

多叶准直器叶片宽度对容积旋转调强放疗剂量分布的影响

张国峰¹, 全红¹, 张俊², 胡军³, 唐焱³

1. 武汉大学物理科学与技术学院, 湖北 武汉 430072; 2. 武汉大学中南医院放疗科, 湖北 武汉 430071; 3. 克拉玛依市中心医院血液肿瘤科, 新疆 克拉玛依 834000

【摘要】目的:研究多叶准直器(MLC)叶片宽度在容积旋转调强放疗(VMAT)中对剂量分布的影响。**方法:**选取头部肿瘤患者12例,划分成大靶区体积(脑胶质瘤)组和小靶区体积(垂体瘤)组。在Eclipse治疗计划系统中,对每例患者使用相同的剂量学限制条件,并将肿瘤靶区置于窄MLC叶片(5 mm)区和宽MLC叶片(10 mm)区,分别制定两个VMAT治疗计划。通过计算对比剂量分布图和剂量学指标,分析MLC叶片宽度对不同靶区体积肿瘤剂量分布的影响。**结果:**无论是大体积靶区肿瘤还是小体积靶区肿瘤,使用较窄的MLC叶片都可以改善剂量学指标,但这种改进不具有统计学差异($P>0.05$)。而对于给定宽度(5 mm或10 mm)的MLC叶片,大体积靶区肿瘤组的VMAT治疗计划剂量学指标优于小体积靶区肿瘤组,并且具有统计学差异($P<0.05$);另一方面,随着肿瘤体积的减小,剂量学指标的改进率明显提高。**结论:**VMAT放疗技术可以改善剂量学指标,并且能够有效减小MLC叶片宽度对剂量分布的影响;靶区体积的大小是影响VMAT治疗计划剂量学指标改进率的重要因素。在VMAT临床应用中,应根据肿瘤靶区体积大小及其与危及器官的位置关系,合理选择MLC叶片厚度以达到最佳疗效。

【关键词】多叶准直器;容积旋转调强放疗;靶区体积;剂量学指标

【中图分类号】R815.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)11-1081-05

Effect of different leaf widths of multileaf collimator on the dosimetric distribution of volumetric modulated arc therapy

ZHANG Guofeng¹, QUAN Hong¹, ZHANG Jun², HU Jun³, TANG Yan³

1. School of Physics and Technology, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Department of Radiation Oncology, Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan 430071, China; 3. Department of Hematology and Oncology, Karamay Centre Hospital, Karamay 834000, China

Abstract: Objective To investigate the dosimetric effect of different leaf widths of multileaf collimator (MLC) in the volumetric modulated arc therapy (VMAT) for small- and big-volume targets. **Methods** Twelve selected patients with tumor in the head were divided into big-volume target group (glioma) and small-volume target group (pituitary tumor). With the same dose constraints in the Eclipse treatment planning system, planning target volume (PTV) was located in the narrow- and wide-leaf area (5 and 10 mm, respectively) of MLC, respectively, and two VMAT plans were designed for each patient. The dosimetric distribution and dosimetric index were calculated and compared to analyze the effect of different leaf widths of MLC on the dosimetric distribution of the VMAT for small- and big-volume targets. **Results** Although the narrow-leaf MLC resulted in better dosimetric index in both small- and big-volume targets, the improvement was not statistically significant ($P>0.05$). Using the MLC with certain leaf width (5 or 10 mm), the big-volume target group showed better dosimetric index than the other group, with statistical differences ($P<0.05$). With the reduction of target volume, the improvement ratio of dosimetric index increased significantly. **Conclusion** VMAT improves dosimetric index and reduces the effect of leaf width of MLC on dosimetric distribution. Target volume is the important factor affecting the improvement ratio of dosimetric index in VMAT plan. Tumor target volume and the position in relation to organs at risk should be taken into consideration in clinical practice to decide the optimal leaf width of MLC.

Keywords: multileaf collimator; volumetric modulated arc therapy; target volume; dosimetric index

【收稿日期】2016-09-22

【基金项目】国家自然科学基金(10875092);湖北省自然科学基金(2012FKB04449)

