

# 简化调强技术在鼻咽癌外照射中应用的 剂量学研究

李凯旋, 王佳舟, 姜睿, 胡伟刚

复旦大学附属肿瘤医院放射治疗科, 复旦大学上海医学院肿瘤学系, 上海 200032

[摘要] 背景与目的: 放射治疗是治疗鼻咽癌的首选方法。该文旨在研究简化调强放射治疗(simplified intensity-modulated radiation therapy, sIMRT)与调强放疗(intensity-modulated radiation therapy, IMRT)技术在鼻咽癌(nasopharyngeal carcinoma, NPC)放射治疗中的剂量学差异。方法: 对10例NPC患者以相同处方剂量和目标条件分别设计9野IMRT和sIMRT计划, 比较两种计划靶区剂量分布和剂量适形指数(conformity index, CI)与均匀性指数(homogeneity index, HI), 不同危及器官(organ at risk, OAR)剂量参数、机器总跳数(MU)和总子野数。结果: IMRT和sIMRT的CI、HI分别为0.647、0.057和0.633、0.071( $t=2.14$ ,  $P=0.062$ ;  $t=-6.21$ ,  $P=0.000$ ), sIMRT计划的靶区均匀性略差于IMRT, 但两种治疗计划均能满足临床剂量学的要求。两种计划中各OAR剂量参数差异无统计学意义( $t=-0.51\sim 2.22$ ,  $P=0.053\sim 0.621$ )。sIMRT计划的机器总跳数和总子野数均少于IMRT计划。结论: 鼻咽癌sIMRT计划的靶区剂量覆盖与IMRT计划相当, 均匀性略差于IMRT; 危及器官受照剂量相当, 但sIMRT技术可显著减少机器总跳数和总子野数, 对患者数量大的治疗中心提高治疗效率具有较高的优势。

[关键词] 鼻咽癌; 放射疗法; 简单调强放射治疗; 剂量学

DOI: 10.3969/j.issn.1007-3969.2015.12.010

中图分类号: R739.62 文献标志码: A 文章编号: 1007-3639(2015)12-0978-05

## Dosimetric study of simplified intensity-modulated radiation therapy for nasopharyngeal carcinoma

LI Kaixuan, WANG Jiazhou, JIANG Rui, HU Weigang (Department of Radiation Oncology, Fudan University Shanghai Cancer Center; Department of Oncology, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China)

Correspondence to: HU Weigang E-mail: Jackhuwg@gmail.com

[Abstract] **Background and purpose:** Radiotherapy has been the preferred method for the treatment of nasopharyngeal carcinoma (NPC). The aim of this paper was to compare the dosimetric differences in target volume and organ at risk between simplified intensity-modulated radiation therapy (sIMRT) and intensity-modulated radiation therapy (IMRT) in nasopharyngeal carcinoma. **Methods:** Treatment plans for ten NPC cases were designed with the same dose prescription and objective by means of IMRT and sIMRT respectively. Compare:(1) Plan dosimetric distribution, conformity index (CI) and homogeneity index (HI) of the targets, the dosimetric parameters of organ at risk (OAR); (2)The total monitor units (MU) and the total segments. **Results:** The CI and HI of the planning gross tumor volume(PGTV) were 0.647 and 0.057 (IMRT), 0.633 and 0.071 (sIMRT), respectively ( $t=2.14$ ,  $P=0.062$ ;  $t=-6.21$ ,  $P=0.000$ ). Compared to IMRT, sIMRT had less inferior target homogeneity. However both treatment plans could achieve the clinical dosimetric demands. There was no significant difference between IMRT and sIMRT in protecting OAR ( $t=-0.51\sim 2.22$ ,  $P=0.053\sim 0.621$ ). The sIMRT plan was better than IMRT plan in total MU and total segments. **Conclusion:** sIMRT is slightly inferior to IMRT in terms of target homogeneity, with similar target conformity and OAR dosimetric parameters. The sIMRT plan can reduce total monitor units and total segments. Thus it provides a clinical solution with high efficiency for radiotherapy center with a large number of patients.

