

# 容积旋转调强计划遮挡技术应用于早期鼻腔NK/T细胞淋巴瘤的剂量学研究

徐婷婷<sup>1</sup>, 靳富<sup>2</sup>, 杨含<sup>2</sup>

1. 重庆市丰都县人民医院放射科, 重庆 408299; 2. 重庆大学附属肿瘤医院/重庆市肿瘤研究所/重庆市肿瘤医院肿瘤放射治疗中心, 重庆 400030

**【摘要】目的:**比较3种容积旋转调强计划(VMAT)的剂量学差异,探讨VMAT遮挡技术对早期鼻腔NK/T细胞淋巴瘤的剂量学影响。**方法:**选取20例早期鼻腔NK/T细胞淋巴瘤患者,分别设计无晶体遮挡(VMAT-OFF)计划、晶体半遮挡(VMAT-E)计划和晶体全遮挡(VMAT-E&E)计划,评估3组计划的计划靶区体积(PTV)和危及器官(OARs)剂量学参数,评估机器跳数(MU)和SCIMOCA通过率(3%/2 mm)。**结果:**3种计划的靶区剂量分布均能满足临床要求,PTV的 $D_{2\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、 $V_{95\%}$ 、均匀性指数、适形度指数均无统计学差异;在MU方面,VMAT-OFF<VMAT-E<VMAT-E&E( $P<0.05$ );在OARs晶体( $D_{\max}$ 、 $D_{\text{mean}}$ )方面,VMAT-E&E<VMAT-OFF( $P<0.05$ ),VMAT-E&E<VMAT-E( $P<0.05$ ), $D_{\max}$ 和 $D_{\text{mean}}$ 均无统计学差异;靶区、晶体和计划的SCIMOCA通过率(3%/2 mm)都高于95%且无统计学差异。**结论:**VMAT-E&E计划的MU较高,但在保护晶体方面更有优势。

**【关键词】**NK/T细胞;淋巴瘤;容积旋转调强;晶体;遮挡;放射治疗

**【中图分类号】**R739.62;R811.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2022)02-0146-06

## Avoidance technique applied in volumetric modulated arc therapy for early-stage nasal natural killer/T-cell lymphoma: a dosimetric study

XU Tingting<sup>1</sup>, JIN Fu<sup>2</sup>, YANG Han<sup>2</sup>

1. Department of Radiology, Fengdu People's Hospital of Chongqing, Chongqing 408299, China; 2. Department of Radiation Oncology, Chongqing University Cancer Hospital/Chongqing Cancer Institute Chongqing Cancer Hospital, Chongqing 400030, China

**Abstract: Objective** To compare the dosimetric differences among 3 different volumetric modulated arc therapy (VMAT) plans, and to explore the dosimetric effects of VMAT avoidance technique on early-stage nasal natural killer/T-cell lymphoma. **Methods** Twenty patients with early-stage nasal natural killer/T-cell lymphoma were enrolled in the study, and 3 kinds of plans, namely no lens avoidance plan (VMAT-OFF), lens half-avoidance (VMAT-E) and lens avoidance plan (VMAT-E&E), were designed for each patients. The dosimetric parameters of planning target volume (PTV) and organs-at-risk were compared among 3 kinds of groups, and meanwhile, monitor units (MU) and SCIMOCA passing rate (3%/2 mm) were evaluated. **Results** The target dose distribution in 3 kinds of plans all met the prescribed dose requirements. There was no statistically difference in the  $D_{2\%}$ ,  $D_{98\%}$ ,  $V_{95\%}$ , homogeneity index and conformity index of PTV. MU was highest in VMAT-E&E, followed by VMAT-E and VMAT-OFF ( $P<0.05$ ). The  $D_{\max}$  and  $D_{\text{mean}}$  to lens in VMAT-E&E were lower than those in VMAT-OFF ( $P<0.05$ ) and VMAT-E ( $P<0.05$ ), and no statistically difference was found in the  $D_{\max}$  and  $D_{\text{mean}}$  to other OAR. The SCIMOCA passing rate (3%/2 mm) of PTV, lens and plans were all higher than 95%, without statistical differences. **Conclusion** Although VMAT-E&E has relatively higher MU, it has more advantages in lens sparing.

