

## ASC算法在鼻咽癌容积调强放射治疗中的应用

朱皓<sup>1</sup>, 贾晓斌<sup>2</sup>, 朱伟华<sup>1</sup>, 张震<sup>1</sup>, 韩增伟<sup>2</sup>

1. 瓦里安医疗系统公司临床应用培训部, 北京 102600; 2. 上海交通大学医学院附属第九人民医院放疗科, 上海 201900

**【摘要】目的:**基于ESAPI与可视化脚本,评估分析射束形态控制器(ASC)算法在鼻咽癌容积调强放射治疗中的应用。**方法:**对40例鼻咽癌患者的临床资料做回顾性分析,采用Eclipse v15.5计划系统为每位患者制定6组容积调强放射治疗计划,分别为对照组(ASC-no)、实验I组(ASC-verylow)、实验II组(ASC-low)、实验III组(ASC-moderate)、实验IV组(ASC-high)和实验V组(ASC-veryhigh),且所有计划的优化参数均相同。采用Eclipse v15.5内置可视化脚本与ESAPI,评估各组计划之间的靶区与危及器官剂量学差异,进一步分析射束孔不规则度与计划复杂度的变化。**结果:**相比对照组(ASC-no),实验组PGTV69的适形度指数未有统计学差异;而实验组PGTV69和PCTV1的均匀性指数(HI)均存在统计学差异( $P<0.05$ ),且随着ASC权重的增大,差异呈现增加趋势;对于PCTV2的HI,实验组中II组、III组和IV组存在统计学差异( $P<0.05$ )。与对照组相比,脊髓 $D_{\max}$ 、喉 $D_{\text{mean}}$ 、左侧腮腺 $D_{\text{mean}}$ 仅V组存在统计学差异( $P<0.05$ );I组的脑干 $D_{\max}$ 存在统计学差异( $P<0.05$ );II组的右侧腮腺 $V_{30}$ 存在统计学差异( $P<0.05$ );I组和V组的晶状体 $D_{\max}$ 存在统计学差异( $P<0.05$ );III组、IV组和V组的垂体 $D_{\max}$ 存在统计学差异( $P<0.05$ )。此外,实验组计划中,I组和II组间的总机器跳数存在统计学差异( $P<0.05$ )。随着通ASC权重值的增加,计划复杂度与射束孔不规则度均呈现降低趋势。**结论:**ASC算法改善了计划复杂度和射野不规则度。其中,低权重ASC降低计划执行机器跳数,高权重ASC影响靶区均匀性以及其它剂量学指标。综合考虑计划质量和投照效率,对于鼻咽癌类型的复杂放疗计划,建议ASC权重设置为verylow、low和moderate。

**【关键词】**鼻咽癌;容积调强放射治疗;射束形态控制器;可视化脚本;射束孔不规则度;计划复杂度

**【中图分类号】**R815;R811.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2020)05-0545-07

## Application of ASC algorithm in volumetric modulated arc therapy for nasopharyngeal carcinoma

ZHU Hao<sup>1</sup>, JIA Xiaobin<sup>2</sup>, ZHU Weihua<sup>1</sup>, ZHANG Zhen<sup>1</sup>, HAN Zengwei<sup>2</sup>

1. Clinical Application Training Department of Varian Medical Systems, Inc., Beijing 102600, China; 2. Department of Radiotherapy, the Ninth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiaotong University School of Medicine, Shanghai 201900, China

**Abstract: Objective** To analyze and evaluate the application of aperture shape controller (ASC) algorithm in volumetric modulated arc therapy (RapidArc) for nasopharyngeal carcinoma based on ESAPI and visual scripting. **Methods** The clinical information of 40 patients with nasopharyngeal carcinoma was analyzed retrospectively, and Eclipse v15.5 treatment planning system was used to design 6 RapidArc plans for each patient. The 6 groups of plans included control group (ASC-no), experimental group I (ASC-verylow), experimental group II (ASC-low), experimental group III (ASC-moderate), experimental group IV (ASC-high) and experimental group V (ASC-veryhigh), and the other optimization parameters of all plans were set as the same. The ESAPI and visual scripting of Eclipse v15.5 were used to assess the dosimetric differences in target areas and organs-at-risk and further analyze the variations of aperture irregularity and plan complexity index. **Results** No statistical difference was found in the conformity index of PGTV69 between control group and experimental groups, but the homogeneity index (HI) of PGTV69 and PCTV1 in experimental groups was higher than that in control group, with statistical differences ( $P<0.05$ ), and the difference in HI showed an increasing trend with the increase of ASC weight. For the HI of PCTV2, there were statistical differences between control group and experimental groups II, III and IV ( $P<0.05$ ). Compared with the dosimetric parameters of organs-at-risk in control group, there were statistical differences in the  $D_{\max}$  of spinal cord, the  $D_{\text{mean}}$  of larynx and parotid-L in experimental group V ( $P<0.05$ ); the  $D_{\text{mean}}$  of brainstem in experimental group I ( $P<0.05$ ); the  $V_{30}$  of parotid-R in experimental group II ( $P<0.05$ ); the  $D_{\text{mean}}$  of lens in experimental groups I and V ( $P<0.05$ ); and the  $D_{\max}$  of pituitary in experimental groups III, IV and V ( $P<0.05$ ). Among

