

## 调强放射治疗计划中子野跳数输出误差分析

李小波<sup>1,2</sup>, 陈丽芳<sup>3</sup>, 张建平<sup>1</sup>, 黄妙云<sup>1</sup>, 陈远贵<sup>1</sup>, 徐本华<sup>1,2</sup>

1. 福建医科大学附属协和医院放疗科, 福建 福州 350001; 2. 福建医科大学医学技术与工程学院医学影像技术学系, 福建 福州 350001; 3. 福建医科大学附属协和医院放疗科, 福建 福州 350001

**【摘要】目的:**探讨三维静态调强放射治疗计划的子野机器跳数(MU)与加速器实际输出的MU存在的误差,为计划设计时最小跳数的设置提供参考。**方法:**选择50例调强放射治疗计划,子野数共4 842个。对治疗计划每个子野输出的MU(PDM)与实际加速器出束时每个子野的MU(ADM)进行统计学分析,判断两者的误差情况。**结果:**计划PDM与ADM的平均值存在显著差异( $P<0.05$ );当PDM值较小时,PDM与ADM的相对误差概率大大增加,最高达16.33%。**结论:**PDM与ADM之间存在的误差临床上不可忽视。在不影响计划剂量分布的前提下,当误差可接受在5%以内时,建议PDM应该大于8.49 MU;当可接受误差在3%以内时,建议PDM应大于14.46 MU。

**【关键词】**调强放射治疗;子野;机器跳数;计划系统

**【中图分类号】**R811.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2018)08-0885-04

## Errors of monitor units in step-and-shoot intensity-modulated radiotherapy plan

LI Xiaobo<sup>1,2</sup>, CHEN Lifang<sup>3</sup>, ZHANG Jianping<sup>1</sup>, HUANG Miaoyun<sup>1</sup>, CHEN Yuanguai<sup>1</sup>, XU Benhua<sup>1,2</sup>

1. Department of Radiation Oncology, Fujian Medical University Union Hospital, Fuzhou 350001, China; 2. Department of Medical Imaging Technology, School of Medical Technology and Engineering, Fujian Medical University, Fuzhou 350001, China; 3. Department of Radiology, Fujian Medical University Union Hospital, Fuzhou 350001, China

**Abstract: Objective** To discuss the errors between planned delivered monitor units (PDM) and actual delivered monitor units (ADM) in three-dimensional step-and-shoot intensity-modulated radiotherapy (IMRT) plans and provide a reference for setting the minimum monitor units. **Methods** A total of 50 step-and-shoot IMRT plans with 4 842 segments were selected. For each segment, statistical analysis was performed on PDM and ADM, and the errors between PDM and ADM were determined. **Results** Significant differences were found between PDM average and ADM average ( $P<0.05$ ). When PDM was relatively smaller, the relative errors between PDM and ADM were remarkably increased, and the maximum relative error reached 16.33%. **Conclusion** The error between PDM and ADM can't be ignored in clinic. Under the premise of without affecting the planned dose distribution, when the error was within the acceptable limit of 5%, PDM should be greater than 8.49 MU; and when the error was within the acceptable limit of 3%, PDM should be greater than 14.46 MU.

**Keywords:** intensity-modulated radiotherapy; segments; monitor units; treatment planning system

### 前言

近几年,调强放射治疗(Intensity Modulated Radiotherapy, IMRT)技术在临床中已经广泛应用。

这种放疗技术主要是利用三维治疗计划系统给定目标函数及约束条件,根据肿瘤靶区的需要,通过逆向算法产生大量大小不等的子野和相应的机器跳数(Monitor Unit, MU)使剂量分布与肿瘤靶区在三维空间上的形状高度一致<sup>[1-2]</sup>,靶区之外的剂量迅速下降,从而使邻近靶区的危及器官(Organs-at-Risk, OAR)能够得到较低的剂量照射,从而降低了放射治疗并发症的发生概率。由于每个IMRT计划存在大量的子野,因此治疗计划产生的每个子野输出的MU(Planned Delivered MU, PDM)与实际加速器出束时每个子野的MU(Actual Delivered MU, ADM)要尽量

