

·诊疗技术·

## 通量平滑度对非小细胞肺癌调强放疗计划的影响

王东,刘可,明智

(自贡市第一人民医院放疗室,四川 自贡 643000)

**摘要:**目的 比较通量平滑度对非小细胞肺癌调强放疗(IMRT)剂量学参数的影响,为非小细胞肺癌 IMRT 计划设计提供参考。方法 选择本院确诊的非小细胞肺癌患者 25 例做回顾性分析,对每位患者先使用默认的通量平滑值 Smooth 40 30(MLC 运动方向为 40,MLC 垂直方向为 30)制定 IMRT 计划。在相同的优化条件下,改变通量平滑 X、Y 值分别为 Smooth 0 0、Smooth 20 10、Smooth 60 50、Smooth 100 80、Smooth 150 120 重新进行计划设计和评估。评估计划的剂量学参数以及机器跳数(MU)。**结果** Smooth 0 0、Smooth 20 10 通量组  $D_2$  与 Smooth 40 30 通量组比较,差异有统计学意义( $P<0.05$ );不同通量组  $CI$  和  $D_{98}$  比较,差异有统计学意义( $P<0.05$ );Smooth 0 0、Smooth 150 120 通量组  $D_{mean}$  比较,差异有统计学意义( $P<0.05$ );Smooth 150 120 通量组 HI 与 Smooth 40 30 通量组比较,差异有统计学意义( $P<0.05$ );Smooth 100 100 通量组危及器官肺  $V_5$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、心脏  $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $D_{mean}$ 、脊髓  $D_{max}$  受量均高于 Smooth 40 30 通量组( $P<0.05$ ),通量平滑值在 Smooth 60 50 及以上危及器官受量有上升趋势。随着通量平滑值增大,MU 减小明显。**结论** 在非小细胞肺癌 IMRT 放疗中,结合剂量学参数以及 MU 数,推荐选取 Smooth 40 30 为通量平滑值。

**关键词:**非小细胞肺癌;调强放疗;通量平滑;剂量;Eclipse

中图分类号:R734.2

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1006-1959.2023.20.033

文章编号:1006-1959(2023)20-0161-04

### Impact of Fluence Smoothing on Intensity Modulated Radiotherapy Plan for Non-small Cell Lung Cancer

WANG Dong,LIU Ke,MING Zhi

(Room of Radiotherapy,Zigong First People's Hospital,Zigong 643000,Sichuan,China)

**Abstract:** **Objective** To compare the effect of fluence smoothing on dosimetric parameters of intensity-modulated radiotherapy (IMRT) for non-small cell lung cancer (NSCLC), and to provide reference for the design of IMRT plan for NSCLC. **Methods** Twenty-five patients with non-small cell lung cancer diagnosed in our hospital were selected for retrospective analysis. The IMRT plan was first formulated for each patient using the default fluence smoothing value Smooth 40 30 (MLC motion direction was 40, MLC vertical direction was 30). Under the same optimization conditions, the fluence smoothing X and Y values were changed to Smooth 0 0, Smooth 20 10, Smooth 60 50, Smooth 100 80 and Smooth 150 120, respectively, to redesign and evaluate the plan. The dosimetric parameters and monitor unit (MU) of the plan were evaluated. **Results** There were significant differences in  $D_2$  between Smooth 0 0, Smooth 20 10 flux groups and Smooth 40 30 flux group ( $P<0.05$ ). There were significant differences in  $CI$  and  $D_{98}$  between different flux groups ( $P<0.05$ ). There was significant difference in  $D_{mean}$  between Smooth 0 0 and Smooth 150 120 flux groups ( $P<0.05$ ). There was significant difference in HI between Smooth 150 120 flux group and Smooth 40 30 flux group ( $P<0.05$ ). The  $V_5$ ,  $V_{20}$  and  $V_{30}$  of lung,  $V_{30}$  and  $V_{40}$  of heart,  $D_{mean}$  and spinal cord  $D_{max}$  in the Smooth 100 100 flux group were higher than those in the Smooth 40 30 flux group ( $P<0.05$ ), and the flux smoothing value showed an upward trend in the organs at risk of Smooth 60 50 and above. As the flux smoothing value increased, MU decreased significantly. **Conclusion** In IMRT radiotherapy for non-small cell lung cancer, it is recommended to select Smooth 40 30 as the fluence smoothing value in combination with dosimetric parameters and MU number.

