

## 基于 ArcCHECK-3DVH 系统的鼻咽癌容积旋转调强放疗三维剂量验证研究

阳露,余辉,张国前,张全彬,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:**探讨 ArcCHECK-3DVH 系统在鼻咽癌容积旋转调强放疗 (VMAT) 三维剂量验证中的应用。**方法:**选取基于 Monaco 治疗计划系统 (TPS) 制定的 20 例鼻咽癌患者 VMAT 计划,利用 ArcCHECK-3DVH 系统进行患者计划的验证。比较 TPS 计算剂量与 ArcCHECK-3DVH 系统基于测量重建剂量的三维  $\gamma$  通过率 (3%/3 mm, TH=10%),以及靶区剂量参数  $D_{98\%}$ 、 $D_{2\%}$  和  $D_{mean}$  与危及器官剂量参数  $D_{max}$  和  $D_{mean}$  等。**结果:**患者计划验证的三维  $\gamma$  通过率为 98.20% (97.75%, 99.20%), TPS 计算靶区内剂量和 ArcCHECK-3DVH 重建的剂量在  $D_{98\%}$ 、 $D_{2\%}$  和  $D_{mean}$  参数上的差异值大部分小于 3%,极个别情况的最大差异值在 5% 以内,绝大部分患者除 PGTVnd 外的各个靶区  $\gamma$  通过率为 90% 以上;各个危及器官对应的  $D_{max}$  和  $D_{mean}$  剂量参数差异值均小于 6%, $\gamma$  通过率均在 93% 以上。**结论:**ArcCHECK-3DVH 系统重建的剂量结果与 TPS 计算结果符合较好,为鼻咽癌 VMAT 计划剂量验证提供了丰富的剂量参数信息,有助于患者治疗计划的质量验证。

**【关键词】**ArcCHECK; 3DVH; 鼻咽癌; 容积旋转调强放疗; 三维剂量验证

**【中图分类号】**R815.6; R739.6

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2020)12-1506-07

## The study of three-dimensional dosimetric verification of volumetric-modulated arc therapy for nasopharyngeal carcinoma based on ArcCHECK-3DVH system

YANG Lu, YU Hui, ZHANG Guoqian, ZHANG Quanbin, ZHANG Shuxu  
Radiotherapy Center, Cancer Center of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510095, China

**Abstract: Objective** To investigate the application of ArcCHECK-3DVH system in three-dimensional dosimetric verification of volumetric-modulated arc therapy (VMAT) for nasopharyngeal carcinoma (NPC). **Methods** 20 VMAT treatment plans based on Monaco Treatment Planning System (TPS) for NPC have been selected to perform the dosimetric verification by using the ArcCHECK-3DVH system. The 3D  $\gamma$ -pass rates of the TPS dose calculation and ArcCHECK-3DVH system dose reconstruction have been comparatively analyzed with the criteria of 3 mm/3%, TH=10%, and their dose parameters for target volumes and organs at risk (OAR), such as  $D_{98\%}$ ,  $D_{2\%}$ ,  $D_{max}$ ,  $D_{mean}$  were also compared. **Results** The 3D  $\gamma$ -pass rate of treatment plans was 98.20% (97.75%, 99.20%), and the difference in parameters for target volumes  $D_{98\%}$ ,  $D_{2\%}$ ,  $D_{mean}$  between the TPS calculation dose and the ArcCHECK-3DVH dose reconstruction were mostly less than 3%, with a maximum difference of less than 5% in some individual cases. For most patients, the  $\gamma$ -pass rate for the whole target organs, except PGTVnd, were higher than 90%. Their difference in parameters for organs at risk (OAR)  $D_{max}$  and  $D_{mean}$  were less than 6% and the  $\gamma$ -pass rates for OAR were above 93%. **Conclusions** The reconstruction doses by the ArcCHECK-3DVH system were in good agreement with the TPS calculation doses, which provide multiple parameters for the dose verification of VMAT plan for nasopharyngeal carcinoma, and can help the quality assurance of treatment plans.

**Keywords:** ArcCHECK; 3DVH; nasopharyngeal carcinoma; volumetric-modulated arc therapy; three-dimensional dosimetric verification

**【收稿日期】**2020-05-13

**【基金项目】**广州市医药卫生科技项目 (20181A011095)

**【作者简介】**阳露, 硕士研究生, 主要研究方向: 医学物理, E-mail: fiona-xiaoxuan@163.com

**【通信作者】**张书旭, 博士, 二级教授/主任技师, 博士生导师, 主要从事肿瘤精确放疗技术研究, E-mail: gthzxx@163.com

### 前言

鼻咽癌是我国华南地区常见恶性肿瘤之一, 除有明显的放疗禁忌证, 都可给予放射治疗<sup>[1-2]</sup>。众多报道指出容积旋转调强放疗 (Volumetric-Modulated Arc Therapy, VMAT) 技术可提高鼻咽癌治疗效

