202X(2016)10-1002-06

## Effect of jaw-setting in volumetric modulated arc therapy for cervical cancer

CHEN Ning<sup>1</sup>, ZHOU Jian-liang<sup>1</sup>, QIU Jie<sup>2</sup>, YANG Bo<sup>2</sup>, PANG Ting-tian<sup>2</sup>, LIU Nan<sup>2</sup>, LIU Xia<sup>2</sup>, DONG Ting-ting<sup>2</sup>, ZHANG Fu-quan<sup>2</sup>

1. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001, China; 2. Department of Radiotherapy, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100032, China

**Abstract: Objective** To design the optimal volumetric modulated arc therapy (VMAT) plan for cervical cancer by studying on the effect of jaw-setting on the homogeneity index (HI), conformity index (CI), monitor unit (MU) and dose of organs at risk (OAR). **Methods** Totally, 12 patients with cervical cancer were randomly selected, and Eclipse TPS 8.6 system was used to design VMAT plan for the selected patient. The plan resulted with three different jaw-setting ways, including 2ARC plan, MAX plan, and HALF plan. In 2ARC plan, the jaw was set at the 15 cm in the direction of x (the distance of x1 to beam center was basically equal to the distance of x2 to beam center, and the jaw was 15 cm in transverse direction because the target volume of cervical cancer was large and the target volume was incompletely surrounded). In MAX plan, in which the target volume can be completely surrounded in x1 and x2 directions, the jaw was more than 15 cm in transverse direction. In HALF plan, the jaw was set at the 15 cm in the direction of x, (arc1 target volume was completely surrounded in x1 direction, outline-0.5 cm, while the other direction can be surrounded partly; and the arc2 target volume can be completely surrounded in x2

**【收稿日期】** 2016-06-24

**【作者简介】** 陈宁, 女, 在读研究生, 研究方向: 医学物理, E-mail: 18811021510@163.com

**【通信作者】** 邱杰, 男, 副主任, 研究方向: 精确放疗物理技术, E-mail: qj\_ww@139.com

direction, outline-0.5 cm, while the other direction can be surrounded partly). The CI, HI, MU and dose of OAR were obtained, and the t test in SPSS 12.0 statistical software was used to compare between the three plans. **Results** Compared with 2ARC plan and HALF plan,  $V_{30}$  ( $V_x$  indicated the relative volume of OAR which corresponded to x Gy dose),  $V_{40}$ , mean dose ( $D_{mean}$ ) and maximum dose ( $D_{max}$ ) of bladder, the  $V_{10}$ ,  $V_{20}$ ,  $V_{30}$ ,  $V_{40}$ ,  $V_{50}$  and  $D_{mean}$  of rectum were higher in MAX plan, with statistical significance. The  $V_{20}$ ,  $V_{30}$ ,  $V_{40}$ ,  $V_{50}$ ,  $D_{mean}$  of small intestine in MAX plan were higher than those in 2ARC plan, with statistical significance, and the  $V_{20}$ ,  $V_{30}$ ,  $V_{40}$ , and  $D_{mean}$  of small intestine in MAX plan were higher than those in HALF plan, with statistical significance. Compared with 2ARC plan and HALF plan, the  $V_{20}$ ,  $V_{40}$ ,  $D_{mean}$  of the marrow,  $D_5$  of the left and right femoral head,  $D_{max}$  of spinal cord were higher in MAX plan, while MU was lower in MAX plan, with statistical significance. No statistical significance was found in HI and CI between the three plans, and no statistical significance were found between 2ARC plan and HALF plan. All the target volume dose of the three plans met clinical requirements. **Conclusion** The MAX plan is not suitable for clinical application because the OAR is at higher dose. No significant difference is found between 2ARC plan and HALF plan, both of which are suitable for clinical application.