**【基金项目】**2018-06-28

**【基金项目】**福建省科技厅引导性项目(2016Y0044)

**【作者简介】**李小波,硕士/副主任医师,物理师,研究方向:肿瘤放射物理学、医学图像处理、精确放疗技术, E-mail: lixiaobo2004@126.com; 陈丽芳,放射技师,研究方向:医学图像处理, E-mail: lxbclf@126.com(共同第一作者)

**【通信作者】**徐本华, E-mail: benhuaxu@163.com

一致,否则会产生较大的实际剂量误差,这就对三维治疗计划系统计算的剂量与医用直线加速器实际输出的剂量之间的误差范围提出更高的要求,从而确保IMRT剂量的准确性<sup>[3-4]</sup>。目前实现三维调强放射治疗技术的主要方法有静态调强(Step and Shot)与滑窗技术调强(Sliding Window),本研究就静态调强的子野MU输出误差进行分析。

## 1 材料与方法

### 1.1 三维治疗计划系统

瑞典Elekta公司的XIO三维治疗计划系统,软件版本4.7。

### 1.2 医用直线加速器

Varian23EX医用电子直线加速器,能量为6 MV和15 MV,多叶准直器(MLC)由60对叶片组成,中央40对叶片在等中心投影宽为0.5 cm,两侧各10对叶片在等中心投影宽为1 cm,同侧最前导叶片和最回缩叶片之间的距离在14.5 cm之内。ARIA网络系统,软件版本为13.5。

### 1.3 大孔径CT模拟定位系统

GE Lightspeed RT多排螺旋CT机,X线球管热容量7.5 mHU,内孔径80 cm,最大扫描视野50 cm,最小扫描层厚0.625 mm,配置安装MED-TEC全碳素平板床和GE ADWANTAGE SIM 4.2工作站以及LAP DORADO 4三维激光定位系统。

### 1.4 研究方法

患者选取及计划设计:选取头颈部肿瘤病例50

例,IMRT采用静态强调计划7野分布的射野角度( $0^\circ$ 、 $52^\circ$ 、 $104^\circ$ 、 $156^\circ$ 、 $208^\circ$ 、 $260^\circ$ 及 $310^\circ$ )进行计划设计、剂量优化直至达到临床要求。每个射野产生的子野数在8~19个之间,即每个计划的总子野数约100~120个,每个子野的跳数大多数在3~20 MU之间,平均每例患者的总MU约1 000 MU。50例IMRT计划共产生子野数4 842个。首先通过计划系统中的MLC Segments输出功能,输出50例调强治疗计划产生的所有子野的PDM,并转换成EXCEL数据;然后把每一例治疗计划通过网络分别传输到加速器上,实施治疗,把实际加速器出束时每个子野的ADM记录输出,并形成EXCEL表。

### 1.5 统计学分析

用SPSS 13.0软件对计划系统PDM与ADM数值进行显著性差异检验,并通过统计图所描述的跳数误差分布特点,综合分析误差情况。

## 2 结果

### 2.1 显著性差异检验结果

通过PDM与ADM的差值的单一样本 $t$ 检验,结果得 $P=0.003$ ,PDM与ADM的平均水平有显著性差异。

### 2.2 误差分布特点

PDM与ADM的误差范围在-0.5~0.5 MU内,各误差区间频数相差较小,误差在-0.5~0.5 MU的范围内分布均匀,如图1所示。同时,从图2看出,PDM和ADM的关系呈线性关系。

