

## 高级别脑胶质瘤术后VMAT与IMRT剂量学比较

李壮玲, 钟鹤立, 李先明, 李子煌, 高艳

暨南大学附属第二临床医学院/深圳市人民医院放疗科, 广东 深圳 518020

**【摘要】目的:**比较高级别脑胶质瘤(HGG)术后采用不同拉弧数量容积旋转调强放疗(VMAT)和不同照射野数量逆向调强放疗(IMRT)在靶区和危及器官的剂量学差异及效率的高低。**方法:**收集HGG病例资料10例,采用 Oncentra 治疗计划系统对每个病例分别设计5、7、9野IMRT计划和单弧、双弧VMAT(VMAT1、VMAT2)计划,处方剂量为计划靶区(PTV): 60 Gy/30 f。**(1)**比较5、7、9野IMRT计划间PTV和各危及器官的剂量学差异。**(2)**研究5野IMRT、VMAT1和VMAT2计划间PTV适形指数(CI)、均匀性指数(HI)和危及器官受照量等剂量学差异,比较机器跳数、优化时间和治疗时间等效率参数的差异。**结果:**(1)5、7、9野IMRT计划:3组计划PTV的CI、HI及各危及器官的最高受量均无统计学差异( $P>0.05$ )。**(2)**5野IMRT、VMAT1和VMAT2计划:靶区CI分别为 $0.617\pm 0.076$ 、 $0.715\pm 0.084$ 和 $0.731\pm 0.806$ ,有统计学差异( $P=0.007$ ), VMAT1和VMAT2组相当,均好于5野IMRT组;靶区HI、最高剂量、最小剂量和 $D_{95\%}$ 无统计学差异( $P>0.05$ );所有危及器官的最高剂量均无统计学差异( $P>0.05$ )。**(3)**3组计划的机器跳数有统计学差异( $P=0.004$ );计划的优化时间:5野IMRT最快,但VMAT技术耗时;治疗时间:VMAT1最快,只需 $(3.7\pm 0.5)$  min,3组计划间有统计学差异( $P<0.05$ )。**结论:**在HGG术后放疗中,射野数 $\geq 5$ 的IMRT计划在PTV和危及器官剂量分布差异不显著;与5野IMRT计划相比,尽管VMAT计划优化时间稍长,但显著提高PTV的CI,且VMAT1计划还具有机器跳数少、治疗时间短的优势。

**【关键词】**高级别脑胶质瘤;图像融合;逆向调强放疗;容积旋转调强放疗;剂量学

**【中图分类号】**R739.41

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2017)07-0719-07

## Dosimetric comparison of volumetric modulated arc therapy and intensity-modulated radiotherapy for postoperative high-grade glioma

LI Zhuangling, ZHONG Heli, LI Xianming, LI Zihuang, GAO Yan

Department of Radiation Oncology, Shenzhen People's Hospital/Second Clinical Medical College of Jinan University, Shenzhen 518020, China

**Abstract: Objective** To compare the dosimetric differences in target areas and organs-at-risk (OAR) and the efficiency between volumetric modulated arc therapy (VMAT) and intensity-modulated radiotherapy (IMRT) for postoperative high-grade glioma (HGG). **Methods** Oncentra treatment planning system was used to design 5-, 7-, 9-field IMRT plans and single- and double-arc VMAT (VMAT1 and VMAT2) for 10 postoperative HGG patients. In each plans, the prescription dose was 60 Gy/30 f for planning target volume (PTV). The dosimetric differences in PTV and OAR were compared among 5-, 7-, 9-field IMRT plans. The conformity index (CI), homogeneity index (HI) of PTV, the dose of OAR, monitor units, treatment time and optimizing time were compared among 5-field IMRT, VMAT1 and VMAT2 plans. **Results** No statistical differences were found in the CI and HI of PTV, and the maximum dose ( $D_{max}$ ) of OAR among 5-, 7-, 9-field IMRT plans ( $P>0.05$ ). VMAT1 and VMAT2 plans showed similar CI of target areas,  $0.715\pm 0.084$  and  $0.731\pm 0.806$ , respectively, better than  $0.617\pm 0.076$  in 5-field IMRT plan (comparison among 3 plans,  $P=0.007$ ). No statistical differences were found in the HI,  $D_{max}$ , minimum dose and  $D_{95\%}$  of target areas, and the  $D_{max}$  of OAR among 5-field IMRT, VMAT1 and VMAT2 plans ( $P>0.05$ ). Statistical differences were found in monitor units among 5-field IMRT, VMAT1 and VMAT2 plans ( $P=0.004$ ). Optimizing time was shortest in 5-field IMRT plan, longest in VMAT2 plan. The treatment time in VMAT1 plan was only  $(3.7\pm 0.5)$  min, with statistical differences among three plans ( $P<0.05$ ). **Conclusion** For the postoperative HGG patients, IMRT plans with the number of fields less than 5 doesn't show statistical differences in the dose distribution in PTV and OAR. Compared with 5-field IMRT plan, VMAT plan needs longer optimizing time, but achieves

**【收稿日期】**2017-03-10

**【基金项目】**深圳市卫生计生系统科研项目(201401012);深圳市科创委科研课题(JCYJ20150403102020235)

**【作者简介】**李壮玲,硕士研究生,主管技师,主要研究方向:肿瘤放射治疗学,E-mail: lizhuangling@163.com

**【通信作者】**钟鹤立,高级工程师,E-mail: zhongheli@tom.com

better CI in PTV, and VMAT1 has the advantages of smaller monitor units and shorter treatment time.

