

# 基于 Auto-planning 技术的早期鼻咽癌容积旋转调强放射治疗计划评估

张全彬, 彭莹莹, 余辉, 张书旭  
广州医科大学附属肿瘤医院放疗中心, 广东广州 510095

**【摘要】目的:**比较基于 Auto-planning 技术的早期鼻咽癌容积旋转调强放射治疗 (VMAT) 计划和常规 VMAT 计划之间的剂量学差异以及计划质量。**方法:**回顾性分析 20 例早期鼻咽癌患者的临床资料, 采用 Pinnacle<sup>3</sup> 计划系统的 Auto-planning 自动计划模块行 VMAT 自动计划设计, 相应的常规 VMAT 计划由经验丰富的物理师完成设计, 分别为 aVMAT 和 mVMAT。对两组计划的肿瘤靶区剂量分布、危及器官剂量学、机器跳数和计划设计时间进行比较和评估。**结果:**两组计划靶区的剂量覆盖和适形度均满足处方要求。aVMAT 组的 PGTV、PTV2 的剂量均匀性指数明显优于 mVMAT 组, 但两者的适形度指数无显著差异性。此外, aVMAT 计划比 mVMAT 计划可以更好地保护脊髓, 而且在降低脑干的受照剂量亦具有优势。与 mVMAT 组相比, aVMAT 组的平均机器跳数 MU 减少 6.83%, 平均计划设计时间减少 14.50%。**结论:**对于早期鼻咽癌, 基于 Auto-planning 技术所产生的自动 VMAT 计划, 比常规 VMAT 计划具有更佳的靶区剂量分布, 且更好地降低正常组织的剂量, 同时具有更高的优化效率和计划执行效率。

**【关键词】**鼻咽癌; Auto-planning; 容积旋转调强放射治疗; 剂量学

**【中图分类号】**R811.1; R739.63

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2020)04-0426-05

## Evaluation of Auto-planning technique-based volumetric modulated arc therapy plan for early nasopharyngeal carcinoma

ZHANG Quanbin, PENG Yingying, YU Hui, ZHANG Shuxu  
Radiotherapy Center, Cancer Center of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510095, China

**Abstract: Objective** To compare the dosimetric differences and planning qualities between conventional volumetric modulated arc therapy (mVMAT) plan and Auto-planning technique-based VMAT plan (aVMAT) for early nasopharyngeal carcinoma (NPC). **Methods** The clinical data of 20 patients with early NPC were analyzed retrospectively. Two kinds of VMAT plans, namely mVMAT plan and aVMAT plan, were designed for each patient. mVMAT plans were manually generated by experienced physicists, and aVMAT plans were automatically generated by Auto-Planning module in Pinnacle<sup>3</sup> system. The dose distributions, organs-at-risk sparing, monitor units and planning time were evaluated and compared. **Results** The dose coverage and conformity index of the target areas in two groups met the prescription requirements. The homogeneity indexes of PGTV and PTV2 in aVMAT group were significantly better than those in mVMAT group, but there was no significant difference in conformity index between two groups. aVMAT plan was advantages over mVMAT plan in protecting spine cord and reducing the dose to the brain stem. Compared with those in mVMAT group, the average monitor units in aVMAT group was reduced by 6.83%, and the average planning time was reduced by 14.50%. **Conclusion** Compared with mVMAT plan, aVMAT plan for early NPC has better target dose distribution and reduces the dose to normal tissues. Additionally, aVMAT plan has higher optimization efficiency and plan execution efficiency. **Keywords:** nasopharyngeal carcinoma; Auto-planning; volumetric modulated arc therapy; dosimetry