率<sup>[3-5]</sup>,但是放疗的安全实施还需要对病人的治疗计划进行质量验证(Quality Assurance, QA)。二维剂量验证已广泛应用于日常病人治疗计划剂量验证工作,但它无法直接预测病人体内靶区和危及器官的三维剂量<sup>[6]</sup>,从而不能知悉病人靶区和危及器官剂量是否按照治疗计划的要求给予剂量。为解决此问题,随后有研究者提出一些三维剂量重建方法<sup>[7-10]</sup>,比如 SunNuclear公司的 ArcCHECK-3DVH系统就是基于测量数据来重建出病人体内的三维剂量,该软件具备二维和三维剂量验证功能。国内已广泛开展了基于 ArcCHECK 的二维剂量验证研究<sup>[11-14]</sup>,而三维剂量验证相关的研究尚不足<sup>[15-16]</sup>,且极少针对 Monaco 治疗计划系统(Treatment Planning System, TPS)制定的鼻咽癌计划进行三维剂量验证。因此,本文研究了 ArcCHECK-3DVH 系统在鼻咽癌 VMAT 治疗计划剂量验证中的应用。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器设备与软件

本研究选用基于蒙特卡罗算法的 MonacoV5.11 治疗计划系统制订放射治疗计划,然后经 MOSAIQ 网络系统将放疗计划传送到 Elekta Synergy 直线加速器。在加速器上执行患者的放疗计划,并结合 ArcCHECK-3DVH 系统进行剂量验证。ArcCHECK-3DVH 系统包括用于数据采集的 ArcCHECK 模体、SNC Patient 软件和用于剂量对比分析的 3DVH 软件(Sun Nuclear Corporation, Melbourne, Florida, V3.3.2)。3DVH 软件采用了剂量微扰算法(Planned Dose Perturbation, PDP)计算重建剂量<sup>[17]</sup>,能估算患者体内的三维剂量分布,可应用于放疗中的剂量验证。用户根据不同的加速器设备、射线能量与多叶准直器等信息选择不同的 PDP 机器模型。

### 1.2 患者选取与计划设计

选取广州医科大学附属肿瘤医院 2019 年治疗的 20 例男性鼻咽癌患者,年龄 27~68 岁,中位年龄 47.5 岁。对于 20 例患者,CT 影像上勾画的靶区分别包括 GTVnx、GTVnd、CTV1 和 CTV2;考虑摆位误差等因素扩充上述靶区分别为 PGTVnx、PGTVnd、PCTV1 和 PCTV2;危及器官包括脊髓、脑干、视神经、视交叉、晶体、眼球、喉、腮腺、下颌骨、颞叶。利用 Monaco TPS 为上述患者设计 6 MV VMAT 计划,并将该计划移植至 ArcCHECK 模体中,重新计算剂量,以 DICOM 格式保存,记为该患者的 QA 计划。

### 1.3 测量方法

将每位患者的 6 MV VMAT 治疗计划和 QA 计划传

送至 MOSAIQ 网络传输系统,进行患者计划验证工作。具体步骤如下:(1)ArcCHECK 模体摆位:将厂家提供的均匀固体插件插入 ArcCHECK 模体的空腔中,按照用户手册要求摆放 ArcCHECK 模体,直至模体尾端 4 个倾斜仪的 LED 灯长亮且不闪烁状态;(2)测量本底:当 ArcCHECK 模体与电脑中的 SNC Patient 8.0 版本软件连接好后,打开软件自动测量本底;(3)矩阵和绝对剂量校准:根据 SNC Patient 软件配备的帮助文件和提示,按步骤校准矩阵和绝对剂量;(4)对每个患者的 QA 计划进行实际测量工作,并保存相关的 .txt 和 .acml 文件;(5)剂量验证分析:将患者治疗计划信息中的 RT Plan、RT Structures、RT Dose、CT Images 和 QA 计划对应的 RT plan 和 RT Dose 及每个患者的 .acml 文件导入至 3DVH 软件中,结合 PDP 算法就可获得重建剂量。通过软件中提供的  $\gamma$  值和 DVH 图可获得每个患者重建剂量与 Monaco TPS 计算的剂量差异。本研究中  $\gamma$  分析的条件设置为 3 mm/3%,阈值为 10%。靶区参考指标为  $D_{98\%}$ 、 $D_{2\%}$  和  $D_{mean}$ ,危及器官主要参考指标为  $D_{max}$  和  $D_{mean}$ 。3DVH 软件中的剂量差异值 Diff(%)计算公式为:  $Diff(\%) = (Dose\_3DVH - Dose\_TPS) / Dose\_TPS \times 100\%$ 。本文在处理数据时,每个患者的每个器官剂量差异 Differences(%)是取 3DVH 软件中剂量差异值的绝对值,即  $|Diff(\%)|$ ,这是为了方便统计多个患者同一器官剂量差异值的平均值。每个器官的剂量差异值也将进行统计学分析,探索其是否服从正态分布。