**Keywords:** high-grade glioma; image fusion; intensity-modulated radiotherapy; volumetric modulated arc therapy; dosimetry

## 前言

胶质瘤是最常见的原发性颅内肿瘤,近30年来颅内胶质瘤发病率逐年递增,年增长率约1.2%<sup>[1]</sup>。根据WHO中枢神经系统肿瘤分类,将胶质瘤分为I~IV级,其中I、II级为低级别胶质瘤,III、IV级为高级别胶质瘤(HGG)<sup>[2]</sup>。HGG呈浸润性侵袭性生长,手术不易完全切除,具有原位复发特点,且90%发生在距原发灶2 cm的范围之内,故优化局部放疗方案是治疗的焦点<sup>[3]</sup>。放射治疗是HGG的重要治疗手段。近年来,基于图像引导的精准快速容积旋转调强(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)技术应用于临床<sup>[4-6]</sup>。国外已有VMAT治疗脑胶质瘤的报道<sup>[7-9]</sup>,但国内相关文献尚少。本文通过比较HGG术后VMAT与调强放疗(IMRT)这两种技术在剂量学和效率方面的差异,探讨VMAT技术应用于HGG放疗的可行性和优劣性。

## 1 材料与方法

### 1.1 一般资料

收集2013年8月至2016年2月在深圳市人民医院接受治疗的HGG患者10例,全组病例均在手术后获得病理诊断,其中间变性星形细胞瘤(III级)2例,多形性胶质母细胞瘤(IV级)8例;男6例,女4例;年龄23~73岁,中位年龄57.5岁。

### 1.2 模拟定位、CT-MRI图像融合及靶区勾画

术后3周内对患者进行模拟定位。患者取仰卧位,采用B枕或C枕,并利用Med-tech热解塑料面罩固定。采用飞利浦16排螺旋CT行增强定位扫描,扫描范围为头顶至颅底下5 cm左右,扫描层厚为3.0 mm。采用西门子3.0 T核磁共振进行MRI图像采集,体位、范围、层厚尽量与CT定位一致。将CT、MRI图像传至医科达Oncentra治疗计划系统(TPS),进行图像融合。主治以上的医师进行靶区勾画:大体肿瘤区(Gross Tumor Volume, GTV)范围为术前及术后MRI T<sub>1</sub>W增强区域即术后残留肿瘤和(或)术腔;临床肿瘤区(Clinical Target Volume, CTV)范围为术前、术后MRI T<sub>1</sub>W增强区域以及FLAIR/T<sub>2</sub>W异常信号区域再外扩2 cm;计划靶区(Planning Target Volume, PTV)为CTV外扩0.5 cm。危及器官包括脑干(Brainstem, BS)、同侧晶体(Ipsilateral Len, LenI)、对侧晶体(Contralateral Len, LenC)、同侧视神经(Ipsilateral Optic

Nerve, OptNI)、对侧视神经(Contralateral Optic Nerve, OptNC)、视交叉(Optic Chiasm, OptChi)。靶区和危及器官勾画标准参考ICRU83号报告<sup>[10]</sup>。所有病例的PTV与至少一个危及器官接近或重叠。10例患者的PTV平均为(460.7±181.7) cm<sup>3</sup>。

### 1.3 治疗计划设计

由具有5年以上工作经验的物理师采用Oncentra TPS分别进行IMRT和VMAT计划设计。选用医科达直线加速器Synergy S,能量为6 MV X线。IMRT计划分别采用5、7、9野,360°等分角度;VMAT计划分别采用单弧和双弧,起始角度为182°,终止角度178°,弧长356°,步长2°。所有计划的计算网格间距均为0.2 cm,最小子野面积为2 cm<sup>2</sup>,最小子野跳数6 MU,最大子野数量70。IMRT和VMAT计划使用相同的剂量限值。PTV处方剂量为60 Gy/30 f,脑干、视神经、视交叉最高剂量小于54 Gy,晶体最高剂量小于9 Gy。计划目标为95%的PTV体积达处方剂量。

