

晚期鼻咽癌螺旋断层调强放疗与容积旋转调强放疗剂量学比较

程婷婷¹, 张彦秋², 张子健¹, 黄昕琮¹, 金泽夫¹, 刘归¹, 胡永梅¹, 李钊¹, 申良方¹

1. 中南大学湘雅医院肿瘤科, 湖南 长沙 410008; 2. 秦皇岛市第一医院肿瘤放疗科, 河北 秦皇岛 066000

【摘要】目的:探讨螺旋断层放射治疗(Helical Tomotherapy, HT)技术和容积旋转调强放射治疗(VMAT)技术在晚期鼻咽癌放疗中的剂量学特点。**方法:**使用TomoHD™计划系统对随机选取的10例已行VMAT的晚期鼻咽癌患者制定HT计划。在满足相同处方剂量要求的情况下,评价和比较两种治疗计划中计划靶区(PGTVnx, PGTVnd, PTV1和PTV2)的最小剂量、最大剂量(D_{max})、中位剂量、适形指数、均匀度指数、 $V_{107}(\%)$ 和危及器官受量(脊髓、脑干、晶体、视神经、视交叉、垂体 D_{max} , 颞叶 D_{max} 和 V_{60} , 腮腺 V_{30} , 颞颌关节 V_{50}),并比较两种治疗计划的正常组织B-P受量和总机器跳数。**结果:**对两种计划的靶区、危及器官以及正常组织剂量学指标采用配对样本 t 检验。(1)对于靶区剂量学指标,HT计划与VMAT计划相比,靶区PGTVnd的 D_{max} 和中位剂量略有下降($t=-4.734, -3.341; P=0.001, 0.009$);HT计划的适形指数好于VMAT计划($t=-0.403, P=0.026$);靶区PGTVnd的其它剂量学参数无统计学差异。靶区PGTVnx, PTV1和PTV2的所有剂量学参数均无统计学差异。(2)对于危及器官剂量学指标,HT计划与VMAT计划相比,脑干 D_{max} 有所降低,有统计学意义($t=-2.309, P=0.046$);对侧视神经的 D_{max} 有所升高,有统计学意义($t=0.050, P=0.002$);两侧颞叶的 D_{max} 有所降低,有统计学意义($t=-4.929, -3.480; P=0.001, 0.007$);两侧腮腺的 V_{30} 有所降低,有统计学意义($t=-5.971, -5.603; P=0.000, 0.000$)。其它危及器官受量,两组计划比较均无统计学意义。(3)正常组织B-P受量比较显示,HT计划相比于VMAT计划, $V_5, V_{10}, V_{15}, V_{20}, V_{25}$ 略有增高,有统计学意义($t=9.141, 8.409, 7.100, 5.883, 3.560; P=0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.049$)。其它剂量学指标无统计学意义。(4)HT计划和VMAT计划单次计划中各射野机器跳数累加之和分别为 $6\,345\pm 210, 821\pm 38$,有统计学意义($t=-20.234, P=0.000$);治疗传输时间分别为 $(9.1\pm 0.4), (6.9\pm 0.3)$ min,有统计学意义($t=-10.236, P=0.000$)。**结论:**根据HT和VMAT方案的剂量学特点,一般情况下,复杂程度高的计划应考虑选择HT方案,而复杂程度一般的计划应考虑VMAT方案。在临床实践中,根据不同的情况选择不同的方案。当患者耐受性较差时,可选择VMAT方案;而当患者对保护正常器官(如腮腺)的要求比较高时,可选择HT方案。

【关键词】鼻咽癌;螺旋断层调强放疗;容积旋转调强;剂量学

【中图分类号】R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)09-1005-07

Dosimetric comparison of helical tomotherapy and volumetric modulated arc therapy for late-stage nasopharyngeal carcinoma

CHENG Tingting¹, ZHANG Yanqiu², ZHANG Zijian¹, HUANG Xinqiong¹, JIN Zefu¹, LIU Gui¹, HU Yongmei¹, LI Shan¹, SHEN Liangfang¹

1. Department of Radiation Oncology, Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410008, China; 2. Department of Radiotherapy, First Hospital of Qinhuangdao, Qinhuangdao 066000, China