### 1.4 统计学方法

使用 SPSS 16.0 统计软件分析这 20 例患者的数据结果,其中符合正态分布的计量资料用均数 $\pm$ 标准差表示,采用配对  $t$  检验;而非正态分布的计量资料用  $M(Q1, Q3)$  表示,采用 Wilcoxon 秩和检验。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

分析 20 例鼻咽癌患者的  $\gamma$  通过率,这个通过率包括了所有靶区和危及器官的比较结果,发现这 20 例患者的  $\gamma$  通过率不符合正态分布, $\gamma$  通过率表示为 98.20% (97.75%, 99.20%)。图 1 显示的是其中 1 例患者在 Monaco TPS 系统计算的(实线)和 ArcCHECK-3DVH 系统中经测量重建的(虚线)剂量体积直方图和  $\gamma$  值。图 1 中 Parameters 说明了该患者的剂量验证分析采用了 3 mm/3% 的  $\gamma$  分析标准,Global 值为 76.791 Gy,阈值为 10%;Comparison 部分采用了 Gamma 分析法,并结合了 AC-PDP 算法,该患者剂量网格总共包括 503 494 个,其中符合 3 mm/3% 的  $\gamma$  分析标准的点有 494 897 个,所以通过率为  $(494\ 897/503\ 494) \approx 98.3\%$ ,即图中显示的

98.3%,高量点有 34 个,低量点有 8 563 个,具体这些点的位置需要借助 3D Dose 界面查看。每个器官对应的剂量值可在 DVH 图中查看,实线表示参考值(Reference),代表 Monaco 计划系统计算值,虚线是比较值(Comparison),代表 3DVH 系统结合测量与 PDP 算法给出的值。DVH 图界面左边可选择 DVH 图积分或微分

类型,图 1 中显示的是靶区  $D_{98\%}$  对应的值,PGTVnx (PGTVp)的 $D_{98\%}$ 剂量经 TPS 计算为 70.00 Gy,经 3DVH 重建计算为 68.15 Gy。具体差异值可以调取模板计算,结果如图 2 所示,图中 PGTVnx 对应的  $D_{98\%}$  差异值为 -1.850 Gy,变化率为 -2.643%。在本文后续研究中将所有患者的变化率取绝对值。

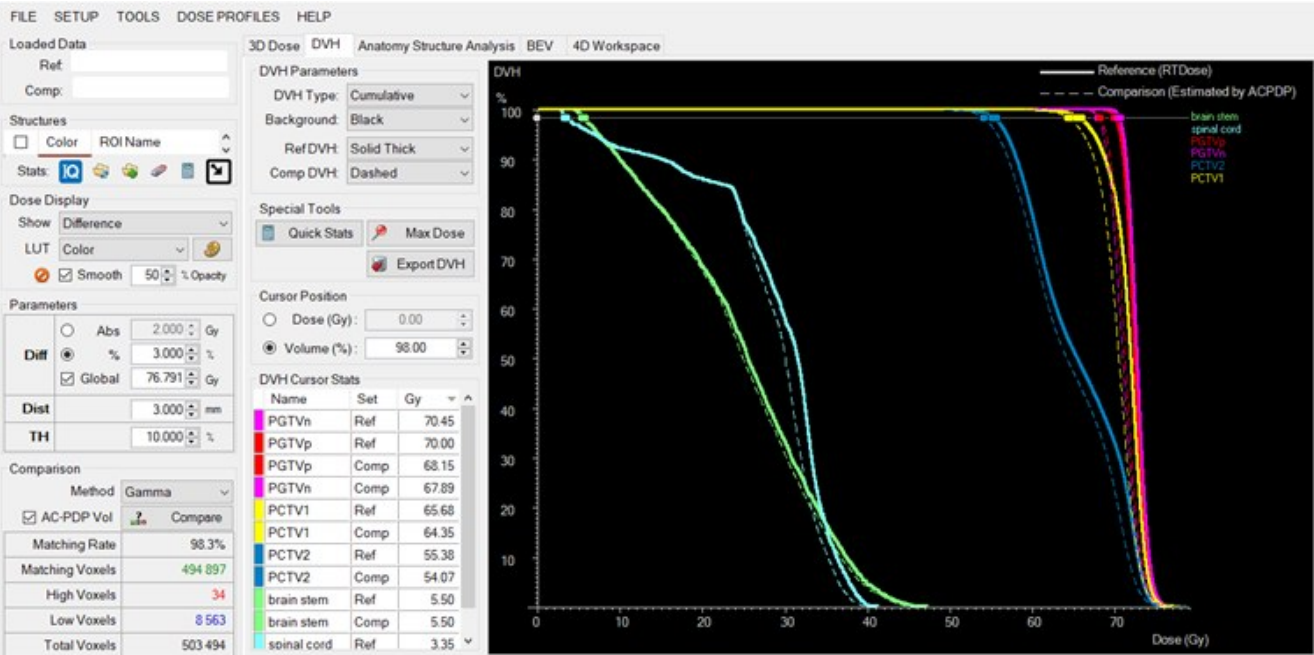


图 1 基于 TPS(实线)和 3DVH 软件(虚线)获得的剂量体积直方图和  $\gamma$  值  
Fig.1 Dose volume histogram and gamma value obtained by TPS (solid line) and the 3DVH software (dashed line)