**【收稿日期】**2020-03-26

**【作者简介】**朱皓, 硕士, 中级临床培训工程师, 研究方向: 肿瘤放射物理及放射剂量学, E-mail: Hao.Zhu@varian.com; 贾晓斌, 研究方向: 放射物理与医学影像, E-mail: 1337643544@qq.com (朱皓与贾晓斌为共同第一作者)

the experimental groups, there was statistical differences in total machine monitors between experimental group I and experimental group II ( $P<0.05$ ). As the ASC weight increasing, both aperture irregularity and plan complexity index showed a decreasing trend.

**Conclusion** ASC algorithm improves plan complexity index and aperture irregularity. Among them, the ASC of low weight reduces machine monitors, and the ASC of high weight affects the homogeneity of target areas and other dosimetric indicators. Based on the comprehensive consideration of plan quality and delivery efficiency, the ASC weight is recommended to be set as verylow, low and moderate for nasopharyngeal carcinoma and other complex radiotherapy plans.

**Keywords:** nasopharyngeal carcinoma; volumetric modulated arc therapy; aperture shape controller; visual scripting; aperture irregularity; plan complexity index

## 前言

自Cameron<sup>[1]</sup>、Ulrich等<sup>[2]</sup>与Otto<sup>[3]</sup>提出旋转机架调强放射治疗(Volumetric Moderated Arc Therapy, VMAT)概念后,主流的治疗计划系统将VMAT作为重要的技术手段纳入商用<sup>[4-6]</sup>。相较于调强放射治疗,VMAT降低了投照机器跳数,缩短了治疗时间,提高了投照效率<sup>[7-9]</sup>。受机头旋转速度、多叶准直器(Multileaf Collimator, MLC)运动精度等影响<sup>[10-11]</sup>,VMAT对相邻控制点(Control Point, CP)的叶片对和相邻叶片间的伸缩变化有严格限制。因此,高复杂度计划往往会导致MLC调制难度增加,降低投照效率<sup>[12]</sup>。Varian Eclipse v15.5内置了射束形态控制器(Aperture Shape Controller, ASC),显著降低了优化过程中MLC序列运动复杂度,提高了剂量投照的准确度。本研究选取40例鼻咽癌患者,评估靶区及危及器官的剂量学差异,基于Eclipse脚本编译分析不同ASC权重取值对计划复杂度和射束不规则度的影响,探讨ASC算法在鼻咽癌临床治疗中的应用。

## 1 材料与方法

### 1.1 病例选取

选取从2017年6月到2019年5月的上海交通大学医学院附属第九人民医院放疗科收治的40例鼻咽癌患者。其中,男26例,女14例;年龄45~75岁(中位年龄63岁);TNM分期为T<sub>3</sub>N<sub>0-2</sub>M<sub>0</sub>。所有病例数据均

经病理证实并签署知情同意书。

### 1.2 CT定位与图像获取

取仰卧位于头颈肩固定板,头部覆盖热网膜固定。CT扫描范围从颅底骨到第七颈椎下缘,扫描层厚2.5 mm。由放疗科同一医师参照国际辐射单位及测量委员会(ICRU)83号报告勾画原发肿瘤靶区(GTVnx)、颈部转移性淋巴结(GTVnd)、高危临床靶区(CTV1)、颈部淋巴预防靶区(CTV2)和正常组织。GTVnx外扩3 mm命名PGTVnx, GTVnd外扩3 mm命名PGTVnd, PGTV69=PGTVnx+PGTVnd;由CTV1外扩0.3 cm获得计划临床靶区PCTV1;由CTV2外扩0.3 cm获得计划预防靶区PCTV2。

### 1.3 ASC

ASC是Eclipse v15.5计划系统中光子优化(Photon Optimization, PO)算法VMAT叶片序列优化器的一个组成部分,本质上属于对叶片曲率进行罚分优化的一种算法。如图1所示,MLC射野中相邻叶片尖端投影位置一致,定义为叶片局部曲率系数为0;菱形MLC射野中相邻叶片尖端投影位置改变,定义为叶片局部曲率系数非0;椭圆形射野相邻叶片投影位置差异增大,叶片局部曲率系数也随之增加。临床实际应用中,ASC调节空间连续相邻叶片的尖端位置,对射野中叶片投影局部曲率不为0的相邻叶片进行罚分,从而获得最小局部曲率的孔径。

