

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 Pinnacle³ 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 Pinnacle³ 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: gthzxsx@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^[1-5]。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^[6-8]。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 Pinnacle³ 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^[9-11]。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 Pinnacle³ 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 T₁ 为 35%, T₂ 为 65%, T₃ 和 T₄ 均为 0%; N₀ 为 20%, N₁ 为 45%, N₂ 为 35%, N₃ 为 0%; M₀ 为 100%, M₁ 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 ₁₀₀ ≥95% | 100 | 100 |
| | V ₉₃ ≥99% | 100 | 100 |
| | V ₁₁₀ ≤20% | 100 | 100 |
| | V ₁₁₅ ≤5% | 100 | 100 |
| PTV2 | V ₁₀₀ ≥95% | 90 | 95 |
| | V ₉₃ ≥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 Pinnacle³ (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_{max})、最小剂量(D₉₈)、平均剂量(D_{mean})、均匀性指数(Homogeneity Index, HI)^[12]和适形度指数(Conformity Index, CI)^[13],危及器官的受照剂量参数,如 D_{max}、D_{mean}、V_x、D_y,以及计划设计时间和机器跳数(Monitor Unit, MU)。CI=(V_{T,ref}/V_T)×(V_{T,ref}/V_{ref}),其中,V_{T,ref}为参考等剂量线所覆盖的靶体积,V_T为靶体积,V_{ref}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

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($P>0.05$)。

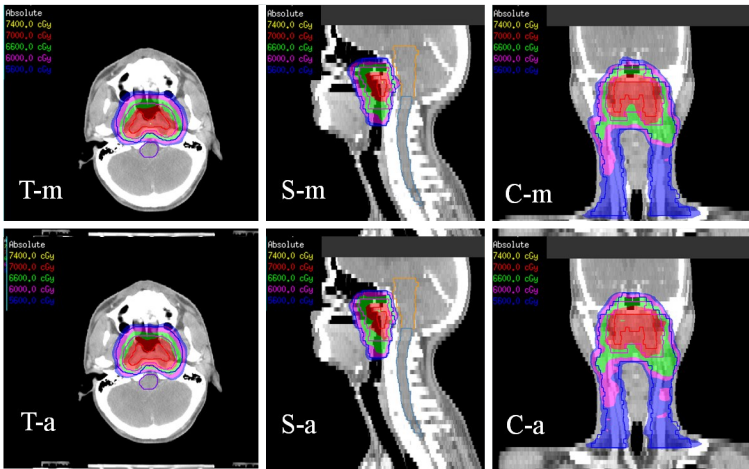


图1 1例鼻咽癌患者(T₂N₀M₀)的两组计划剂量分布
Fig.1 Dose distributions in two plans of a patient with nasopharyngeal carcinoma (T₂N₀M₀)
T代表横断面,S代表矢状面,C代表冠状面;m代表mVMAT,a代表aVMAT

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

标,且只有部分腮腺的V₃₀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,V₂₀、V₃₀和V₄₀在aVMAT组中低于mVMAT组,具有显著差异性($P<0.05$),如图2所示,但V₁₀、V₅₀、 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} ≤54 Gy | 80 | 85 | 0.338 | 54.36±2.19 | 53.05±1.91 | 0.194 |
| | V ₅₀ *≤4% | 100 | 100 | N/A | 1.41±0.50 | 0.79±0.55 | 0.311 |
| 脑干+2 mm | D ₁ #≤60 Gy | 100 | 100 | N/A | 54.73±2.18 | 54.18±1.93 | 0.578 |
| 脊髓 | D _{max} ≤45 Gy | 100 | 100 | N/A | 37.90±1.13 | 34.88±1.15 | 0.000 |
| 脊髓+5 mm | D ₁ #≤50 Gy | 100 | 100 | N/A | 40.10±1.77 | 37.78±1.29 | 0.006 |
| 晶体+5 mm | D _{max} ≤12 Gy | 100 | 100 | N/A | 5.53±0.69 | 5.45±1.21 | 0.863 |
| 视交叉 | D _{max} ≤54 Gy | 90 | 90 | 0.752 | 38.61±11.43 | 37.82±12.89 | 0.892 |
| 视神经 | D _{max} ≤50 Gy | 85 | 85 | 0.223 | 42.96±9.91 | 41.77±12.09 | 0.822 |
| 颞叶 | D ₂ &≤60 Gy | 85 | 80 | 0.653 | 57.66±4.00 | 58.43±3.51 | 0.669 |
| 中耳 | D ₂ &≤60 Gy | 100 | 100 | N/A | 51.88±3.18 | 51.44±2.98 | 0.857 |
| 眼球 | D ₂ &≤30 Gy | 100 | 100 | N/A | 10.12±4.91 | 9.90±7.47 | 0.943 |
| 腮腺 | D _{mean} ≤26 Gy | 0 | 0 | N/A | 33.56±3.11 | 34.01±4.47 | 0.809 |
| | V ₃₀ *≤50% | 70 | 75 | 0.415 | 46.45±12.34 | 47.35±14.04 | 0.886 |
| 下颌骨 | D ₂ #≤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)

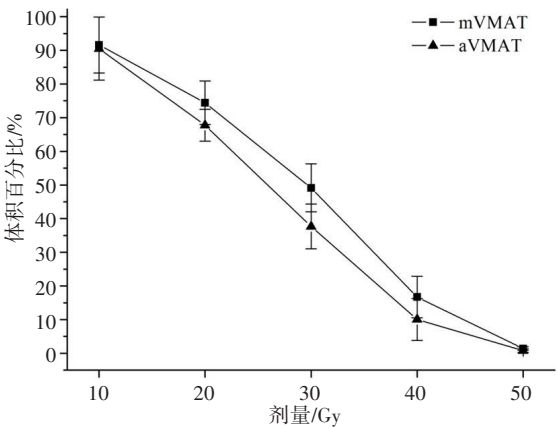


图2 两组计划的脑干剂量学
Fig.2 Dosimetric comparison of brain stem in two groups of plans

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^[14]。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

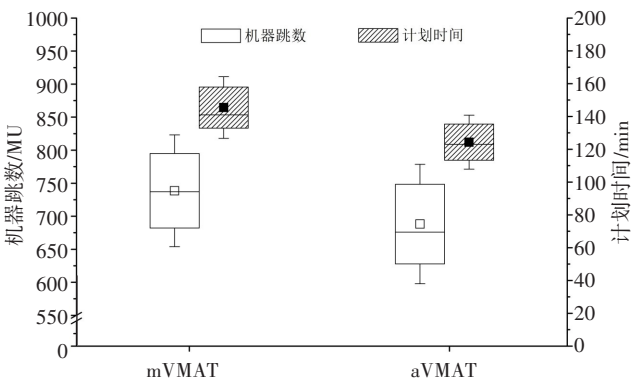


图3 两组计划的机器跳数及计划时间统计分析
Fig.3 Statistical analysis of monitor units and planning time in two groups of plans

危及器官的受照剂量,自动计划与手动计划相似或更优^[15-18]。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^[19]。

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^[4]。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^[20-21]。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,柏朋刚,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,李尉荣,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,周瑛瑛,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)