

容积调强放射治疗多叶准直器质量保证方法

石锦平^{1,2}, 石俊田³, 何宝贞⁴, 滕建建^{1,2}, 谢秋英^{1,2}, 张利文^{1,2}, 莫怡杏^{1,2}

1. 中山大学附属佛山医院, 广东 佛山 528000; 2. 佛山市第一人民医院肿瘤中心放疗科, 广东 佛山 528000; 3. 中山大学孙逸仙纪念医院放疗科, 广东 广州 510120; 4. 肇庆市第一人民医院肿瘤科, 广东 肇庆 526000

【摘要】目的:研究容积调强放射治疗模式下多叶准直器质量保证的方法。**方法:**检测容积调强多叶准直器(Multileaf Collimator, MLC)叶片运动到位精度,分析RapidArc在不同条件下MLC误差变化。选取6例直肠癌容积调强病人,自编软件采集MLC治疗日志文件,读取实际治疗时每条弧各个控制点的MLC各个叶片的位置,代替计划文件中的叶片位置信息,重新导入治疗计划系统并进行三维剂量重建。与治疗计划比较,分析叶片位置误差及其导致的剂量学差别。**结果:**MLC的到位精确度分析显示,各分次的MLC图像极度吻合,匹配良好;6例容积调强病人叶片位置误差均<2 mm,大部分误差集中在0.05 mm~1 mm范围内。MLC叶片位置误差对计划靶区V₄₅的影响较大,差异有统计学意义;叶片误差对小肠、膀胱、股骨头等危及器官的影响较小,差异无统计学意义。**结论:**MLC叶片位置精度影响到治疗计划剂量的精度,需要进行严格的质量保证。

【关键词】容积调强放疗;多叶准直器;日志文件;质量保证

【中图分类号】R815.6

【文献标识码】A

【文章编号】1005-202X(2015)05-0724-04

Quality assurance of multileaf collimator in volumetric modulated arc therapy

SHI Jin-ping^{1,2}, SHI Jun-tian³, HE Bao-zhen⁴, TENG Jian-jian^{1,2}, XIE Qiu-ying^{1,2}, ZHANG Li-wen^{1,2}, MO Yi-xing^{1,2}

1. Affiliated Foshan Hospital of Sun Yat-sen University, Foshan 528000, China; 2. Department of Radiation Oncology, Cancer Center, Foshan First People's Hospital, Foshan 528000, China; 3. Department of Radiotherapy, Sun Yat-sen Memorial Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510120, China; 4. Department of Radiation Oncology, The First People's Hospital of Zhaoqing, Zhaoqing 526000, China

Abstract: Objective To explore the quality assurance method of multileaf collimator (MLC) in volumetric modulated arc therapy (VMAT). **Methods** The MLC leaf position accuracy in VMAT was examined. With different conditions of RapidArc MLC, the leaf position errors were analyzed. Six rectum patients receiving VMAT were randomly selected. During the actual treatment, MLC leaf positions at every control point on each arc were recorded in MLC dynamic log files by self-programmed software. And the recorded leaf position replaced leaf positions in planning files, re-importing new information into the treatment planning system to reconstruct three dimensional (3D) dose distribution. Compared with treatment plan, MLC leaf position errors and dose differences were analyzed. **Results** MLC position accuracy analysis showed that MLC images of each fraction were extremely consistent and well-matched. All the MLC leaf position errors of these six patients were less than 2 mm, and most of errors was between 0.05 mm and 1 mm. MLC leaf position errors had a great influence on planning target volume (V₁₀₀), with statistically significant differences, while the leaf position errors had a small impact on small intestine, bladder, femoral head, without statistically significant differences. **Conclusion** Quality assurance should be strictly implemented because the MLC leaf position accuracy can affect the accuracy of treatment planning dose.