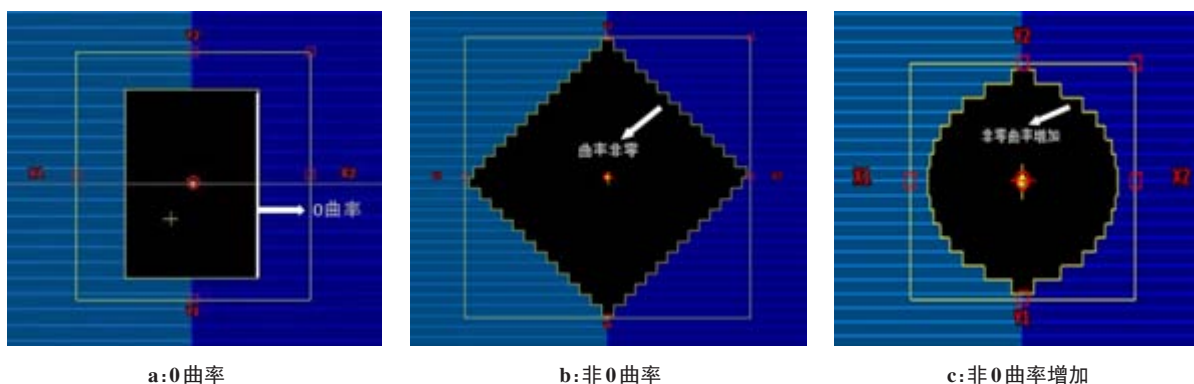


图1 MLC局部曲率系数示意图

Fig.1 Schematic diagrams of local curvature coefficient of multileaf collimator

1.4 计划设计

采用 Eclipse v15.5 计划系统进行计划设计。每例病人做 6 组 VMAT 计划,对照组 (ASC-no) ASC 设置为 off; 实验 I 组 (ASC-verylow) ASC 设置为 verylow; 实验 II 组 (ASC-low) ASC 设置为 low; 实验 III 组 (ASC-moderate) ASC 设置为 moderate; 实验 IV 组 (ASC-high) ASC 设置为 high; 实验 V 组 (ASC-veryhigh) ASC 设置为 veryhigh, 所有计划优化参数相同。所有治疗采用 RapidArc 双弧照射, 第一段弧顺时针由 181°到 179°, 准直器设置为 5°; 第二段弧逆时针由 179°到 181°, 准直器设置为 355°; 每段弧默认 178 控制点。剂量率 600 MU/min, 启用 GPU 加速, 剂量计算采用 Acuros 外照射光子剂量 (Acuros External Beam, AXB) 算法。

1.5 结果评估

所有计划归一于 PGTV69 处方剂量覆盖 95% 靶区体积。计划靶区 (PTV) 剂量学评估包括靶区适形度指数 (Conformity Index, CI) 和靶区均匀性指数 (Homogeneity Index, HI)。

PTV 的 CI 定义为:

$$CI = V_{T.ref} / V_T \times V_{T.ref} / V_{ref}$$
 (1)

其中,  $V_{T.ref}$  表示处方剂量包含 PTV 体积;  $V_{ref}$  表示处方剂量覆盖总体积;  $V_T$  表示计划靶区体积。CI 数值趋近于 1 表示适形度越好。

PTV 的 HI 定义为:

$$HI = (D_2 - D_{98}) / D_{50}$$
 (2)

其中,  $D_2$  表示 2% 的靶区体积对应的剂量;  $D_{50}$  表示 50% 的靶区体积对应的剂量;  $D_{98}$  表示 98% 的靶区体积对应的剂量。HI 数值趋近 0 表明均匀性越好。

RapidArc 模式下, 机架角度与 MLC 位置随时间不停变化, 为了方便评估计划结果, 本研究以控制点中 MLC 形成射野形态的定义为 RapidArc 射束孔 (Aperture), 其不规则度定义为<sup>[13]</sup>:

$$AI = \frac{AP^2}{4\pi \cdot AA}$$
 (3)

其中, AI 表示射束孔不规则度; AP 表示射束孔的周长; AA 表示射束孔的面积。

计划复杂度定义为<sup>[14]</sup>:

$$PCI = \frac{1}{MU_{tot}} \sum_{field} \sum_{i=1}^N MU_i \times \frac{AP}{AA}$$
 (4)

其中, PCI 表示调制复杂度;  $MU_{tot}$  代表当前射野总机器跳数;  $i$  表示射野中 CP 值;  $MU_i$  表示第  $i$  组 CP 射束孔投照机器跳数。