Abstract: Objective To compare the dosimetric characteristics of helical tomotherapy (HT) and volumetric modulated arc therapy (VMAT) for late-stage nasopharyngeal carcinoma. **Methods** TomoHD™ planning system was used to design HT plans for 10 randomly selected patients who had been treated with VMAT for late-stage nasopharyngeal carcinoma. Under the condition of meeting the same prescription dose requirements, the dosimetric indexes of planning target areas (PGTVnx, PGTVnd, PTV1 and PTV2) and organs-at-risk (OAR) of the two plans were evaluated and compared. The dosimetric indexes of planning target areas included minimum dose, maximum dose (D_{max}), median dose, conformity index and homogeneity index, and $V_{107}(\%)$; and the dosimetric indexes of OAR included the D_{max} of spinal cord, brain stem, lens, optic nerve, optic chiasma and pituitary, the D_{max} and V_{60} of temporal lobe, the V_{30} of parotid gland, and the V_{50} of temporomandibular joint. The dose of normal tissues B-P and

【收稿日期】2018-04-29

【基金项目】湖南省卫生计生委科研计划课题(B2017100)

【作者简介】程婷婷, 研究生, 医师, 研究方向: 肿瘤放疗, E-mail: chengtingting@csu.edu.cn

【通信作者】申良方, 博士, 主任医师, 研究方向: 肿瘤放射治疗, E-mail: lfshen2008@163.com

total monitor units were also compared between HT plans and VMAT plans. **Results** Paired sample *t* test was conducted on the dosimetric indexes of target areas, OAR and normal tissues. No statistical differences were found in the dosimetric parameters of PGTVnd between the two plans, except the D_{\max} and median dose of PGTVnd which were slightly decreased in HT plans ($t=-4.734, -3.341; P=0.001, 0.009$) and conformity index which was better in HT plan ($t=-0.403, P=0.026$). All dosimetric parameters of PGTVnx, PTV1 and PTV2 didn't show any statistical differences. The comparison of OAR dose between VMAT plans and HT plans showed that there were statistical differences in some dosimetric indexes, including the D_{\max} of brain stem which was decreased in HT plan ($t=-2.309, P=0.046$), the D_{\max} of contralateral optic nerve which was increased in HT plan ($t=0.050, P=0.002$), the D_{\max} on both sides of the temporal lobe which was decreased in HT plan ($t=-4.929, -3.480; P=0.001, 0.007$), the V_{30} on both sides of the parotid glands which was decreased in HT plan ($t=-5.971, -5.603; P=0.000, 0.000$). As for the other dosimetric indexes of OAR, no statistical significance was found between the two plans. Moreover, the $V_5, V_{10}, V_{15}, V_{20}, V_{25}$ of normal tissues B-P were slightly increased in HT plans as compared with VMAT plans, with statistical significance ($t=9.141, 8.409, 7.100, 5.883, 3.560; P=0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.049$) and no statistical differences were found in the other dosimetric indexes of normal tissues B-P. The sum of the monitor unit of each field in HT plans and VMAT plans was $6\ 345\pm 210, 821\pm 38$, respectively, with statistical differences ($t=-20.234, P=0.000$), and the delivery time of the two plans was $(9.1\pm 0.4), (6.9\pm 0.3)$ min, respectively, with statistical differences ($t=-10.236, P=0.000$). **Conclusion** According to the dosimetric characteristics of the two schemes, in general, HT scheme should be considered for the plan with high complexity, while VMAT scheme for the plan with general complexity. In clinical practice, different plans should be selected based on different situations. If the patient has poorer tolerance, VMAT plan should be considered. For the patient who has higher requirements for the protection of normal organs, such as parotid gland, HT plan is more suitable.