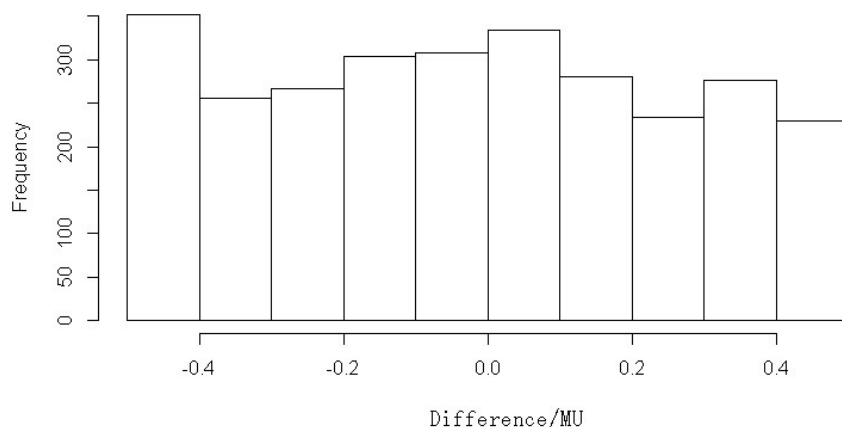


图1 治疗计划产生的每个子野输出的MU(PDM)与实际加速器出束时每个子野的MU(ADM)误差分布图

Fig.1 Histogram of differences between PDM and ADM output from each segment in radiotherapy plan

PDM: Planned delivered monitor unit; ADM: Actual delivered monitor unit

图3为PDM与PDM和ADM误差的关系分布图,显示计划输出的子野MU基本是小于20 MU,在小于15 MU区域分布密集。

不同的PDM与PDM和ADM相对误差值的关系如图4所示呈锥形状,PDM在3.00~5.00 MU时,PDM和ADM相对误差范围为0%~16.33%;PDM为

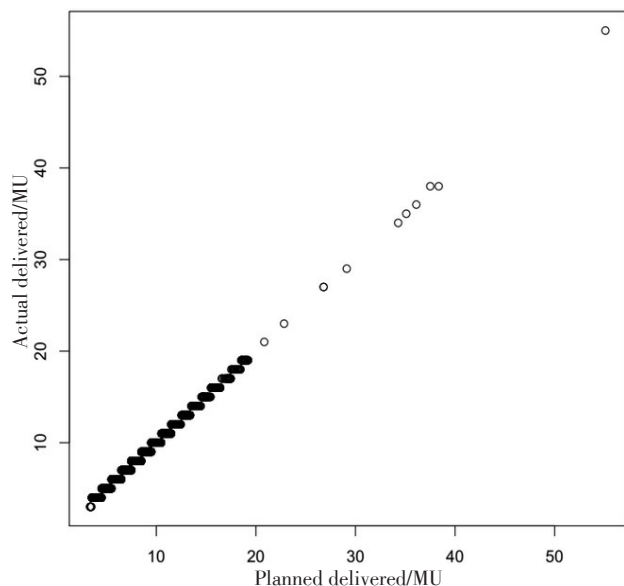


图2 PDM与ADM的关系图

Fig.2 Relationship between PDM and ADM

5.01~7.00 MU时,相对误差范围为0%~9.8%;PDM为7.01~8.49 MU时,相对误差范围为0%~7.0%;PDM为8.50~14.46 MU时,相对误差范围为0%~5.56%;PDM大于14.46 MU时,相对误差小于3.13%。当PDM值较小时,PDM与ADM的相对误差大的概率大大增加,而本例中最高的相对误差达16.33%,产生于PDM为3.49 MU时。

### 3 讨论

在三维调强放射治疗计划的验证过程中,除了考虑其他物理方面的误差,如剂量率等因素引起的误差<sup>[5-7]</sup>,还应充分考虑计划的子野MU与实际加速器输出MU之间存在的误差,防止该误差过分地影响剂量准确性<sup>[8]</sup>,从而降低调强计划验证的通过率,导致调强计划验证的失败,而该误差在临床上绝对不可忽视。