[Key words] Nasopharyngeal carcinoma; Radiotherapy; Simplified intensity-modulated radiation therapy; Dosimetry

鼻咽癌是我国最常见的恶性肿瘤之一,有研究显示,放射治疗是目前治疗鼻咽癌的首选治疗手段<sup>[1]</sup>。调强放疗(intensity-modulated radiation therapy, IMRT)技术是在三维适形放疗技术的基础上发展起来的一种放疗技术,它克服了三维适形技术的局限,可实现靶区处方剂量的进一步提高和危及器官受照剂量的减少。但是IMRT技术子野数目过多、面积过小必将增加治疗时间和误差。简化调强放疗(simplified intensity-modulated radiation therapy, sIMRT)是针对IMRT的上述不足而提出的一种调强简化技术,它保留了IMRT大部分剂量学优势<sup>[2-4]</sup>。简化调强放疗是指单射野的平均子野数目小于等于5个,子野面积大于等于10 cm<sup>2</sup>,子野机器跳数大于等于10 MU的调强放疗技术,总子野数相对少,治疗时间短,同时也能减少在一般调强放疗中所带来的小子野和低跳数照射带来的不确定因素<sup>[5-7]</sup>。该技术已经在食管癌、直肠癌和宫颈癌等病种上广泛应用<sup>[8-9]</sup>。本研究旨在探讨sIMRT技术应用于鼻咽癌放疗的可行性,并与IMRT进行比较,为临床应用提供参考。

## 1 资料和方法

### 1.1 临床资料

本院10例鼻咽癌患者,男性6例,女性4例,平均年龄46.5岁。其中I期2例,II期5例,III期3例。全组病理均为低分化鳞癌。

### 1.2 影像采集

所有患者仰卧位,热塑面膜固定,采用飞利浦Big core CT扫描。

### 1.3 靶区定义与勾画

由临床医生在每例患者CT图像上勾画鼻咽和淋巴结计划大体肿瘤体积(planning gross tumor volume, PGTV)、亚临床病灶与高危淋巴引流区域的临床靶体积1(clinical target volume-1, CTV1)以及预防照射的CTV2。将GTV外放8 mm作为PGTV,CTV1外放5 mm作为计划靶体积1(planning target volume-1, PTV1),CTV2外放5 mm作为PTV2,PGTV、PTV1和PTV2的处方剂

量依次为66、60和54 Gy。靶区以外的危及器官参考ICRU 83号报告进行定义和勾画<sup>[10]</sup>

### 1.4 治疗计划设计

10例患者计划都采用同步加量技术,分30次同期完成治疗,并对每例患者采用治疗计划系统(treatment planning system, TPS)进行逆向优化设计以下两种计划。各靶区与危及器官的计划剂量约束条件如下:各PTV的 $V_{95\%} \geq 100\%$ 且 $V_{105\%} \leq 10\%$ ( $V_{x\%}$ 为接受 $x\%$ 处方剂量照射的计划靶体积的百分比);脊髓最大剂量 $D_{1\text{cm}^3}$ (1 cm<sup>3</sup>体积接受的最高剂量) $< 45$  Gy;脑干最大剂量 $D_{1\text{cm}^3} < 54$  Gy;腮腺 $D_{50\%}$ (50%体积最多能接受的剂量,以下类似) $< 30$  Gy;视神经和视交叉最大剂量 $D_{1\%} < 54$  Gy;晶体最大剂量 $D_{1\%}$ 尽可能低。IMRT和sIMRT均采用9个360°范围内均分机架角度的共面调强射野,其中IMRT计划限定最大子野个数为80个,最小子野面积为5 cm<sup>2</sup>,最小子野机器跳数为5 MU, sIMRT计划限定最大子野数目为40个,最小子野面积为10 cm<sup>2</sup>,最小子野机器跳数为10 MU。计划设计均在飞利浦Pinnacle<sup>3</sup> 8.0计划系统进行,采用瓦里安Clinac iX直线加速器的6 MV光子线进行实验,计划设计的优化算法为直接机器参数优化(direct machine parameter optimize, DMPO)算法。