Keywords: nasopharyngeal carcinoma; helical tomotherapy; volumetric modulated arc therapy; dosimetry

前言

由于鼻咽结构的复杂性及其对射线的敏感性,放射治疗是鼻咽癌患者的主要治疗手段^[1-2]。螺旋断层放射治疗(Helical Tomotherapy, HT)^[3-4]技术和容积旋转调强放射治疗(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)^[5-7]技术是当今放疗领域较新、较先进的两种治疗技术。HT技术的实施设备是螺旋CT与直线加速器相结合,是集调强放疗(Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT)、图像引导、剂量引导等技术于一体,与传统加速器相比有诸多优势,尤其是在治疗肿瘤靶区体积较大、较长、形状较复杂方面具有明显的优势^[8]。VMAT技术的实施设备与传统加速器相同,与固定野调强相比,VMAT的治疗时间短、机器跳数少,具有明显的临床应用优势^[9]。对于HT与IMRT,VMAT与IMRT的剂量学比较较多见^[10-12],而有关晚期鼻咽癌HT和VMAT剂量学比较的报道较为罕见,本研究主要探讨两种技术在晚期鼻咽癌中的剂量学特点,为临床技术选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 病例选择及一般资料

随机选取2016年11月1日~2017年2月1日在中南大学湘雅医院肿瘤放疗科接受治疗的鼻咽癌患者10例,其中女性4人、男性6人,年龄23~61岁,中位年龄52岁,临床分期均为晚期。

1.2 固定体位及CT扫描

患者取仰卧位躺于CT床上,采用热塑体罩固定。采用西门子公司CT扫描仪进行模拟定位,扫描层厚均为3 mm。CT影像经瓦里安ARIA肿瘤治疗综合管理软件传送到ARIA服务器,之后在治疗计划系统终端接收影像到本地。

1.3 靶区和危及器官勾画

在治疗计划系统上由同一组高年资放疗医生勾画靶区和危及器官。根据ICRU 50号和ICRU 62号报告,靶区包括大体肿瘤体积(Gross Tumor Volume, GTV)和临床靶体积(Clinical Tumor Volume, CTV)。GTV包括鼻咽原发肿瘤(GTVnx)和颈部淋巴结(GTVnd),两者分别外扩5 mm分别得到PGTVnx和PGTVnd;CTV包括高危临床靶区(CTV1)和预防照射区(CTV2),两者分别外扩3 mm,分别得到PTV1和PTV2。危及器官包括脊髓、脑干、晶体、视神经、视交叉、颞叶、腮腺、颞颌关节和垂体。由表1可知,各计划靶区体积分别为:PGTVnx, 61.46~207.62 cc; PGTVnd, 1.26~128.56 cc; PTV1, 134.86~363.26 cc; PTV2, 439.10~1 032.23 cc。

1.4 方案设计

对每一例患者在同一套CT图像上分别设计两种方案,均选6 MV X射线,射野中心位置相同,对靶区和危及器官的优化限制参数相同。参照NCCN指南和相关的研究结果,剂量优化的剂量限制条件为:

表1 患者的基本情况

Tab.1 General clinical data of patients

No. of patient	Age/years	Gender	T-stage	N-stage	M-stage	Clinical stage	PGTVnx volume/cc	PGTVnd volume/cc	PTV1 volume/cc	PTV2 volume/cc
1	52	M	4	2	0	IVA	158.22	7.83	329.02	811.82
2	47	F	4	2	0	III	142.37	115.60	304.54	962.29
3	38	F	4	2	0	IVA	137.61	47.96	297.56	804.63
4	23	F	3	3	0	III	61.46	91.34	138.90	625.26
5	59	M	4	3	0	IVA	207.62	128.56	363.26	1 032.23
6	56	M	4	2	0	IVA	87.38	102.29	205.53	684.66
7	44	M	4	0	0	IVA	79.74	17.00	179.80	690.53
8	61	M	3	2	0	III	111.07	14.88	234.94	674.44
9	51	M	4	1	0	IVA	125.64	51.01	251.58	747.65
10	60	F	4	0	0	IVA	63.24	1.26	134.86	439.10

处方剂量线包绕95%以上的靶体积;脊髓最大剂量小于45 Gy;脑干、垂体、视神经、视交叉的最大剂量小于54 Gy;晶体的最大剂量小于9 Gy;腮腺 V_{30} 小于50%;颞叶 V_{60} 小于50%。第一种方案为HT方案,射野宽度(Field Width)=2.5 cm,剂量调制因子(Modulation Factor)=2.5,螺距比(Pitch)=0.217,计算网格为 $(0.195 \times 0.195 \times 0.195)$ mm³,计算算法为卷积迭代算法,多叶准直器为64对二元气动多叶光栅。第二种方案为VMAT方案,计划系统为Varian Eclipse 13.6,加速器型号为Varian Trilogy,多叶准直器型号为Millennium 120,计划的射野为两个弧,分别为顺时针181°~179°、逆时针179°~181°,准直器角度分别为10°、350°,治疗床角度均为0°。计算网格为 $(2 \times 2 \times 2)$ mm³,剂量算法为各向异性分析算法。同一患者两种方案的处方剂量相同,即PGTVnx: 2.14~2.24 Gy/F $\times 33$ F=73.92~70.62 Gy;PGTVnd: 2.12~2.20 Gy/F $\times 33$ F=70.00~72.60 Gy;PTV1: 1.8~2.0 Gy/F $\times 33$ F=59.40~60.00 Gy;PTV2: 1.8~2.0 Gy/F $\times 28$ F=50.40~56.00 Gy。

