

## Varian Clinical 23EX 加速器固定剂量率容积调强技术的 Map-Check 剂量验证

杜锋磊, 赵凯, 史国栋, 邵凯南, 陈维军, 狄小云

浙江省肿瘤医院放射物理室/浙江省肿瘤放射治疗重点实验室, 浙江 杭州 310022

**【摘要】目的:**应用Sun Nuclear公司的MapCheck二维半导体阵列对Varian Clinical 23EX加速器固定剂量率旋转调强计划进行验证。**方法:**随机选择10例肺部肿瘤患者和10例直肠癌肿瘤患者,使用RayStation计划系统在Varian Clinical 23EX加速器上制定固定剂量率旋转调强计划,其中肺部患者使用182°到178°及其对偶的两个6 MV能量的治疗弧,直肠患者使用230°到130°及其对偶的两个10 MV能量的治疗弧,剂量率均为200 MU/min。使用MapCheck在治疗床上水平放置测量冠状面的剂量分布,竖直放置测量矢状面的剂量分布,分别评估每个放疗计划在冠状面和矢状面的剂量验证通过率。**结果:**使用(3 mm, 3%)标准,肺部6 MV计划的DTA和Gamma通过率为(95.03±2.91)%和(96.82±2.40)%,直肠10 MV计划的DTA和Gamma通过率为(95.30±4.05)%和(97.48±2.78)%。单个患者计划执行时间约为3 min。**结论:**使用MapCheck的水平和竖直两种摆位方式进行旋转调强计划的冠状位和矢状位剂量分布验证,或许可以作为Varian Clinical 23EX加速器固定剂量率旋转调强放疗计划验证的可选方法之一。

**【关键词】**肺部肿瘤;直肠癌肿瘤;旋转调强;固定剂量率;MapCheck

**【中图分类号】**R730.55

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2017)08-0776-07

## Dose verification of constant dose rate-volumetric modulated arc therapy plan on Varian clinical 23EX linear accelerator through MapCheck phantom

DU Fenglei, ZHAO Kai, SHI Guodong, SHAO Kainan, CHEN Weijun, DI Xiaoyun

Department of Radiotherapy Physics/Key Laboratory of Tumor Radiation Therapy, Zhejiang Cancer Hospital, Hangzhou 310022, China

**Abstract: Objective** To verify the dose of constant dose rate (CDR)-volumetric modulated arc therapy (VMAT) plan on Varian clinical 23EX linear accelerator using MapCheck phantom (Sun Nuclear Company). **Methods** RayStation treatment planning system was used to design CDR-VMAT plans on Varian clinical 23EX linear accelerator for randomly selected 10 lung cancer patients and 10 rectum cancer patients, with dose rate of 200 MU/min. Two dual arcs from 182 to 178 degrees of 6 MV were used for lung cancer patients, while two dual arcs from 230 to 130 degrees of 10 MV were applied for rectum cancer patients. The coronal and sagittal setups of MapCheck phantom were used separately for measuring coronal and sagittal dose distributions. The gamma passing rates on coronal and sagittal planes were evaluated. **Results** Based on the 3 mm/3% criteria, the distance to agreement and gamma passing rates of 6 MV plans for lung cancer were (95.30±2.91)% and (96.82±2.40)%, respectively, and those of 10 MV plans for rectum cancer were (95.03±4.05)% and (97.48±2.78)%, respectively. The delivery time for each treatment plan was about 3 minutes. **Conclusion** Using the coronal and sagittal setups of MapCheck phantom separately for the verification of coronal and sagittal dose distributions has potential for the dose verification of CDR-VMAT plan on Varian clinical 23EX linear accelerator.

**Keywords:** lung cancer; rectum cancer; volumetric modulated arc therapy; constant dose rate; MapCheck

**【收稿日期】**2017-03-18

**【基金项目】**浙江省医药卫生科技计划项目(2017PY014)

**【作者简介】**杜锋磊, 博士, 工程师, 研究方向: 放射物理治疗, E-mail: dufl@zjcc.org.cn

**【通信作者】**邵凯南, 博士, 工程师, 研究方向: 放射物理治疗, E-mail: shaokn@zjcc.org.cn

### 前言

随着放射治疗技术的发展, 基于直线加速器的高能X射线调强放疗技术(IMRT)已经成为我国大部分医院的恶性肿瘤放射治疗的主要方式。目前常用的治疗放疗技术有固定野静态调强(Step and Shoot Static IMRT, ss-IMRT)、固定野动态调强(Dynamic