2.1 靶区的剂量差异

20 例鼻咽癌患者, Monaco TPS 计算和 ArcCHECK-3DVH 系统给出的靶区剂量如表 1 所示。所有患者靶区的  $\gamma$  通过率经分析, PGTVnx 和 PCTV1 通过率不服从正态分布,在 TH=10% 和 3 mm/3% 的标准下,  $\gamma$  通过率均在 94% 以上; PGTVnd 和 PCTV2 的通过率服从正态分布, PGTVnd 通过率可表示为  $93.23\% \pm 4.57\%$ , 其中有 4 例患者 PGTVnd  $\gamma$  通过率小于 90%, 其他均大于 90%; 所有患者 PCTV2 对应的  $\gamma$  通过率可表示为  $95.22\% \pm 2.76\%$ 。综上, 绝大部分患者各个靶区  $\gamma$  通过率为 90% 以上。关于靶区具体参数, 20 例患者的 PGTVnd 和 PCTV2 经计算或者测量对应的  $D_{98\%}$  满足正态分布, 故可采用均数  $\pm$  标准差形式表示具体值, 而比较 TPS 计算和 3DVH 测量重建的  $D_{98\%}$  差异性则采用了配对  $t$  检验, 而基于计算和测量这 2 种不同方法获得的靶区具体差异值则根据 Diff (%) 公式计算。通过 Monaco TPS 和 3DVH 软件分别计算 PGTVnd 剂量, 比较这 2 组数据, 发现 20 例患者 PGTVnd 的  $D_{2\%}$  分别为 73.30 (72.28, 74.78) Gy 和 73.28 (72.02, 74.49) Gy, 对应 Z 值是 -0.88, 尽管具体

差异值表示为 0.43% (0.18%, 1.09%), 但是  $P$  值是 0.38, 故这个差异性不具有统计学意义。同理由 TPS 计算和 3DVH 测量重建可获得 PCTV2 的  $D_{2\%}$  分别为 73.85 (73.03, 74.13) Gy 和 73.74 (73.22, 74.51) Gy,  $P$  值为 0.44, 这两种方法获得的剂量差异值也无统计学意义。而基于此 2 种不同方法计算的 PGTVnx、PGTVnd、PCTV1 和 PCTV2 其他剂量参数, 观察表 1 可知参数上的差异值大部分小于 3%, 极个别情况的最大差异值在 5% 以内, 这些差异值具有统计学意义, 代表 TPS 和 3DVH 获得的同一靶区剂量参数是不同的, 但是这个差异范围在临床可接受范围内。

2.2 危及器官的剂量差异

表 2 详细描述了基于 TPS 和 ArcCHECK-3DVH 系统获得的鼻咽癌患者危及器官剂量结果。在 3 mm/3% 的标准下, 所有危及器官的  $\gamma$  通过率在 93% 以上, 其中视交叉、晶体和眼球的  $\gamma$  通过率为 100%。

由 TPS 和 3DVH 软件计算的同一危及器官剂量存在差异。其中脊髓、视交叉、视神经、晶体、眼球、喉与下颌骨对应的  $D_{\max}$  差异值小于 5%, 且不具有统计学意义 ( $P > 0.05$ )。TPS 和 3DVH 计算喉  $V_{35}$  指的是体积百分



Color	ROI Name	Volume (cc)	Quick Stat	Unit	Reference	Comparison	Diff (Abs / %)
	brain stem	25.160	Mean	Gy	24.567	24.097	-0.470 Gy / -1.915%
	brain stem	25.160	Max	Gy	47.139	46.428	-0.711 Gy / -1.508%
	spinal cord	16.720	Mean	Gy	28.324	27.400	-0.924 Gy / -3.261%
	spinal cord	16.720	Max	Gy	41.036	40.509	-0.527 Gy / -1.284%
	chiasm	2.368274	Mean	Gy	29.182	29.182	0.000 Gy / 0.000%
	chiasm	2.368274	Max	Gy	45.414	45.414	0.000 Gy / 0.000%
	temporal lobe-R	85.776	Max	Gy	72.359	72.478	0.120 Gy / 0.166%
	parotid-L	31.256	Mean	Gy	30.449	29.365	-1.084 Gy / -3.561%
	parotid-L	31.256	V30Gy	%vol	35.680	32.019	-3.660 %vol / -10.258%
	parotid-R	37.088	Mean	Gy	30.847	29.906	-0.941 Gy / -3.050%
	parotid-R	37.088	V30Gy	%vol	48.404	46.333	-2.071 %vol / -4.278%
	mandible-L	35.848	Max	Gy	66.177	65.775	-0.403 Gy / -0.608%
	mandible-R	31.080	Max	Gy	68.184	68.110	-0.073 Gy / -0.107%
	eye-L	13.160	Mean	Gy	7.182	6.993	-0.189 Gy / -2.627%
	eye-L	13.160	Max	Gy	24.190	23.649	-0.540 Gy / -2.234%
	eye-R	13.456	Mean	Gy	7.710	7.519	-0.191 Gy / -2.482%
	eye-R	13.456	Max	Gy	36.417	36.402	-0.015 Gy / -0.041%
	lens-L	0.272512	Mean	Gy	4.437	4.437	0.000 Gy / 0.000%
	lens-L	0.272512	Max	Gy	5.587	5.587	0.000 Gy / 0.000%
	lens-R	0.2728397	Mean	Gy	4.104	4.104	0.000 Gy / 0.000%
	lens-R	0.2728397	Max	Gy	5.336	5.336	0.000 Gy / 0.000%
	larynx	69.456	Max	Gy	65.814	65.399	-0.415 Gy / -0.631%
	larynx	69.456	V35Gy	%vol	51.889	48.134	-3.755 %vol / -7.236%
	PGTVp	99.608	Mean	Gy	72.240	71.133	-1.107 Gy / -1.533%
	PGTVp	99.608	D98%	Gy	70.000	68.150	-1.850 Gy / -2.643%