**Keywords:** natural killer/T-cell; lymphoma; volumetric modulated arc therapy; lens; avoidance; radiotherapy

**【收稿日期】**2021-11-15

**【基金项目】**国家自然科学基金(11575038)

**【作者简介】**徐婷婷, 硕士, 放疗物理师, 研究方向: 放射物理技术, E-mail: pt200998@163.com

**【通信作者】**杨含, 硕士, 放疗物理师, 研究方向: 放射物理技术, E-mail: yherge@163.com

## 前言

鼻腔NK/T细胞淋巴瘤是一种非霍奇金淋巴瘤(NHL), 占该类型淋巴瘤的5%~12%<sup>[1]</sup>。具有地理分布特征, 欧洲较少见, 亚洲和拉美较多见, 因此我国的鼻腔NK/T细胞淋巴瘤发病率相对较高<sup>[2]</sup>。对于早期鼻腔NK/T细胞淋巴瘤, 放射治疗能取得很好的局

部控制效果,是早期患者的主要根治性手段<sup>[3-5]</sup>。对于能获得长期生存的患者,我们应该更多地重视其放疗毒副反应。容积旋转调强放疗(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)技术是新型的放射治疗技术,可通过剂量率、动态多叶准直器(Multi-Leaf Collimator, MLC)、可变的机架转速、单弧或多弧等参数实现剂量优化分布,比调强放疗技术的剂量分布更均匀,对于正常器官的保护有更明显的优势<sup>[6-7]</sup>。研究表明VMAT技术在头颈部肿瘤、宫颈癌、前列腺癌、直肠癌等恶性肿瘤上有较明显的优势,能更好地保护危及器官(OARs)<sup>[8-9]</sup>。早期鼻腔NK/T细胞淋巴瘤的靶区主要原发于鼻腔、鼻咽及其面部中线结构,邻近OARs晶体的剂量限值较低、体积较小,要求靶区与晶体之间剂量跌落较快,传统调强技术因为入射角度的限制,容易导致两侧眼球区域出现高剂量。而VMAT技术比调强放疗技术对于正常器官的保护有更明显的优势<sup>[10]</sup>。

有研究表明在食管癌和肺癌的螺旋断层放疗(Tomotherapy, TOMO)计划中使用Block功能,将勾画保护区域肺定义为Block进行优化,虽然会增加治疗时间,但是能够有效地减少正常肺组织的照射剂量<sup>[11-12]</sup>。相较于TOMO,常规加速器的VMAT计划受到计划系统功能限制未有类似研究。目前Eclipse计划系统15.5及以下的版本在优化函数中也增加了相似的功能,可对需要保护的区域或结构使用遮挡(Avoidance)功能,将需要遮挡的结构定义为遮挡组织,遮挡功能具有两种模式:Entry和Entry+Exit,Entry模式对该组织进行半遮挡,禁止射线从该结构穿入到达靶区,但允许射线先到达靶区再穿过该结构。Entry+Exit模式对该组织进行全遮挡,禁止射线从该结构穿入和穿出,进而降低其辐射剂量。本文采用Eclipse计划系统的遮挡功能比较无晶体遮挡(VMAT-OFF)计划、晶体半遮挡(VMAT-E)计划、晶体全遮挡(VMAT-E&E)计划的剂量学差异,探讨VMAT遮挡功能在早期鼻腔NK/T细胞淋巴瘤放疗治疗中的剂量学特性,进而为早期鼻腔NK/T细胞淋巴瘤放疗提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性选取2010年9月~2013年6月于重庆大学附属肿瘤医院接受放射治疗的20例经病理及免疫组化确诊为早期鼻腔NK/T细胞淋巴瘤患者,既往无头颈部肿瘤放疗史和临床禁忌症。

### 1.2 放疗定位与靶区勾画

患者仰卧位,双手放置于身体两侧,采用头颈肩

热塑面膜固定。采用荷兰Philips Brilliance™大孔径CT进行增强扫描,扫描范围上界到颅顶,下界至锁骨头下缘2 cm处,扫描范围包括鼻腔、鼻咽、鼻旁窦及颈部等邻近正常器官组织,扫描层厚0.3 cm。所获CT影像以DICOM格式经Aria网络传输至瓦里安Eclipse(Version 15.6)治疗计划系统。图像经同一医师在CT图像上勾画大体肿瘤体积(GTV),临床靶区体积(CTV)为预防性照射区,CTV外扩0.3 cm为计划靶区体积(PTV),并由高年资医师进行靶区审核,晶体、视交叉、视神经、脑干、脊髓、腮腺等OARs参考ICRU83报告<sup>[13]</sup>进行定义及勾画。