【作者简介】张国峰,在读硕士研究生,E-mail: gzfzhang@ustc.edu.cn

【通信作者】全红,副教授、博士生导师,研究方向:医学物理与核磁共振成像,E-mail: csc6606@sina.com

前言

容积弧形旋转调强(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)是结合调强放疗(Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT)与图像引导(Image-Guided Radiotherapy, IGRT),全动态出束的精确放疗技术,此技术由Otto^[1]在2007年首次提出。在治疗过程中,机架的角度和速度、准直器角度、多叶准直器(Multi-leaf Collimator, MLC)位置、剂量率同时运转。与常规IMRT相比,VMAT在增加靶区适形度、降低周围正常器官受照的同时,缩短了治疗时间、提高了靶区生物剂量;VMAT技术正成为治疗中枢神经系统肿瘤的一个重要手段,能有效降低中枢神经系统肿瘤的复发率^[2-4]。已有大量文献^[5-8]研究了在三维适形放疗(Three Dimensional Conformal Radiation Therapy, 3DCRT)和IMRT中,不同MLC叶片宽度对剂量分布的影响。在IMRT放疗过程中,通过增加照射野数目及采用较窄的叶片,可以提高剂量分布的质量^[9-10],但当照射野数目超过11个时,计划质量不会得到显著改善。无论是在IMRT还是VMAT中,MLC都是调节剂量分布的重要工具。MLC叶片宽度对于治疗计划的影响可能与靶区体积和形状有关,本文对在VMAT放疗中MLC叶片宽度对大小体积靶区肿瘤的剂量学影响进行研究。

1 材料与方法

1.1 一般材料

选取2012年3月~2015年6月期间接受VMAT放射治疗的颅内肿瘤患者12例。其中脑胶质瘤6例,靶区半径为 (7.94 ± 1.71) mm;垂体瘤6例,靶区半径为 (3.72 ± 0.28) mm。女性4例,男性8例,年龄36~66岁,中位年龄51.5岁。全部病例的PTV都至少接近一个危及器官。

1.2 模拟定位及靶区勾画

所有患者均取仰卧位,头枕型号B,用热塑头膜固定。用GE公司的Light speed Plus 16排螺旋CT进行扫描,范围为头顶上1 cm至颅底下5 cm,扫描层厚2.5 mm。图像传至瓦里安公司的Eclipse工作站,并由同一位资深放疗肿瘤医师勾画靶区和危及器官。CTV外放5 mm形成PTV,危及器官包括晶体、视交叉、视神经、脑干及正常脑组织等。

1.3 治疗计划设计

使用美国瓦里安公司的直线加速器,选6 MV光子能量并分别将PTV置于MLC的窄叶片(5 mm)区

和宽叶片(10 mm)区,制定2个VMAT计划。所有计划都采用双弧技术:第一弧为顺时针旋转($181^\circ \sim 179^\circ$),准直器角度为 30° ;第二弧为逆时针旋转($179^\circ \sim 181^\circ$),准直器角度为 330° ;峰值剂量率为600 MU/min。剂量计算选用各向异性分析(Anisotropic Analytical Algorithm, AAA)模型,VMAT计划优化采用PRO(Progressive Resolution Optimization)优化算法。

每个计划的优化目标和约束条件都保持一致:处方剂量为60 Gy/30 f,剂量归一设定为至少95%的PTV体积达到100%的处方剂量,PTV的平均计量要求小于104%,最大剂量小于110%。危及器官剂量限量为:视神经、视交叉和脑干最大剂量小于50 Gy,眼睛的最大剂量小于40 Gy,晶体的最大剂量小于10 Gy。所有计划都在保证PTV充分受照的同时,尽可能降低危及器官的受照剂量。

1.4 治疗计划评估

通过对比分析等剂量分布图、剂量学指标以及治疗机器跳数(MU),对不同计划的质量进行评估。剂量学指标包括适形度指标(Conformity Index, CI)^[11]、正常组织保护指数(Normal-Tissue Protect Factor, NTPF)、靶区剂量均匀性指数(Homogeneous Index, HI)和剂量梯度指数(Gradient Index, GI)^[12]。

$CI = (PTV_{ref}/V_{ptv}) \times (PTV_{ref}/V_{ref})$,式中 PTV_{ref} 为参考等剂量(本文取95%)面所包裹的PTV靶区体积, V_{ptv} 为PTV靶区总体积, V_{ref} 等为剂量面所包裹的总体积。CI的范围为0~1,其值越大,则适形度越好。

$NTPF = PTV/V_{50}$,式中PTV为计划靶区,为50%的处方剂量所覆盖的总体积。NTPF的范围为0~1,其值越大,则对正常组织的保护越好。

$HI = D_{5\%}/D_{95\%}$,式中 $D_{5\%}$ 和 $D_{95\%}$ 分别为5%和95%的靶体积所受到的照射剂量。HI的范围为1~ ∞ ,其值越小越接近1,则靶区的剂量分布越均匀。