## 前言

**【收稿日期】**2019-12-03

**【基金项目】**广州市医药卫生科技一般引导项目(20181A011095)

**【作者简介】**张全彬, 研究生, 主要研究方向: 放射物理及放射肿瘤, E-mail: zxiansheng316@21cn.com

**【通信作者】**张书旭, 教授, 主要研究方向: 放射物理及放射肿瘤, E-mail: gthzxs@163.com

鼻咽癌是常见的头颈部恶性肿瘤之一, 放射治疗已成为其最主要的治疗方法。近年来, 容积旋转调强放射治疗 (VMAT) 作为一种新的放射治疗技术, 已逐步应用于临床<sup>[1-5]</sup>。由于鼻咽癌的肿瘤靶区复杂且周边涉及众多的危及器官, 其放疗计划设计要比其他部位肿瘤计划复杂且要求更高。放射治疗计划的质量主要取决于放疗物理师的知识储备和经验,

以及在计划设计上所耗费的时间和精力<sup>[6-8]</sup>。目前,国内放疗物理师的计划设计水平参差不齐,因此所获取的鼻咽癌放疗计划质量也存在着显著性差异。而早期鼻咽癌患者5年生存率可以达到85%以上。因此,如何提高肿瘤放射治疗计划的质量,已引起众多学者的重视和关注。

Auto-planning作为Pinnacle<sup>3</sup> TPS系统基于渐进式自动优化算法的自动计划模块,一种新的计划设计方法,可实现放疗计划的自动设计,减少对放疗物理师的知识储备和经验的依赖性,提高放疗计划设计的有效性<sup>[9-11]</sup>。Auto-planning将以往的先验经验融入到计划优化中,由计划系统自动生成剂量成形结构,并根据目标限量条件反复优化目标函数,使其无限接近最优解。因此,本研究选取20例早期鼻咽癌患者,采用Pinnacle<sup>3</sup> TPS系统的Auto-planning自动设计完成VMAT计划(aVMAT),并将其与由手动设计完成的常规VMAT计划(mVMAT)进行剂量学分析,评估两者的差异性及Auto-planning技术在早期鼻咽癌放射治疗中的可行性。

## 1 材料与方法

### 1.1 患者资料

随机选取2017年1月~12月广州医科大学附属肿瘤医院收治的20例经病理和MRI确诊为无远处转移的早期鼻咽癌初治患者纳入本研究,且在放疗治疗前均签署知情同意书。其中,男12例,女8例;年龄30~71岁,中位年龄47岁。所有患者按2009年美国癌症分期联合委员会(American Joint Commission on Cancer, AJCC)第七版分期,其中T<sub>1</sub>为35%,T<sub>2</sub>为65%,T<sub>3</sub>和T<sub>4</sub>均为0%;N<sub>0</sub>为20%,N<sub>1</sub>为45%,N<sub>2</sub>为35%,N<sub>3</sub>为0%;M<sub>0</sub>为100%,M<sub>1</sub>为0%;临床TNM分期:I为55%,II为45%,III和IV均为0%。

### 1.2 模拟及体位固定

所有患者均采用仰卧位,头颈肩热塑膜进行体位固定。CT扫描范围:头顶至锁骨头下2 cm,扫描层厚为3 mm,平扫加增强扫描。

### 1.3 肿瘤靶区勾画及处方剂量

参考ICRU 50号、62号报告,由资历丰富的肿瘤医师进行肿瘤靶区勾画。肿瘤靶区(Gross Tumor Volume, GTV):包括原发灶和转移淋巴结。原发灶:GTVnx指临床检查和影像学所见的原发肿瘤。淋巴结区:GTVnd指临床和/或影像学观察到的肿大淋巴结区域。临床靶区(Clinical Target Volume, CTV):包括高危临床靶区CTV1和低危临床肿瘤区及预防性照射颈淋巴结区域CTV2。计划靶区(Planning

Target Volume, PTV):靶区的PTV为各靶区分别外放3 mm,简称为PGTV、PGTVnd、PTV1和PTV2。

所有患者的处方剂量,分别给予PGTV、PTV1、PTV2和PGTVnd的总剂量为70、60、56和60~68 Gy,分割次数32次,每周5次,详见表1。

表1 靶区的剂量限制

Tab.1 Dose constraints of target areas

靶区	参数	通过率/%	
		mVMAT组	aVMAT组
PGTV	V <sub>100</sub> ≥95%	100	100
	V <sub>93</sub> ≥99%	100	100
	V <sub>110</sub> ≤20%	100	100
	V <sub>115</sub> ≤5%	100	100
PTV2	V <sub>100</sub> ≥95%	90	95
	V <sub>93</sub> ≥99%	100	100