### 1.3 放射治疗计划设计

计划统一设定PTV处方剂量DT:50 Gy/25 F,添加0.5 cm补偿膜。要求100%处方剂量至少覆盖95%的靶区体积。

在Eclipse15.6治疗计划系统进行放射治疗的计划设计,使用Varian EDGE(速锋刀)直线加速器,配备的是60对MLC,中间叶片32对,宽度为0.25 cm,两边叶片宽度为0.5 cm,采用剂量率为600 MU/min的6 MV-X线实施放射治疗。分别对20例患者制定3种计划:第1组未对晶体添加遮挡功能(VMAT-OFF计划),第2组对双侧晶体均添加了遮挡功能Entry(VMAT-E计划),第3组VMAT-E&E计划对双侧晶体均添加了遮挡功能Entry+Exit。3组计划均设计共面2个弧,机架旋转范围分别为179°~181°和181°~179°,为了减少MLC漏射线对实际剂量分布的影响,分别设置小机头(Collimator)角度为45°和315°。3组计划均使用了Smart Leafs Motion Calculate(LMC)叶片运动的铅门跟随功能,剂量计算均采用Acuros XB(AXB)算法,计算网格为0.25 cm。

### 1.4 评估指标

为方便对比研究,将所有计划的 $D_{95\%}$ 归一为处方剂量50 Gy,所有计划根据标准剂量体积直方图(Dose Volume Histogram, DVH)进行评估,靶区所受的最小剂量为 $D_{\min}(D_{98\%})$ ,靶区所受的最大剂量为 $D_{\max}(D_{2\%})$ 。靶区适形度指数(Conformity Index, CI)的计算公式如下:

$$CI = \frac{V_{t,95\%}}{V_t} \cdot \frac{V_{t,95\%}}{V_{95\%}} \quad (1)$$

其中, $V_{t,95\%}$ 是95%等剂量线所包绕的靶区体积, $V_t$ 是靶区体积, $V_{95\%}$ 是95%等剂量线所包绕的总体积。CI值介于0~1之间,CI值越接近1,则表示靶区的适形度越好。靶区均匀性指数(Homogeneity Index, HI)的计算公式如下:

$$HI = \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}} \quad (2)$$

其中, $D_{2\%}$ 、 $D_{50\%}$ 和 $D_{98\%}$ 分别为2%、50%和98%靶区体积所受的照射剂量,HI值介于0~1之间,HI值越接近0,说明剂量曲线坡度越陡,剂量分布越均匀。OARs的评价参数主要包括晶体、眼球、视交叉、视神经、脑干、脊髓、腮腺的最大剂量 $D_{max}$ 和平均剂量 $D_{mean}$ 。

最后将3组计划分别传输至SCIMOCA(2020年8月安装完成的中国首台SCIMOCA),该系统采用放疗剂量计算的金标准-蒙特卡罗算法对计划进行独立的二次剂量验算<sup>[14]</sup>,检测靶区及OARs的DVH偏差,分别统计3组计划两侧晶体、靶区和计划的Gamma通过率(3%/2 mm),计划的通过率大于95%认为达到标准<sup>[15]</sup>,比较3组计划通过率是否存在统计学差异。

1.5 统计学分析

使用SPSS19.0软件对3组数据进行统计学分析,

经Shapiro-Wilk检验,部分数据不服从正态分布,因此本文所有数据均用中位数(四分位数间距)[M(IQR)]表示,采用多样本非参数秩和检验,进行Kruskal-Wallis检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 靶区剂量分布及机器跳数

如表1所示,VMAT-OFF、VMAT-E和VMAT-E&E计划相互比较,计划的 $D_{98\%}$ 、 $D_{2\%}$ 、 $V_{95\%}$ 、HI、CI差异无统计学意义( $P>0.05$ )。3种计划的MU值 $VMAT-OFF<VMAT-E<VMAT-E\&E(P<0.05)$ 。VMAT-E&E计划的MU平均值458.11比VMAT-OFF(357.33)和VMAT-E(397.30)分别增加了28%和15%,VMAT-E计划的MU平均值比VMAT-OFF计划增加了11%。

表 1 早期鼻腔 NT/K 细胞淋巴瘤 3 种 VMAT 计划下计划靶区的剂量学比较[M(IQR), Gy]

Table 1 Dosimetric comparison of planning target areas in 3 kinds of VMAT plans of early-stage nasal natural killer/T-cell lymphoma [M(IQR), Gy]