### 1.4 治疗计划评估

(1)比较不同射野数的IMRT计划的PTV剂量学参数(CI、HI,计算公式见下),并比较危及器官受照剂量,按照从简从优原则选择相应的IMRT计划。(2)比较IMRT、VMAT1和VMAT2靶区剂量学参数(HI、CI),并比较危及器官受照剂量。(3)比较IMRT、VMAT1和VMAT2的效率,包括机器跳数(MU)、治疗时间及计划优化时间。(4)展示CT-MR图像融合的效果图,分析IMRT、VMAT1和VMAT2计划的剂量分布图和DVH图。HI计算公式参考文献[10],CI计算公式参考文献[11-12]。

均匀性指数(HI)=(D<sub>2%</sub>-D<sub>98%</sub>)/D<sub>50%</sub>,式中D<sub>2%</sub>、D<sub>98%</sub>和D<sub>50%</sub>分别为2%、98%及50%的靶体积所接受的剂量,HI值越大说明靶区分布越不均匀,HI越接近0说明靶区剂量分布越均匀。根据ICRU83号报告,PTV最高剂量用D<sub>2%</sub>表示,PTV最小剂量用D<sub>98%</sub>表示。

适形度指数(CI)=(V<sub>T,ref</sub>/V<sub>T</sub>)×(V<sub>T,ref</sub>/V<sub>ref</sub>),式中V<sub>T</sub>为靶区的体积,V<sub>T,ref</sub>为参考等剂量线所包绕的靶区体积,V<sub>ref</sub>为参考等剂量线所包绕的所有区域的体积,这里的参考等剂量线取95%处方剂量线。

### 1.5 统计学方法

采用SPSS 20.0软件进行统计分析,3组计划间比较采用方差分析,各组方差齐时,每两组均数比较采用

LSD法;各组方差不齐时,选用Tamhane's  $T_2$ 法。 $P<0.05$ 为有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 CT-MRI 图像融合勾画靶区图示

CT-MRI 图像融合技术能较清晰显示肿瘤残留,有利于精准的靶区勾画,青色线勾画的为 GTV,紫色线勾画的是 CTV,而棕色线是外扩的 PTV,如图 1 所示。

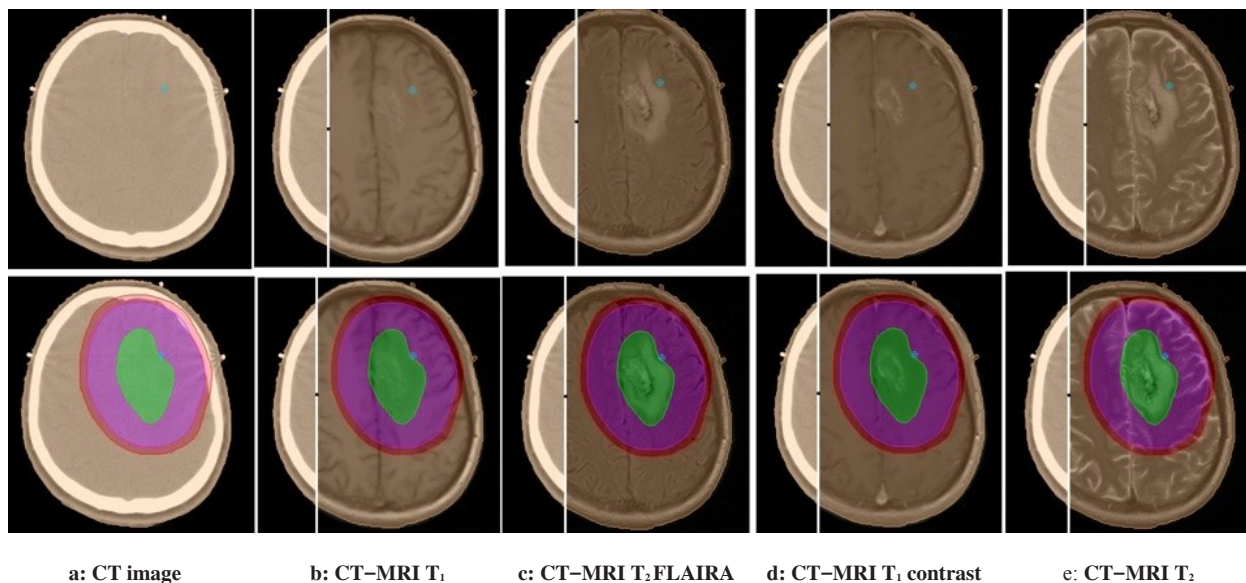


图1 CT-MR 图像融合勾画靶区

Fig.1 Delineated target areas using CT-magnetic resonance imaging (MRI) image fusion

### 2.2 不同射野数的 IMRT 计划剂量学参数比较

2.2.1 5、7、9 野 IMRT 计划间 PTV 剂量参数比较 如表 1 所示,其 PTV 相应的 CI 分别为  $0.617\pm0.076$ 、 $0.605\pm0.053$ 、 $0.616\pm0.074$ ,  $P=0.910$ ,表明不同射野数的 IMRT