V定义为体积,100、93、110和115是处方剂量的百分比

### 1.4 危及器官及剂量限制

危及器官包括脊髓、脑干、视神经、视交叉、颞叶、眼球、晶体、中耳、内耳、口腔、腮腺、下颌骨、颞颌关节等。脊髓、脑干分别外放5和4 mm。剂量限制根据RTOG0615标准实施。

### 1.5 计划设计

将20例早期鼻咽癌病例分别采用Pinnacle<sup>3</sup> (v9.10, Philips Radiation Oncology Systems)计划系统,行常规VMAT计划设计和VMAT自动计划设计,分别为mVMAT和aVMAT,且均采用相同的能量、剂量限制条件、优化算法,优化迭代次数为100。VMAT计划采用双全弧,顺时针方向自182°至178°,逆时针方向自178°至182°,准直器角度为15°及345°。若VMAT自动计划偏离目标明显,仍需调整,则人为干预次数不超过3次。

### 1.6 计划评估

所有计划均利用剂量体积直方图(Dose Volume Histogram, DVH)对两种技术的靶区和危及器官的体积剂量学参数进行比较。靶区的最大剂量(D<sub>max</sub>)、最小剂量(D<sub>98</sub>)、平均剂量(D<sub>mean</sub>)、均匀性指数(Homogeneity Index, HI)<sup>[12]</sup>和适形度指数(Conformity Index, CI)<sup>[13]</sup>,危及器官的受照剂量参数,如D<sub>max</sub>、D<sub>mean</sub>、V<sub>x</sub>、D<sub>y</sub>,以及计划设计时间和机器跳数(Monitor Unit, MU)。CI=(V<sub>T,ref</sub>/V<sub>T</sub>)×(V<sub>T,ref</sub>/V<sub>ref</sub>),其中,V<sub>T,ref</sub>为参考等剂量线所覆盖的靶体积,V<sub>T</sub>为靶体积,V<sub>ref</sub>为参考等剂量线所覆盖的总体积,CI值越接

近1,表明靶区适形性越好。 $HI=(D_2 - D_{98})/D_{50}$ ,  $D_2$ 、 $D_{98}$ 和 $D_{50}$ 分别为2%、98%和50% PTV 体积所受到的照射剂量,HI 值越接近0,靶区剂量分布越均匀。

### 1.7 统计学方法

采用SPSS 15.0统计软件对所收集的数据进行统计学分析, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 计划靶区剂量学

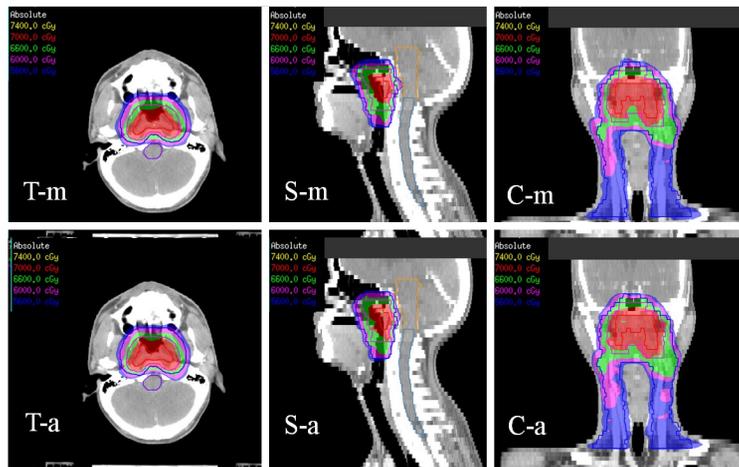


图1 1例鼻咽癌患者( $T_2N_0M_0$ )的两组计划剂量分布

Fig.1 Dose distributions in two plans of a patient with nasopharyngeal carcinoma ( $T_2N_0M_0$ )