参数	VMAT-OFF	VMAT-E	VMAT-E&E	P值		
				VMAT-OFF vs VMAT-E	VMAT-OFF vs VMAT-E&E	VMAT-E vs VMAT-E&E
$D_{98\%}/Gy$	4 901.50(36.68)	4 905.15(33.45)	4 892.75(51.63)	0.675	0.066	0.058
$D_{2\%}/Gy$	5 363.45(85.03)	5 356.25(77.75)	5 305.85(107.75)	0.935	0.099	0.081
$V_{95\%}/cm^3$	265.50(136.60)	270.15(137.00)	268.75(137.90)	0.935	1.000	0.914
HI	0.09(0.01)	0.09(0.02)	0.08(0.03)	0.914	0.417	0.449
CI	0.86(0.04)	0.86(0.03)	0.85(0.05)	0.402	0.344	0.725
MU	357.05(36.93)	394.30(51.05)	442.70(103.35)	0.001	0.000	0.002

2.2 OARs 剂量分布

如表2所示,3种计划的左侧眼球、右侧眼球、左视神经、右视神经、视交叉、脑干、脊髓、腮腺的 $D_{max}$ 和 $D_{mean}$ 差异无统计学意义。VMAT-E&E计划分别和VMAT-OFF、VMAT-E计划相比,双侧眼晶体的 $D_{max}$ 和 $D_{mean}$ 均有显著性降低( $P<0.05$ )。VMAT-OFF和VMAT-E计划相比,双侧眼晶体的 $D_{max}$ 和 $D_{mean}$ 差异无统计学意义( $P>0.05$ )。图1为其中某个病例3种计划的横断面剂量曲线分布示意图,由图1可见VMAT-E&E计划的低剂量分布明显优于另外两种计划。

2.3 SCIMOCA 通过率

统计3组计划两侧晶体、靶区和计划的Gamma通过率,Gamma分析以3%/2 mm的标准,计划通过率达到95%以上视为通过,如表3所示,3组计划的双侧晶体的通过率均为100%,靶区通过率差异无统计学意义。VMAT-OFF、VMAT-E和VMAT-E&E计划的SCIMOCA计划总通过率(3%/2 mm)分别为97.60%(0.88%)、97.55%(1.20%)和97.60%(1.18%),计划通

过率均高于95%且差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

3 讨论

本研究在VMAT计划基础上对晶体增加了Eclipse计划系统15.5及以上的版本才有的遮挡功能,主要比较VMAT-OFF、VMAT-E、VMAT-E&E计划的剂量学差异,探讨VMAT遮挡功能在早期鼻腔NK/T细胞淋巴瘤放射治疗中的剂量学特性。

本研究结果显示,3组计划均能满足临床上对于靶区覆盖的要求, $D_{98\%}$ 、 $D_{2\%}$ 、 $V_{95\%}$ 、HI和CI均无统计学差异。3组计划相互比较,MU值 $VMAT-OFF<VMAT-E<VMAT-E\&E(P<0.05)$ 。该结果提示,遮挡功能的加入及复杂程度的提高,增加了机器的跳数。

3组计划的OARs双侧眼球、双侧视神经、视交叉、脑干、脊髓和腮腺的 $D_{max}$ 和 $D_{mean}$ 比较均无统计学差异。VMAT-E&E计划分别和VMAT-OFF、VMAT-E计划相比,双侧晶体的 $D_{max}$ 和 $D_{mean}$ 均显著性降低( $P<0.05$ )。VMAT-E计划和VMAT-OFF计划相比,



表2 早期鼻腔NT/K细胞淋巴瘤3种VMAT计划下OARs的剂量学比较[M(IQR), %]

Table 2 Dosimetric comparison of organs-at-risk in 3 kinds of VMAT plans of early-stage nasal natural killer/T-cell lymphoma [M(IQR), %]