Key words: volumetric modulated arc therapy; multileaf collimator; log files; quality assurance

【收稿日期】2015-03-28

【基金项目】佛山市科技攻关项目(201308060)

【作者简介】石锦平(1972-),副主任技师,主要从事肿瘤放疗物理技术和质控方面的研究工作。Tel: 0757-83161550; E-mail: rath55@126.com。

前言

容积调强放射治疗在机架旋转过程中,通过调整机架运动速度,多叶准直器(MLC)叶片位置和剂量率来实现射线强度的调整^[1-3]。与普通调强相比,其显著减少了治疗计划的机器跳数、缩短了治疗时

间,有效减少了病人在治疗过程中的不自主运动带来的剂量误差^[4-5]。

MLC叶片位置影响普通调强放射治疗计划的精度,同样会影响到容积调强计划剂量的精度^[6-7]。本研究针对容积调强放射治疗,研究容积调强放射治疗MLC叶片的质量和叶片位置误差对剂量的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究采用Varian公司的Trilogy加速器,有120对叶片,利用胶片测量监测MLC叶片的位置精度,研究中随机抽取6例直肠癌,采用Eclipse8.6设计容积调强计划,计划使用6 MV X射线,各向异性分析算法(Anisotropic Analysis Algorithm, AAA),计算网格2.5 mm。每个计划均双弧设计,顺时针方向射野角度 $181^{\circ}\sim 179^{\circ}$,逆时针方向射野角度 $179^{\circ}\sim 181^{\circ}$,每条弧含有177个控制点。要求95%的PTV达到处方剂量45 Gy。每个控制点包含计划的机架角度、各个MLC叶片的位置及机器跳数(Monitor Unit, MU)。

1.2 MLC的质量保证

验证Varian的RapidArc多叶准直器的准确性,分别对MLC进行狭缝检测、栅栏插值检测和图案检测,检测MLC叶片运动到位精度,Varian提供的计划,每周检测一次,共获取八周图像数据,输入专用剂量扫描仪中,分析RapidArc在不同条件下MLC误差变化情况。

(1)检测MLC旋转过程中运动位置精确性:分别设计在静止机架 0° 、 90° 、 180° 、 270° ,MLC动态模式和RapidArc弧形旋转模式下的计划,均设计10条栅栏,分别对MLC进行栅栏测试,缝隙为1 mm。其中RapidArc弧的角度为 352° ,准直器分别设置为 0° 、 45° 。射野 $X*Y$ 开至 $(20*39.8)$ cm,测试时将胶片放置在托架位置,源托距65.4 cm,按计划文件进行照射,采集。在动态MLC模式下照射,静态4个机架角,准直器Y方向开至12 cm照射,在胶片上采集数据。

(2)检测MLC传输的反映灵敏度:按照上述测量方法,改变测量文件中部分对的MLC位置和宽度变化,使其栅栏中的MLC产生0.5 mm位移和使其缝隙增加宽度至1.5 mm,同样执行RapidArc计划弧的角度范围,在准直器托架上放置测量胶片,获取图像数据。同时进行网格检测和图案检测。

1.3 实际射野参数

在6位病人计划照射过程中,Trilogy产生MLC

日志文件,该文件记录了MLC叶片位置和机架角的关系,每隔50 ms采集1次。每条弧有两个MLC日志文件,分别代表A组和B组叶片。

利用MatlabR2009a软件编写程序,从MLC日志文件中提取各个控制点的实际MLC叶片位置。与计划射野参数进行比较,分析射野参数的误差。

1.4 计划比较

各个控制点的实际MLC叶片位置替代计划文件中的计划参数,重新导入计划系统,进行三维剂量重建,生成一个新的重建计划,表示MLC叶片误差所引起的剂量学变化。针对原计划和重建计划,首先分析靶区危及器官的剂量体积直方图(Dose Volume Histogram, DVH),其次比较靶区和危及器官特定照射剂量所包含的体积百分比,即PTV(V_{45}),小肠(V_{40}),膀胱(V_{45}),股骨头(V_{30})等,PTV(V_{45})表示45 Gy剂量所包含的靶区体积,其他类似。分析MLC叶片位置误差对剂量分布的影响。

2 结果

2.1 MLC质量保证

对MLC进行狭缝检测,在RapidArc MLC运动状态下,MLC的到位精确度分析:在静态4个不同的机架角度与RapidArc计划下分别进行栅栏检测,各分次的MLC图像极度吻合,如图1。将两张图像重叠起来发现两者匹配良好。检测MLC传输的反映灵敏度,可明显看出改变测量文件中部分对的MLC位置和宽度变化,使其栅栏产生0.5 mm位移和1.5 mm宽度偏差(图2)。检测MLC叶片运动到位精度,Arc模式下栅栏插值检测和静止状态下图案检测,如图3、图4。