### 1.5 计划评价

计划的比较是基于剂量分布和采用1 cGy和1 cm<sup>3</sup>的分辨率生成的剂量体积直方图。两种计划的处方都归一至96%的PGTV接受66 Gy。根据ICRU 83号报告,采用近似最大剂量 $D_{2\%}$ 、近似最小剂量 $D_{98\%}$ 和中位剂量 $D_{50\%}$ 来评估靶区剂量分布,并引入适形性指数<sup>[11]</sup>(conformity index, CI)和均匀性指数(homogeneity index, HI)评估计划质量。其中 $CI = (TV_{RI} \times TV_{RI}) / (TV \times V_{RI})$ ,  $HI = (D_{2\%} - D_{98\%}) / D_{50\%}$ ,式中 $TV_{RI}$ 为处方剂量线所包裹的靶区体积, $TV$ 为靶区体积, $V_{RI}$ 为处方剂量线所包裹的体积, $D_{x\%}$ 为 $x\%$ 靶区体积接受的剂量,HI表示靶区剂量分布的均匀度,理想情况下HI为0,均匀度最好,CI值介于0~1,值越接近于1说明此治疗计划适形越好。使用 $D_{1\text{cm}^3}$ 来



表 2 10例鼻咽癌患者调强放疗和简化调强放疗计划的主要危及器官剂量参数比较

Radiotherapy technology	Radiotherapy			Spinal cord $D_{1,cm^3}/cGy$			Brain stem $D_{1,cm^3}/cGy$			Optic chiasm			Optic nerve			Lens			Parotids		
	$D_{1,cm^3}/cGy$	$D_{50\%}/cGy$	$D_{mean}/cGy$	$D_{1,cm^3}/cGy$	$D_{50\%}/cGy$	$D_{mean}/cGy$	$D_{1,cm^3}/cGy$	$D_{50\%}/cGy$	$D_{mean}/cGy$	$D_{1,cm^3}/cGy$	$D_{50\%}/cGy$	$D_{mean}/cGy$	$D_{1,cm^3}/cGy$	$D_{50\%}/cGy$	$D_{mean}/cGy$	$D_{1,cm^3}/cGy$	$D_{50\%}/cGy$	$D_{mean}/cGy$	$D_{1,cm^3}/cGy$	$D_{50\%}/cGy$	$D_{mean}/cGy$
IMRT	3 788.2±289.9	4 901.9±263.7	4 360.4±1185.8	2 951.0±1 063.8	4 083.5±1472.2	1 895.5±810.3	470.9±108.0	344.0±80.8	3 670.3±386.5												
sIMRT	3 758.3±278.0	4 899.1±247.9	4 379.1±1194.4	2 929.6±1 044.0	4 040.0±1478.2	1 837.3±788.0	455.5±96.3	339.0±73.5	3 678.4±407.8												
<i>t</i> value	0.800	0.060	-0.370	0.430	0.780	2.220	2.190	1.360	-0.510												
<i>P</i> value	0.443	0.951	0.720	0.680	0.458	0.053	0.057	0.209	0.621												

### 2.3 总子野数和机器跳数

sIMRT计划的总子野数显著少于IMRT计划的总子野数(39.6个和77.8个,  $t=46.94$ ,  $P=0.000$ ), sIMRT计划的机器跳数相对IMRT计划的机器跳数有所减少(698.9 MU和853.9 MU,  $t=7.54$ ,  $P=0.000$ )。由于各计划子野机器跳数与治疗时间呈正相关, sIMRT计划的治疗时间少于IMRT计划的治疗时间。

### 3 讨 论

随着计算机技术和医学影像技术的发展, 肿瘤放疗进入了精确放疗时代。自从Brahme等<sup>[12]</sup>提出逆向调强技术以来, 随着计算机技术和医学影像技术的发展, IMRT已发展为一种精确的放疗技术<sup>[13]</sup>。其最大特点是可达到良好靶区剂量分布, 同时降低肿瘤周围正常组织剂量, 从而提高肿瘤局部控制率, 降低正常组织并发症发生率。鼻咽癌因紧邻周围器官或组织, IMRT已成为鼻咽癌放疗的主要手段。但由于IMRT技术采用多叶光栅(multileaf collimator, MLC)形成多个子野, 子野数过多, 面积过小引入剂量不确定性因素<sup>[5]</sup>, 机器跳数过多, 放疗时间较长, 患者舒适度下降使不自主运动概率显著增加, 可能会导致疗效下降。黄曼妮等<sup>[8]</sup>介绍了sIMRT技术用于宫颈癌放疗的情况, 结果显示sIMRT既能减少治疗时间, 又能较好保留IMRT的优点。