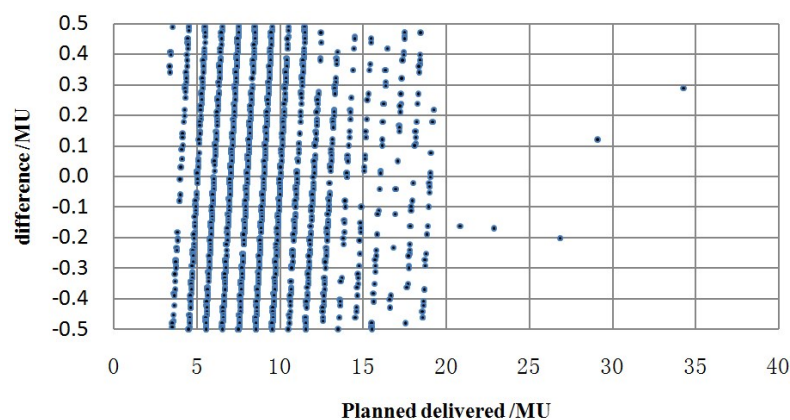


图3 PDM与PDM和ADM之间误差的关系分布图

Fig.3 Relationship between PDM and differences between PDM and ADM

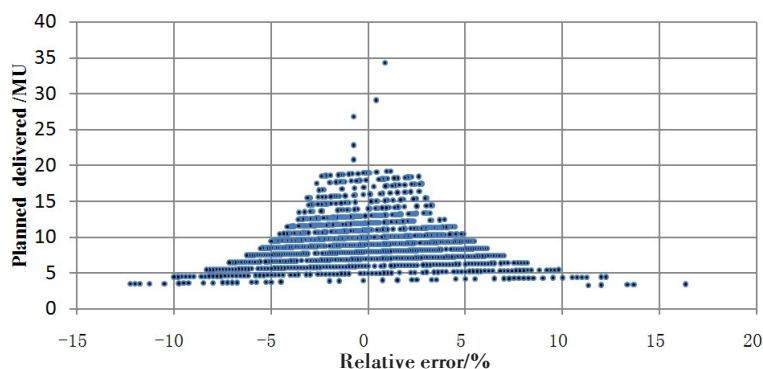


图4 PDM和ADM相对误差与PDM关系分布图

Fig.4 Distribution of PDM and relative errors between PDM and ADM

本研究从50例4 842个子野MU的统计结果来看,总体来说,调强治疗计划产生的PDM与ADM的平均水平有显著差异,二者存在较大的系统误差。由于三维放射治疗计划系统最后计算出的剂量结

果,PDM的小数点后两位数值在00~99之间随机分布,不会固定趋向于某整数值,当PDM小数点后两位数值在40~70之间时,出现的误差较大(相对误差大于5%的比率占76.15%)。由于VARIAN 23EX直线

加速器出束时MU数值被其系统自动四舍五入,建议三维计划系统在计划设计时最后计算出的PDM应该进行优化改进,令其具有一定趋向性成整数值;本研究所计算的差异范围固定且均匀分布,当计划系统计算数值可接受误差在5%内时,PDM建议应该大于8.49 MU;当可接受误差在3%内,PDM建议应大于14.46 MU。而且,当PDM值较小时,PDM与ADM的相对误差明显增大,最高的相对误差达16.33%。国内外研究者陈亮等<sup>[9]</sup>和Dolan等<sup>[10]</sup>的研究也提出适当提高每个子野的MU并不会引起靶区及危及器官剂量的明显改变,同时可以使子野数量进一步减少,提高了射线的利用率及治疗工作效率。另有Fujimoto等<sup>[11]</sup>和Nithya等<sup>[12]</sup>研究表明加速器的性能也对输出小MU的剂量稳定性产生较大的影响,所以在临床三维强调计划设计时,在不影响计划剂量分布的前提下,应该尽可能提高调强优化时限制的最小MU,从而避免计划PDM与ADM之间的误差,进一步确保IMRT剂量的准确性,以提高肿瘤放射治疗的控制率,减少正常组织并发症的发生率<sup>[13]</sup>。