1.6 脚本编译

评估 ASC 算法的作用效果不仅需要统计每个计划的剂量学参数, 还要计算出射束孔不规则度与计

划复杂度。Eclipse 的应用程序脚本 (Eclipse Scripting Application Programming Interface, ESAPI) 能够提高临床工作人员的工作效率<sup>[15]</sup>。本研究采用 ESAPI 以及新功能可视化脚本 v15.5 (Visual Scripting) 两种编译手段。可视化脚本用于剂量学统计, ESAPI 脚本应用于射束孔不规则度与计划复杂度计算并导出为 .CSV 文件。ESAPI 脚本编译语言采用 C#, 编译软件为 Microsoft Visual Studio 2015。两种方式均在 Eclipse 外照射工作区中运行, 其中 ESAPI 脚本为下拉菜单栏中 “Tools/ Scripts”; 可视化脚本为下拉菜单栏中 “Tools/ Visual Scripting”。

1.7 统计学方法

通过 IBM SPSS19 软件对上述剂量学参数采用相关非参数检验中的 Wilcoxon 秩和检验及双侧显著性检验,  $P < 0.05$  表示差异具有统计学意义。

2 结果

6 组计划的剂量学结果及统计学结果见表 1 和表 2。与对照组 (ASC-no) 对比, 实验组 PGTV69 的 CI 未有统计学差异; 实验组 PGTV69 和 PCTV1 的 HI 均存在统计学差异 ( $P < 0.05$ ); 对于 PCTV2 的 HI, 实验组中 ASC-low、ASC-moderate 和 ASC-high 存在统计学差异 ( $P < 0.05$ )。危及器官中, 脊髓  $D_{max}$ 、喉  $D_{mean}$ 、左侧腮腺  $D_{mean}$  仅 ASC-veryhigh 存在统计学差异 ( $P < 0.05$ ); ASC-verylow 的脑干  $D_{max}$  存在统计学差异 ( $P < 0.05$ ); ASC-low 的右侧腮腺  $V_{30}$  存在统计学差异 ( $P < 0.05$ ); ASC-verylow 和 ASC-veryhigh 的晶状体  $D_{max}$  存在统计学差异 ( $P < 0.05$ ); ASC-moderate、ASC-high 和 ASC-veryhigh 的垂体  $D_{max}$  存在统计学差异 ( $P < 0.05$ )。此外实验组计划中, ASC-verylow 组和 ASC-low 组总机器跳数存在统计学差异, 其余各实验组变化差异无统计学差异。

图 2 中的 ASC 设置权重值从 no 到 veryhigh。由图可知, 计划复杂度因子呈现降低趋势, PGTV69 和 PCTV1 的 HI 呈现增加趋势。

3 讨论

针对 VMAT 计划复杂度问题, 国内外学者提出多种方法提高 VMAT 计划的优化效率与传输准确性<sup>[16-17]</sup>。基于相关研究, 各治疗计划系统 VMAT 模块均内置了 MLC 序列优化算法, 诸如 Pinnacle 中的直接子野优化 (Direct Aperture Optimization, DAO) 算法和 Monaco 中的子野形态优化 (Segment Shape Optimization, SSO) 算法等。然而, 早期 Eclipse 中并未内置相关算法, 物理师只能通过 MU objective 函数来降低计划复杂度。然而, 计划机器跳数无法直观反映 MLC 形态结构变化复杂性。

表1 6组计划的剂量学比较( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.1 Dosimetric comparison among 6 groups (Mean±SD)

项目	参数	ASC-no	ASC-verylow	ASC-low	ASC-moderate	ASC-high	ASC-veryhigh
PGTV69	CI	0.940±0.040	0.940±0.040	0.930±0.030	0.930±0.040	0.940±0.030	0.920±0.050
	HI	0.049±0.003	0.050±0.003	0.051±0.003	0.052±0.003	0.052±0.004	0.060±0.006
PCTV1	HI	0.094±0.004	0.095±0.004	0.095±0.004	0.097±0.004	0.099±0.004	0.113±0.008
PCTV2	HI	0.102±0.007	0.102±0.007	0.103±0.007	0.107±0.008	0.108±0.007	0.117±0.010
脊髓	D <sub>max</sub> /Gy	37.990±0.720	38.140±0.580	37.950±0.550	38.090±0.720	37.810±0.620	39.000±0.760
脑干	D <sub>max</sub> /Gy	49.030±1.050	48.520±1.070	48.870±1.120	48.980±1.070	49.080±1.100	48.940±1.080
喉	V <sub>50</sub> /%	0.010±0.002	0.015±0.005	0.015±0.006	0.015±0.005	0.019±0.007	0.023±0.007
	D <sub>mean</sub> /Gy	30.560±1.120	30.520±1.110	30.530±1.120	30.660±1.130	30.770±1.230	31.500±1.540
左侧腮腺	D <sub>mean</sub> /Gy	22.840±1.350	22.790±1.280	22.860±1.290	22.830±1.370	22.940±1.410	23.090±1.340
	V <sub>30</sub> /%	18.910±1.840	20.110±1.170	19.900±1.110	19.930±1.210	20.200±1.500	19.250±1.380
右侧腮腺	D <sub>mean</sub> /Gy	22.610±1.340	22.480±1.220	22.550±1.130	23.270±2.580	23.030±2.610	23.120±2.290
	V <sub>30</sub> /%	17.800±1.270	16.100±1.560	16.500±1.310	17.600±1.410	16.770±1.710	17.300±1.590
晶状体	D <sub>max</sub> /Gy	5.160±1.010	5.020±0.980	5.080±1.010	5.170±1.070	5.190±1.050	5.740±1.620
垂体	D <sub>max</sub> /Gy	48.220±4.020	48.280±4.290	48.280±4.000	48.580±3.860	48.740±3.390	49.560±2.780
总机器跳数/MU		619.700±57.800	606.400±46.700	604.100±46.000	601.000±52.700	603.000±42.700	577.600±49.900