$GI = V_{50}/PTV_{PIS}$,式中 V_{50} 为50%处方剂量所覆盖的体积,PTV_{PIS}为处方剂量等剂量面所包裹的PTV靶区体积。GI的范围为1~ ∞ ,其值越小,则靶区外的剂量跌落程度越大,剂量的利用效率就越高。

计划改进率 Improvement Ratio (IR) = $(Index_B - Index_A)/Index_A$,用于评估A、B两个治疗计划剂量学指标的改进程度。

1.5 统计学处理

所有数据都录入Excel并进行统计计算。根据肿瘤靶区体积大小,将病例划分为大靶区体积组和小靶区体积组。计量资料采用均数 \pm 标准差表示;组间比对采用配对样本 t 检验, $P < 0.05$ 时,差异具有显

著统计学意义。

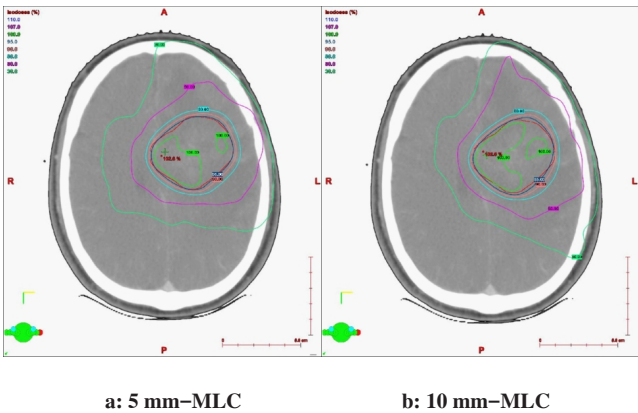
2 结 果

2.1 肿瘤靶区及周围正常组织的剂量分布

图 1 为 VMAT 的等剂量分布图,图 1a 是 5 mm-MLC 组计划,图 1b 是 10 mm-MLC 组计划。图中红线为 PTV 横断面切线,深蓝色线为 95%等剂量曲线,两者几乎重合。靶区内部的绿线为 100%等剂量线,外部的紫线和浅绿色线分别为 50%和 30%等剂量曲线。50%等剂量面包含的体积分别为 263.04 cc 和 283.02 cc,30%等剂量面包含的体积分别为 534.88 cc 和 538.24 cc。如图 1 所示,对同一靶区,采用 5 mm-MLC 和 10 mm-MLC 的两组 VMAT 计划都达到了临床要求,5 mm-MLC 计划对剂量分布的改进不明显。

2.2 VMAT 治疗计划的 MU 及剂量学指数

在给定靶区体积(大靶区体积或小靶区体积)的前提下,使用较窄的 MLC 叶片(5 mm)能改进剂量学指数,并且能降低 MU,见表 1。对于大靶区体积组,因采用 5 mm-MLC 叶片所带来的平均剂量学指标改进率为 6.24%;小靶区体积组为 8.51%。经双样本 *t* 检验,采用窄 MLC 叶片所产生的剂量学指数的改进和 MU 的减少,都不具有统计学差异,如表 2 所示。实际比对的 *P* 值范围为 0.06~0.71。



MLC: Multileaf collimator; VMAT: Volumetric modulated arc therapy

图 1 同一病例的两个 VMAT 计划的等剂量分布图
Fig.1 Isodose distribution of two VMAT plans for the same case

在给定 MLC 叶片宽度(5 mm 或 10 mm)的前提下,大靶区体积组的剂量学指标要优于小靶区体积组,见表 1,并且其所需的 MU 亦小于小靶区组。对于 5 mm-MLC 组,因靶区体积大所带来的平均剂量学指标改进率为 49.58%;10 mm-MLC 组为 53.37%。经双样本 *t* 检验,因靶区体积较大所带来的剂量学指数的改进和 MU 的减少,都具有统计学差异,如表 2 所示,实际比对的 *P* 值范围为 0.001~0.05。

表 1 不同 MLC 叶片宽度和靶区体积的 VMAT 计划剂量学指标及其改进率					
Tab.1 Dosimetric index and the improvement ratio according to the leaf width of MLC and target volume in VMAT plan					
Group		10 mm-MLC	5 mm-MLC	IR/%	<i>P</i> value
BVT	CI	0.86±0.03	0.89±0.02	4.60±2.23	0.009 3
	NTPF	0.38±0.04	0.41±0.05	8.23±2.04	0.283 7
	HI	1.09±0.01	1.06±0.01	-2.34±0.05	0.000 5
	GI	2.79±0.35	2.56±0.35	-9.11±1.95	0.277 9
	MU	332.67±26.95	338.50±24.95	—	0.705 4
SVT	CI	0.76±0.06	0.83±0.05	8.57±1.28	0.066 3
	NTPF	0.19±0.03	0.21±0.04	11.86±6.23	0.246 2
	HI	1.09±0.02	1.08±0.02	-0.64±1.79	0.505 2
	GI	5.58±0.71	5.06±0.87	-10.96±7.17	0.288 0
	MU	570.17±82.58	535.00±69.06	—	0.442 2