T代表横断面,S代表矢状面,C代表冠状面;m代表mVMAT,a代表aVMAT

表2 两组计划的靶区剂量学比较

Tab.3 Comparison of dosimetric parameters of target areas between two groups of plans

靶区	参数	mVMAT组	aVMAT组	P值
PGTV	$D_{max}/Gy$	74.12±0.31	72.93±0.49	0.001
	$D_{mean}/Gy$	72.75±0.41	71.18±0.37	0.000
	$D_{98}/Gy$	70.23±0.38	70.11±0.32	0.606
	HI	0.038±0.009	0.026±0.007	0.006
	CI	0.803±0.043	0.826±0.051	0.241
PTV2	$D_2/Gy$	72.29±0.54	71.46±0.43	0.001
	$D_{98}/Gy$	55.86±0.78	55.88±0.41	0.754
	HI	0.273±0.011	0.259±0.022	0.001
	CI	0.827±0.052	0.851±0.064	0.598

### 2.2 危及器官剂量学参数

表3列出患者危及器官在两组计划中的剂量学统计情况,危及器官剂量总体上满足临床剂量限制要求。但是所有计划均没有达到腮腺的平均剂量目

等剂量曲线分布如图1所示,均显示两组计划靶区的覆盖和适形度均满足处方要求。两组计划均能通过靶区剂量要求,处方剂量均能覆盖95%的靶区体积,且110%处方剂量的体积小于20%,如表1所示。两组计划关于靶区的剂量学比较,详见表2。对于PGTV,aVMAT组的 $D_{max}$ 、 $D_{mean}$ 低于mVMAT组( $P<0.05$ ),但 $D_{98}$ 无差异性( $P>0.05$ )。此外,aVMAT组的PGTV、PTV2的HI明显优于mVMAT组( $P=0.006,0.001$ ),但两者的CI无显著差异性( $P>0.05$ )。

标,且只有部分腮腺的 $V_{30}$ 小于50%。此外,与mVMAT组相比,aVMAT组减少了一些危及器官的剂量,包括脊髓、脑干、眼睛、视神经和视交叉。aVMAT组较mVMAT组可以更好地降低脊髓剂量( $P<0.05$ )。对于脑干的受照剂量, $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 和 $V_{40}$ 在aVMAT组中低于mVMAT组,具有显著差异性( $P<0.05$ ),如图2所示,但 $V_{10}$ 、 $V_{50}$ 、 $D_{max}$ 无统计学差异性( $P>0.05$ )。当其他正常组织对比时,均没有显示出显著差异性( $P>0.05$ )。

### 2.3 计划设计时间和机器跳数

如图3所示,与mVMAT组相比,aVMAT组的机器跳数MU略少,平均机器跳数MU减少6.83% ( $P=0.046$ );aVMAT组的计划设计时间明显少于mVMAT组的计划设计时间,平均计划设计时间减少14.50%,具有显著差异性( $P=0.000$ )。