图2 基于 TPS 和 3DVH 软件获得的器官剂量差异值  
Fig.2 Organ dose differences based on TPS and 3DVH software

表1 基于 Monaco TPS 和 3DVH 软件的靶区剂量学差异  
Tab.1 The dose differences calculated by the Monaco TPS and the software 3DVH for target

靶区	参数	TPS/Gy	3DVH/Gy	t/z 值	P 值	TPS 与 3DVH 差异值/%	γ/%
PGTVnx	D <sub>2%</sub>	75.23 (74.59, 75.54)	75.74 (74.39, 76.84)	-2.42	<0.05	1.22(0.53, 1.75)	97.70(95.23, 98.48)
	D <sub>98%</sub>	69.03(65.01, 69.74)	67.74(64.51, 68.35)	-3.40	<0.05	1.29(0.57, 2.23)	
	D <sub>mean</sub>	72.15(71.82, 72.39)	71.62(70.80, 72.41)	-2.20	<0.05	0.77(0.39, 1.7)	
PGTVnd	D <sub>2%</sub>	73.30(72.28, 74.78)	73.28(72.02, 74.49)	-0.88	0.38	0.43(0.18, 1.09)	93.23±4.57
	D <sub>98%</sub>	67.06±2.81	65.22±2.68	11.90	<0.05	2.74±0.94	
	D <sub>mean</sub>	70.29(69.11, 71.73)	69.06(67.93, 70.22)	-3.64	<0.05	1.50(1.19, 2.13)	
PCTV1	D <sub>2%</sub>	74.64(74.21, 75.02)	75.39(74.16, 76.13)	-2.46	<0.05	1.11(0.61, 1.71)	97.50(94.45, 98.65)
	D <sub>98%</sub>	62.35(60.67, 65.06)	61.74(59.60, 64.30)	-3.39	<0.05	1.41(0.83, 2.03)	
	D <sub>mean</sub>	70.35(69.98, 71.00)	69.79(68.92, 70.57)	-2.63	<0.05	0.51(0.23, 1.63)	
PCTV2	D <sub>2%</sub>	73.85(73.03, 74.13)	73.74(73.22, 74.51)	-0.78	0.44	0.77(0.35, 1.07)	95.22±2.76
	D <sub>98%</sub>	54.81±1.73	53.86±1.78	8.39	<0.05	1.75±0.84	
	D <sub>mean</sub>	65.36(63.42, 65.99)	64.51(63.02, 65.41)	-3.34	<0.05	1.11(0.69, 1.60)	

比,且V<sub>35</sub>的差异值为8.89%±4.63%,具有统计学意义( $P<0.05$ ),TPS 计算剂量大于 3DVH 重建剂量,其中 20 例患者中仅 1 例患者差异值近似 15%,有 2 例患者剂量差异值小于 3%,其余均在 5%~13%;除以上描述情况外,危及器官对应的其他剂量参数差异值小于 6%,均具有统计学意义( $P<0.05$ )。

表2 基于 Monaco TPS 和 3DVH 软件的危及器官剂量学差异  
Tab.2 The dose differences calculated by the Monaco TPS and the software 3DVH for OARs