**Key words:** cervical cancer; volumetric modulated arc therapy; jaw-setting; scatter dose evaluation

## 前言

随着计算机技术的发展与成熟,各种新型放疗技术应用于临床。其中,容积旋转调强技术(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)也逐渐被大家熟知与应用,大量的文章<sup>[1-4]</sup>也研究了VMAT较其他放疗技术的优势,但关于VMAT的计划设计的研究仍相对较少。如何利用计划系统设置较合理的优化条件或优化参数,使得计划得到最优,是临床上急需解决的问题。

宫颈癌是人体最常见的癌症之一,不但在女性生殖器官肿瘤中占首位,而且是各种恶性肿瘤中最常见的肿瘤之一<sup>[5]</sup>。对于宫颈癌,由于靶区体积较大,各大医院相继采用了VMAT,在改善剂量分布的同时减少了治疗时间。在这些计划设计中,对铅门的设置不尽相同,这种差异有没有剂量学上的影响,值得研究。本文就铅门设置的不同展开研究,通过相互比较以期得到理想的结果。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据采集

随机选取2015年8月~12月在北京协和医院治疗的12例宫颈癌术后患者,年龄为38~58岁,这些患者的分期参照国际妇产科联盟的分期(International Federation of Gynecology and Obstetrics, FIGO),为IB与IIA之间,并且通过病理分析确诊为鳞癌,临床医生确认其有高危因素,需要接受术后盆腔放疗,靶区的大小基本相等。

### 1.2 CT模拟定位

所有患者遵从临床医生叮嘱,在定位前排空直肠,膀胱尽最大可能处于充盈状态,并口服泛影葡胺(20 mL+300 mL水稀释)。定位时采用仰卧位,待确

定好肿瘤大致位置后用热塑体模进行固定,之后进行扫描(Philips Briliance™ Philips Healthcare Academy) 16排大孔径CT模拟机,层厚扫描为5 mm)。

### 1.3 靶区及危及器官勾画

临床靶区(Clinical Target Volume, CTV)包括盆腔区域淋巴结(闭孔、髂内、髂外及髂总淋巴结)和阴道残端,计划靶区(Planning Target Volume, PTV)在CTV基础上头脚方向外放1 cm,前后左右方向各外放0.8 cm,危及器官涉及到膀胱、小肠、脊髓、直肠、左右股骨头以及骨髓。

### 1.4 计划设计

对所有患者的靶区,均进行顺时针和逆时针两个全弧容积调强计划设计,多叶准直器分别设置为10°和350°,铅门在自动跟随靶区后,2ARC计划在此基础上x方向铅门固定在15 cm(x1、x2方向铅门与射野中心距离基本相等,因宫颈癌靶区较大,靶区两侧边缘包绕不全,铅门横向方向大小为15 cm,如图1); MAX计划由计划系统自动优化射野尺寸后不采取任何措施(两个全弧的x1、x2方向都完全包绕其方向靶区,铅门横向距离大于15 cm,如图2)。HALF计划在计划系统自动优化尺寸后,x方向固定铅门(第一个全弧arc1中x2方向能够完全包绕此方向靶区,外廓0.5 cm,对侧靶区包绕不全;第二个全弧arc2中x1方向能够完全包绕此方向靶区,外廓0.5 cm,对侧靶区包绕不全,如图3)两个全弧x铅门大小均为15 cm。按照临床医生的要求给予单次量180 cGy的照射,并照射28次,危及器官和靶区剂量的目标函数设置最初基本相同。优化过程中根据届时的剂量体积直方图及时调节优化参数,使得计划尽量达到最优。优化得到的通量通过多叶运动计算器(Leaf Motion

Calculator, LMC)转换成实际通量,选择Sliding Window 模式进行剂量传输,并采用算法较为精确的AAA (Analytical Anisotropic Algorithm)算法进行剂量计算,最终归一到95%的体积包绕处方剂量。利用瓦立安公司的Trilogy 机器的6 MV X射线进行计划执行。