1.5 评估方法

比较两种计划的剂量分布、剂量-体积直方图,从而得出靶区、危及器官和正常组织(定义为正常组织减去PTV,即B-P)的剂量学参数。靶区的评估指标有最小剂量、最大剂量、中位剂量、均匀性指数(Homogeneity Index, HI)、适形度指数(Conformity Index, CI),靶区受107%处方剂量体积 V_{107} 。其中, $HI = (D_2 - D_{98})/D_p \times 100\%$ ^[13], D_2 为2%靶区体积受到的最大剂量,代表“最大剂量”, D_{98} 为98%的靶区体积受到的最低剂量,代表“最小剂量”, D_p 为计划给予的

处方剂量; $CI = (V_{t,ref}/V_t) \times (V_{t,ref}/V_{ref})$ ^[14], V_t 为靶区体积, $V_{t,ref}$ 为参考等剂量线面包绕的靶区体积, V_{ref} 为参考等剂量线面所包绕的所有区域的体积。危及器官的评估指标有脊髓、脑干、晶体、视神经、视交叉、垂体的最大剂量,颞叶的最大剂量和 V_{60} ,腮腺的 V_{30} ,颞颌关节 V_{50} 。这里的 V_x 是指正常肺组织受照 x Gy的体积占总正常危及器官体积的百分比。正常组织B-P受照5~50 Gy的体积占总B-P体积的百分比为 V_{5-50} 。此外还对两种方案的机器跳数进行评估。

1.6 统计学处理

采用SPSS 22.0软件包对数据进行统计学描述和分析。两种计划的数据资料均为计量资料,以均数 \pm 标准差表示,两组数据经过Shapiro-Wilk检验,均符合正态分布,比较采用配对 t 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 等剂量线分布

图1、2给出了对1例鼻咽癌患者的3个平面,两种计划的等剂量线分布图。靶区在横断面呈“马蹄形”分布,可见两种计划的靶区剂量分布相似。相比较HT计划,VMAT计划的靶区高剂量分布相对紧凑,低剂量分布相对分散;HT计划靶区周围的正常组织剂量分布呈一定程度减少且递减较快,而VMAT计划递减较慢。同时,HT计划对于腮腺的保护优于VMAT计划。

2.2 靶区剂量学指标

两种计划的靶区剂量学指标采用配对样本 t 检验。HT计划与VAMT计划相比,靶区PGTVnd剂量

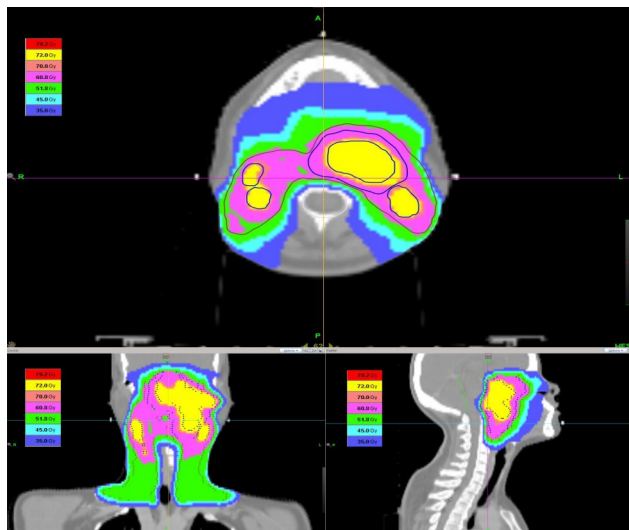


图1 HT计划中3个平面的等剂量分布

Fig.1 Isodose distributions of 3 planes in helical tomotherapy (HT) plan



图2 VMAT计划中3个平面的等剂量分布

Fig.2 Isodose distributions of 3 planes in volumetric modulated arc therapy (VMAT) plan