IMRT, dIMRT), 以及旋转调强(Intensity-Modulated Arc Radiotherapy, IMAT)<sup>[1]</sup>, 或称容积调强技术(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)<sup>[2]</sup>。为了叙述方便, 下文统一以 VMAT 指代旋转调强或容积调强。ss-IMRT 使用若干固定角度的照射野, 每个照射野方向上由多叶准直器(Multi Leaf Collimator, MLC)形成不同的投射形状, 即子野。通过调整 MLC 形成的子野形状和相应的照射时间, 形成该患者放射治疗所需的剂量分布。dIMRT 同样使用固定角度的照射野, 只是在每个固定方向照射的同时 MLC 也在运动, 不断变换不同的投射形状。VMAT 技术是在加速器机架旋转的过程中进行照射, 同时 MLC 也在运动。VMAT 技术分为固定剂量率(Constant Dose Rate, CDR)和可变剂量率(Variable Dose Rate, VDR)两种。可变剂量率的旋转调强技术(VDR-VMAT)可以通过调节机架角的旋转速率、射线的剂量率, 以及 MLC 运动, 共同形成所需的剂量分布。目前比较先进的加速器, 例如 Varian 公司的 Trilogy、TrueBeam 等, 使用的是 VDR-VMAT。固定剂量率旋转调强技术(CDR-VMAT)只支持恒定的机架角旋转速度和固定的照射剂量率, 依靠 MLC 的运动在机架旋转照射过程中形成不同的投射形状。与 VDR-VMAT 相比, CDR-VMAT 可调制参数偏少, 计划质量和执行效率都略差, 但是也可以在一定程度上满足放射治疗临床需求。Clinical 23EX 是一款 Varian 公司 2002 年发布的较为成熟稳定的放疗直线加速器, 经过后续的软件系统升级, 目前支持 ss-IMRT、dIMRT 和 CDR-VMAT<sup>[3-4]</sup>, 不支持 VDR-VMAT。

由于调强技术的复杂性, 患者的治疗计划需要先经过模体剂量验证后才可以用于治疗。对于固定野调强的 ss-IMRT 和 dIMRT 计划, 目前常用的验证方法是所有照射野角度归零后, 使用 Sun Nuclear 公司的 MapCheck 等二维半导体阵列收集平面剂量并与角度归零后的治疗验证计划进行剂量比对。VMAT 计划由于涉及到较多的空间角度信息, 需要使用三维验证工具进行验证。目前 VMAT 常用的验证模体有胶片、Delta4、ArcCheck 等。由于胶片验证成本较高, 随着 VMAT 治疗的大规模开展, 半导体阵列 Delta4 和 ArcCheck 等成为主要的验证工具。笔者单位使用 Delta4 作为 Varian Trilogy 加速器的 VMAT 验证工具。或许由于 Varian Clinical 23EX 加速器发布时间较早, Delta4 验证工具连接到该加速器电路板 Sync 信号口时检测不到同步脉冲信号, 因而无法识别和使用。近年来, 出现了一些利用二维半导体阵列对 VMAT 进行验证的尝试<sup>[5-6]</sup>。将 MapCheck 以水

平和竖直方式放置在治疗床上, 分别收集冠状面和矢状面的剂量分布, 在这个过程中, 加速器治疗计划正常执行, 不进行机架角度归零。后续冠状位和矢状位的剂量结果分析与 MapCheck 固定野调强验证的方法类似。本文利用 MapCheck 的水平和竖直摆位方式对 Varian Clinical 23EX 加速器固定剂量率 VMAT 计划进行剂量验证, 并对结果进行分析<sup>[7]</sup>。