**Key words:** Lung cancer;Intensity modulated radiotherapy;Fluence smoothing;Dosimetry;Eclipse

肺癌(lung cancer)居于全球发病顺位的首位,约占全部恶性肿瘤发病的 21.3%<sup>[1]</sup>。在我国,肺癌的发病顺位也长期居于第 1 位<sup>[2]</sup>,其中非小细胞肺癌

(non-small cell lung cancer, NSCLC) 占总数的 80% 左右。放射治疗可以作为非小细胞肺癌的一种重要治疗手段。在调强放射治疗(intensity modulated radiotherapy, RT)优化系统中,计划系统(treatment planning system, TPS)通过逆向优化迭代重建算法产生射束(beamlet)的通量,即“最优通量图”。计划复杂性可以描述为射束通量分布大小<sup>[3,4]</sup>。靶区和危及器官(organs at risk, OARs)越复杂的几何形状决定了更高的靶区适形度,并且越压低 OAR 剂量,通量

作者简介:王东(1974.11-),男,四川自贡人,本科,副主任医师,主要从事肿瘤放疗工作

通讯作者:明智(1987.11-),男,四川自贡人,本科,副主任技师,主要从事肿瘤放疗工作

图就越复杂;反之,对 OAR 剂量要求宽松,靶区适形度变差,通量复杂度就降低。在临床工作中,一些复杂且苛刻的放疗计划会造成放疗计划系统运算时间长,执行计划的机器跳数增加,给机器带来负担。当前多种计划系统自带通量平滑度选项<sup>[5,6]</sup>。本研究以非小细胞肺癌放疗为例,基于 Eclipse 系统,比较靶区和 OAR 的剂量学在不同通量平滑参数时的参数差异。旨在为临床放疗计划的通量平滑参数选取提供参考。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析选取 2019 年 6 月-12 月在自贡市第一人民医院肿瘤科治疗的 25 例非小细胞肺癌患者,使用碳纤维板、热塑膜联合枕头固定患者,统一取仰卧位,在飞利浦 CT 模拟定位机下增强扫描。按照 ICRU83 报告靶区和左右肺、心脏、脊髓等 OAR。

### 1.2 方法

1.2.1 计划设计 对每个患者制定 6 组逆向调强计划,第一组计划使用默认的通量平滑值 Smooth 40 30,即与 MLC 平行方向(X)为 40,与 MLC 垂直的方向(Y)平滑为 30。危及器官权重设定位 100,依据通量平滑值与危及器官目标函数最大权重百分比制定其他 5 组逆向调强计划。其他 5 组依次为 Smooth 0 0、Smooth 20 10、Smooth 60 50、Smooth 100 80、Smooth 150 120 通量组。每个患者 6 组计划均是设计固定野调强,射线均为 6MV X 射线,处方剂量均为 66 Gy/33F。各组计划优化条件一致,计划系统为 Eclipse v13.6,在 Varian Trilogy 加速器上治疗。

1.2.2 计划评估 从放疗计划的剂量-体积直方图(dose-volume histogram, DVH)来获取放疗计划 PTV 和 OAR 的评估指标和各参数计算,参考国际辐射单位与测量委员会 83 号报告<sup>[7]</sup>。靶区的评估指标为:

$D_2$ 、平均剂量  $D_{mean}$ 、 $D_{98}$ ,其中  $D_2$ 、 $D_{98}$  分别为包围 PTV 体积 2%、98% 的最低剂量;均匀性指数(homogeneity index, HI)<sup>[8]</sup> 定义为  $HI=(D_2-D_{98})/D_{mean}$ ,HI 值越小,则 PTV 剂量越均匀。适形度指数(conformity index, CI)<sup>[9]</sup> 定义为  $CI=(V_{T_r}/V_T) \times (V_{T_r}/V_r)$ ,其中  $V_T$  为 PTV 体积,  $V_{T_r}$  为处方剂量所包绕的 PTV 体积,  $V_r$  为处方剂量所包绕的总体积,CI 值上限为 1,越大说明靶区越适形。各危及器官的剂量参数为肺  $V_5$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ ;心脏  $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $D_{mean}$ ,脊髓  $D_{max}$ 。此外,评估各计划的机器跳数(monitor unit, MU)。