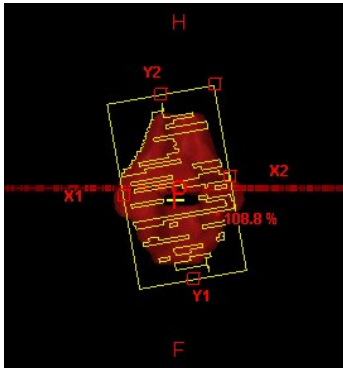


图1 2ARC计划  
Fig.1 2ARC plan

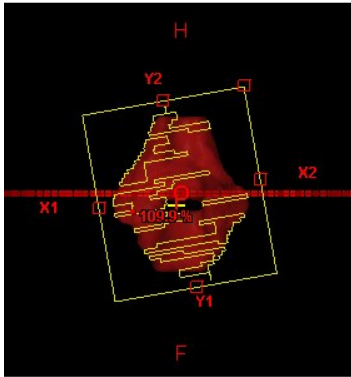


图2 MAX计划  
Fig.2 MAX plan

1.5 计划评估

计划评估参数包含靶区、危及器官的相应体积所对应的剂量以及靶区的适形度(CI)、均匀性(HI)指数,见下表[V<sub>x</sub>%表示x%剂量所包绕的相对体积,D<sub>x</sub>表示x%的PTV 体积接受的最小剂量,CI=(V<sub>PTV</sub>/TV<sub>PTV</sub>)/(TV<sub>PTV</sub>/TV),HI定义为D<sub>5</sub>/D<sub>95</sub>]。

1.6 统计学处理

本实验数据采用SPSS 12.0统计软件进行统计分析,各个计划相互之间行配对t检验,结果以均数±标准差表示,P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 累及危及器官受量比较

表1、表2为不同治疗方案宫颈癌患者危及器官

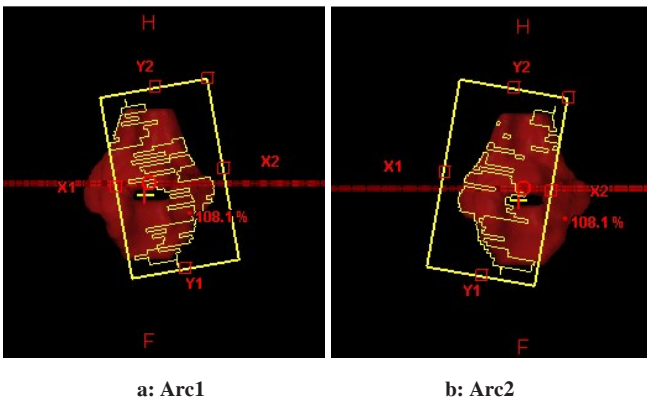


图3 HALF计划  
Fig.3 HALF plan

的剂量比较结果。MAX计划膀胱V<sub>30</sub>、V<sub>40</sub>、D<sub>mean</sub>、D<sub>max</sub>较2ARC、HALF计划受量高,具有统计学意义;直肠的V<sub>10</sub>、V<sub>20</sub>、V<sub>30</sub>、V<sub>40</sub>、V<sub>50</sub>、D<sub>mean</sub>受量较其它两种计划危及器官受量都高,有统计学意义;小肠的V<sub>20</sub>、V<sub>30</sub>、V<sub>40</sub>、V<sub>50</sub>、D<sub>mean</sub>较2ARC计划受量高,V<sub>20</sub>、V<sub>30</sub>、V<sub>40</sub>、D<sub>mean</sub>较HALF计划受量高,有统计学意义;骨髓的V<sub>20</sub>、V<sub>40</sub>、D<sub>mean</sub>较其它两种计划都高,有统计学意义;左右股骨头D<sub>5</sub>受量、脊髓最大剂量都较其它两种计划高,有统计学意义。