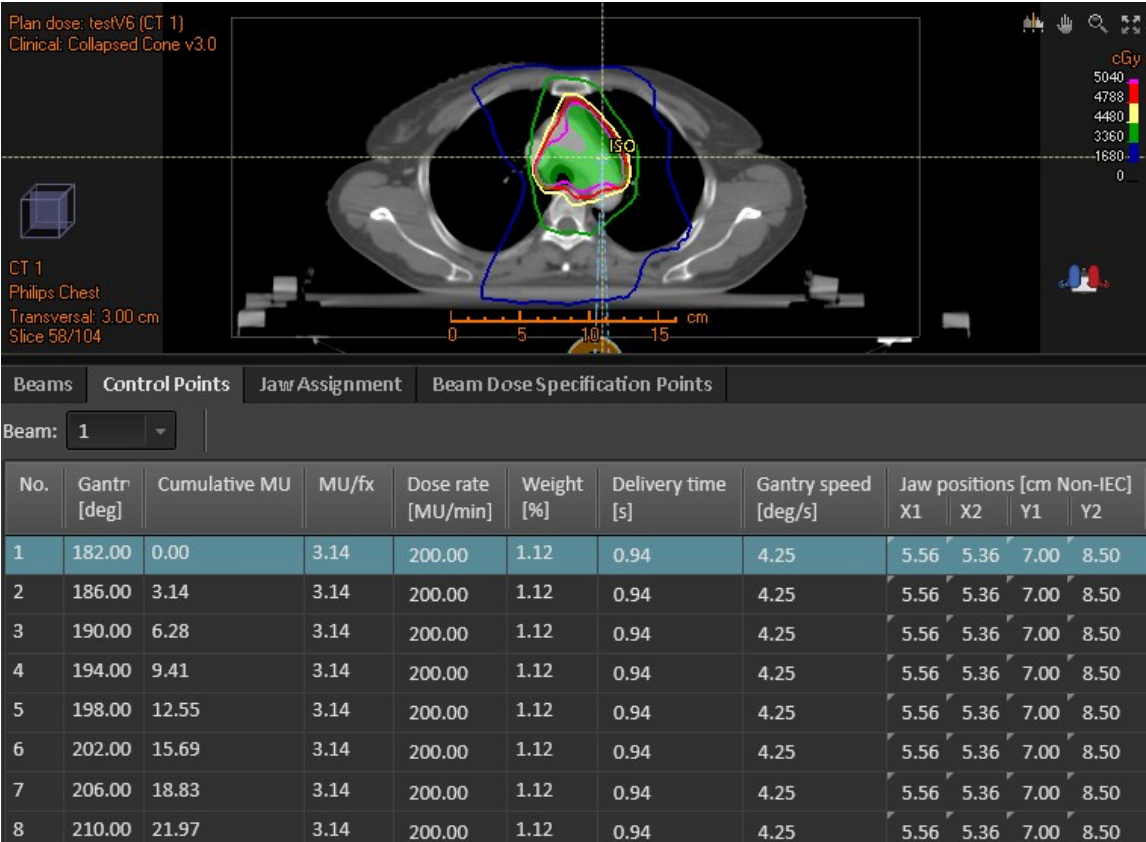
## 1 方法

在 Sun Nuclear 公司的 MapCheck 二维半导体阵列上覆盖配套的等效水建成 5 cm 厚度有机玻璃板, 组成质量保证工具的模体。将该模体分别以水平方式和竖直方式放置, 使用 GE 大孔径 CT 采集图像, 并导入 RayStation 计划系统中。

Clinical 23EX 加速器在软件升级后支持 CDR-VMAT 技术, 需要在计划系统的加速器物理模型中打开相应的配置。以 RayStation 计划系统为例<sup>[8]</sup>, 需将 RayPhysics 模块该款加速器模型中的“Modulated arc capable”选项勾选, 并在 Dose Rate 选项卡中配置好“Constant dose rate”的剂量率。Clinical 23EX 加速器支持 100、200、300、400、500、600 MU/min 这 6 种剂量率。由于 CDR-VMAT 可调制参数极少, 过高的剂量率难以保证治疗计划的质量, 而过低的剂量率治疗效率偏低。综合考虑笔者选定 200 MU/min 的剂量率进行 CDR-VMAT 计划制定和执行。目前常规放疗单次剂量约为 200 cGy, 使用双弧 VMAT 的放疗计划单弧一般小于 300 MU, 整个计划执行时间可控制在 3 min 左右。1 例肺部 CDR-VMAT 计划见图 1, 计划优化使用的控制点间隔为 4°, 图中填充部分为计划靶区(Planning Target Volume, PTV)。

MapCheck 阵列由 445 个二极管探测器组成, 呈 22 cm×22 cm 八角平面栅格式排列, 其固有建成厚度为 1.35 cm(等效水建成 2 cm); 中心 10 mm×10 mm 区域内相邻探测器间隔约为 7 mm, 外围区域相邻间隔约为 14 mm; 单个电离室大小 0.8 mm×0.8 mm, 使用时表面覆盖其自带的等效水建成 3 cm 的有机玻璃板, 组成等效水建成 5 cm 的模体。

剂量验证使用的软件为 MapCheck Version 5.02。在使用前, MapCheck 阵列需要按照厂家说明书中给出的步骤进行校准标定。通过多次二维阵列的旋转及其偏移照射确定出各探测器的相对灵敏度, 存储为阵列校准因子文件在随后每次剂量验证测量中使用。在当天剂量验证开始前, 还需要对 MapCheck 阵列模体进行绝对剂量标定: 使用机架角 0°, 射野 10 mm×10 mm, SAD=100 cm, 分别照射 6 和



CDR: Constant dose rate; VMAT: Volumetric modulated arc therapy

图1 1例肺部CDR-VMAT计划(RayStation计划系统,填充部分为PTV)

Fig.1 CDR-VMAT plan for a lung cancer patient (RayStation system; the filling area was planning target volume)