1.3 统计学方法 采用 SPSS 22.0 软件进行统计处理,经检验符合正态分布,数据以( $\bar{x} \pm s$ )表示,对照组 Smooth 40 30 与其他组采用配对  $t$  检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 靶区剂量学参数结果 Smooth 0 0、Smooth 20 10 通量组  $D_2$  与 Smooth 40 30 通量组比较,差异有统计学意义( $P < 0.05$ );不同通量组 CI 和  $D_{98}$  比较,差异有统计学意义( $P < 0.05$ );Smooth 0 0、Smooth 150 120 通量组  $D_{mean}$  比较,差异有统计学意义( $P < 0.05$ );Smooth 150 120 通量组 HI 与 Smooth 40 30 通量组比较,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),见表 1。

2.2 危及器官剂量学参数结果 通量平滑值在 Smooth 40 30 以上,OAR 受量增加;Smooth 100 100 通量组危及器官肺  $V_5$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ ,心脏  $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $D_{mean}$ ,脊髓  $D_{max}$  受量均高于 Smooth 40 30 通量组( $P < 0.05$ ),见表 2。

2.3 MU 参数结果 MU 的平均值随通量平滑变化的趋势图见图 1,随着通量平滑值,MU 显著减小。Smooth 40 30 通量组与其他通组 MU 比较,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

表 1 靶区剂量学参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	PTV				
	$D_2$ (cGy)	$D_{98}$ (cGy)	$D_{mean}$ (cGy)	CI	HI
Smooth 0 0 通量组	6802.72±72.34*	6461.12±74.80*	6658.85±35.79*	0.811±0.166*	0.053±0.016
Smooth 20 10 通量组	6813.44±96.09*	6460.12±55.38*	6695.42±93.80	0.814±0.158*	0.057±0.016
Smooth 40 30 通量组	6855.01±113.72	6545.70±95.70	6715.26±29.15	0.880±0.189	0.046±0.025
Smooth 60 50 通量组	6843.22±40.65	6436.20±108.26*	6759.39±28.45	0.871±0.200*	0.053±0.021
Smooth 100 80 通量组	6856.09±48.23	6410.90±99.49*	6727.05±33.46	0.806±0.205*	0.065±0.027
Smooth 150 120 通量组	6918.81±97.93	6304.73±110.81*	6685.56±39.34*	0.779±0.200*	0.089±0.021*

注:\*表示与 Smooth 40 30 通量组比较,  $P < 0.05$

表 2 危及器官剂量学参数比较( $\bar{x}\pm s$ )

OAR 及参数		Smooth 0 0 通量组	Smooth 20 10 通量组	Smooth 40 30 通量组
肺	$V_5(\%)$	46.65±5.33*	45.73±4.23*	43.96±4.06
	$V_{20}(\%)$	20.38±2.18	20.17±2.21	19.80±2.51
	$V_{30}(\%)$	13.06±2.03	12.95±2.17	13.10±2.07
心脏	$V_{30}(\%)$	7.96±3.75	7.93±3.72	7.97±3.58
	$V_{40}(\%)$	3.63±2.15	3.64±2.17	3.66±2.03
	$D_{mean}(cGy)$	1063.78±210.15	943.72±227.60*	1041.98±193.27
脊髓	$D_{max}(cGy)$	3568.52±670.04	3576.15±451.76	3623.20±569.51

OAR 及参数		Smooth 60 50 通量组	Smooth 100 80 通量组	Smooth 150 120 通量组
肺	$V_5(\%)$	44.15±4.42	45.34±3.69*	46.55±4.62*
	$V_{20}(\%)$	20.59±2.96	21.59±3.06*	23.59±2.96*
	$V_{30}(\%)$	15.83±2.43*	16.09±2.83*	17.84±3.12*
心脏	$V_{30}(\%)$	8.35±4.23 <sup>a</sup>	10.65±4.63*	11.72±4.28*
	$V_{40}(\%)$	3.79±2.47	4.89±3.478	5.78±3.25*
	$D_{mean}(cGy)$	1172.44±263.54*	1179.44±263.54*	1279.93±291.44*
脊髓	$D_{max}(cGy)$	3409.38±896.95	3580.60±919.11	3680.60±819.11