OARs	参数	VMAT-OFF	VMAT-E	VMAT-E&E	P 值		
					VMAT-OFF vs VMAT-E	VMAT-OFF vs VMAT-E&E	VMAT-E vs VMAT-E&E
右晶体	D <sub>max</sub>	1 212.80(319.97)	1 095.40(250.03)	881.30(207.75)	0.066	0.000	0.000
	D <sub>mean</sub>	975.60(236.73)	889.30(181.90)	562.05(152.38)	0.110	0.000	0.000
左晶体	D <sub>max</sub>	1 322.70(487.25)	1 191.10(374.63)	946.30(278.15)	0.499	0.000	0.000
	D <sub>mean</sub>	948.00(322.83)	914.85(228.93)	620.10(158.28)	0.317	0.000	0.000
右眼球	D <sub>max</sub>	4 882.40(352.90)	4 902.65(635.75)	4 980.80(491.75)	0.914	0.482	0.607
	D <sub>mean</sub>	2 178.15(365.35)	2 233.95(365.32)	2 045.30(385.68)	0.957	0.144	0.117
左眼球	D <sub>max</sub>	5 081.30(443.73)	5 107.15(572.08)	5 171.15(392.20)	0.685	0.665	0.482
	D <sub>mean</sub>	2 370.75(484.47)	2 322.62(412.72)	2 276.75(483.30)	0.745	0.185	0.317
视交叉	D <sub>max</sub>	4 532.40(1 417.83)	4 536.00(1 415.85)	4 590.25(1 382.88)	0.935	0.914	0.850
	D <sub>mean</sub>	3 153.05(1 329.50)	3 086.05(1 189.80)	3 047.05(1 271.40)	0.766	0.685	0.978
右视神经	D <sub>max</sub>	4 913.35(703.55)	4 965.20(739.92)	4 979.80(650.05)	0.685	0.766	0.482
	D <sub>mean</sub>	4 083.05(830.65)	4 003.55(976.50)	4 056.50(809.70)	0.892	0.935	0.957
左视神经	D <sub>max</sub>	5 017.55(254.55)	5 083.60(307.33)	5 071.80(278.73)	0.372	1.000	0.552
	D <sub>mean</sub>	4 387.90(670.55)	4 457.35(599.63)	4 418.10(533.48)	0.499	0.607	0.914
脑干	D <sub>max</sub>	2 656.35(1 151.60)	2 745.65(1 174.38)	2 620.20(1 266.10)	0.914	0.745	0.766
	D <sub>mean</sub>	1 989.50(647.80)	1 972.40(621.55)	1 912.20(801.90)	0.685	0.745	0.914
脊髓	D <sub>max</sub>	1 176.05(2 423.80)	1 262.70(2 498.05)	1 066.05(2 458.18)	0.957	0.871	0.850
	D <sub>mean</sub>	101.35(125.80)	97.75(129.80)	89.20(122.25)	0.978	0.850	0.829
右腮腺	D <sub>max</sub>	2 089.25(1 093.95)	2 248.60(1 078.70)	2 202.80(1 120.88)	0.787	0.850	0.570
	D <sub>mean</sub>	577.25(795.40)	588.10(885.18)	509.25(801.95)	0.935	0.787	0.725
左腮腺	D <sub>max</sub>	2 222.60(1 208.90)	2 383.90(1 072.38)	2 491.55(1 142.00)	0.957	0.978	0.957
	D <sub>mean</sub>	547.75(924.85)	556.20(912.18)	557.60(800.43)	0.978	0.829	0.850