10 MV 射线 100 MU, 获得这两个 X 线能量条件下相应的校准参考文件。

随机选取 10 例肺部肿瘤患者和 10 例直肠肿瘤患者, 使用 RayStation 计划系统制定 CDR-VMAT 计划, 统一使用计划系统提供的“Dual Arc”功能生成顺时针和逆时针方向的对偶双弧<sup>[9]</sup>。需要指出的是, 本文中涉及的患者 CDR-VMAT 治疗计划目前只以科研为目的, 均未在临床治疗中使用。肺部患者使用 182°到 178°及其对偶双弧, X 射线能量为 6 MV; 直肠患者使用 230°到 130°及其对偶双弧, X 射线能量为 10 MV。将治疗计划分别移植到水平和竖直摆放的 MapCheck 模体中, 重新计算得到每个照射野在冠状位和矢状位的剂量分布文件。

治疗计划质量保证开始前, 使用红色激光线对准 MapCheck 模体中心, 并测量环境本底信号。计划验证时, 首先加速器在 MapCheck 模体水平放置时完整执行一次治疗计划的两个治疗弧, 得到两个冠状位的剂量测量文件, 然后将 MapCheck 模体竖直放置, 重新完整执行两个治疗弧, 得到两个矢状位的剂量测量文件, 每个患者总计 4 个剂量测量文件。Map-Check 模体竖直摆放方式见图 2, 注意无论是水平还

是竖直摆放, 都需要使用红色激光线对准模体中心。分别将这 4 个剂量测量结果与计划系统中计算的结果进行比对, 图 3 和图 4 分别是某例计划质量保证中冠状位和矢状位的剂量比对结果。

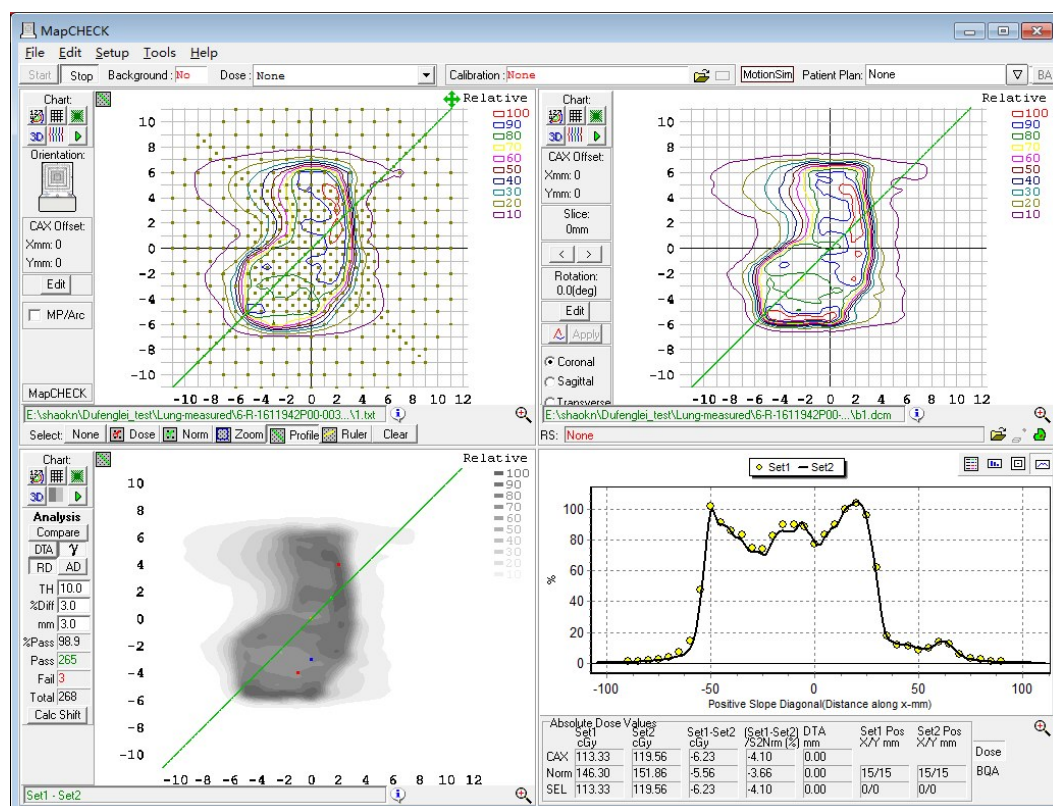


图2 MapCheck 模体竖直摆放测量矢状位剂量分布

Fig.2 Sagittal setup of MapCheck phantom for the sagittal dose distribution measurement