注:\*表示与 Smooth 40 30 通量组比较, $P<0.05$

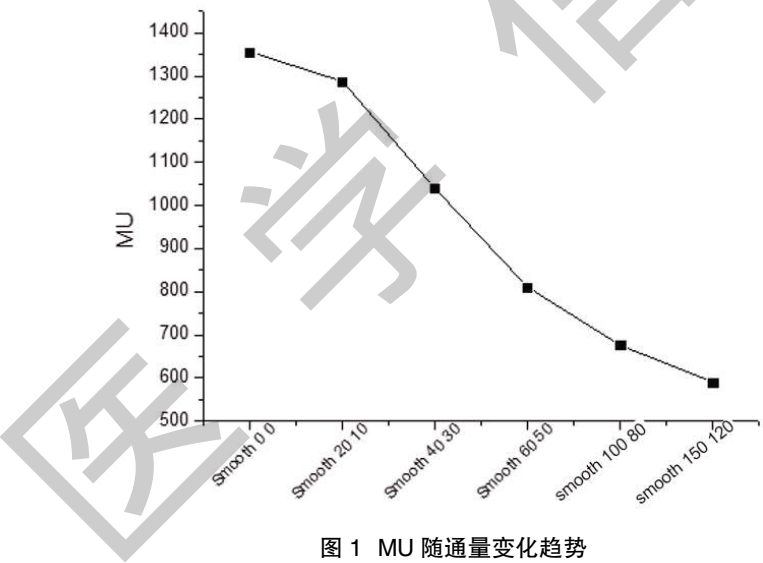


图 1 MU 随通量变化趋势

3 讨论

Eclipse 计划系统的通量平滑值范围为 0~1000, 本研究参考 Armoogum KS<sup>[10]</sup>和 Niyas P 等<sup>[11]</sup>的文献, 两个方向通量范围选取为 0~150。选取不同的通量平滑值,以剂量学参数为依据,选出最佳的通量平滑值。早期有学者<sup>[12]</sup>报道了 Eclipse 系统通量平滑对前列腺癌和头颈部肿瘤放疗计划的影响,发现通量平滑值对叶片因子、剂量学参数有影响。Broderick M 等<sup>[12]</sup>报道了通量平滑可以降低机器跳数和危及器官

的剂量,Matuszak MM 等<sup>[13]</sup>和 Giorgia N 等<sup>[14]</sup>报道了通量平滑值的增加对剂量投照的准确性有影响。如今成熟的商用计划系统自带了通量平滑<sup>[5,14,15]</sup>,通量平滑值越大,机器跳数越小,机器跳数增加反映了计划的复杂性变大。Eclipse 计划系统作为当前主流的计 划系统之一。在设计调强计划时,可以设置的参数很多,如靶区、OAR 剂量目标值及优选度、等效均匀剂量(equivalent uniform dose,EUD)值、正常组织物镜(normal tissue objective,NT0)值,网格分辨率,通

量平滑值等,参数的设置直接影响放射治疗计划的质量。如何在特定的病例里选择最优的优化参数对临床有重要意义,且需要临床剂量学评估作为依据<sup>[15]</sup>。

本研究结果显示,与默认通量 Smooth 40 30 相比,其他组的靶区适形度指数都较小,适形度更差,这说明在 Smooth 40 30 通量组的靶区包绕最好<sup>[16]</sup>;与默认通量 Smooth 40 30 相比,只有 Smooth 150 120 组的均匀性指数更差,差异有统计学意义( $P<0.05$ ),其他组的靶区剂量均匀性比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ )<sup>[17]</sup>。贾晓斌等<sup>[18]</sup>报道了不同通量平滑值下头颈部肿瘤放疗剂量学影响,结果显示通量平滑太大,靶区覆盖率会受影响并且危及器官剂量提高。本研究结论与该研究一致。本研究 OAR 在 Smooth 60 50 及以上时,OAR 受量增加。潘香等<sup>[19]</sup>比较了 Monaco 计划系统低、中、高三种通量平滑在左侧乳腺调强放疗中的剂量学,通量平滑度增加会减少机器跳数,这些结论与本研究基本一致。MU 在 Smooth 40 30 及以下时较高,给临床工作带来负担。此外,Smooth 150 120 时 OAR 受量较高,靶区均匀性较差,临床实用性较差,因此,本研究没有考虑 Smooth 150 120 以上的通量平滑值。