最大值和中位值略有下降($t=-4.734$ 、 -3.341 , $P=0.001$ 、 0.009)。HT计划PGTVnd的适形指数好于VMAT计划($t=-0.403$, $P=0.026$)。靶区PGTVnd的其它剂量学参数无统计学差异,靶区PGTVnx、PTV1和PTV2的所有剂量学参数均无统计学意义。详见表2。

2.3 危及器官受量

两种计划的危及器官剂量学指标采用配对样本 t 检验。HT计划与VMAT计划相比,脑干最大剂量有所降低,且具有统计学意义($t=-2.309$, $P=0.046$);对侧视神经的最大剂量有所升高,且具有统计学意义($t=0.050$, $P=0.002$);两侧颞叶的最大剂量有所降低,且具有统计学意义($t=-4.929$ 、 -3.480 , $P=0.001$ 、

0.007)。两侧腮腺的 V_{30} 有所降低,且具有统计学意义($t=-5.971$ 、 -5.603 , $P=0.000$ 、 0.000)。其它危及器官受量,两组计划比较均无统计学意义。详见表3。

2.4 正常组织B-P受量

两种计划的正常组织剂量学指标采用配对样本 t 检验。正常组织B-P受量比较显示,HT计划相比于VMAT计划, V_5 、 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{25} 略有增高,且具有统计学意义($t=9.141$ 、 8.409 、 7.100 、 5.883 、 3.560 , $P=0.000$ 、 0.000 、 0.000 、 0.000 、 0.049);其它剂量学指标无统计学意义。详见表4。

2.5 机器跳数和治疗传输时间差异

HT计划和VMAT计划单次计划中各射野机器跳数累加之和分别为 $6\,345\pm 210$ 、 821 ± 38 ,有统计学意义($t=-20.234$, $P=0.000$),治疗传输时间分别为 (9.1 ± 0.4) 、 (6.9 ± 0.3) min,有统计学意义($t=-10.236$, $P=0.000$)。

3 讨论

由本研究结果可知,在靶区剂量分布方面,HT计划与VMAT计划基本无差异,HT计划中PGTVnd剂量的分布略优于VMAT计划的PGTVnd的剂量分布;在危及器官方面,HT计划在保护脑干、颞叶和腮腺方面优于VMAT计划,而在保护视神经方面劣于VMAT计划;对于正常组织B-P,HT计划在低剂量区($V_5\sim V_{25}$)高于VMAT计划;HT计划的机器跳数和治疗传输时间明显大于VMAT计划。因此,HT计划在靶区剂量分布和保护危及器官方面优于VMAT计划,而在保护正常组织、机器跳数和治疗传输时间方面劣于VMAT计划。根据上述HT计划和VMAT计划的剂量学特点,在临床实践中应根据不同的情况可以选择不同的计划。如有些患者耐受性差,治疗时不能忍受较长的时间,这时可选择VMAT计划;而有些患者对保护正常器官的要求比较高,如腮腺,这时可选择HT计划。

Lee等^[15]的研究表明在鼻咽癌放疗中,HT计划在靶区的适形度方面优于VMAT计划,这与本研究一致。Wiezorek等^[16]的研究表明在其他头颈部放疗中,HT计划在靶区的适形度方面也优于VMAT计划。靶区的适形度预示着肿瘤能得到足够的处方剂量,进一步影响患者的生存率。Lu等^[10]在鼻咽癌的研究中显示,HT计划和VMAT计划在保护危及器官方面并没有统计学差异,与本研究结果有所不同,这可能因为本研究选择的都是晚期患者,而Lu等的研究中有各个期别的患者。期别不同,肿瘤的靶区就

表2 两种治疗计划中靶区剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$)Tab.2 Comparison of dosimetric parameters in target areas between HT plan and VMAT plan ($Mean \pm SD$)