剂量比对时, 低剂量阈值过滤百分数设置为 10%, 即低于该剂量平面内最大剂量的 10% 的测量

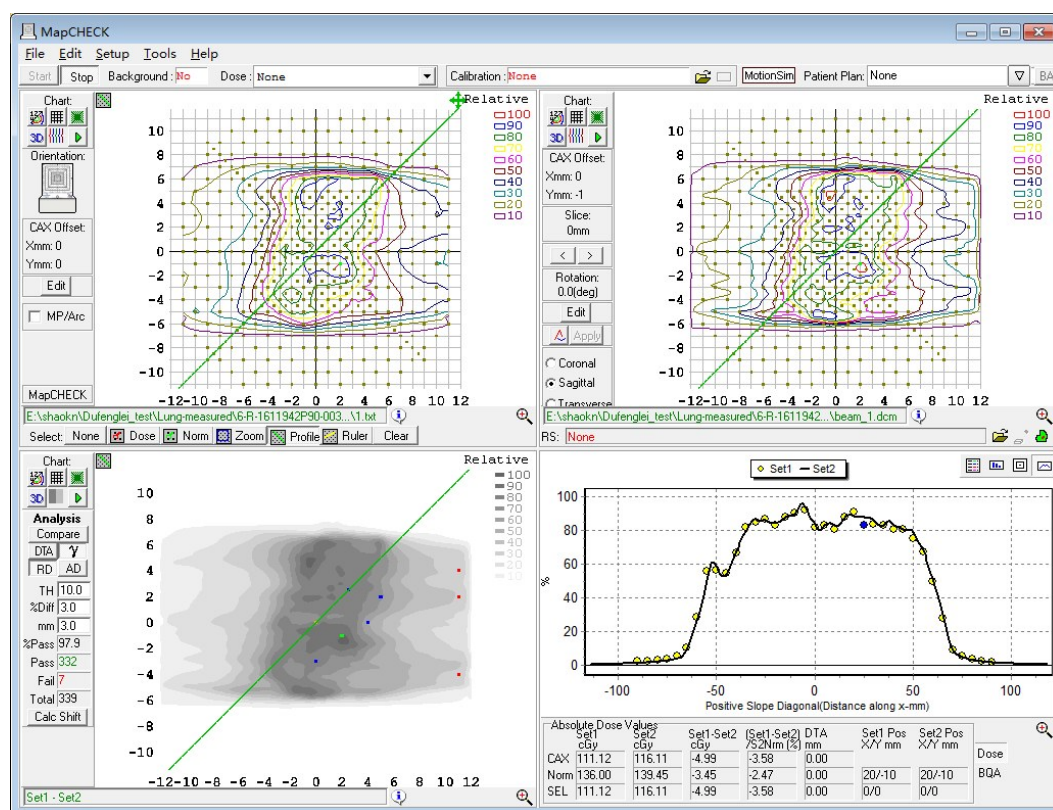




Upper left: Measured dose; Upper right: Planned dose; Lower: Back diagonal dose distribution

图3 某例CDR-VMAT计划治疗弧的冠状位剂量比对结果

Fig.3 Coronal dose comparison of a CDR-VMAT plan



Upper left: Measured dose; Upper right: Planned dose; Lower: Back diagonal dose distribution

图4 某例CDR-VMAT计划治疗弧的矢状位剂量比对结果

Fig.4 Sagittal dose comparison of a CDR-VMAT plan

点,不纳入剂量差异比较范围。考虑到半导体电离室灵敏度受温度、气压及其他环境条件影响较大,此处使用了相对剂量进行比较。分别使用等值间距比较法(Distance To Agreement, DTA)<sup>[10]</sup>和Gamma方法<sup>[11]</sup>进行分析评估。DTA是指在同一坐标系下,以参考剂量分布中的某一点与待比较剂量分布中具有相同剂量值且距离最近的点之间的距离,本文选用的DTA可容忍距离误差标准为3 mm。Gamma分析法是计算时对每个参考点 $\vec{r}_r$ ,在待比较剂量分布中相同坐标位置的点附近对每一点 $\vec{r}_e$ 求得与参考点的相对剂量差异 $\delta(\vec{r}_r, \vec{r}_e)$ 和距离差 $r(\vec{r}_r, \vec{r}_e)$ ,如果存在满足 $\Gamma(\vec{r}_r, \vec{r}_e) = \sqrt{\frac{r^2(\vec{r}_r, \vec{r}_e)}{\Delta d^2} + \frac{\delta^2(\vec{r}_r, \vec{r}_e)}{\Delta D^2}} \leq 1$ 的剂量点 $\vec{r}_e$ ,则该参考点 $\vec{r}_r$ 通过验证。本文选取DTA距离误差标准 $\Delta d = 3 \text{ mm}$ ,相对剂量误差标准 $\Delta D = 3\%$ ,即常用的(3 mm, 3%)标准。DTA分析法在剂量分布平缓区域会造成较大误差,微小的剂量差异可能要跨越较大的距离,计算结果偏高、误差大,该方法适用于剂量分布梯度大的区域。Gamma分析综合考虑了剂量差和距离因素,在高梯度和低梯度剂量区都不