危及器官	参数	TPS/Gy	3DVH/Gy	t/Z值	P值	TPS 与 3DVH 差异值/%	γ/%
脑干	D <sub>max</sub>	55.41(46.90, 59.38)	56.20(47.12, 59.10)	-2.17	0.03	1.24(0.81, 3.72)	99.80(99.70, 100.00)
	D <sub>mean</sub>	31.06±6.00	30.64±6.00	4.89	<0.05	1.57±0.77	
脊髓	D <sub>max</sub>	40.04±1.90	39.85±1.87	1.00	0.33	1.04(0.31, 2.57)	97.40(94.75, 99.35)
	D <sub>mean</sub>	29.52±2.44	28.66±2.41	12.02	<0.05	2.92±0.97	
视交叉	D <sub>max</sub>	53.07(47.10, 55.24)	52.55(46.82, 55.76)	-1.07	0.29	0.87(0.05, 1.95)	100.00(100.0, 100.0)
	D <sub>mean</sub>	38.56±12.73	38.18±12.68	1.97	0.07	1.52±1.43	
视神经	D <sub>max</sub>	53.85(42.75, 55.98)	54.71(45.32, 55.56)	-0.45	0.65	0.911(0.21, 2.04)	100.00(100.0, 100.0)
	D <sub>mean</sub>	28.56±12.98	28.24±12.89	2.94	<0.05	0.40(0.03, 2.59)	
晶体	D <sub>max</sub>	5.49(5.17, 6.23)	5.56(5.20, 6.30)	-1.18	0.24	1.24(0.58, 3.97)	100.000(100.0, 100.0)
	D <sub>mean</sub>	4.06(3.38, 4.72)	4.06(3.53, 4.65)	-1.33	0.18	1.41(0.17, 4.38)	
眼球	D <sub>max</sub>	25.70±5.80	25.48±5.66	1.49	0.16	1.70±1.20	100.00(100.0, 100.0)
	D <sub>mean</sub>	6.76±1.66	6.65±1.50	1.95	0.07	0.98(0.26, 3.63)	
喉	D <sub>max</sub>	65.17±4.08	64.99±4.04	0.59	0.57	1.04±1.05	97.14±1.85
	V <sub>35</sub>	66.04±15.42	60.52±16.22	5.99	<0.05	8.89±4.63	
腮腺	D <sub>mean</sub>	32.49(31.20, 37.12)	31.68(29.97, 36.60)	-3.59	<0.05	2.72(1.46, 3.27)	99.90(99.80, 100.0)
下颌骨	D <sub>max</sub>	71.35±3.99	71.87±3.73	-2.19	0.05	0.86(0.28, 1.63)	99.70(99.38, 99.83)
颞叶	D <sub>max</sub>	72.96±2.85	74.07±2.89	-5.55	<0.05	1.52±1.04	100.00(99.70, 100.0)

3 讨论

VMAT 是一种复杂的 IMRT 技术,它在治疗过程中伴随着 MLC 和 GANTRY 的运动,与此同时剂量率可变,因而治疗效率较高,它正被广泛应用于临床放射治疗。与传统的放疗计划相比,加速器执行过程的误差可能对 VMAT 计划产生更大的剂量影响,因此 VMAT 的剂量验证工作也越来越重要。

目前的 IMRT QA 设备也可用于 VMAT QA 工作,如胶片、电离室、半导体阵列和电离室阵列等。但是胶片和电离室只可以测量点剂量和平面剂量,且二维剂量验证无法直观显示患者各个器官测量值和理论计算值的差异<sup>[6,17]</sup>。随着放疗技术的快速发展,三维剂量验证工作也开始备受关注。通过电子射野影像系统、机器日志、COMPASS 和 Delta4 等方法均可进行三维剂量验证工作<sup>[7-8, 10, 18]</sup>。

ArcCHECK-3DVH 是一种三维剂量验证系统,既可以完成二维的平面剂量验证,也可进行基于患者 CT 图像的三维剂量验证。国内已经深入研究了 ArcCHECK 在各种癌症治疗计划中的二维剂量验证应用,这些研究结果显示相对 γ 通过率至少在 95% 以上,绝对 γ 通过率至少在 93% 以上<sup>[11-14]</sup>。但是,从这

些研究中,并不能获得靶区和危及器官的剂量情况,且无法知晓剂量偏差出现在患者具体的解剖位置,以及这些偏差是否被临床所接受。ArcCHECK-3DVH 中的 3DVH 软件则基于患者的 CT 图像、原始计划、QA plan、实际测量和 PDP 算法进行三维剂量验证,它能直观显示高量和低量区域,此系统的准确性在一些研究中得到证明<sup>[9,19-20]</sup>。

本研究利用 ArcCHECK-3DVH 系统对基于 Monaco TPS 的鼻咽癌 VMAT 计划进行三维剂量验证。Monaco TPS 计算的 20 例患者剂量与 3DVH 重建的剂量,在 3 mm/3% 和阈值 TH=10% 标准下,三维 γ 通过率为 98.20%(97.75%, 99.20%),表明 Monaco TPS 计算的患者靶区和危及器官剂量与 3DVH 重建结果符合得很好。国外 Saito 等<sup>[21]</sup>通过 ArcCHECK-3DVH 和内部开发的 dynalog-based dose reconstruction (DBDR) 系统重建患者体内器官三维剂量,这些患者均采用 VMAT 技术治疗,基于 3DVH、DBDR 与 TPS 计算剂量对比,γ 通过率(3 mm/3%)均达到 99% 以上,类似这样的 γ 值结果就可被临床接受。但是,随着未来放疗技术的发展,只用 γ 值评估剂量验证工作存在不足,除了 γ 值外我们需要更丰富的剂量信息,以此来保证放射治疗的安全实施。本