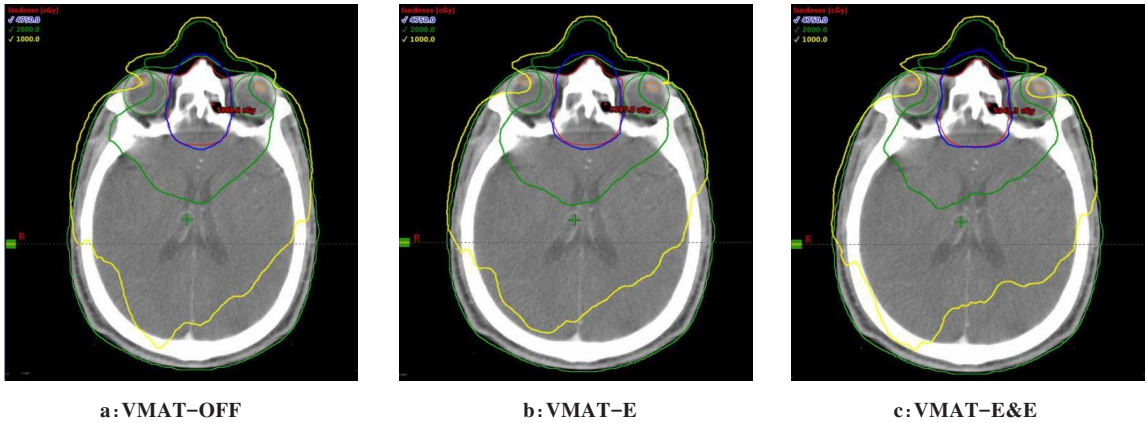


图1 3种计划横断面等剂量曲线分布比较

Figure 1 Comparison of transverse isodose distributions in 3 kinds of plans

PTV用红色表示,蓝色、绿色、黄色线分别是47.5、20、10 Gy的等剂量曲线

双侧晶体的 D<sub>max</sub> 和 D<sub>mean</sub> 差异无统计学意义(P>0.05)。早期鼻腔 NK/T 细胞淋巴瘤的根治性照射剂量为 50~55 Gy<sup>[16]</sup>, 本文采用常规分割, 处方剂量为 50 Gy, 眼球、视神经、视交叉、脑干、脊髓和腮腺等 OARs 的

剂量限制很容易达到, 能否提高患者的生存质量, 关键在于对晶体辐射致白内障的发生率的控制, 当晶体的 D<sub>max</sub> 大于 5 Gy, 即有晶体浑浊的情况发生, 其发病率与接受的剂量严重程度相关<sup>[17]</sup>。本研究结果

表3 鼻腔NT/K细胞淋巴瘤3种VMAT计划下SCIMOCA通过率(3%/2 mm)比较 [M(IQR), %]  
Table 3 Comparison of SCIMOCA passing rate (3%/2 mm) of 3 kinds of VMAT plans of nasal natural killer/T-cell lymphoma [M(IQR), %]

参数	VMAT-OFF	VMAT-E	VMAT-E&E	P值		
				VMAT-OFF vs VMAT-E	VMAT-OFF vs VMAT-E&E	VMAT-E vs VMAT-E&E
SCIMOCA左晶体通过率	100(0)	100(0)	100(0)	/	/	/
SCIMOCA右晶体通过率	100(0)	100(0)	100(0)	/	/	/
SCIMOCA靶区通过率	99.63(0.39)	99.54(0.52)	99.52(0.54)	0.561	0.351	0.871
SCIMOCA计划通过率	97.60(0.88)	97.55(1.20)	97.60(1.18)	0.734	0.860	0.635

显示 VMAT-E 与 VMAT-OFF 计划相比, MU 增加, 双侧晶体的  $D_{max}$  和  $D_{mean}$  虽然有降低的趋势, 但差异无统计学意义, 因此 Entry 模式不占优势。VMAT-E&E 计划使用 Entry+Exit 模式, 将晶体定义为全遮挡组织, 通过对 MLC 运动、机器转速、剂量率等参数的调制, 增加 MU, 在保证靶区剂量分布及其它 OARs 不受影响的前提下, 更好地保护了晶体, 一定程度上也提示了该功能模式的优越性。

由于早期鼻腔 NK/T 细胞淋巴瘤的靶区主要原发于鼻腔、鼻咽及其面部中线, 已有研究显示使用 AXB 算法相较于 AAA 算法对空腔及骨的计算能更准确地代表真实的剂量分布<sup>[18-19]</sup>。Varian EDGE 直线加速器配备了铅门跟随技术, 有研究表明, 铅门与 MLC 结合相比于仅用 MLC 遮挡, 对于非照射区域, 可以降低 0.9%~4.4% 的射线(6 MV 光子)<sup>[20]</sup>, 该技术的应用可以进一步降低 OARs 受量<sup>[21-22]</sup>。本研究 3 组计划均采用 AXB 算法, 并且使用了 Varian EDGE 直线加速器的铅门跟随技术。Swinnen 等<sup>[23]</sup>通过试验评估了铅门跟随技术对小野 VMAT 技术使用 AXB 算法准确度的影响, 结果表明对于小于 3 cm×3 cm 的野, 将铅门固定在 3 cm×3 cm 结合高走位精度的 MLC 比使用铅门跟随的剂量计算准确度高。因鼻腔 NK/T 细胞淋巴瘤在部分横断面上靶区较小, 并且本文在以上技术的基础上还使用了遮挡功能, 为了进一步验证计划的计算准确度, 笔者采用放疗剂量计算的金标准-蒙特卡罗算法对计划进行独立的二次剂量验算。SCIMOCA 通过率的结果显示, 3 组计划的双侧晶体通过率均为 100%, 靶区通过率均大于 95% 且差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 3 组计划的计划通过率均大于 95% 且差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。因此 3 组计划都能通过 SCIMOCA 的二次验证, 提示 3 组计划计算准确, 可以满足临床治疗需求。