会发生较大偏差。目前临床治疗计划的质量保证通常会综合采用这两种分析方法<sup>[12]</sup>。

## 2 结果

将10组肺部计划和10组直肠计划的结果导入MapCheck分析软件并与计划剂量进行比对,并按照(3 mm, 3%)标准进行DTA分析和Gamma分析。

10例肺部CDR-VMAT(6 MV)计划的DTA和Gamma分析通过率见表1。其中,顺时针弧(Beam 1)平均MU为 $322.9 \pm 59.0$ ,DTA和Gamma分析通过率分别为:冠状位( $95.43 \pm 3.52\%$ )和( $96.75 \pm 3.13\%$ ),矢状位( $93.91 \pm 2.45\%$ )和( $96.28 \pm 2.14\%$ );逆时针弧(Beam 2)平均MU为 $338.8 \pm 46.6$ ,DTA和Gamma分析通过率分别为:冠状位( $96.41 \pm 2.23\%$ )和( $97.96 \pm 1.50\%$ ),矢状位( $94.38 \pm 2.53\%$ )和( $96.30 \pm 14.00\%$ )。综合考虑,DTA和Gamma方法通过率分别为( $95.03 \pm 2.91\%$ )和( $96.82 \pm 2.40\%$ )。以剂量率200 MU/min计算,每个计划平均运行时间约为3.3 min。10例计划中只有1例(Patient 6)的顺时针弧通过率小于90%。

表1 10例肺部CDR-VMAT(6 MV)计划的DTA和Gamma通过率  
Tab.1 DTA and Gamma passing rate of CDR-VMAT plan (6 MV) for 10 lung cancer patients

Rectum cancer patients	Beam 1 (Clock wise)					Beam 2 (Counter clock wise)				
	MU	Coronal/%		Sagittal/%		MU	Coronal/%		Sagittal/%	
		DTA	Gamma passing rate	DTA	Gamma passing rate		DTA	Gamma passing rate	DTA	Gamma passing rate
1	279	98.2	99.7	94.8	98.4	295	95.6	97.9	94.2	96.3
2	391	98.2	98.9	95.6	97.6	310	98.2	99.6	96.9	98.5
3	292	97.1	98.7	95.8	97.9	384	95.9	98.0	93.9	95.7
4	371	98.1	98.8	95.1	96.6	389	95.5	97.4	96.9	98.5
5	347	94.0	95.9	94.7	96.6	350	98.4	98.8	97.3	98.1
6	365	85.7	88.1	88.0	91.2	298	93.8	96.3	92.2	95.1
7	288	94.9	96.0	95.4	96.9	249	96.5	97.5	94.8	97.3
8	300	96.7	97.3	95.1	97.0	387	99.0	99.7	90.7	94.0
9	397	95.6	97.4	94.7	97.3	340	99.2	99.6	96.8	97.9
10	199	95.8	96.7	89.9	93.3	386	92.0	94.8	90.1	91.6
Average	322.90	95.43	96.75	93.91	96.28	338.80	96.41	97.96	94.38	96.30

DTA: Distance to agreement; MU: Monitor unit

10例直肠CDR-VMAT(10 MV)计划的DTA和Gamma分析通过率见表2。其中,顺时针弧(Beam 1)平均MU为 $255.2 \pm 13.6$ ,DTA和Gamma分析通过

率分别为:冠状位( $96.51 \pm 1.57\%$ )和( $98.20 \pm 0.94\%$ ),矢状位( $98.81 \pm 0.74\%$ )和( $99.67 \pm 0.41\%$ );逆时针弧(Beam 2)平均MU为 $271.6 \pm 23.5$ ,DTA和Gamma分

析通过率分别为:冠状位( $89.44 \pm 3.14$ )%和( $93.71 \pm 2.77$ )%,矢状位( $96.45 \pm 1.76$ )%和( $98.34 \pm 1.37$ )%。综合考虑,DTA 和 Gamma 方法通过率分别为( $95.30 \pm 4.05$ )%和( $97.48 \pm 2.78$ )%。以剂量率 200 MU/min 计算,每个计划平均运行时间约为 2.6 min。10 例计划中有 5 例患者逆时针弧的冠状位 DTA 通过率小于 90%,但 Gamma 通过率均大于 90%;同时,该治疗弧

矢状位的 DTA 和 Gamma 通过率均大于 90%。出现这些结果可能是该计划本身的质量问题,也有可能是由于水平摆放 MapCheck 时治疗床影响较大,或者该治疗弧冠状位剂量分布梯度略低导致 DTA 分析出现误差,具体结果有待进一步分析。不管怎样,为了保险起见,还需要物理师对该计划进行进一步修改和优化,才能考虑临床应用。

表 2 10 例直肠 CDR-VMAT(10 MV)计划的 DTA 和 Gamma 通过率

Tab.2 DTA and Gamma passing rate of CDR-VMAT plan (10 MV) for 10 rectum cancer patients