计划 CI 没有统计学差异;3 组 IMRT 计划相应的 HI 分别为  $0.088\pm0.032$ 、 $0.082\pm0.035$ 、 $0.086\pm0.074$ ,  $P=0.915$ ,可见不同射野数的 IMRT 计划在 HI 上也没有统计学差异。

表1 5、7、9野IMRT计划间PTV剂量参数比较(Gy,  $\bar{x}\pm s$ )

Tab.1 Comparison of PTV dosimetric parameters among 5-, 7- and 9-field IMRT plans (Gy, Mean $\pm$ SD)

Parameter	5-field IMRT	7-field IMRT	9-field IMRT	P value
$D_{\max}$	$64.45\pm0.83$	$64.14\pm0.95$	$64.29\pm0.88$	0.744
$D_{\min}$	$59.02\pm1.48$	$59.10\pm15.05$	$58.98\pm14.62$	0.981
$D_{50\%}$	$61.92\pm0.41$	$61.75\pm0.46$	$61.74\pm0.47$	0.647

IMRT: Intensity-modulated radiotherapy

2.2.2 5、7、9 野 IMRT 计划间危及器官受量比较 由表 2 可见,不同射野数的 IMRT 计划的危及器官所受的最高剂量也没有统计学差异( $P>0.05$ )。

2.2.3 5、7、9 野 IMRT 计划的剂量分布图 从图 2 可见,3 组 IMRT 计划的等剂量曲线分布均较好,可将 PTV 适形包绕。

### 2.3 IMRT、VMAT1 和 VMAT2 计划比较

射野的数目及角度是设计 IMRT 计划需要考虑的重要因素,因此我们比较 5、7、9 射野数对应的 IMRT 计划剂量学参数,而对于 10 个以上射野的情况,因计划系统优化时间过长而未作进一步尝试。结果发现 5 野的 IMRT 计划可接受,增加射野数量并没有显著改善 IMRT 计划的质量。由于篇幅所限,以从简从优为原则,将每个病例的 5 野 IMRT 计划与单双弧 VMAT 计划进行比较。



表 2 5、7、9 野 IMRT 计划间危及器官受量比较(Gy,  $\bar{x} \pm s$ )

Tab.2 Comparison of OAR doses among 5-, 7- and 9-field IMRT plans (Gy,  $Mean \pm SD$ )

OAR	5-field IMRT	7-field IMRT	9-field IMRT	P value
BS	51.48±2.10	50.77±3.55	51.06±3.70	0.882
LenI	6.84±0.78	6.48±0.85	6.79±0.72	0.486
LenC	6.55±1.08	6.21±1.12	6.71±1.19	0.599
OptNI	28.96±17.84	29.29±17.53	29.76±17.12	0.995
OptNC	25.72±15.77	24.50±14.54	25.01±16.50	0.985
OptChi	36.21±16.03	36.89±16.42	37.60±15.68	0.981

OAR: Organs-at-risk; BS: Brainstem; LenI: Ipsilateral len; LenC: Contralateral len; OptNI: Ipsilateral optic nerve; OptNC: Contralateral optic nerve; OptChi: Optic chiasm

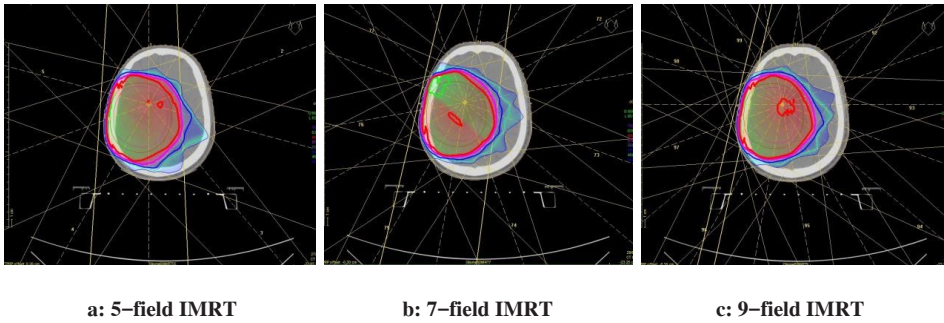


图 2 5、7、9 野 IMRT 计划的剂量分布图

Fig.2 Isodose distributions in 5-, 7- and 9-field IMRT plans

**2.3.1 5 野 IMRT、VMAT1 和 VMAT2 计划 PTV 剂量参数比较** 如表 3 所示,5 野 IMRT、VMAT1 和 VMAT2 计划靶区 CI 分别为  $0.617 \pm 0.076$ 、 $0.715 \pm 0.084$  和  $0.731 \pm 0.806$ , 3 组间有统计学差异 ( $P=0.007$ ); VMAT1 与 VMAT2

组相当( $P_{12}=0.660$ ),均好于 5 野 IMRT 组。3 组计划间的 HI、最高剂量、最小剂量和  $D_{95\%}$  均无统计学差异( $P>0.05$ ), 靶区的平均剂量和中位剂量,5 野 IMRT 组和 VMAT1 组相当,均较 VMAT2 组稍高。