研究中利用3DVH软件获得了每个靶区和危及器官的通过率和剂量差异情况。基于3DVH软件和Monaco TPS计算的PGTV<sub>nx</sub>、PCTV1和PCTV2通过率均大于90%,PGTV<sub>nd</sub>通过率为93.23%±4.57%,其中有5例患者的PGTV<sub>nd</sub>通过率为84%~89%。对于这些结果我们进一步观察了PGTV<sub>nx</sub>、PGTV<sub>nd</sub>、PCTV1和PCTV2对应的D<sub>2%</sub>、D<sub>98%</sub>和D<sub>mean</sub>值,发现差异值大部分小于3%,极个别情况的最大差异值在5%以内。对于这些差异,不可孤立只考虑靶区的某一个参数,正如PGTV<sub>nx</sub>的D<sub>98%</sub>有1例患者差异为4.41%,其余均在3%以内,而PGTV<sub>nx</sub>的D<sub>mean</sub>最大差异值为2.85%,其余均小于2%,PGTV<sub>nx</sub>的D<sub>2%</sub>有1例患者差异为3.71%,其余大部分在2%以内。综合多个参数和患者病情考虑,这个PGTV<sub>nx</sub>的差异值是可以被临床所接受的。所有危及器官 $\gamma$ 通过率在93%以上,其中视交叉和晶体的 $\gamma$ 通过率为100%,说明3DVH软件重建这些危及器官剂量与TPS计算的剂量差异较小;由TPS和3DVH软件计算的同一危及器官剂量差异值最大的是喉V<sub>35</sub>,但是喉V<sub>35</sub>中仅1例患者差异值近似15%,有2例患者剂量差异值小于3%,其余均为5%~13%。对于危及器官我们也观察多个指标,并寻找高量和低量出现的具体位置,结合患者实际情况进行分析。从以上分析可看出,TPS和3DVH计算剂量存在差异,这些差异来源包括以下几个方面:首先,3DVH重建的患者体内三维剂量是根据PDP算法在TPS计算的患者体内剂量基础上得到的,PDP算法在重建剂量过程中引入了校准因子,该校准因子来自于ArcCHECK均匀模体上的测量结果与TPS计算结果的比值,此过程会引入一定程度的误差<sup>[22]</sup>;另外,为了得到上述校准因子,需要将ArcCHECK均匀模体测量的低分辨率数据进行变形与校准来变成高分辨率数据,之后才能与TPS计算的均匀模体剂量做比值<sup>[22]</sup>。而ArcCHECK探头间距为1 cm,实际TPS计算网格尺寸和间距通常小于1 cm,因此在上述变形与校准过程中也会引入误差;ArcCHECK模体在摆位过程中存在误差,对剂量跌落梯度较大区域存在一定的影响;当被评估区域靠近探测器边缘时,测量值与TPS计算值也存在差异<sup>[22]</sup>。国外也有许多研究者利用3DVH系统进行放疗治疗的三维剂量验证,得出了相似的结果。Tyagi等<sup>[17]</sup>评估了基于ArcCHECK-3DVH和机器Logfile系统剂量重建的准确性,其中的10例患者采用SBRT或者SRS技术,在3%/2 mm标准下,采用3DVH和Logfile获得的 $\gamma$ 通过率近似98%以上,PTV的剂量参数对应最大差异值为8.1%,小肠的剂量差异值为

31.3%。Infusino等<sup>[23]</sup>报道使用3DVH进行Rapid Arc的三维剂量验证结果,其中靶区测量值系统性地高于TPS计划值。

综上所述,ArcCHECK-3DVH除了可以提供二维剂量验证信息外,还可基于患者的CT重建三维剂量,明确指出剂量差异的器官位置,有利于放疗治疗前的QA工作和放疗计划的安全实施。