Dosimetric parameter	HT plan	VMAT plan	Difference	t value	P value
PGTVnx					
D _{min} /cGy	6 958.30±128.20	6 910.90±161.84	47.40±151.12	0.992	0.347
D _{max} /cGy	7 666.50±155.72	7 705.70±189.62	-39.20±107.86	-1.149	0.280
Median dose/cGy	7 455.30±138.05	7 476.80±157.00	-21.50±85.39	-0.796	0.446
CI	0.86±0.06	0.83±0.05	0.03±0.01	-0.403	0.796
HI	0.05±0.05	0.06±0.04	-0.01±0.01	-0.505	0.592
V ₁₀₇ /%	4.15±2.64	3.94±1.29	0.21±1.35	3.529	0.353
PGTVnd					
D _{min} /cGy	7 009.85±93.09	6 984.00±94.46	25.85±88.91	0.920	0.382
D _{max} /cGy	7 513.85±67.46	7 634.14±41.81	-120.28±80.34	-4.734	0.001
Median dose/cGy	7 349.28±60.95	7 427.28±48.49	-78.00±73.83	-3.341	0.009
CI	0.87±0.03	0.81±0.02	0.06±0.01	-0.403	0.026
HI	0.08±0.03	0.07±0.02	-0.01±0.01	-0.505	0.592
V ₁₀₇ /%	7.34±1.16	6.28±1.08	1.06±0.08	2.134	0.476
PTV1					
D _{min} /cGy	6 097.90±146.42	6 066.00±154.16	31.90±17.63	0.568	0.584
D _{max} /cGy	7 443.40±171.45	7 414.60±180.08	28.80±4.40	2.051	0.070
Median dose/cGy	6 600.10±346.79	6 709.40±250.33	-109.30±16.08	-2.119	0.063
CI	0.65±0.11	0.61±0.02	0.04±0.09	-0.273	0.191
HI	0.27±0.02	0.31±0.03	-0.04±0.01	-0.615	0.693
V ₁₀₇ /%	6.14±1.26	6.08±1.08	0.06±0.18	1.434	0.197
PTV2					
D _{min} /cGy	5 390.50±143.91	5 331.10±258.47	59.400±207.59	0.905	0.389
D _{max} /cGy	7 165.90±545.11	7 207.50±493.51	-41.60±95.48	-1.378	0.202
Median dose/cGy	5 944.70±389.59	6 055.10±363.78	-110.40±244.59	-1.427	0.187
CI	0.73±0.18	0.71±0.16	0.02±0.02	-0.273	0.191
HI	0.35±0.04	0.37±0.03	-0.02±0.01	-0.721	0.939
V ₁₀₇ /%	7.51±0.38	6.88±1.16	0.63±0.18	2.486	0.308

CI: Conformity index; HI: Homogeneity index

会不同,进而影响患者的治疗计划^[17-18]。对于正常组织,本研究与 Lee 等^[15]的研究结果一致,而 Lu 等^[10]的研究结果则显示两种计划对于正常组织没有统计学意义。对于机器跳数和治疗传输时间,VMAT 计划相比 HT 计划有绝对的优势,这与现有的研究结论是一致的^[10,15-16,19]。上述部分研究结果与本研究不一致,除了与分期相关外,还可能与设备的性能、计划系统的

版本以及在具体的计划设计中的设置的细节参数有关。

总之,本研究结果显示,HT 计划与 VMAT 计划相比,在保护正常组织、机器跳数和治疗传输时间上处于劣势,在靶区分布、保护危及器官方面处于优势。在具体的临床实践中,可以根据实际情况选择合适的计划。

表3 两种治疗技术计划中危及器官剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$)Tab.3 Comparison of organs-at-risk dosimetric parameters between HT plan and VMAT plan ($Mean \pm SD$)