综上所述,基于临床需求和硬件条件,考虑剂量学及机器跳数,在非小细胞肺癌固定野调强放疗计划中建议选取通量平滑值为 Smooth 40 30。

#### 参考文献:

- [1]Bray F,Ferlay J,Soerjomataram I,et al.Global cancer statistics 2018: Globocan estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J].CA Cancer J Clin,2018,68(6): 394-424.
- [2]Chen WQ,Sun KX,Zheng SR,et al.Cancer incidence and mortality in China, 2014[J].Chin J Cancer Res,2018,30(1):1-12.
- [3]吴哲,庞亚.Eclipse 系统中通量平滑对单发脑转移瘤调强放疗的剂量学影响研究[J].医疗卫生装备,2021,42(4):45-49.
- [4]鲁黎明,刘攀,杜锋磊.通量平滑度对直肠癌术后调强计划的剂量影响[J].中国辐射卫生,2022,31(4):464-470.
- [5]邱刚,房保栓,魏强,等.通量平滑度对宫颈癌放疗治疗的剂量学影响[J].中国辐射卫生,2021,30(3):288-294.
- [6]Varian Medical Systems.Eclipse photo and electron algorithmsreference guide v15.5 [M].Palo Alto,CA:Varian Medical Systems,2018.
- [7]Rohrer Bley C,Meier VS,Besserer J,et al.Intensity-modulated radiation therapy dose prescription and reporting: Sum and substance of the International Commission on Radiation Units and Measurements Report 83 for veterinary medicine [J].Vet Radiol Ultrasound,2019,60(3):255-264.
- [8]苏晓科,胡艳微,谷晓华,等.宫颈癌术后容积旋转调强与三维适形调强放疗技术的剂量学差异[J].现代肿瘤医学,2021,29(4):675-678.
- [9]许新明,刘琦,刘颖,等.宫颈癌术后七野固定调强放疗与容积旋转调强放疗计划剂量学对比研究 [J].重庆医学,2022,51(17):2970-2975.
- [10]Armoogum KS.Effect of smoothing on treatment plan efficiency in IMRT: eclipse HeliosTM dose optimisation [J].J Radiother Pract,2012,11(4):229-238.
- [11]Niyas P,Abdullah KK,Noufal MP,et al.Effect of fluence smoothing on the quality of intensity-modulated radiation treatment plans[J].Radiol Phys Technol,2016,9(2):202-213.
- [12]Broderick M,Leach M,Coffey M.Direct aperture optimization as a means of reducing the complexity of Intensity Modulated Radiation Therapy plans[J].Radiat Oncol,2009,4:8.
- [13]Matuszak MM,Larsen EW,Fraass BA.Reduction of IMRT beam complexity through the use of beam modulation penalties in the objective function[J].Med Phys,2007,34(2):507-520.
- [14]Giorgia N,Antonella F,Eugenio V,et al.What is an acceptably smoothed fluence? Dosimetric and delivery considerations for dynamic sliding window IMRT[J].Radiat Oncol,2007,2:42.
- [15]吴哲,庞亚,王东,等.通量平滑度在直肠癌固定野调强放射治疗的剂量学评估[J].中国医学装备,2021,18(7):22-27.
- [16]Patel G,Mandal A,Choudhary S,et al.Plan evaluation indices: A journey of evolution [J].Rep Pract Oncol Radiother,2020,25(3):336-344.
- [17]Li Y,Wang J,Tan L,et al.Dosimetric comparison between IMRT and VMAT in irradiation for peripheral and central lung cancer[J].Oncol Lett,2018,15(3):3735-3745.
- [18]贾晓斌,董晓庆,朱皓,等.Eclipse 系统的通量平滑技术在头颈部肿瘤放疗中的应用[J].中国医学物理学杂志,2020,37(10): 1224-1229.
- [19]潘香,侯宇,杨毅,等.通量平滑度对左乳癌保乳术后容积旋转调强放疗剂量学的影响 [J].现代肿瘤医学,2021,29(15): 2691-2695.

收稿日期:2022-10-12;修回日期:2022-11-03

编辑/肖婷婷