表2 6组计划统计学比较

Tab.2 Statistic comparison among 6 groups

计划	PGTV69		PCTV1	PCTV2	脊髓	脑干	喉		左侧腮腺		右侧腮腺		晶状体	垂体	总机器	
	CI	HI	HI	HI	D <sub>max</sub>	D <sub>max</sub>	V <sub>50</sub>	D <sub>mean</sub>	V <sub>30</sub>	D <sub>mean</sub>	V <sub>30</sub>	D <sub>mean</sub>	D <sub>max</sub>	D <sub>max</sub>	跳数	
ASC-no	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ASC-verylow	Z值	-0.114	-2.693	-2.046	-1.046	-0.277	-2.547	-0.798	-1.153	-1.353	-0.463	-0.958	-1.814	-2.319	-0.706	-2.210
	P值	0.909	0.007*	0.041*	0.296	0.782	0.011*	0.425	0.249	0.176	0.643	0.338	0.070	0.020*	0.480	0.028*
ASC-low	Z值	-1.224	-3.136	-2.797	-2.334	-1.457	-1.492	-0.364	0.505	-0.385	-1.060	-2.553	-1.253	0.525	-0.961	-2.340
	P值	0.221	0.002*	0.005*	0.020*	0.145	0.136	0.716	0.614	0.700	0.289	0.011*	0.210	0.600	0.337	0.020*
ASC-moderate	Z值	-1.116	-3.198	-3.275	-4.303	-0.539	-0.009	-0.262	-0.956	-0.235	-0.730	-1.124	-1.278	-0.355	-2.470	-1.892
	P值	0.264	0.001*	0.001*	0.000*	0.590	0.993	0.794	0.339	0.814	0.465	0.261	0.201	0.722	0.014*	0.058
ASC-high	Z值	-0.751	-4.387	-4.438	-3.174	0.847	-0.299	-0.649	-0.885	-0.790	-1.142	-1.555	-0.492	-1.048	-2.195	-1.682
	P值	0.453	0.000*	0.000*	0.002*	0.397	0.765	0.517	0.376	0.430	0.253	0.120	0.623	0.295	0.028*	0.093
ASC-veryhigh	Z值	-0.113	-4.180	-4.745	-0.795	-2.815	0.777	-1.488	-4.513	-0.569	-2.171	-1.328	-1.707	-3.573	-3.803	-1.529
	P值	0.910	0.000*	0.005*	0.427	0.005*	0.437	0.137	0.000*	0.570	0.030*	0.184	0.088	0.000*	0.000*	0.126

\*P<0.05

尤其是鼻咽癌等靶区与危及器官交叠的计划,计划复杂度不仅受机器跳数影响,更会受每个控制点的射束孔形态直接影响。Eclipse 15.5内置了ASC算法,通过限制MLC相邻叶片变化曲率的方式显著降低了双侧叶片间交错,影响每个控制点射束孔形态,并最终降低计