Organs-at-risk	Dosimetric parameter	HT Plan	VMAT Plan	Difference	t value	P value
Spinal cord	D _{max} /cGy	3 061.80±228.02	3 241.69±468.75	-179.89±426.74	-1.333	0.215
Brain stem	D _{max} /cGy	4 588.40±417.63	4 915.40±274.05	-327.00±447.91	-2.309	0.046
Ipsilateral lens	D _{max} /cGy	697.50±238.66	728.70±259.84	-31.20±325.13	-0.303	0.768
Contralateral lens	D _{max} /cGy	627.50±174.88	715.70±79.90	-88.20±144.43	-1.931	0.086
Ipsilateral optical nerve	D _{max} /cGy	6 407.10±852.20	6 107.40±1 199.78	299.70±535.44	1.770	0.111
Contralateral optical nerve	D _{max} /cGy	5 767.50±256.28	5 341.50±357.50	426.00±320.56	0.050	0.002
Optical chiasm	D _{max} /cGy	6 264.90±907.37	5 740.60±1 714.00	524.30±968.52	3.626	0.121
Ipsilateral temporal lobe	D _{max} /cGy	7 365.10±395.60	7 554.00±357.09	-188.90±121.20	-4.929	0.001
	V ₆₀ /%	7.861±4.98	7.14±5.17	0.721±2.16	1.052	0.320
Contralateral temporal lobe	D _{max} /cGy	6 960.30±521.72	7 115.00±464.730	-154.70±140.59	-3.480	0.007
	V ₆₀ /%	3.98±3.42	3.79±3.26	0.19±1.09	0.537	0.604
Ipsilateral parotid	V ₃₀ /%	52.68±11.07	76.86±16.49	-24.18±12.80	-5.971	0.000
Contralateral parotid	V ₃₀ /%	50.84±13.79	79.32±14.83	-28.48±16.07	-5.603	0.000
Ipsilateral temporomandibular joint	V ₅₀ /%	50.02±21.67	45.67±17.82	4.35±13.15	1.046	0.323
Contralateral temporomandibular joint	V ₅₀ /%	14.29±12.56	16.00±17.13	-1.71±13.08	-0.413	0.689
Pituitary	D _{max} /cGy	6 932.00±656.98	6 981.80±599.73	-49.80±254.43	-0.619	0.551

表4 两种计划正常组织剂量学参数比较(%, $\bar{x} \pm s$)Tab.4 Comparison of dosimetric parameters of normal tissues B-P between HT plan and VMAT plan (%, $Mean \pm SD$)

Dosimetric parameter	HT plan	VAMT plan	Difference	t value	P value
V ₅	41.05±4.27	36.11±1.29	4.94±2.96	9.141	0.000
V ₁₀	36.16±5.71	32.52±3.98	4.64±1.73	8.409	0.000
V ₁₅	32.87±7.16	29.31±5.87	3.56±1.58	7.100	0.000
V ₂₀	28.25±6.04	25.51±4.99	2.74±1.47	5.883	0.000
V ₂₅	23.15±4.13	21.28±3.24	1.49±1.29	3.560	0.049
V ₃₀	18.78±3.98	17.89±3.58	0.89±1.26	2.234	0.052
V ₃₅	15.19±1.41	14.73±1.99	0.79±1.18	1.912	0.099
V ₄₀	12.27±2.36	11.76±3.26	0.51±0.01	1.761	0.112
V ₄₅	9.40±0.83	8.99±0.79	0.41±0.04	1.309	0.212
V ₅₀	7.09±0.59	6.91±0.94	0.18±0.35	0.393	0.344

【参考文献】

- [1] ZHANG B, MO Z, DU W, et al. Intensity-modulated radiation therapy versus 2D-RT or 3D-CRT for the treatment of nasopharyngeal carcinoma: a systematic review and meta-analysis[J]. Oral Oncol, 2015, 51(11): 1041-1046.
- [2] LI H M, LI P, QIAN Y J, et al. A retrospective paired study: efficacy and toxicity of nimotuzumab versus cisplatin concurrent with radiotherapy in nasopharyngeal carcinoma[J]. BMC Cancer, 2016, 16(1): 946.
- [3] KONTNY U, FRANZEN S, BEHREND S, et al. Diagnosis and treatment of nasopharyngeal carcinoma in children and adolescents: recommendations of the GPOH-NPC study group[J]. Klin Padiatr, 2016, 228(3): 105-112.
- [4] BOBIN M, ZACHARATOU C, SARGOS P, et al. Helical tomotherapy of spinal chordomas: French multicentric, retrospective study of a cohort of 30 cases[J]. Radiat Oncol, 2017, 12(1): 32.
- [5] OHIRA S, UEDA Y, AKINO Y, et al. HyperArc VMAT planning for