2.2 靶区比较

3种方法靶区剂量覆盖率都达到了临床要求,它们的CI、HI相互之间并无多大差异,但MAX计划的MU明显小于其它两种,且具有统计学意义。详见表3、表4。

3 讨论

VMAT是在加速器机架连续旋转的同时通过调整剂量率和多叶准直器形成一系列子野来完成的调强放射治疗(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)方式,是一种具有旋转照射优点的动态IMRT模式<sup>[6-7]</sup>。近些年来,很多学者对VMAT做了大量的研究,得出VMAT不但可以减少治疗时间,降低MU,而且也有剂量学上的优势<sup>[8]</sup>。其中,在VMAT中,一个很重要的硬件设施就是多叶光栅,瓦立安加速器多叶准直器的设计比较特别,在进行拉弧治疗的过程中铅门不能自动跟随。通过研究发现,铅门位置设置的不同会带来剂量学上的差异。

本人对铅门设置情况为:固定在15 cm(x1、x2方向铅门与射野中心距离基本相等,铅门横向方向大小为15 cm,铅门在15 cm调制能力最强<sup>[9-10]</sup>),MAX计划由计划系统自动优化射野尺寸后不采取任何措施,HALF在计划系统自动优化尺寸后,x方向固定铅

表 1 危及器官剂量比较  
Tab.1 Dose comparison of organs at risk (OAR)

OAR	Plan	V <sub>5</sub> /%	V <sub>10</sub> /%	V <sub>20</sub> /%	V <sub>30</sub> /%	V <sub>40</sub> /%	V <sub>50</sub> /%	D <sub>mean</sub> /Gy	D <sub>max</sub> /Gy
Bladder	2ARC	100.000±0.000	99.952±0.124	96.290±4.747	77.635±9.959	43.574±6.875	22.982±4.551	38.497±2.199	54.453±0.395
	MAX	100.000±0.000	100.000±0.000	99.654±0.974	89.241±10.492	52.731±12.638	25.158±5.863	41.214±2.651	54.815±0.464
	HALF	100.000±0.000	100.000±0.000	97.286±3.291	76.977±9.027	43.173±6.239	22.675±4.443	38.490±1.923	54.305±0.346
	P <sub>12</sub>	-	0.208	0.023	0.000 006	0.001 500	0.006 250	0.000 010	0.000 600
	P <sub>13</sub>	-	0.208	0.197	0.578 000	0.586 000	0.123 000	0.965 000	0.067 600
	P <sub>23</sub>	-	-	0.023 9	0.000 007 6	0.003 090	0.006 210	0.000 037	0.000 118
Rectum	2ARC	100.000±0.000	98.955±2.174	95.098±4.874	92.319±6.125	68.520±12.538	31.091±4.704	42.914±2.658	53.386±0.558
	MAX	99.998±0.007	98.511±2.515	95.560±4.450	93.414±5.648	77.799±12.570	34.739±6.148	44.391±2.598	53.671±0.768
	HALF	99.990±0.035	97.893±3.045	95.090±4.815	92.488±5.235	67.447±10.632	30.871±4.411	42.707±2.482	53.408±0.395
	P <sub>12</sub>	0.339	0.027 6	0.032 8	0.001 78	0.000 002 3	0.000 143	0	0.067 3
	P <sub>13</sub>	0.339	0.012 2	0.941	0.782	0.197 000	0.577 000	0.097 8	0.783 0
	P <sub>23</sub>	0.339	0.010 2	0.007 18	0.094 2	0.000 004 8	0.001 400	0	0.091 9
Small intestine	2ARC	77.696±6.855	68.176±7.878	53.679±8.077	27.807±7.043	14.826±5.368	6.915±2.832	21.572±2.995	53.466±0.401
	MAX	77.118±6.837	68.089±8.018	55.248±8.882	29.719±7.216	15.687±5.533	7.056±2.985	22.008±3.100	53.627±0.340
	HALF	77.934±6.792	68.215±7.884	53.569±7.755	27.795±6.647	14.669±5.030	6.923±2.734	21.583±2.876	53.350±0.322
	P <sub>12</sub>	0.123	0.642	0.026 3	0.002 7	0.000 824	0.073 2	0.002 050	0.212 0
	P <sub>13</sub>	0.533	0.849	0.783	0.958	0.174 000	0.856	0.838 000	0.371 0
	P <sub>23</sub>	0.036	0.558	0.022 8	0.003 77	0.001 610	0.175	0.002 080	0.061 3
Bone marrow	2ARC	99.992±0.021	98.634±1.126	88.463±3.587	55.979±6.685	24.928±5.311	7.434±3.288	32.488±1.683	54.335±0.325
	MAX	99.983±0.041	98.684±1.157	90.332±3.078	57.307±5.914	29.555±6.416	8.002±3.626	33.356±1.745	54.122±0.293
	HALF	99.983±0.035	98.690±1.211	88.196±3.230	55.441±5.673	27.350±6.221	7.677±3.608	32.680±1.645	54.300±0.323
	P <sub>12</sub>	0.260	0.544	0.002 690	0.145 0	0.000 050 0	0.105	0.000 135	0.056 4
	P <sub>13</sub>	0.213	0.524	0.533 000	0.517 0	0.000 027 5	0.157	0.053 300	0.749 0
	P <sub>23</sub>	0.923	0.953	0.000 519	0.091 3	0.002 130 0	0.366	0.002 170	0.186 0
Body	2ARC	55.882±7.135	48.893±6.558	29.409±4.977	15.235±3.034	9.207±1.820	5.794±1.117	14.106±2.013	5.593±1.079
	MAX	56.432±7.393	49.591±6.397	30.999±5.165	16.632±3.372	9.829±2.036	5.923±1.153	14.582±2.062	5.676±1.095
	HALF	55.958±7.043	49.250±6.547	29.906±4.999	15.493±2.970	9.234±1.864	5.809±1.103	14.232±2.023	5.579±1.071
	P <sub>12</sub>	0.147	0.003 25	0.000 066	0.000 001 7	0.000 225	0.000 814	0.000 005	0.00 429
	P <sub>13</sub>	0.468	0.021 30	0.001 620	0.001 370 0	0.500 000	0.351 000	0.000 014	0.216 000
	P <sub>23</sub>	0.195	0.057 60	0.000 219	0.000 041 6	0.000 986	0.001 440	0.000 052	0.007 030