BVT: Big-volume target group; SVT: Small-volume target group; CI: Conformity index; NTPF: Normal-tissue protect factor; HI: Homogeneous index; GI: Gradient index; MU: Monitor unit

表2 统计分析大小靶区体积间以及宽窄MLC叶片间治疗计划的剂量学指标差异
Tab.2 Statistical analysis of the dosimetric index between big-small targets and wide-narrow leaf widths of MLC

Item		CI	NTPF	HI	GI	MU
BVT vs SVT	10 mm-MLC	0.003 2*	0.000 1*	0.049 8	0.000 1*	0.000 3*
	5 mm-MLC	0.012 7*	0.000 2*	0.045 6	0.000 1*	0.000 1*
10 mm-MLC vs 5 mm-MLC	BVT	0.059 3	0.287 3	0.083 5	0.277 9	0.705 4
	SVT	0.066 3	0.246 2	0.505 2	0.288 0	0.442 2

* denoted $P<0.05$.

2.3 CI和NTPF的改进率与靶区体积的关系

如图2所示,圆圈表示CI改进率,三角形表示NTPF改进率。根据最小二乘法拟合出改进率的趋势线,实线为CI改进率的趋势变化,虚线为NTPF改进率的趋势线。随着靶区体积的增加,CI改进率逐渐变小,且变化趋势变得平缓(红实线的斜率趋于零),NTPF改进率随靶区体积的变化趋势与此类同。

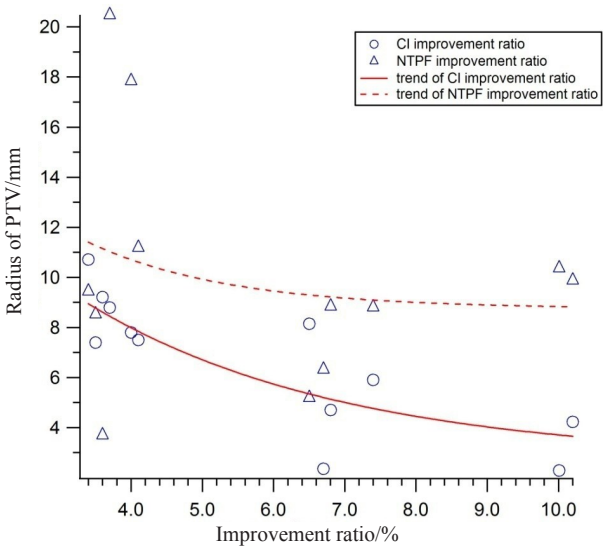


图2 靶区适形度和正常组织保护指数改进率的变化趋势

Fig.2 Trend of CI and NTP improvement ratio according to the radius of planning target volume (PTV)

3 讨论

MLC在调强放疗中发挥着重要作用,它已成为Elekta、Varian、Siemens等先进医用直线加速器的标准配置^[13]。各大公司在IMRT基础上相继推出了自己的VMAT系统:Varian的RapidArc、Elekta的ElektaV-MAT、Phillips的SmartArc。作为调强放疗技术的延伸,VMAT技术的实施同样离不开MLC。

MLC叶片宽度对剂量分布的影响与采用不同的放疗技术密切相关,窄叶片在3D-CRT中对剂量分布的改进要远大于其在IMRT中所带来的改进^[7, 14]。Burmeister等^[15]对比了在IMRT中5 mm和10 mm叶片对剂量分布的影响, D_{min} 、 D_{max} 和 D_{mean} 均无显著差异,但是5 mm-MLC有更多的MU,从而剂量利用率较低。本研究中,我们对比了在VMAT中5 mm和10 mm叶片对剂量分布的影响,发现剂量学指标无显著差异,同时MU也无显著差异。这表明,放疗技术越是精细和复杂,其对MLC叶片宽度的依赖就越小,剂量分布及利用率越不受叶片宽度的影响。