Rectum cancer patients	Beam 1 (Clock wise)					Beam 2 (Counter clock wise)				
	MU	Coronal/%		Sagittal/%		MU	Coronal/%		Sagittal/%	
		DTA	Gamma passing rate	DTA	Gamma passing rate		DTA	Gamma passing rate	DTA	Gamma passing rate
1	236	94.4	96.9	98.8	99.4	255	91.5	95.7	97.0	98.5
2	252	98.1	97.7	99.0	100.0	280	85.4	90.7	95.3	98.0
3	277	95.3	98.0	99.7	100.0	316	92.9	96.0	96.5	99.1
4	241	95.4	97.5	97.4	98.7	245	91.5	94.9	96.8	98.4
5	256	98.2	99.1	98.5	100.0	242	84.2	89.0	97.8	99.4
6	255	94.5	96.9	98.7	99.7	268	91.5	95.6	97.6	99.1
7	260	96.6	98.6	99.4	100.0	281	87.8	91.8	98.7	99.7
8	275	99.4	100.0	99.7	100.0	279	86.7	90.3	97.4	99.0
9	263	96.6	98.9	97.7	99.4	302	89.0	96.3	92.1	94.7
10	237	96.6	98.4	99.2	99.5	248	93.9	96.8	95.3	97.5
Average	255.20	96.51	98.20	98.81	99.67	271.60	89.44	93.71	96.45	98.34

### 3 讨论

CDR-VMAT 作为一种可选的调强放射治疗技术,在鼻咽<sup>[13-14]</sup>、食管<sup>[3]</sup>、直肠<sup>[15]</sup>和宫颈<sup>[4]</sup>肿瘤治疗中也获得一些应用。本文利用 MapCheck 阵列的水平和竖直两种摆放方式,分别测量 Varian Clinical 23EX 加速器 CDR-VMAT 计划冠状位和矢状位的剂量分布,并使用 DTA 和 Gamma 分析法对结果进行比对。按照(3 mm, 3%)标准,肺部 6 MV 的 CDR-VMAT 计划通过率基本在 90%以上,直肠 10 MV 的 CDR-VMAT 计划逆时针治疗弧冠状位剂量分布 DTA 分析平均结果约为 89%,Gamma 分析结果在 90%以上。这个结果基本上可以达到计划验证的目标。需要指出的是,不管是 DTA 还是 Gamma 分析,某个调强放射治疗计划通过率如果有小于 90%的情况,物理师最好与临床医师讨论并重新制定计划。

调强放射治疗计划的质量保证是医疗机构开展

调强放疗的必要条件。目前国内许多医疗机构的调强放疗技术还是以固定野调强的 ss-IMRT 和 dIMRT 为主,MapCheck 二维半导体阵列是最经常配备的基本质量保证工具。CDR-VMAT 有一些优点:(1)机架以恒定速度转动,相比变速旋转运动容易控制,机器损耗小;(2)以恒定剂量率照射,与 ss-IMRT 相比射束稳定;(3)VMAT 计划靶区适形度比固定野 IMRT 略好;(4)VMAT 计划多以双弧为主,治疗时间约为 3 min,治疗过程中技术员省掉一些手动控制机架的时间,操作略有简化。需要指出的是,VMAT 只是一种照射手段,在治疗计划制定的过程中,可以灵活使用多个不同起止角度的治疗弧,以得到满足临床医师要求的剂量分布。

CDR-VMAT 的缺点也比较明显。以 Varian Clinical 23EX 直线加速器为例,射线剂量率只支持 100~600 MU/min 这 6 档。配合 RayStation 放疗计划系统,在物理建模的过程中选定了某一档剂量率以后,治



疗计划优化过程中可调节的参数就只有机架角匀速转动的恒定角速度,以及每个治疗弧扫过方向上的MLC形状。与VDR-VMAT相比,CDR-VMAT缺少剂量率和机架旋转速度的调制,在治疗计划的剂量分布和危及器官的保护略有不如。本文选定200 MU/min的剂量率是考虑到质量计划剂量分布与执行效率的平衡。通过我们在RayStation计划系统上的尝试发现,高于300 MU/min的CDR-VMAT计划,其剂量分布基本上难以满足放疗医师的临床目标要求。本文只对胸腹部的调强放射治疗计划进行了分析,头颈部的调强放疗计划由于对剂量梯度和靶区适形度的要求比较高,而且会有多个剂量梯度的同步推量要求,使用200 MU/min剂量率的CDR-VMAT计划难以达到临床目标要求(使用100 MU/min的剂量率可以达到要求,但是执行效率较差,单个放疗计划时间在10 min以上,与VDR-VMAT的效果相比差距太大,因此本文并未对头颈部调强技术进行分析)。