P<sub>12</sub> means the statistical P value between 2ARC plan and MAX plan; P<sub>13</sub> means the statistical P value between 2ARC plan and HALF plan; P<sub>23</sub> means the statistical P value between MAX plan and HALF plan.

门在 15 cm(第一个全弧 arc1 中 x2 方向能够完全包绕此方向靶区,外廓 0.5 cm,对侧靶区包绕不全;第二个全弧 arc2 中 x1 方向能够完全包绕此方向靶区,外廓 0.5 cm,对侧靶区包绕不全)。最终得出 MAX 计划即铅门最大时危及器官受量较高,我们知道,VMAT 在优化过程中通过叶片的位置和每个角度的剂量转换

为一个弧度中的 177 个控制点,治疗计划系统通过这 177 个控制点所包含的剂量与 MLC 信息来控制机架的速度、剂量率等形成理想的剂量学分布<sup>[11]</sup>。而 MAX 计划在优化过程中计划射野较大,危及器官虽有多叶光栅的阻挡,但避免不了多叶间的漏射和透射。Cadman 等<sup>[12]</sup>的研究也表明,用上、下主铅门和多



表2 危及器官剂量比较  
Tab.2 Comparison of OAR dose

OAR	Plan	D <sub>s</sub> /Gy	OAR	Plan	D <sub>s</sub> /Gy	OAR	Plan	D <sub>max</sub> /Gy
Femoral bone-R	2ARC	40.087±3.807	Femoral bone-L	2ARC	40.962±2.645	Spinal cord	2ARC	27.253±0.721
	MAX	42.081±4.361		MAX	43.552±3.933		MAX	29.036±1.512
	HALF	40.656±3.480		HALF	41.644±3.037		HALF	27.223±0.799
	P <sub>12</sub>	0.000 995		P <sub>12</sub>	0.001 92		P <sub>12</sub>	0.000 180
	P <sub>13</sub>	0.103 000		P <sub>13</sub>	0.094 7		P <sub>13</sub>	0.886 000
	P <sub>23</sub>	0.007 320		P <sub>23</sub>	0.002 5		P <sub>23</sub>	0.001 180