划复杂度。随着Eclipse 15.5在国内的逐渐普及,如何进一步评价ASC算法在临床上的应用需要通过相应的临床剂量学参数作为参考依据。

本研究比较了6种不同权重条件下ASC算法在鼻咽癌VMAT中的应用。结果表明,在同步推量的



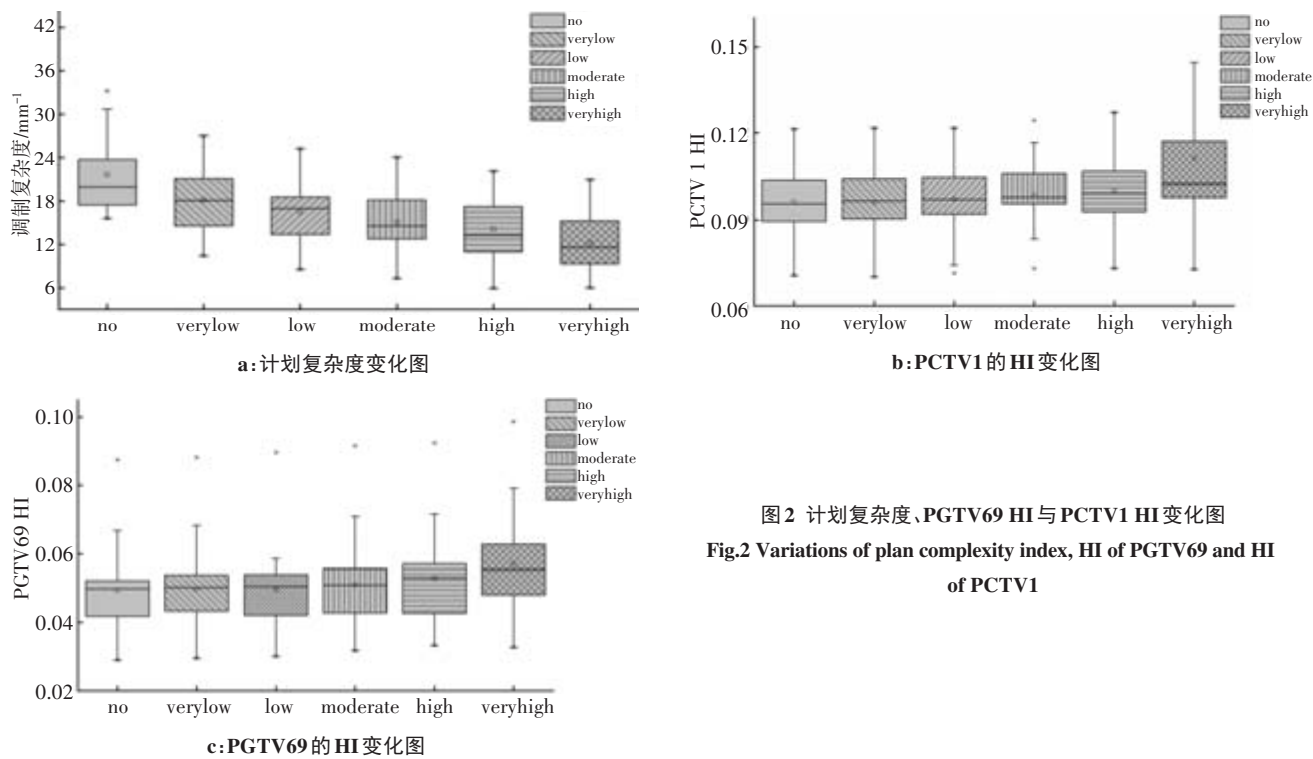


图2 计划复杂度、PGTV69 HI与PCTV1 HI变化图  
Fig.2 Variations of plan complexity index, HI of PGTV69 and HI of PCTV1

鼻咽癌计划中,ASC算法显著影响靶区均匀性,对PGTV69的适形度未产生显著影响。依据相关研究,VMAT控制点大于150时,计划靶区适形度差异显著降低<sup>[18]</sup>。Eclipse的Rapidarc双全弧默认控制点为356,故所有计划中PGTV69适形度无显著性差异。此外,鼻咽癌靶区靠近腮腺、喉等重要器官,因此靶区高剂量对危及器官有较大影响。有研究表明鼻咽癌放疗时,腮腺放射性口干的发生概率和程度主要与腮腺D<sub>mean</sub>有关<sup>[19]</sup>,放射性咽喉损伤与喉D<sub>mean</sub>有关。本研究中,ASC-veryhigh组的左侧腮腺、喉的D<sub>mean</sub>较对照组分别高约1.1%、3.1%,且存在统计学差异( $P<0.05$ ),增加了左侧腮腺、喉发生放射性损伤的风险。

ASC算法从两方面影响计划复杂度。首先,ASC

降低了MLC间的交错区域,提高了每个控制点中单个射束孔面积。如图3所示,ASC设置从no到veryhigh,各个CP中岛形野数目显著降低,单个孤岛射束孔面积增加,这提高了计划投照效率,降低了计划复杂度(图2a)<sup>[20]</sup>。从计划机器跳数分析,相较于对照组,ASC-verylow组和ASC-low组的机器跳数存在统计学差异且呈下降趋势(较对照组分别低2.1%、2.5%),表明ASC算法在一定程度上有利于计划投照效率和优化治疗时间。然而,过高的ASC权重设置反而会降低靶区剂量学结果。相关研究认为,降低VMAT计划中射束孔面积将显著改善靶区均匀性<sup>[18]</sup>。PCTV1与PGTV69的均匀性指数随着ASC变化确实呈现增长趋势(图2b与2c)。ASC-veryhigh组相较于