2.2 MLC叶片位置误差

分析各个控制点MLC叶片位置误差。通过数据分析可知,6例病人叶片位置误差均 <2 mm,大部分误差集中在 $[0.05\text{ mm}\sim 1\text{ mm}]$ 范围内。表1所示的是一个典型病人的叶片位置误差统计分析。

2.3 计划比较

表2表示PTV(V_{45}),小肠(V_{40}),膀胱(V_{40}),股骨头(V_{30})等特定体积的受照剂量,分析MLC叶片误差对剂量分布的影响。MLC叶片误差对PTV(V_{45})的影响较大,与原计划相比差异有统计学意义($P=0.004$);叶片误差对危及器官特定体积的受照剂量小肠(V_{40}),膀胱(V_{40}),股骨头(V_{30})与原计划相比差异无统计学意义。

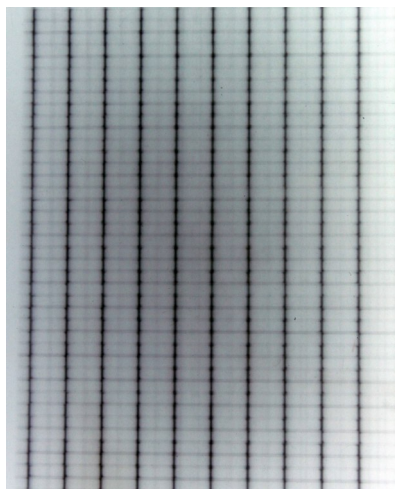


图1 Arc模式下MLC的测试图
Fig.1 Test chart of MLC in Arc mode

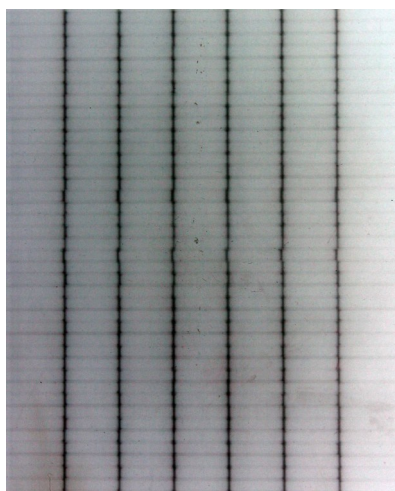


图2 Arc模式下改变0.5 mm位置与1.5 mm宽度后的MLC图
Fig.2 Test chart of MLC with intentional errors of 0.5 mm and 1.5 mm in Arc mode

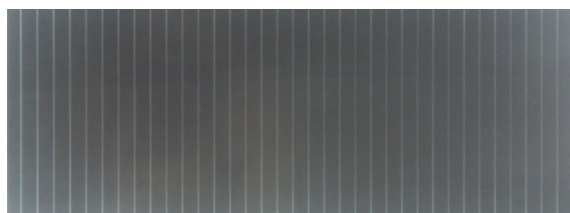


图3 Arc模式下MLC插值图
Fig.3 Interpolation of MLC in Arc mode

3 讨论

MLC叶片位置的不精确性可能导致照射的剂量不足或剂量过度^[8-10]。Rangel等^[11]通过模拟研究发

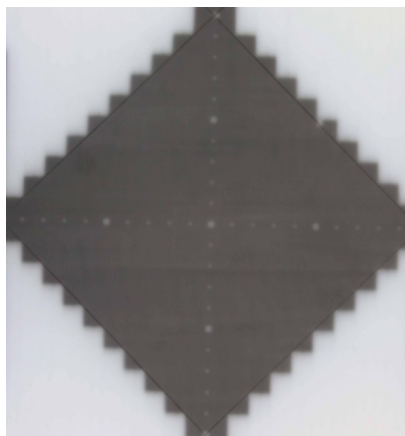


图4 静止模式下机架角0°形成的菱形图
Fig.4 Diamond chart when the gantry angle was 0° in static mode

现,前列腺和鼻咽癌普通调强放射计划治疗靶区和危及器官剂量受MLC叶片2 mm随机误差影响较小,但受2 mm叶片系统误差的影响较大,叶片的系统误差应该控制在0.3 mm以内。叶片位置误差同样影响容积调强计划的实际剂量和计划通过率。