Varian Clinical 23EX加速器作为一款发布时间较早,保有量较大的机器,能够支持CDR-VMAT,其性价比较高。VMAT由于照射过程中机架角在转动,进行模体剂量验证时不能像固定野调强一样将射野角度全部归零,而应该完整考虑其三维剂量分布。使用MapCheck的两种摆位方式独立验证冠状位和矢状位的剂量分布,或许是VMAT计划验证可选的方案之一。对于只有MapCheck阵列作为调强质量保证工具的医疗单位,可以考虑使用本文的两种摆位方式作为CDR-VMAT计划的验证参考手段之一。事实上,Sun Nuclear后续提供了MapPHAN模体,配合MapCheck阵列进行VMAT和螺旋断层放疗计划的质量保证<sup>[16]</sup>。由于笔者单位主要使用Delta4作为VMAT计划质量保证的工具,因此并未购买和升级。

## 【参考文献】

- [1] YU C X. Intensity-modulated arc therapy with dynamic multileaf collimation: an alternative to tomotherapy[J]. Phys Med Biol, 1995, 40(9): 1435.
- [2] OTTO K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc[J]. Med Phys, 2008, 35(1): 310-317.
- [3] ZHANG R H, FAN X M, BAI W W, et al. Poster-thur eve-36: implementation of constant dose rate and gantry speed arc therapy (CDR-CAS-IMAT) for thoracic esophageal carcinoma on Varian 23EX[J]. Med Phys, 2014, 41(8): 14.
- [4] ZHANG R H, FAN X M, BAI W W, et al. Implementation of constant dose rate and constant angular spacing intensity-modulated arc therapy for cervical cancer by using a conventional linear accelerator[J]. Chin Med J, 2016, 129(3): 284.
- [5] IFTIMIA I, CIRINO E T, XIONG L, et al. Quality assurance methodology for Varian RapidArc treatment plans[J]. J Appl Clin Med Phys, 2010, 11(4): 3164.
- [6] GLOI A M, BUCHANA R E, ZUGE C L, et al. RapidArc quality assurance through MapCHECK[J]. J Appl Clin Med Phys, 2011, 12(2): 3251.
- [7] 黄淑晶, 王希成, 黄晓波, 等. 乳腺癌术后放射治疗中锁骨上靶区剂量学研究[J]. 实用医学杂志, 2016, 32(6): 958-960.
- [8] HUANG S J, WANG X C, HUANG X B, et al. Dosimetric study of supraclavicular target area after radiotherapy for breast cancer[J]. The Journal of Practical Medicine, 2016, 32(6): 958-960.
- [9] PURSLEY J, GUEORGUIEV G, PRICHARD H, et al. SU-F-T-344: commissioning constant dose rate VMAT in the raystation treatment planning system for a Varian Clinac IX[J]. Med Phys, 2016, 43(6): 3542.
- [10] RAYSEARCH LABORATORIES A B. RaySearch white paper-volumetric modulated arc therapy (VMAT) optimization with RayArc[R]. 2009.
- [11] HARMS W B, LOW D A, WONG J W, et al. A software tool for the quantitative evaluation of 3D dose calculation algorithms[J]. Med Phys, 1998, 25(10): 1830-1836.
- [12] LOW D A, HARMS W B, MUTIC S, et al. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions[J]. Med Phys, 1998, 25(5): 656-661.
- [13] 苗利, 孙彦泽, 李新民. 放射治疗剂量验证中常用剂量分布比较方法及分析[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2012, 30(4): 247-251.
- [14] MIAO L, SUN Y Z, LI X M. Analysis of the most commonly used dose distribution comparison methods in radiotherapy dosimetric verification[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2012, 30(4): 247-251.
- [15] YU W, SHANG H, XIE C, et al. Feasibility of constant dose rate VMAT in the treatment of nasopharyngeal cancer patients[J]. Radiat Oncol, 2014, 9(1): 235.
- [16] 商海焦, 陈利, 王学涛, 等. 鼻咽癌CDR-VMAT与ss-IMRT剂量学比较评估[J]. 中国医学物理学杂志, 2014, 31(1): 4612-4616.
- [17] SHANG H J, CHEN L, WANG X T, et al. Comparison and evaluation of CDR-VMAT and ss-IMRT for the treatment of nasopharyngeal in dosimetry[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2014, 31(1): 4612-4616.
- [18] HATANAKA S, TAMAKI S, ENDO H, et al. Utility of smart arc CDR for intensity-modulated radiation therapy for prostate cancer[J]. J Radiat Res, 2014, 55(4): 774-779.
- [19] HE R, YANG C. SU-FF-T-359: MapPhan with MapCHECK and IMRT matrixXX for real gantry angle IMRT QA[J]. Med Phys, 2009, 36(6): 2604.

(编辑:陈丽霞)