表 3 5 野 IMRT、VMAT1 和 VMAT2 计划 PTV 剂量参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.3 Comparison of PTV dosimetric parameters among 5-field IMRT, VMAT1 and VMAT2 plans ( $Mean \pm SD$ )

Parameter	5-field IMRT	VMAT1	VMAT2	P value	$P_{11}$ value	$P_{12}$ value	$P_{12}$ value
$D_{max}/Gy$	$64.45 \pm 0.83$	$63.73 \pm 1.09$	$64.82 \pm 1.47$	0.070	0.870	0.109	0.138
$D_{min}/Gy$	$59.02 \pm 1.48$	$58.17 \pm 0.68$	$58.27 \pm 0.83$	0.630	0.382	0.442	0.914
$D_{mean}/Gy$	$61.99 \pm 0.48$	$61.92 \pm 0.30$	$61.46 \pm 0.46$	0.017	0.732	0.009	0.020
$D_{95\%}/Gy$	$59.82 \pm 0.86$	$59.22 \pm 1.40$	$59.28 \pm 1.56$	0.541	0.315	0.371	0.911
$D_{50\%}/Gy$	$61.92 \pm 0.41$	$61.81 \pm 0.39$	$61.37 \pm 0.53$	0.026	0.582	0.011	0.038
CI	$0.617 \pm 0.076$	$0.715 \pm 0.084$	$0.731 \pm 0.806$	0.007	0.011	0.004	0.660
HI	$0.088 \pm 0.032$	$0.108 \pm 0.057$	$0.089 \pm 0.052$	0.589	0.359	0.944	0.397

VMAT1: Single-arc volumetric modulated arc therapy; VMAT2: Double-arc volumetric modulated arc therapy; CI: Conformity index; HI: Homogeneity index; P value: 5-field IMRT vs VMAT1 vs VMAT2;  $P_{11}$  value: 5-field IMRT vs VMAT1;  $P_{12}$  value: 5-field IMRT vs VMAT2;  $P_{12}$  value: VMAT1 vs VMAT2

2.3.2 5野IMRT、VMAT1和VMAT2计划的危及器官受量比较 3组计划的脑干、同侧晶体、对侧晶体、同侧视神经、对侧视神经和视交叉的最高受照剂量均

无统计学差异( $P>0.05$ ),组间两两比较也无统计学差异( $P>0.05$ ),见表4。

表4 5野IMRT、VMAT1和VMAT2计划的危及器官受量比较(Gy,  $\bar{x}\pm s$ )  
Tab.4 Comparison of OAR doses among 5-field IMRT, VMAT1 and VMAT2 plans (Gy,  $Mean\pm SD$ )

OAR	5-field IMRT	VMAT1	VMAT2	P value	$P_{11}$ value	$P_{12}$ value	$P_{12}$ value
BS	51.48±2.10	51.88±1.07	51.40±1.23	0.756	0.568	0.899	0.486
LenI	6.84±0.78	6.45±0.57	6.53±0.64	0.948	0.201	0.317	0.773
LenC	6.55±1.08	5.82±0.98	6.18±0.95	0.230	0.089	0.394	0.378
OptNI	28.96±17.84	26.04±17.82	29.35±16.61	0.898	0.711	0.961	0.674
OptNC	25.72±15.77	21.28±11.10	23.67±10.77	0.741	0.443	0.722	0.679
OptChi	36.21±16.03	38.71±13.69	38.76±13.89	0.905	0.705	0.699	0.994

2.3.3 5野IMRT、VMAT1和VMAT2计划MU、优化时间和治疗时间比较 如表5所示,5野IMRT、VMAT1和VMAT2计划的MU,3组计划间有统计学差异,VMAT1组MU最少,其次是5野IMRT,VMAT2组最多;相应地,治疗时间方面,VMAT1组最具优势,5野IMRT组次之,VMAT2组治疗时间最长,3组间有统

计学差异( $P=0.000$ ),VMAT1比5野IMRT更快( $P_{11}=0.008$ )。值得注意的是,本研究的治疗时间不包括摆位时间,但包括出束时间和机架旋转时间。3组计划间优化时间有显著性差异,5野IMRT组需要的时间最短,VMAT2组需要的时间最长( $P=0.000$ )。

表5 5野IMRT、VMAT1和VMAT2计划机器跳数、优化时间和治疗时间比较  
Tab.5 Comparison of monitor units, optimizing time, treatment time among 5-field IMRT, VMAT1 and VMAT2 plans

Parameter	5-field IMRT	VMAT1	VMAT2	P value	$P_{11}$ value	$P_{12}$ value	$P_{12}$ value
Monitor units/MU	408±82	388±78	579±186	0.004	0.930	0.060	0.034
Optimizing time/min	7.3±2.4	18.4±2.9	31.2±3.2	0.000	0.000	0.000	0.000
Treatment time/min	4.8±0.4	3.7±0.5	6.3±1.3	0.000	0.008	0.000	0.000