笔者选择复杂的鼻咽癌病例进行IMRT与sIMRT技术的比较研究, 结果显示sIMRT在靶区内剂量均匀度上不能完全等效IMRT, 但两种治疗计划均能达到临床要求, 总体上, 两种计划保护OAR能力相当。在总子野数上, 采用sIMRT技术相对IMRT技术显著减少了子野数目, 子野数目的大幅度减少有利于缩短计划执行时间, 治疗时间的减少不仅可提高科室加速器的使用效率, 而且能减轻患者不舒适感, 减少患者分次内位移, 提高治疗剂量分布精度和治疗效果。

从总MU数上来看, 相对sIMRT计划的子野面积, IMRT计划的子野面积过小, 导致需要更

多的子野和更多的机器跳数,增加了患者治疗时间,也导致患者接受较多漏射剂量的可能性增加。随着时间的推移和经验的积累,经IMRT治疗后第二原发肿瘤的危险性越来越引起重视,研究发现,患者非靶区的漏射和散射和所用的机器跳数成正比<sup>[14]</sup>,本研究显示sIMRT计划的机器跳数比IMRT有所减少,因此漏射到全身的放射剂量将减少。

综上所述,相对IMRT技术,在鼻咽癌外照射中,采用sIMRT技术在满足临床要求的剂量分布质量的前提下,减少了总子野数,降低了机器跳数,提高了治疗效率,具有性价比高的优势。

#### [参 考 文 献]

- [1] KAM M K, CHAU R M, SUEN J, et al. Intensity-modulated radiotherapy in nasopharyngeal carcinoma: dosimetric advantage over conventional plans and feasibility of dose escalation [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2003, 56(1): 145-157.
- [2] 耿 辉, 戴建荣, 李晔雄, 等. 一种简单调强放疗技术应用的初步研究 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2006, 15(5): 411-415.
- [3] SHEPARD D M, EARL M A, LI X A, et al. Direct aperture optimization: a turnkey solution for step-and-shoot IMRT [J]. *Med Phys*, 2002, 29(6): 1007-1018.
- [4] TERVO J, KOLMONEN P. A model for the control of a multileaf collimator in radiation therapy treatment planning [J]. *Inverse Probl*, 2000, 16(6): 1875-1895.
- [5] AZIMI R, ALAEI P, HIGGINS P. The effect of small field output factor measurements on IMRT dosimetry [J]. *Med Phys*, 2012, 39(8): 4691-4694.
- [6] CHARLES P H, CRANMER-SARDISON G, THWAITES D I, et al. A practical and theoretical definition of very small field size for radiotherapy output factor measurements [J]. *Med Phys*, 2014, 41(4): 1-8.
- [7] SHARPE M B, MILLER B M, YAN D, et al. Monitor unit setting for intensity modulated beams delivered using a step-and-shoot approach [J]. *Med Phys*, 2000, 27(12): 2719-2725.
- [8] 黄曼妮, 李明辉, 安菊生, 等. 简化调强技术在宫颈癌外照射中应用的剂量学研究 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2009, 18(3): 217-220.
- [9] 朱卫国, 周轲, 陶光州, 等. 简单调强高剂量或常规剂量放射治疗伴淋巴结转移的食管癌疗效分析 [J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2011, 31(4): 460-464.
- [10] ICRU. Prescribing, recording and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy. ICRU Report 83 [R]. Oxford: Oxford University Press, 2010, 36-50.
- [11] VAN' T RIET A, MAK A C A, MOERLAND M A, et al. A conformation number to quantify the degree of conformality in brachytherapy and external beam irradiation: Application to the prostate [J]. *Int J Radiat Oncol Phys*, 1997, 37(3): 731-736.
- [12] BRAHME A. Optimization of stationary and moving beam radiation therapy techniques [J]. *Radiother Oncol*, 1988, 12(2): 129-140.
- [13] 李龙根, 徐志勇, 胡伟刚. 直接机器参数优化技术在在鼻咽癌放疗中的应用 [J]. *中国癌症杂志*, 2006, 16(12): 1038-1042.
- [14] ABO-MADYAN Y, AZIZ M H, SCHNEIDER F, et al. Second cancer risk after 3D-CRT, IMRT and VMAT for breast cancer [J]. *Radiother Oncol*, 2014, 110(3): 471-476.

(收稿日期: 2015-01-04 修回日期: 2015-06-30)