本文的 VMAT 计划均采用两个共面 VMAT 全弧, 已有研究对不同旋转弧数量的 VMAT 计划进行了剂量学比较, 结果显示 3 个弧较 2 个弧和单弧可以获得更优的剂量分布, 可以更好地保护 OARs<sup>[24-25]</sup>。

提示我们可以在 VMAT-E&E 计划的基础上增加旋转弧数量, 以期获得更优的剂量分布, 更好地保护 OARs, 有待进一步试验研究。

综上, VMAT-E&E 计划在保证靶区剂量分布及其它 OARs 不受影响的前提下, 可以更好地保护晶体。虽然 VMAT-E&E 计划跳数会增加, 但由于 VMAT 技术剂量率较高, 跳数增加导致的出束时间的相对延长对于治疗效率影响较小。为了使患者在治疗后有更好的生存质量, 可采用全遮挡功能降低 OARs 的毒副反应, 对于其他部位放射治疗中 OARs 的保护也可以尝试该功能, 特别是限量较低且邻近靶区的 OARs, 比如卵巢、脑干等。

【参考文献】

[1] LI T, BO Z, YE Y, et al. Immunohistochemical and genetic analysis of Chinese nasal natural killer/T-cell lymphomas[J]. Hum Pathol, 2006, 37(1): 54-60.

[2] COHEN J I, IWATSUKI K, KO Y H, et al. Epstein-Barr virus NK and T cell lymphoproliferative disease: report of a 2018 international meeting[J]. Leuk Lymphoma, 2019, 61(4): 1-12.

[3] JIANG L, LI S J, JIANG Y M, et al. The significance of combining radiotherapy with chemotherapy for early stage extranodal natural killer/T-cell lymphoma, nasal type: a systematic review and meta-analysis[J]. Leukemia & Lymphoma, 2014, 55(5): 1038-1048.

[4] 蔡颖, 叶惠平. 鼻腔结外型NK/T细胞淋巴瘤治疗进展[J]. 国际感染杂志(电子版), 2020, 9(1): 240-241.

CAI Y, YE H P. Progress in the treatment of extranodal NK/T-cell lymphoma[J]. Infection International (Electronic Edition), 2020, 9(1): 240-241.

[5] 陈波, 李晔雄, 刘清峰, 等. 早期结外鼻型NK/T细胞淋巴瘤疗后远处淋巴结转移的临床特征[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(3): 181-186.

CHEN B, LI H X, LIU Q F, et al. Clinical features of distant lymph node metastasis in early-stage extranodal nasal-type NK/T-cell lymphoma after treatment[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(3): 181-186.

[6] XU L M, KANG M L, JIANG B, et al. A study of the dosimetric characteristics between different fixed-field IMRT and VMAT in early-stage primary mediastinal B-cell lymphoma[J]. Med Dosim, 2018, 43(1): 91-99.

[7] 蔡俊涛, 陈凡, 王财, 等. 非小细胞肺癌容积旋转调强与适形调强放疗的剂量学比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(4): 389-393.

CAI J T, CHEN F, WANG C, et al. Dosimetric comparison of volumetric modulated arc therapy and intensity-modulated radiotherapy for non-small cell lung cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(4): 389-393.

[8] LU S H, CHENG J C, KUO S H, et al. Volumetric modulated arc therapy for nasopharyngeal carcinoma: a dosimetric comparison with Tomo Therapy and step-and-shoot IMRT[J]. Radiother Oncol, 2012,