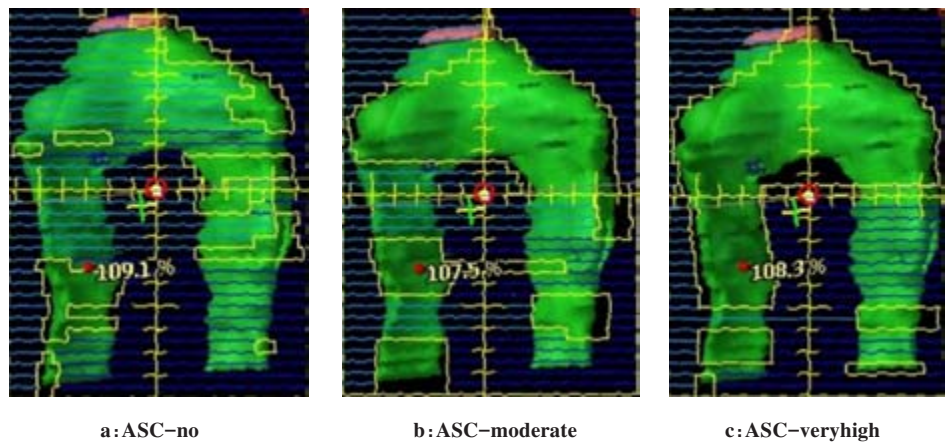


图3 3种ASC模式下射野观式图(机架角度0°)  
Fig.3 Beam's eye-view (Gantry 0°) of 3 ASC modes

其他实验组靶区均匀度指数变化幅度显著增加,表明过高权重值ASC对靶区优化无益。

其次,ASC算法影响了CP间射束形态变化,降低了CP不规则度差异,减少了叶片运动中不规则窄束aperture对剂量学的影响。如图4所示,机架360°转动周期内ASC-no组射野中射束不规则度差异最大,ASC-veryhigh组射野的射束不规则度差异最小,说明ASC算法显著影响计划射野形态复杂度。此外,ASC-no组在阴影区的CP射束形态不规则度出现剧烈变化,而ASC-veryhigh组在阴影区射束形态不

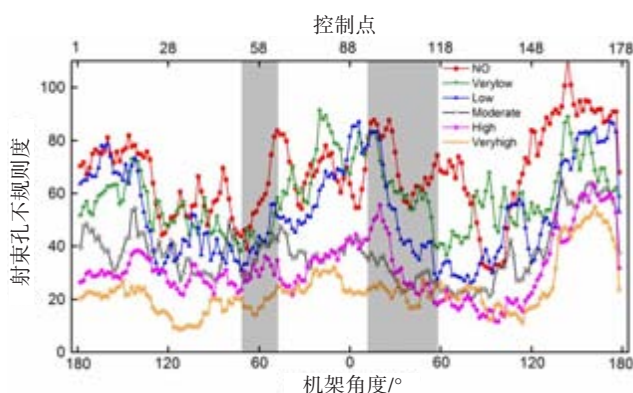


图4 不同机架角度下射束不规则度变化

Fig.4 Aperture irregularity changing with different gantry angles

阴影区为不规则度急剧变化区域

规则度变化波动较小,表明ASC算法能显著降低CP射束形态学差异,从而减少MLC叶片运动复杂度。

综上所述,对于鼻咽癌类较为复杂的头颈部计划,低权重值ASC虽然降低了靶区均匀性,但显著改善了计划复杂度和射野不规则度。ASC设置为high和veryhigh时,靶区均匀度增加,但同时影响其它剂量学指标,其中设置为veryhigh时对均匀性影响更为显著。综合考虑计划质量和投照效率,对于鼻咽癌类型的复杂放疗计划,本研究建议ASC设置选取verylow、low和moderate,以保证临床需求和治疗执行效率的平衡。

## 【参考文献】

- [1] CAMERON C. Sweeping-window arc therapy: an implementation of rotational IMRT with automatic beam-weight calculation[J]. Phys Med Biol, 2005, 50(18): 4317-4336.
- [2] ULRICH S, NILL S, OELFKE U. Development of an optimization concept for arc-modulated cone beam therapy[J]. Phys Med Biol, 2007, 52(14): 4099-4119.
- [3] OTTO K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc[J]. Med Phys, 2008, 35(1): 310-317.
- [4] 王雪桃, 肖江洪, 赵建玲, 等. 基于RayStation计划系统的宫颈癌容积旋转调强自动计划设计[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2018, 38

(10): 751-755.

WANG X T, XIAO J H, ZHAO J L, et al. Evaluation of fully automated volumetric modulated arc therapy planning of cervical cancer in RayStation treatment planning system[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2018, 38(10): 751-755.