我们利用MLC日志文件,既可以分析MLC叶片的到位精度,又能分析MLC叶片误差所带来的剂量学差别,可以进行容积调强质量保证方面的研究。选取的6例病人MLC叶片位置误差均<2 mm,大部分误差集中在[0.05 mm~1 mm]范围。研究发现MLC对PTV(V_{45})的影响较大,对膀胱、小肠、股骨头等危及器官特定受照剂量的影响较小。

从MLC日志文件中提取MLC实际叶片位置依赖于MLC叶片的精确刻度。MLC的刻度作为常规每周质量保证的一部分,通常使用电子射野影像装置或胶片来独立地测量MLC叶片位置的精确性^[12]。

我们通过对MLC进行狭缝检测、栅栏插值检测和图案检测,检测MLC叶片运动到位精度,敏感性作为常规质量保证的一部分,确保MLC叶片位置精确,为开展精确的容积放射治疗创造条件。

【参考文献】

- [1] Ling CC, Zhang P, Archambault Y, et al. Commissioning and quality assurance of RapidArc radiotherapy delivery system[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 72(2): 575-581.
- [2] Iftimia I, Cirino ET, Xiong L, et al. Quality assurance methodology for Varian RapidArc treatment plans[J]. J Appl Clin Med Phys, 2010, 11(4): 130-143.
- [3] 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.

表 1 MLC 叶片误差的统计分析
Tab.1 Statistical analysis of MLC leaf position error

No	Error (cm)	Percentage (%)	Cumulative percentage (%)
1	0.000-0.005	15.51	15.51
2	0.005-0.050	40.54	56.05
3	0.050-0.100	30.98	87.03
4	0.100-0.150	12.87	99.9
5	0.150-0.200	0.1	100

表 2 原计划与重建计划靶区和危及器官剂量参数比较
Tab.2 Dose comparisons of organs at risk and planning target volume

Item	Origin plan	Reconstructed plan	P value
Bladder(V_{40})	24.42±9.60	24.69±9.58	0.965
Small bowel(V_{40})	8.52±5.45	8.65±5.48	0.971
Left femoral head(V_{30})	3.53±2.60	3.77±2.75	0.889
Right femoral head (V_{30})	2.22±1.68	2.39±1.78	0.880
PTV(V_{45})	95.41±0.42	96.33±0.51	0.004

[4] Wagner D, Vorwerk H. Two years experience with quality assurance protocol for patient related Rapid Arc treatment plan verification using a two dimensional ionization chamber array[J]. Radiat Oncol, 2011, 22: 6-21.

[5] Chandraraj V, Stathakis S, Manickam R, et al. Comparison of four commercial devices for RapidArc and sliding window IMRT QA [J]. J Appl Clin Med Phys, 2011, 12(2): 338-349.

[6] Peng J, Zhang Z, Zhou L, et al. A study on investigating the delivery parameter error effect on the variation of patient quality assurance during RapidArc treatment[J]. Med Phys, 2013, 40(3): 031703-031708.

[7] Hernandez V, Abella R, Calvo JF, et al. Determination of the optimal tolerance for MLC positioning in sliding window and VMAT techniques[J]. Med Phys, 2015, 42(4): 1911-1916.

[8] Tyagi N, Yang K, Yan D, et al. 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.

[9] Teke T, Bergman AM, Kwa W, et al. Monte Carlo based, patient-specific RapidArc QA using Linac log files[J]. Med Phys, 2010, 37 (1): 116-123.

[10] Van Esch A, Huyskens DP, Behrens CF, et al. Implementing RapidArc into clinical routine: a comprehensive program from machine QA to TPS validation and patient QA[J]. Med Phys, 2011, 38(9): 5146-5166

[11] Rangel A, Dunscombe P. Tolerances on MLC leaf position accuracy for IMRT delivery with a dynamic MLC[J]. Med Phys, 2009, 36(7): 3304-3309.

[12] Clarke MF, Budgell GJ. Use of an amorphous silicon EPID for measuring MLC calibration at varying gantry angle[J]. Phys Med Biol, 2008, 53(2): 473-485.