- 104(3): 324-330.
- [9] 郭昌, 吴一凡, 翟振宇, 等. 宫颈癌卵巢移位术后VMAT与IMRT卵巢放疗剂量的比较[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2021, 41(5): 334-339.
- GUO C, WU Y F, ZHAI Z Y, et al. Comparison of the ovarian sparing between VMAT and IMRT after ovarian transposition surgery for cervical cancer patients[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2021, 41(5): 334-339.
- [10] 郭启帅, 柳先锋, 钟明松, 等. RapidArc技术应用于早期鼻腔NK/T细胞淋巴瘤调强放疗的剂量学研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2014, 31(1): 4597-4599.
- GUO Q S, LIU X F, ZHONG M S, et al. Dosimetric study of RapidArc for early-stage nasal natural Killer/T-cell lymphoma[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2014, 31(1): 4597-4599.
- [11] ITO M, SHIMIZU H, AOYAMA T, et al. Efficacy of virtual block objects in reducing the lung dose in helical tomotherapy planning for cervical oesophageal cancer: a planning study[J]. Radiat Oncol, 2018, 13(1): 62.
- [12] 张晋建, 李志强, 文婷, 等. 肺癌螺旋断层放疗计划设计中应用Block减少肺低剂量区的研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(2): 152-156.
- ZHANG J J, LI Z Q, WEN T, et al. Applying Block to reduce low-dose volume of lungs in helical tomotherapy of lung cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(2): 152-156.
- [13] International Commission on Radiation Units and Measurements. Prescribing, recording, and reporting photon-beam intensity-modulated Radiation Therapy (IMRT): ICRU Report83 [R]. 2010: 1-106.
- [14] HOFFMANN L, ALBER M, SHN M, et al. Validation of the Acuros XB dose calculation algorithm *versus* Monte Carlo for clinical treatment plans[J]. Med Phys, 2018, 45(8): 3909-3915.
- [15] MIFTEN M, OLCH A, MIHAILIDIS D, et al. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement - based verification QA: recommendations of AAPM Task Group No. 218[J]. Med Phys, 2018, 45(4): e53-e83.
- [16] WANG H, LI Y X, WANG W H, et al. Mild toxicity and favorable prognosis of high-dose and extended involved-field intensity-modulated radiotherapy for patients with early-stage nasal NK/T-cell lymphoma[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 82(3): 1115-1121.
- [17] MARCHAND V, DENDALE R. Normal tissue tolerance to external beam radiation therapy: eye structures[J]. Cancer Radiother, 2010, 14(4-5): 277-283.
- [18] BUFACCHI A, CASPIANI O, RAMBALDI G, et al. Clinical implication in the use of the AAA algorithm *versus* the AXB in nasopharyngeal carcinomas by comparison of TCP and NTCP values[J]. Radiat Oncol, 2020, 15(1). DOI: 10.1186/s13014-020-01591-7.
- [19] 林秀桐, 刘潇, 王震, 等. 加速器日志文件结合胶片验证分析非均匀介质中AAA与AXB算法剂量计算的差异[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(6): 457-462.
- LIN X T, LIU X, WANG Z, et al. Application of the accelerator log file combined with the film to verify the accuracy of AAA and AXB algorithms in the heterogeneous medium[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(6): 457-462.
- [20] MOHAN R, JAYESH K, JOSHI R C, et al. Dosimetric evaluation of 120-leaf multileaf collimator in a Varian linear accelerator with 6-MV and 18-MV photon beams[J]. J Med Phys, 2008, 33(3): 114-118.
- [21] 贺先桃, 王占宇, 谭军文, 等. 固定铅门模式下容积旋转调强放疗与动态调强放疗在乳腺癌根治术后放疗中的比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(8): 889-894.
- HE X T, WANG Z Y, TAN J W, et al. Comparison of VMAT vs d IMRT with fixed-jaw technique for postoperative radiotherapy of breast cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(8): 889-894.
- [22] 杨含, 钟明松, 吴府容, 等. 胸中段食管癌共面不等分5野及铅门跟随调强放疗计划的剂量学研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(7): 810-815.
- YANG H, ZHONG M S, WU F R, et al. Dosimetric study on coplanar unequal 5-field versus jaw tracking intensity-modulated radiotherapy for middle thoracic esophageal cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2020, 37(7): 810-815.
- [23] SWINNEN A C, OLLERS M C, ROIJEN E, et al. Influence of the jaw tracking technique on the dose calculation accuracy of small field VMAT plans[J]. J Appl Clin Med Phys, 2017, 18(1): 186-195.
- [24] YEGINER M, AYDOGAN B. How many Arc is enough? a dosimetric comparison of RapidArc and static-field IMRT for high-risk prostate cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 78(3): S820.
- [25] 龙雨松, 谭军文, 王占宇, 等. 宫颈癌容积旋转调强放疗中不同弧数目计划间的剂量学差异[J]. 医疗卫生装备, 2018, 39(6): 58-62.
- LONG Y S, TAN J W, WANG Z Y, et al. Dosimetric differences between volumetric modulated arc therapy plans with different arc numbers for cervical cancer[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2018, 39(6): 58-62.

(编辑: 薛泽玲)