## 3 讨论

相对于晚期鼻咽癌,早期鼻咽癌的放射治疗具有较高的局部控制率、生存率,且调强放射治疗技术比普通三维放射治疗技术在保护重要器官方面更有优势,

表3 危及器官在两组计划中的剂量学比较

Tab.3 Dosimetric comparison of organs-at-risk in two groups of plans

危及器官	参数	通过率/%			均数±标准差		
		mVMAT组	aVMAT组	P值	mVMAT组	aVMAT组	P值
脑干	$D_{max} \leq 54$ Gy	80	85	0.338	54.36±2.19	53.05±1.91	0.194
	$V_{50}^* \leq 4\%$	100	100	N/A	1.41±0.50	0.79±0.55	0.311
脑干+2 mm	$D_1^\# \leq 60$ Gy	100	100	N/A	54.73±2.18	54.18±1.93	0.578
脊髓	$D_{max} \leq 45$ Gy	100	100	N/A	37.90±1.13	34.88±1.15	0.000
脊髓+5 mm	$D_1^\# \leq 50$ Gy	100	100	N/A	40.10±1.77	37.78±1.29	0.006
晶体+5 mm	$D_{max} \leq 12$ Gy	100	100	N/A	5.53±0.69	5.45±1.21	0.863
视交叉	$D_{max} \leq 54$ Gy	90	90	0.752	38.61±11.43	37.82±12.89	0.892
视神经	$D_{max} \leq 50$ Gy	85	85	0.223	42.96±9.91	41.77±12.09	0.822
颞叶	$D_2^\& \leq 60$ Gy	85	80	0.653	57.66±4.00	58.43±3.51	0.669
中耳	$D_2^\& \leq 60$ Gy	100	100	N/A	51.88±3.18	51.44±2.98	0.857
眼球	$D_2^\& \leq 30$ Gy	100	100	N/A	10.12±4.91	9.90±7.47	0.943
腮腺	$D_{mean} \leq 26$ Gy	0	0	N/A	33.56±3.11	34.01±4.47	0.809
	$V_{30}^* \leq 50\%$	70	75	0.415	46.45±12.34	47.35±14.04	0.886
下颌骨	$D_2^\# \leq 70$ Gy	100	100	N/A	58.10±3.83	58.28±4.20	0.925
喉	$D_{mean} < 45$ Gy	75	85	0.217	43.42±3.76	44.69±4.37	0.516

2、5 mm 分别代表危及器官的3D外扩; \*、&、#、#分别代表受照剂量(>30、45、50和60 Gy)

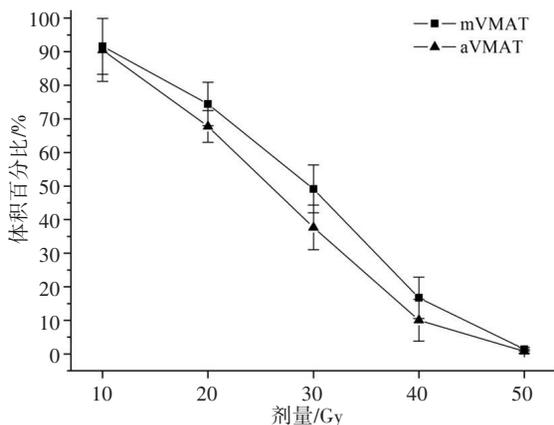


图2 两组计划的脑干剂量学

Fig.2 Dosimetric comparison of brain stem in two groups of plans

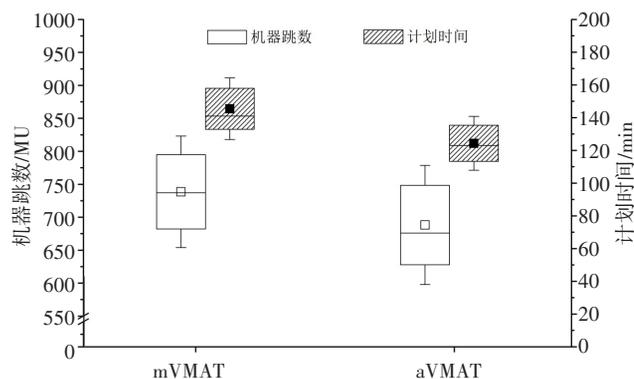


图3 两组计划的机器跳数及计划时间统计分析

Fig.3 Statistical analysis of monitor units and planning time in two groups of plans

尤其是VMAT技术。一般而言,鼻咽癌放疗计划的设计和优化是一个复杂的过程,必须满足严格的约束条件。用于生成自动计划的Auto-planning自动计划模块将创建许多特殊的感兴趣区域(ROI),以确保PTV和危及器官的高质量剂量分布<sup>[14]</sup>。但是,如果在手动计划中手动创建此类特殊ROI,则很难甚至无法实现,尤其是取决于放疗物理师的知识储备和经验。从这个意义上讲,使用Auto-planning技术可以生成更好的治疗计划。有研究发现,确保靶区的剂量覆盖率并能够降低