放疗计划的目标是在使肿瘤靶区受到处方剂量照射的同时,使危及器官尽可能少地或者不受到照射。由于这对矛盾的存在,放疗技术和肿瘤本身的特性将决定放疗计划可能改进的最大限度。本研究中,我们对比了在给定的MLC叶片宽度下采用VMAT放疗,大小肿瘤靶区对剂量分布的影响,结果显示大靶区肿瘤计划的剂量学指标均优于小靶区肿瘤,且差异具有统计学意义,当然这个结果跟靶区体积的显著差异有关,因此,我们又对5 mm-MLC的计划改进率(CI和NTPF)与靶区体积的关系做了研究,随着靶区体积的减小,改进率骤增,而随着靶区体积的增大,改进率缓慢下降;这表明了小叶片MLC在治疗小靶区体积肿瘤中的优势。

综上所述,VMAT放疗技术减少了MLC叶片宽度对剂量分布的影响,VMAT所具有的较高的剂量利用率在5 mm-MLC和10 mm-MLC计划中并无显著差异。相比于宽叶片,窄叶片对VMAT计划质量的改进主要体现在靶区较小的肿瘤上,肿瘤体积越小,改进的空间就越大。体积较小、形状复杂的靶区是影响VMAT计划质量的一个重要因素。在实际临床应用,除了要考虑所使用的放疗技术、肿瘤的位置与体积之外,还应考虑MLC的QA\QC等因素,合理

选择MLC叶片宽度对患者实施放疗,从而达到最佳的治疗效果。

致谢:感谢医科达(上海)医疗器械有限公司科研基金的支持!

【参考文献】

- [1] OTTO K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc[J]. Med Phys, 2008, 35(1): 310-317.
- [2] BERTELSEN A, HANSEN C R. Single arc volumetric modulated arc therapy of head and neck cancer[J]. Radiother Oncol, 2010, 95(2): 142-148.
- [3] 申 芹, 陈念先, 李光俊. 容积旋转调强放射治疗技术在头颈部肿瘤的应用[J]. 华西医学, 2016, 31(9): 1614-1617.
- SHEN Q, CHEN N X, LI G J. Application of volumetric modulated arc therapy for head and neck tumors[J]. West China Medical Journal, 2016, 31(9): 1614-1617.
- [4] JEONG Y, LEE S W, KWAK J, et al. A dosimetric comparison of VMAT and non-coplanar IMRT for nasal cavity and paranasal sinus cancer[J]. Radiat Oncol, 2014, 30(9): 193.
- [5] WU Q, MOHAN R, STEIN J, et al. The impact of leaf width of MLC on intensity-modulated 3DCRT of prostate[J]. Med Phys, 1996, 23(4): 1170.
- [6] LEAL A, SANCHEZ-DOBLADO F, ARRANS R, et al. MLC leaf width impact on the clinical dose distribution: A monte carlo approach[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2004, 59(5): 1548-1559.
- [7] JIN J Y, YIN F F, RYU S, et al. Dosimetric studying using different leaf-width MLCs for treatment planning of sliding window conformal arcs and intensity-modulated radiosurgery[J]. Med Phys, 2005, 32(2): 405-411.
- [8] NILL S, TUCKING T, MUNTER M W, et al. Intensity modulated radiation therapy with multileaf collimators of different leaf widths: a comparison of achievable dose distributions [J]. Radiother Oncol, 2005, 75(1): 106-111.
- [9] BORTFELD T, OELFKE U, NILL S. What is the optimum leaf width of a multileaf collimator[J]. Med Phys, 2000, 27(11): 2494-2502.
- [10] POPPLE R A, FIVEASH J B, BREZOVICH I A. Effect of beam number on organ-at-risk sparing in dynamic multileaf collimator of IMRT[J]. Med Phys, 2007, 34(10): 3752-3759.
- [11] ZHU X R, PRADO K, LIU H H, et al. Intensity-modulated radiation therapy for mesothelioma: impact of multileaf collimator leaf width and pencil beam on planning quality and delivery [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 62(5): 1525-1534.
- [12] PADDLCK I, LIPPITZ B. A simple dose gradient measurement tool to complement the conformity index [J]. J Neurosurg, 2006, 105(Suppl): 194-201.
- [13] 崔伟杰, 戴建荣. 多叶准直器的结构设计[J]. 医学装备, 2009, 22(1): 4-9.
- CUI W J, DAI J R. The configuration designs for multileaf collimators[J]. Medical Equipment, 2009, 22(1): 4-9.
- [14] DVORAK P, GEORG D, KROUPA B, et al. Impact of IMRT and leaf width on stereotactic body radiotherapy of liver and lung lesion [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 61(5): 1572-1581.
- [15] BURMEISTER J, MCDERMOTT P N, BOSSENBERGER T, et al. Effect of MLC leaf width on the planning and delivery of SMLC IMRT using the CORVUS inverse treatment planning system[J]. Med Phys, 2004, 31(12): 3187-3193.

(编辑:薛泽玲)