2.3.4 5野IMRT、VMAT1和VMAT2计划的剂量分布 图3组计划的剂量分布见图3,3组计划DVH见图

4,可见3组计划均满足98%的PTV包含在95%等剂量曲线内。

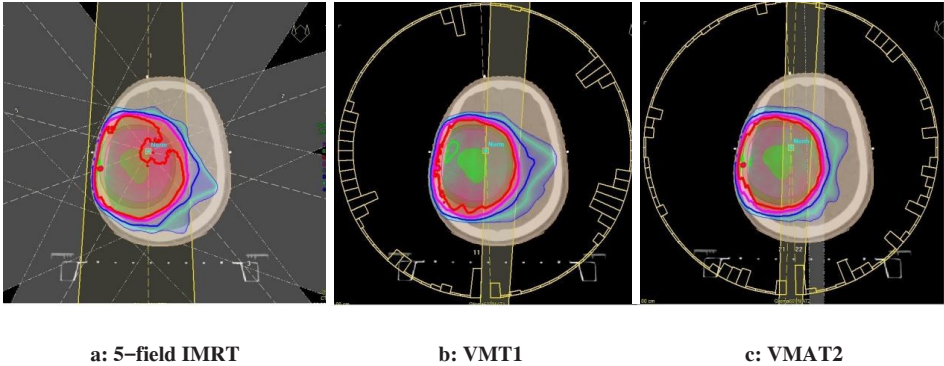


图3 5野IMRT、VMAT1和VMAT2计划的剂量分布图  
Fig.3 Isodose distributions in 5-field IMRT, VMAT1 and VMAT2 plans