基于研究所得出的结果以及直线加速器实际输出的剂量准确性,建议三维计划系统计算的子野MU改为整数值的MU,如果计划系统版本还是较旧的情况下,建议升级到最新版,目前较新版本的计划系统大部分已经考虑该部分的误差存在或以其他的优化条件来补充不足之处。如何适当限制优化条件等因素,研究组将进一步研究。

## 【参考文献】

- [1] 徐莉霞,李夏东,王佳浩,等. 优化参数对肺癌调强放疗计划设计的影响[J]. 实用肿瘤杂志, 2015, 30(1): 34-37.  
XU L X, LI X D, WANG J H, et al. Optimization of parameters in intensity-modulated radiation therapy for lung cancer[J]. Journal of Practical Oncology, 2015, 30(1): 34-37.
- [2] MITTAUER K, LU B, YAN G, et al. A study of IMRT planning parameters on planning efficiency, delivery efficiency and planning quality[J]. Med Phys, 2013, 40(6): 061704.
- [3] 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.
- [4] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1999: 431-436.  
HU Y M. Radiation oncology physics[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1999: 431-436.
- [5] KANG S K, CHEONG K H, HWANG T, et al. Dosimetric characteristics of linear accelerator photon beams with small monitor unit settings[J]. Med Phys, 2008, 35(11): 5172-5178.
- [6] AKINO Y, OTA S, INOUE S, et al. Characteristics of flattening filter free beams at low monitor unit settings[J]. Med Phys, 2013, 40(11): 112101.
- [7] HUANG L, ZHUANG T, MASTROIANNI A, et al. Impact of small MU/segment and dose rate on delivery accuracy of volumetric-modulated arc therapy (VMAT)[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(3): 203-210.
- [8] 王锐濠, 张书旭, 谭剑明. 最小机器跳数对非小细胞肺癌调强放疗计划设计的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2016, 33(11): 1092-1096.  
WANG R H, ZHANG S X, TAN J M. Effect of minimum monitor unit on the plan design of intensity-modulated radiotherapy for non-small cell lung cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2016, 33(11): 1092-1096.
- [9] 陈亮, 艾源, 倪佰会, 等. 最小机器跳数对宫颈癌调强计划的影响[J]. 实用医学杂志, 2015, 31(15): 2514-2516.  
CHEN L, AI Y, NI B H, et al. The impact of the minimum number of machine jumps on the cervical cancer enhancement program[J]. The Journal of Practical Medicine, 2015, 31(15): 2514-2516.
- [10] DOLAN J, AMBROSE R, FURHANG E, et al. SU-E-T-368: a comparison of small MU sub-field dosimetry for step-and-shoot IMRT fields on Varian IX and truebeam machines[J]. Med Phys, 2012, 39(6): 3789.
- [11] FUJIMOTO K, TATEOKA K, YAEGASHI Y, et al. Effects of beam startup characteristics on dose delivery accuracy at low monitor units in step-and-shoot intensity modulated radiation therapy[J]. Int J Med Phys Clin Eng Radiat Oncol, 2013, 2(1): 1-5.
- [12] NITHYA L, NAMBI R N A, SASIKUMAR R. Analyzing the characteristics of 6 MV photon beam at low monitor unit settings[J]. J Med Phys, 2016, 41(1): 34-37.
- [13] BREE I D, VAN HINSBERG M G, VAN VEELEN L R. High-dose radiotherapy in inoperable nonsmall cell lung cancer: comparison of volumetric modulated arc therapy, dynamic IMRT and 3D conformal radiotherapy[J]. Med Dosim, 2012, 37(4): 353-357.

(编辑:薛泽玲)