危及器官的受照剂量,自动计划与手动计划相似或更优<sup>[15-18]</sup>。本研究结果与此相吻合,与mVMAT组相比,aVMAT组显示出优越的一致性和同质性,靶区剂量分布更为均匀,特别是在剂量冷热点和危及器官的保护。手动计划设计优化,往往是经验丰富的物理师执行的人工试错性优化,这对寻求最佳的治疗计划留下很大的不确定性,尤其是保护危及器官。如果通过自动算法执行优化,则会降低不确定性,从而通过减少计划干预的变化来增加可实现最优计划的概率。本研究中,

aVMAT组危及器官的平均剂量与mVMAT组危及器官的平均剂量相似或更少。虽然鼻咽癌计划靶区靠近脊髓,特别是脑干,但结果表明,aVMAT计划可以比mVMAT计划更好地保护脊髓,而且在降低脑干的受照剂量亦具有优势。由于腮腺紧贴肿瘤靶区或与靶区部分重叠,判断腮腺剂量是否符合剂量限制要求更为困难<sup>[19]</sup>。

对于机器跳数MU,aVMAT组略低于mVMAT组,平均机器跳数MU减少6.83%。较少的MU可以显著提高计划实施的效率,减少治疗时间,这有助于减少患者在治疗期间的不适和降低治疗期间因脏器运动引起的变化<sup>[4]</sup>。使用Auto-planning自动计划模块进行计划自动设计优化,避免手工计划设计过程中重复和繁琐的操作。与mVMAT组相比,aVMAT组的计划设计时间减少约14.50%。通过使用Auto-planning技术缩短计划设计时间,提升计划设计效率,也极大地降低对物理师工作经验的要求<sup>[20-21]</sup>。基于鼻咽癌病例的复杂性,本研究中aVMAT计划组,所获得的结果并不完全是一次成形的,有些优化过程往往需要1~2次的微调。Auto-planning技术中模板设置的剂量目标和自动计划参数在很大程度上会影响自动计划的质量,这需要精心设计、反复调试及细化分类,有助于提高自动计划的质量。

## 4 结论

综上所述,对于早期鼻咽癌,基于Auto-planning技术所产生的自动VMAT计划,比常规VMAT计划具有更佳的靶区剂量分布,且更好地降低正常组织的剂量,同时具有更高的优化效率和计划执行效率。Auto-planning技术有助于提升计划质量的一致性和同质性,在早期鼻咽癌的计划设计优化中是有效和可行的。