- [5] 杨涛, 徐伟, 徐寿平, 等. 两套TPS之间VMAT计划优化质量评价研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(10): 1192-1198.
- YANG T, XU W, XU S P, et al. Evaluation of plan quality between two treatment planning systems for volumetric modulated arc therapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(10): 1192-1198.
- [6] 杨金磊, 刘博宇, 路双臣, 等. Monaco与Pinnacle计划系统在肺癌容积旋转调强计划中的比较[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(2): 119-122.
- YANG J L, LIU B Y, LU S C, et al. Comparison of Monaco and Pinnacle treatment planning systems in volumetric modulated arc therapy optimization for lung cancer [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2015, 35(2): 119-122.
- [7] 赵培峰, 杨咏强, 周钢, 等. 直肠癌静态调强与容积旋转调强放疗剂量学研究[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2019, 20(4): 481-484.
- ZHAO P F, YANG Y Q, ZHOU G, et al. Dosimetric study of step-and-shoot intensity-modulated radiotherapy and volumetric modulated arc therapy for rectal cancer [J]. Journal of Beihua University (Natural Science), 2019, 20(4): 481-484.
- [8] 高瀚, 翟振宇, 贾鹏飞, 等. VMAT与IMRT在脑转移瘤全脑照射保护海马计划比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(11): 989-993.
- GAO H, ZHAI Z Y, JIA P F, et al. Comparison of dose distribution between VMAT and IMRT in patients with brain metastases during hippocampus-sparing whole brain radiotherapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2018, 27(11): 989-993.
- [9] BALLHAUSEN H, LI M, GANSWINDT U, et al. Shorter treatment times reduce the impact of intra-fractional motion: a real-time 4DUS study comparing VMAT vs step-and-shoot IMRT for prostate cancer [J]. Strahlenther Onkol, 2018, 194(7): 664-674.
- [10] 王广善, 杨波, 庞廷田, 等. VMAT模式下MLC叶片运动速度对到位误差影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(2): 182-186.
- WANG G S, YANG B, PANG Y T, et al. Effect of leaf movement speed on setup error of multileaf collimator in volumetric modulated arc therapy mode[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(2): 182-186.
- [11] 李光俊, 李衍龙, 袁青青, 等. 加速器运行误差对宫颈癌容积旋转调强放疗的剂量学影响[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2018, 38(11): 824-829.
- LI G J, LI Y L, YUAN Q Q, et al. The dosimetric impacts of accelerator operation error on the volumetric modulated arc therapy for cervical cancer [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2018, 38(11): 824-829.
- [12] 滕建建, 石锦平, 张利文, 等. 鼻咽癌容积调强剂量验证与计划复杂性的相关性[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(7): 781-784.
- TENG J J, SHI J P, ZHANG L W, et al. Correlation between dose verification and plan complexity of volumetric modulated arc therapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(7): 781-784.
- [13] DU W, CHO S H, ZHANG X, et al. Quantification of beam complexity in intensity-modulated radiation therapy treatment plans [J]. Med Phys, 2014, 41(2): 021716.
- [14] YOUNGE K C, ROBERTS D, JANES L A, et al. Predicting deliverability of volumetric-modulated arc therapy (VMAT) plans using aperture complexity analysis[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(4): 124-131.
- [15] 莫文杰, 黄金汉, 徐升, 等. 基于Eclipse Scripting API的剂量限制

结构生成系统的设计与实现[J]. 医疗卫生装备, 2019, 40(10): 44-48.

MO W J, HUANG J H, XU S, et al. Design and implementation of dose limited structure generation system based on Eclipse Scripting API[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2019, 40(10): 44-48.

[16] YOUNGE K C, MATUSZAK M M, MORAN J M, et al. TH-A-213AB-04: improving VMAT delivery accuracy by using an aperture complexity penalty during optimization [J]. Med Phys, 2012, 39 (6Part29): 3980.

[17] NA Y, SUH T, XING L. SU-E-T-609: improving the efficiency of VMAT plan optimization by using sparse decomposition method[J]. Med Phys, 2012, 39(6Part19): 3846.

[18] 马燕, 邓小武, 黄劲敏, 等. 鼻咽癌容积调强放疗的参数选择与计划优化研究[J]. 肿瘤预防与治疗, 2012, 25(3): 135-139.

MA Y, DENG X W, HUANG S M, et al. Study on planning parameter selection and optimization of volumetric modulated arc therapy (VMAT) for nasopharyngeal carcinoma[J]. Journal of Cancer Control and Treatment, 2012, 25(3): 135-139.

[19] 谢聪颖, 吴式琇, 金献测, 等. 鼻咽癌调强放疗与常规放疗对腮腺功能影响的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2006, 26(4): 377-379.

XIE C Y, WU S X, JIN X C, et al. Effect of intensity modulated radiotherapy and conventional radiotherapy on parotid gland function in nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2006, 26(4): 377-379.

[20] 邱嵘, 尚凯, 李润霄, 等. 子野面积对宫颈癌IMRT剂量分布的影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, 25(7): 740-744.

QIU R, SHANG K, LI R X, et al. Influence of sub-field area on dose distribution in intensity-modulated radiotherapy for cervical cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2016, 25(7): 740-744.

(编辑:谭斯允)