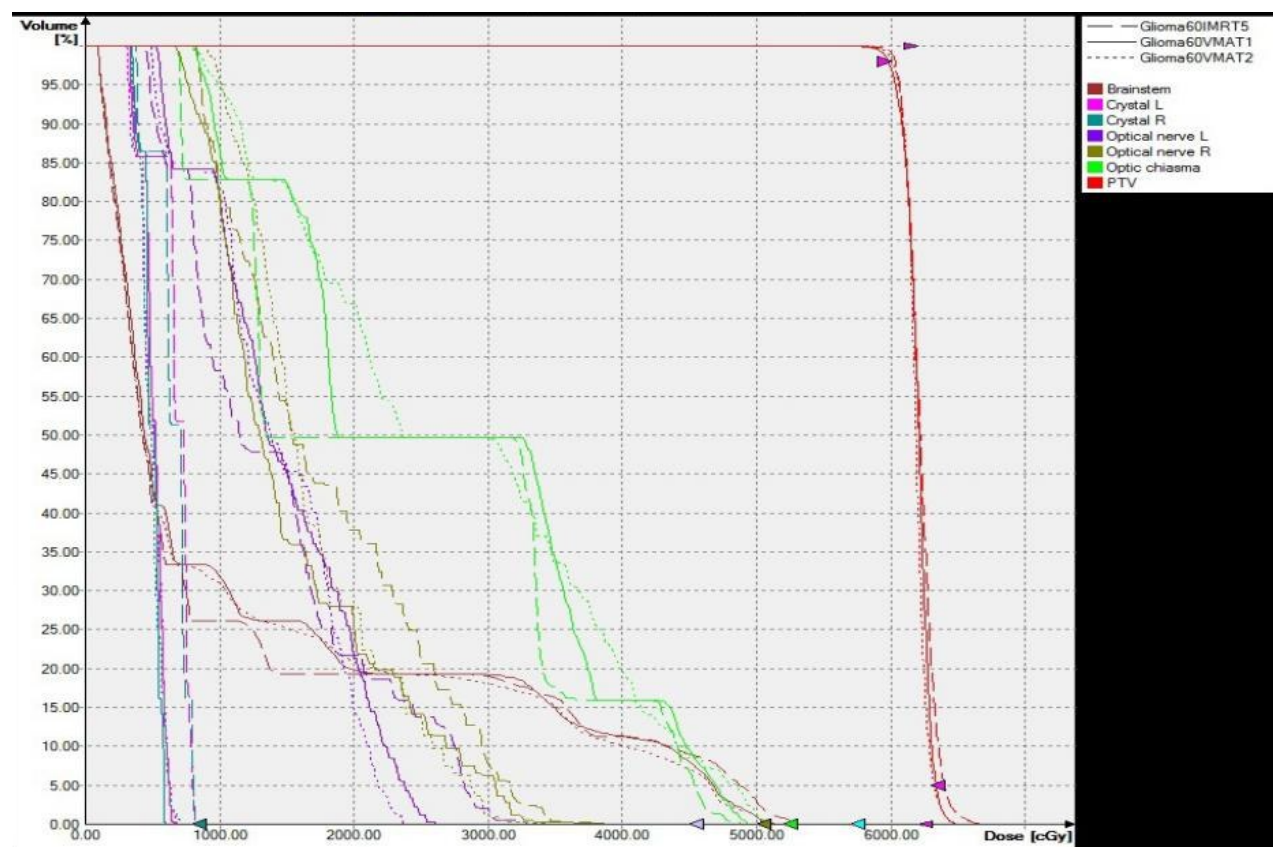


图4 5野IMRT、VMAT1和VMAT2计划的DVH图

Fig.4 Dose volume histogram of 5-field IMRT, VMAT1 and VMAT2 plans

### 3 讨论

HGG 异形性显著、恶性程度高,单纯手术后复发率较高,因此术后需要配合放化疗以提高疗效<sup>[13]</sup>。欧洲癌症研究治疗组织(EORTC)和加拿大国立癌症研究院(NCIC)的大规模Ⅲ期临床试验证实,替莫唑胺(TMZ)联合同步放疗,继以6周期TMZ辅助化疗可延长患者生存期,2年生存率由10.4%提高到26.5%<sup>[14-15]</sup>。手术后TMZ同步放疗联合辅助化疗已成为HGG标准治疗方案。

放射治疗是HGG综合治疗中不可缺少的重要手段。随着计算机技术的发展和医学影像技术及其与放射治疗的有机结合,放疗技术的发展不断完善,近年新推出的VMAT技术逐渐得到应用,已经投入临床使用的有Varian RapidArc和Elekta VMAT。VMAT的特点是在照射过程中机架连续旋转,多叶准直器连续运动,剂量率连续变化,通过机架多弧或单弧旋转,实现不同射野方向上的射束强度调整<sup>[16-18]</sup>。目前,三维适形放疗(3DCRT)、IMRT和VMAT等先进放疗技术在临床上得到普遍应用。Stieber等<sup>[19]</sup>指出与3DCRT相比,IMRT能使靶区剂量高度适形,在提高靶区剂量的同时减少周围正常组织的受照剂量。但IMRT的不足在于子野数

多,治疗时间长,以及治疗期间患者的不舒适、不自主运动造成位置偏差增加,最终导致靶区生物剂量降低。VMAT技术具备实现最优计划质量和实施效率的潜力,有望进一步弥补IMRT的不足。

Shaffer等<sup>[7]</sup>对10例额颞叶HGG患者进行VMAT与IMRT技术的比较,结果显示VMAT的PTV覆盖率、CI和HI与IMRT相当,但VMAT可降低视网膜、晶体和对侧视神经的最高剂量和平均剂量,减少MU和放疗时间。本研究通过对比10例HGG术后患者IMRT和VMAT计划的差异,同时比较单弧VMAT与双弧VMAT间的差异,旨在探讨VMAT技术在HGG中应用的可行性和优劣性。结果发现,单、双弧VMAT计划的靶区CI均好于IMRT,但单、双弧VMAT间无统计学差异。这结果与Lee等<sup>[20]</sup>的研究结果一致,但也有研究<sup>[8, 14-15]</sup>显示VMAT的靶区CI与IMRT相当。这是否与我们在IMRT技术中选用野数(5野)较少有关,有待进一步论证。与Rao等<sup>[17]</sup>报道不同的是本研究还发现单弧VMAT计划的MU与IMRT计划相当,但治疗时间短;双弧VMAT计划的MU多、治疗时间长。这可能跟我们所有计划采用机架自动旋转功能,治疗时间包括出束时间和机架旋转时间,以及IMRT技术选用野数较少有关。我们采



用5野IMRT计划原因有:(1)经研究发现5、7、9野的IMRT计划在靶区剂量分布和危及器官保护方面没有显著性差异,效果相似的情况下从简从优。(2)现行的IMRT放疗收费标准是按野数多少收取费用,IMRT野数少能减轻患者的经济负担,具有显著社会意义。(3)单弧VMAT比5野IMRT治疗时间还短,不难推理单弧VMAT比7野和9野的IMRT更加具有效率优势。在不同放疗计划优化时间方面,IMRT组需要的时间最短,双弧VMAT组需要的时间最长,这一结论跟多个文献<sup>[7,12,17]</sup>报道的一致。

VMAT技术是在普通IMRT技术上发展而来,机架、准直器、剂量率在治疗过程中可调,要求有力的质量控制和质量保证。首先靶区勾画需更精准。本研究应用图像融合技术,参考最新NCCN指南,由临床经验丰富的医生勾画和审核,保证靶区的精确和科学性。多项研究表明图像融合技术可提高脑瘤靶区勾画的准确性<sup>[21-22]</sup>。其次计划设计和参数设计合理。本研究对PTV与危及器官重叠的区域独立勾画及给予优化参数,较合理地在靶区和危及器官之间取得平衡。再次利用Compass三维验证系统对计划进行剂量和角度验证,有力保证计划执行的可行性和安全性。最后CBCT保证了患者摆位的准确性和重复性。