## 【参考文献】

- [1] SUN Y, GUO R, YIN W J, et al. Which T category of nasopharyngeal carcinoma may benefit most from volumetric modulated arc therapy compared with step and shoot intensity modulated radiation therapy [J]. PLoS One, 2013, 8(9): e75304.
- [2] BEDFORD J L. Treatment planning for volumetric modulated arc therapy [J]. Med Phys, 2009, 36(11): 5128-5138.
- [3] 郭蕊,孙颖,黄劲敏,等.鼻咽癌容积旋转调强放疗与常规静态调强放疗的剂量学对比研究[J].中山大学学报(医学版),2012,33(6): 835-840.  
GUO R, SUN Y, HUANG S M, et al. Volumetric modulated arc therapy for nasopharyngeal carcinoma: a dosimetric comparison with step-and-shoot IMRT [J]. Journal of Sun Yat-Sen University (Medical Sciences), 2012, 33(6): 835-840.
- [4] 李奇欣,岳麒,柏明刚,等.鼻咽癌三种调强放疗计划剂量学对比研究[J].中华放射医学与防护杂志,2014,34(8): 613-616.  
LI Q X, YUE Q, BAI P G, et al. Dosimetric comparison of three intensity-modulate radiation therapy treatment modules for nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2014, 34(8): 613-616.
- [5] 易金玲,金献测,周永强,等.鼻咽癌IMRT与VMAT治疗的计划与剂量验证比较研究[J].中国医学物理学杂志,2013,30(1): 3859-3865.  
YI J L, JIN X C, ZHOU Y Q, et al. Comparative study on the planning and dosimetric verification of IMRT and VMAT in the treatment of nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2013, 30(1): 3859-3865.
- [6] BATUMALAI V, JAMESON M G, FORSTNER D F, et al. How important is dosimetrist experience for intensity modulated radiation therapy? A comparative analysis of a head and neck case [J]. Pract Radiat Oncol, 2013, 3(3): e99-e106.
- [7] NELMS B E, ROBINSON G, MARKHAM J, et al. Variation in external beam treatment plan quality: an inter-institutional study of planners and planning systems [J]. Pract Radiat Oncol, 2012, 2(4): 296-305.
- [8] 辛欣,李厨荣,黎杰,等.鼻咽癌IMRT自动计划与人工计划比较[J].中华放射肿瘤学杂志,2018,27(12): 1072-1077.  
XIN X, LI C R, LI J, et al. Comparative study of automatic and manual plans of intensity-modulated radiation therapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2018, 27(12): 1072-1077.
- [9] HAZELL I, BZDUSEK K, KUMAR P, et al. Automatic planning of head and neck treatment plans [J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(1): 272-282.
- [10] WANG J, CHEN Z, LI W, et al. A new strategy for volumetric-modulated arc therapy planning using AutoPlanning based multicriteria optimization for nasopharyngeal carcinoma [J]. Radiat Oncol, 2018, 13(1): 94.
- [11] 张达光,蒋胜鹏,杨成文,等.基于算法的自动计划模块应用于鼻咽癌VMAT计划设计的效果评估[J].中华放射肿瘤学杂志,2017,26(12): 1411-1416.  
ZHANG D G, JIANG S P, YANG C W, et al. Evaluation of an algorithm-based automatic treatment planning module for volumetric-modulated arc therapy planning in nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(12): 1411-1416.
- [12] KATARIA T, SHARMA K, SUBRAMANI V, et al. Homogeneity index: an objective tool for assessment of conformal radiation treatments [J]. J Med Phys, 2012, 37(4): 207-213.
- [13] PADDICK I. A simple scoring ratio to index the conformity of radiosurgical treatment plans [J]. J Neurosurg, 2000, 93(Suppl 3): 219-222.
- [14] NAWA K, HAGA A, NOMOTO A, et al. Evaluation of a commercial automatic treatment planning system for prostate cancers [J]. Med Dosim, 2017, 42(3): 203-209.
- [15] WU H, JIANG F, YUE H, et al. Applying a RapidPlan model trained on a technique and orientation to another: a feasibility and dosimetric evaluation [J]. Radiat Oncol, 2016, 11(1): 108.
- [16] KRAYENBUEHL J, NORTON I, STUDER G, et al. Evaluation of an automated knowledge based treatment planning system for head and neck [J]. Radiat Oncol, 2015, 10(1): 226.
- [17] YANG Y, LI T, YUAN L, et al. Quantitative comparison of automatic and manual IMRT optimization for prostate cancer: the benefits of DVH prediction [J]. J Appl Clin Med Phys, 2015, 16(2): 241-250.
- [18] 任江平,周瑛琪,戴许豪,等.自动计划RapidPlan优化模块在鼻咽癌调强计划中的可行性应用[J].中国医学物理学杂志,2017,34(8): 783-789.  
REN J P, ZHOU Y Y, DAI X H, et al. Feasibility of automatic plan using RapidPlan model in intensity-modulated radiotherapy plan for nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(8): 783-789.
- [19] JOHNSTON M, CLIFFORD S, BROMLEY R, et al. Volumetric-modulated arc therapy in head and neck radiotherapy: a planning comparison using simultaneous integrated boost for nasopharynx and oropharynx carcinoma [J]. Clin Oncol, 2011, 23(8): 503-511.
- [20] DELANEY A R, TOL J P, DAHELE M, et al. Effect of dosimetric outliers on the performance of a commercial knowledge-based planning solution [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2016, 94(3): 469-477.
- [21] FOGLIATA A, NICOLINI G, CLIVIO A, et al. A broad scope knowledge based model for optimization of VMAT in esophageal cancer: validation and assessment of plan quality among different treatment centers [J]. Radiat Oncol, 2015, 10(1): 220.

(编辑:陈丽霞)