表3 计划靶区受量  
Tab.3 Dose of planning target volume (PTV)

Plan	PTV <sub>95%</sub> /‰	PTV <sub>100%</sub> /‰	PTV <sub>105%</sub> /‰	D <sub>mean</sub> /Gy	D <sub>max</sub> /Gy	D <sub>s</sub> /Gy	D <sub>95</sub> /Gy
2ARC	99.915±0.064	95.000±0.000	32.600±5.435	52.362±0.087	55.184±0.299	53.746±0.113	50.400±0.000
MAX	99.972±0.014	95.000±0.000	32.889±2.890	52.350±0.057	55.318±0.389	53.811±0.116	50.400±0.000
HALF	99.922±0.063	95.000±0.000	31.866±8.689	52.354±0.174	55.017±0.336	53.743±0.191	50.400±0.000
P <sub>12</sub>	0.00 825	-	0.845	0.591	0.180	0.089 7	-
P <sub>13</sub>	0.781	-	0.684	0.811	0.107	0.943	-
P <sub>23</sub>	0.016 1	-	0.658	0.934	0.012 4	0.223	-

表4 靶区适形度、均匀性、MU比较  
Tab.4 Comparison of CI, HI and MU

Plan	MU	CI	HI
2ARC	613.17±53.82	0.910±0.024	1.066±0.002
MAX	463.17±44.44	0.829±0.232	1.068±0.002
HALF	624.50±40.54	0.919±0.004	1.066±0.004
P <sub>12</sub>	0.000 005 7	0.254	0.089 7
P <sub>13</sub>	0.35	0.221	0.911
P <sub>23</sub>	0.000 000 828	0.207	0.22

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

叶准直器同时保护危及器官,射线的透射和漏射将小于0.1%。Kim等<sup>[8]</sup>也通过研究得出了铅门在VMAT中对危及器官保护的作用。Losasso<sup>[13]</sup>等的研究发现随着射野增大,射束能量增加,多叶准直器的

透射和漏射也随着增加,危及器官受量也相应的提高,这些研究都说明了铅门和多叶准直器相互配合才能得到最理想的结果。

本文中MAX计划由于铅门较大,对靶区直接照射,加大了对射线的利用率,减少了MU。而2ARC与HALF计划在计划系统处理剂量运算过程中降低了叶片的漏射对靶区的剂量贡献,所以需要提高原射线照射量来达到临床对靶区的要求,MU也就随之上升。Ckemente等<sup>[14]</sup>的研究表示若要得到较好的靶区CI与HI,减少MU两者必定受到影响。所以,临床上为达到较好的肿瘤控制率,对靶区HI和CI都有一定的要求,即使射线利用率有所下降,也要保证患者的治疗疗效。2ARC计划与HALF计划之间无明显差别,这与射线对靶区的直接照射体积,旋转过程中通过的危及器官时间与体积的不同,以及MLC的跟随对危及器官和靶区的透射与漏射有关。多种因素综合作用使得比较结果无统计学意义。另一方面,

本文的实验数据较少,靶区大小不是绝对的一致,且优化过程中优化时间长短对实验结果也有一定的影响,不排除实验的偶然性,照射野的大小可能与靶区的体积存在某种联系,需要进一步的研究。此外,目前已有某些加速器能实现容积旋转调强下的铅门自动跟随技术,不同加速器对计划的优化结果是否存在差异,能否进一步改善危及器官受量,提高剂量学优势,都需要进一步的研究。