## 【参考文献】

- [1] 徐向英,曲雅勤,李国文,等.肿瘤放射治疗学[M].北京:人民卫生出版社,2010:122.  
XU X Y, QU Y Q, LI G W, et al. Tumor radiotherapy[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2010: 122.
- [2] 崔念基,卢泰祥,邓小武.实用临床放射肿瘤学[M].广州:中山大学出版社,2005:245-329.  
CUI N J, LU T X, DENG X W. Practical clinical radiation oncology[M]. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press, 2005: 245-329.
- [3] QUAN E M, LI X, LI Y, et al. A comprehensive comparison of IMRT and VMAT plan quality for prostate cancer treatment[J]. Int J Radiat Oncol, 2012, 83(4): 1169-1178.
- [4] BEDFORD J L, WARRINGTON A P. Commissioning of volumetric modulated arc therapy (VMAT)[J]. Int J Radiat Oncol, 2009, 73(2): 537-545.
- [5] 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.
- [6] NELMS B E, ZHEN H, TOMÉ W A. Per-beam, planar IMRT QA passing rates do not predict clinically relevant patient dose errors[J]. Med Phys, 2011, 38(2): 1037-1044.
- [7] BOGGULA R, LORENZ F, MUELLER L, et al. Experimental validation of a commercial 3D dose verification system for intensity-modulated arc therapies[J]. Phys Med Biol, 2010, 55(19): 5619.
- [8] BEDFORD J L, LEE Y K, WAI P, et al. Evaluation of the Delta4 phantom for IMRT and VMAT verification[J]. Phys Med Biol, 2009, 54(9): N167-N176.
- [9] WATANABE Y, NAKAGUCHI Y. 3D evaluation of 3DVH program using BANG3 polymer gel dosimeter[J]. Med Phys, 2013, 40(8): 082101.
- [10] SCHREIBMANN E, DHABAAN A, ELDER E, et al. Patient-specific quality assurance method for VMAT treatment delivery[J]. Med Phys, 2009, 36(10): 4530-4535.
- [11] 鄢佳文,高靖琰,刘旭红,等. ArcCHECK用于VMAT计划剂量的验证[J]. 医疗装备, 2017, 30(5): 26-27.  
YAN J W, GAO J Y, LIU X H, et al. Dose verification of VMAT plan by ArcCHECK[J]. Medical Equipment, 2017, 30(5): 26-27.
- [12] 张俊俊,邱小平,李奇欣,等. ArcCheck系统在鼻咽癌容积旋转调强剂量验证中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2014, 31(5): 5136-5138.  
ZHANG J J, QIU X P, LI Q X, et al. Dosimetric verification of volumetric modulated arc therapy in nasopharyngeal carcinoma using arccheck system[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2014, 31(5): 5136-5138.
- [13] 姚升宇,陈旭明,赵国旗,等. ArcCHECK用于全脑全脊髓容积旋转调强验证的研究[J]. 中国医疗设备, 2019, 34(1): 44-48.  
YAO S Y, CHEN X M, ZHAO G Q, et al. ArcCHECK for the verification of craniospinal irradiation with volumetric modulated arc therapy[J]. Chinese Medical Device, 2019, 34(1): 44-48.
- [14] 张晋建,黎静,文婷,等. ArcCHECK在乳腺癌螺旋断层放疗计划剂



- 量验证中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2015, 32(2): 244-247.
- ZHANG J J, LI J, WEN T, et al. Irradiation dose verification by ArcCHECK on breast therapy cancer tomotherapy[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2015, 32(2): 244-247.
- [15] 费召东, 李奇欣, 柏朋刚, 等. 3DVH 系统在鼻咽癌容积旋转调强剂量验证中的应用研究[J]. 医疗装备, 2014, 27(10): 3-5.
- FEI Z D, LI Q X, BAI P G, et al. Dosimetric verification of volumetric modulated arc therapy (VMAT) in nasopharyngeal carcinoma using 3DVH patient anatomy based system[J]. Medical Equipment, 2014, 27(10): 3-5.
- [16] 冯瑞兴. ArcCHECK 结合 3DVH 在容积旋转调强放疗剂量验证中的应用研究[J]. 中国医疗设备, 2018, 33(7): 37-40.
- FENG R X. Application of ArcCHECK combined with 3DVH in volumetric modulated arc therapy dose verification [J]. Chinese Medical Device, 2018, 33(7): 37-40.
- [17] TYAGI N, YANG K, YAN D. Comparing measurement - derived (3DVH) and machine log file-derived dose reconstruction methods for VMAT QA in patient geometries[J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15 (4): 54-66.
- [18] ALHAZMI A, GIANOLI C, NEPPL S, et al. A novel approach to EPID-based 3D volumetric dosimetry for IMRT and VMAT QA [J]. Phys Med Biol, 2018, 63(11): 115002.
- [19] OLCH A J. Evaluation of the accuracy of 3DVH software estimates of dose to virtual ion chamber and film in composite IMRT QA[J]. Med Phys, 2012, 39(1): 81-86.
- [20] KADOYA N, SAITO M, OGASAWARA M, et al. Evaluation of patient DVH - based QA metrics for prostate VMAT: correlation between accuracy of estimated 3D patient dose and magnitude of MLC misalignment[J]. J Appl Clin Med Phys, 2015, 16(3): 179-189.
- [21] SAITO M, KADOYA N, SATO K, et al. Comparison of DVH-based plan verification methods for VMAT: ArcCHECK-3DVH system and dynalog-based dose reconstruction[J]. J Appl Clin Med Phys, 2017, 18(4): 206-214.
- [22] NELMS B E, OPP D, ROBINSON J, et al. VMAT QA: measurement -guided 4D dose reconstruction on a patient[J]. Med Phys, 2012, 39 (7 Part 1): 4228-4238.
- [23] INFUSINO E, MAMELI A, CONTI R, et al. Initial experience of ArcCHECK and 3DVH software for RapidArc treatment plan verification[J]. Med Dosim, 2014, 39(3): 276-281.

(编辑:陈丽霞)