本研究的CI较其他的文献报道<sup>[11]</sup>稍低,这可能与采用目前常用的目标95%体积接受处方剂量有关。如果用ICRU 83号报告<sup>[10]</sup>所推荐的在IMRT计划中用D<sub>50%</sub>代表处方剂量,可能可以提高CI。在宫颈癌中的报道用新标准可使受照剂量减少4%<sup>[23]</sup>。我们发现VMAT技术能有效提高靶区的CI,但多增加弧数量并不能进一步提高此指数,并且会导致MU和治疗时间增加,从而失去VMAT高效治疗的优势。也就是说对于HGG,单弧VMAT计划较IMRT兼有剂量学和效率的优势,而双弧或双弧以上可能仅具剂量学优势,因此除非个别复杂病例,不建议增加弧数量。这与Davidson等<sup>[8]</sup>研究结果一致。本研究较张矛等<sup>[12]</sup>改进了靶区勾画方法,应用CT-MR图像融合技术,对不同野数的IMRT作了分析和选择,新增治疗时间的测量,并且将单双弧分别研究,更完善IMRT与VMAT比较。

综上所述,在HGG放疗中,5野IMRT能较好满足临床要求,增加射野数量,在靶区剂量与正常组织保护方面并未显示出进一步的优势。与5野IMRT相比,VMAT计划优化时间稍长,但此技术能改善高剂量在靶区的CI,单弧VMAT能缩短治疗时间,提高治疗效率。从本研究结果来看,增加VMAT的弧数并

未显著提高靶区CI和HI,在危及器官受量方面也未显示出明显优势,但增加MU、优化时间和治疗时间。因此在HGG放疗中,建议使用单弧VMAT。鉴于VMAT技术在HGG放疗中应用的时间尚短,其在剂量学和治疗效率上的优势能否转化为提高疗效、减少毒副反应等临床获益,还有待于进一步观察和研究。

## 【参考文献】

- [1] NABORS L B, PORTNOW J, AMMIRATI M, et al. Central nervous system cancers, version 1.2015[J]. J Natl Compr Canc Netw, 2015, 13(10): 1191-1202.
- [2] COHEN N, WELLER R O. WHO classification of tumours of the central nervous system (4th edition)[J]. Neuropathol Appl Neurobiol, 2007, 33(6): 710-711.
- [3] 《中国中枢神经系统胶质瘤诊断和治疗指南》编写组. 中国中枢神经系统胶质瘤诊断与治疗指南(2015)[J]. 中华医学杂志, 2016, 96(7): 485-509.  
Compile group of guidelines for the diagnosis and treatment of central nervous system gliomas in China. Guidelines for the diagnosis and treatment of central nervous system gliomas in China (2015)[J]. National Medical Journal of China, 2016, 96(7): 485-509.
- [4] PASLER M, GEORG D, WIRTZ H, et al. Effect of photon-beam energy on VMAT and IMRT treatment plan quality and dosimetric accuracy for advanced prostate cancer[J]. Strahlenther Onkol, 2011, 187(12): 792-798.
- [5] GROSU A L. VMAT and step-and-shoot IMRT in head and neck cancer: a comparative plan analysis[J]. Strahlenther Onkol, 2011, 187(12): 820-825.
- [6] STIELER F, WOLFF D, BAUER L, et al. Reirradiation of spinal column metastases: comparison of several treatment techniques and dosimetric validation for the use of VMAT[J]. Strahlenther Onkol, 2011, 187(7): 406-415.
- [7] SHAFFER R, NICHOL A M, VOLLANS E. A comparison of volumetric modulated arc therapy and conventional intensity-modulated radiotherapy for frontal and temporal high-grade gliomas[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 76(4): 1177-1184.
- [8] DAVIDSON M T, MASUCCI G L, FOLLWELL M, et al. Single arc volumetric modulated arc therapy for complex brain gliomas: is there an advantage as compared to intensity modulated radiotherapy or by adding a partial arc?[J]. Technol Cancer Res Treat, 2012, 11(3): 211-220.
- [9] CANYILMAZ E, USLU G D, COLAK F, et al. Comparison of dose distributions hippocampus in high grade gliomas irradiation with linac-based IMRT and volumetric arc therapy: a dosimetric study[J]. Springer Plus, 2015, 4(1): 114-121.
- [10] HODAPP N. The ICRU Report 83: prescribing, recording and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT)[J]. Strahlenther Onkol, 2012, 188(1): 97-99.
- [11] PANET-RAYMOND V, ANSBACHER W, ZAVGORODNI S, et al. Coplanar versus noncoplanar intensity-modulated radiation therapy (IMRT) and volumetric-modulated arc therapy (VMAT) treatment planning for fronto-temporal high-grade glioma[J]. J Appl Clin Med Phys, 2012, 13(4): 44-53.

(下转752页)