## 【参考文献】

- [1] 李浦,单国平,狄小云,等. 直肠癌术后容积旋转调强和静态调强放疗的剂量学研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2013, 30(3): 4115-4117.  
LI P, SHAN G P, DI X Y, et al. The study of the difference of postoperative rectal cancer between volume Rapid-Arc and static intensity modulated radiotherapy [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2013, 30(3): 4115-4117.
- [2] 张矛,金海国,卜明伟,等. 脑胶质瘤术后 VMAT 与 IMRT 放疗技术比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2011, 28(6): 2959-2963.  
ZHANG M, JIN H G, BU M W, et al. The difference of VMAT and intensity modulated radiotherapy in postoperative glioma [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2011, 28(6): 2959-2963.
- [3] FRANCIS K L, CELIA W Y, FRANKIE C H, et al. Dosimetric difference amongst 3 techniques: tomo therapy, sliding-window intensity-modulated radiotherapy (IMRT), and rapid-arc radiotherapy in the treatment of late-stage nasopharyngeal carcinoma (NPC) [J]. Med Dosim, 2013, 39(1): 44-49.
- [4] WEI G H, JIA Z W, GUI C L, et al. Investigation of plan quality between rapid-Arc and IMRT for gastric cancer based on a novel beam angle and multi-criteria optimization technique [J]. Radiat Oncol, 2014, 11(1): 144-147.
- [5] 蔡勇君,柏朋刚,方卫宁,等. 94例容积旋转调强治疗宫颈癌 Arc CHECK 验证研究[J]. 医疗装备, 2013, 26(8): 36-38.  
CAI Y J, BAI P G, FANG W N, et al. 94 cases of volumetric rotating intensity-modulated to treat cervical cancer Arc CHECK validation studies [J]. Journal of Medical Equipment, 2013, 26(8): 36-38.
- [6] 刘丽虹,韩春. 容积旋转调强放射治疗的临床应用[J]. 肿瘤防治研究, 2013, 40(9): 903-907.  
LIU L H, HAN C. The clinical application of volume rotating intensity-modulated radiation therapy [J]. Journal of Cancer Prevention and Control Research, 2013, 40(9): 903-907.
- [7] YU C. Intensity-modulated arc therapy with dynamic multi-leaf collimation: an alternative to tomotherapy [J]. Phys Med Biol, 1995, 40(9): 1435-1449.
- [8] KIM J I, PARK J M, PARK S Y, et al. Assessment of potential jaw-tracking advantage using control point sequences of VMAT planning [J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(2): 160-168.
- [9] 杨波,庞廷田,孙显松,等. 直肠癌调强放疗中固定铅门技术和分野技术的剂量学比较[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2012, 32(5): 509-512.  
YANG B, PANG T T, SUN X S, et al. The comparison of the intensity modulated radiation therapy (IMRT) on colorectal cancer fixed lead door technology and division of dosimetry [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2012, 32(5): 509-512.
- [10] 庞廷田,杨波,刘楠,等. 固定铅门尺寸技术在宫颈癌容积调强计划设计中的应用[J]. 协和医学杂志, 2014(2): 184-188.  
PANG T T, YANG B, LIU N, et al. The application of the fixed lead door size in volume intensity-modulated plan design in cervical cancer [J]. Medical Journal of Peking Union Medical College Hospital, 2014 (2): 184-188.
- [11] KIM J, NAM H, PARK S, et al. Assessment of tracking jaws based on MLC aperture to reduce normal tissue irradiation in VMAT [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 84(3): S865.
- [12] CADMAN P, MCNUTT T, BZDUSEK K. Validation of physics improvements for IMRT with a commercial treatment-planning system [J]. J Appl Clin Med Phys, 2005, 6(2): 74-86.
- [13] LOSASSO T, CHUI C S, LING C C. Physical and dosimetric aspects of a multi-leaf collimation system used in the dynamic mode for implementing intensity modulated radiotherapy [J]. Med Phys, 1998, 25(10): 1919-1927.
- [14] CLEMENTE S, COZZOLINO M, CHIUMENTO C, et al. Monitor unit optimization in Rapid-Arc plans for prostate cancer [J]. J Appl Clin Med Phys, 2013, 14(3): 4114.

(编辑:薛泽玲)