- single and multiple brain metastases stereotactic radiosurgery: a new treatment planning approach[J]. *Radiat Oncol*, 2018, 13(1): 13.
- [6] DELLA GALA G, DIRKX M L, HOEKSTRA N, et al. Fully automated VMAT treatment planning for advanced-stage NSCLC patients[J]. *Strahlenther Onkol*, 2017, 193(5): 402-409.
- [7] TAGGAR A S, GRAHAM D, KURIEN E, et al. Volumetric-modulated arc therapy *versus* intensity-modulated radiotherapy for large volume retroperitoneal sarcomas: a comparative analysis of dosimetric and treatment delivery parameters[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2018, 19(1): 276-281.
- [8] 杨静, 杨双燕. 鼻咽癌螺旋断层放疗与调强放疗的剂量学比较[J]. *医学理论与实践*, 2016, 29(15): 1999-2001.
- YANG J, YANG S Y. A dosimetric comparison between helical tomotherapy and linear accelerator-based intensity modulated radiation therapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. *The Journal of Medical Theory and Practice*, 2016, 29(15): 1999-2001.
- [9] 张彦秋, 韩阿蒙, 李金旺, 等. CRT+ARC技术在肺癌“T”形靶区患者放射治疗中的剂量学研究[J]. *中国医学物理学杂志*, 2017, 34(7): 712-718.
- ZHANG Y Q, HAN A M, LI J W, et al. Dosimetric study of conformal radiation therapy+volumetric modulated arc therapy for T-shaped target areas in lung cancer patients[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2017, 34(7): 712-718.
- [10] LU S H, CHENG J C, KUO S H, et al. Volumetric modulated arc therapy for nasopharyngeal carcinoma: a dosimetric comparison with TomoTherapy and step-and-shoot IMRT[J]. *Radiation Oncol*, 2012, 104(3): 324-330.
- [11] LEE H F, LAN J H, CHAO P J, et al. Radiation-induced secondary malignancies for nasopharyngeal carcinoma: a pilot study of patients treated *via* IMRT or VMAT[J]. *Cancer Manag Res*, 2018, 18(10): 131-141.
- [12] RADHAKRISHNAN S, CHANDRASEKARAN A, SARMA Y, et al. Dosimetric comparison between single and dual arc-volumetric modulated arc radiotherapy and intensity modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma using a simultaneous integrated boost technique[J]. *Asian Pac J Cancer Prev*, 2017, 18(5): 1395-1402.
- [13] JIANG X, LI T, LIU Y, et al. Planning analysis for locally advanced lung cancer: dosimetric and efficiency comparisons between intensity-modulated radiotherapy (IMRT), single-arc/partial-arc volumetric modulated arc therapy (SA/PA-VMAT)[J]. *Radiat Oncol*, 2011, 6(1): 140.
- [14] BALTAS D, KOLOTAS C, GERAMANI K, et al. A conformal index (COIN) to evaluate implant quality and dose specification in brachytherapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1998, 40(2): 515-524.
- [15] LEE F K, YIP C W, CHEUNG F C, et al. Dosimetric difference amongst 3 techniques: TomoTherapy, sliding-window intensity-modulated radiotherapy (IMRT), and RapidArc radiotherapy in the treatment of late-stage nasopharyngeal carcinoma (NPC)[J]. *Med Dosim*, 2014, 39(1): 44-49.
- [16] WIEZOREK T, BRACHWITZ T, GEORG D, et al. Rotational IMRT techniques compared to fixed gantry IMRT and tomotherapy: multi-institutional planning study for head-and-neck cases[J]. *Radiat Oncol*, 2011, 6(6): 20.
- [17] ABBASI A, HAFIZ A, ALI N, et al. Plan dose evaluation of three dimensional conformal radiotherapy planning (3D-CRT) of nasopharyngeal carcinoma (NPC)[J]. *Asian Pac J Cancer Prev*, 2013, 14(10): 5893-5989.
- [18] BRENNAN S M, THIRION P, BUCKNEY S, et al. Factors influencing conformity index in radiotherapy for non-small cell lung cancer[J]. *Med Dosim*, 2010, 35(1): 38-42.
- [19] RAO M, YANG W, CHEN F, et al. Comparison of Elekta VMAT with helical tomotherapy and fixed field IMRT: plan quality, delivery efficiency and accuracy[J]. *Med Phys*, 2010, 37(3): 1350-1359.

(编辑:谭斯允)