

# 剂量网格分辨率大小对非小细胞肺癌立体定向放射治疗的剂量学影响

陈祥<sup>1</sup>, 单国平<sup>2</sup>, 邵凯南<sup>2</sup>, 李玉成<sup>1</sup>, 杨一威<sup>2</sup>, 李浦<sup>2</sup>, 王彬冰<sup>2</sup>, 周剑良<sup>1</sup>

1. 南华大学核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 浙江省肿瘤医院放射物理室, 浙江 杭州 310022

**【摘要】目的:**定量分析剂量网格分辨率的大小对非小细胞肺癌(NSCLC)立体定向放射治疗(SBRT)计划剂量分布的影响, 指导临床选用合适的剂量网格分辨率用于肺癌SBRT计划设计。**方法:**选取10例NSCLC患者, 采用容积旋转调强技术, 使用0.20 cm的剂量网格分辨率设计SBRT计划, 将治疗计划结果再分别用0.40、0.30、0.25、0.15、0.10 cm的剂量网格分辨率计算最终剂量。比较6种不同剂量网格分辨率下的计划靶区(PTV):  $D_{2\%}$ 、 $D_{mean}$ 、 $D_{98\%}$ 、均匀性指数(HI)、适形度指数(CI)和危及器官: 全肺、胸壁、食管、心脏、脊髓、主动脉、气管树等的相关剂量学参数的差异。**结果:**与0.20 cm剂量网格分辨率组计划相比较, 0.40、0.30、0.25、0.15、0.10 cm剂量网格分辨率计算得到的计划的靶区  $D_{2\%}$ 、 $D_{mean}$ 、CI均具有统计学意义( $P<0.05$ ); HI除0.15 cm剂量网格分辨率组以外, 均具有统计学意义( $P<0.05$ )。在危及器官受照剂量方面, 与0.20 cm剂量网格分辨率组计划相比较, 大于0.20 cm(0.40、0.30、0.25 cm)组计划全肺、胸壁、食管、心脏、脊髓、主动脉、气管树等的相关剂量学参数差异均有统计学意义( $P<0.05$ ); 小于0.20 cm(0.15、0.10 cm)组计划除全肺  $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{12.5}$  和  $V_{13.5}$  有影响以外( $P<0.05$ ), 胸壁、食管、心脏、脊髓、主动脉、气管树等的相关剂量学参数差异较小( $P>0.05$ )。**结论:**剂量网格分辨率的大小会影响剂量计算的准确性, 在NSCLC患者SBRT计划设计时, 建议使用0.20 cm或更小的剂量网格分辨率。

**【关键词】**非小细胞肺癌; 立体定向体部放射治疗; 剂量网格; 分辨率

**【中图分类号】**R730.55; R811.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2019)01-0006-06

## Dosimetric impacts of dose grid resolution on stereotactic body radiotherapy for non-small-cell lung cancer

CHEN Xiang<sup>1</sup>, SHAN Guoping<sup>2</sup>, SHAO Kainan<sup>2</sup>, LI Yucheng<sup>1</sup>, YANG Yiwei<sup>2</sup>, LI Pu<sup>2</sup>, WANG Binbing<sup>2</sup>, ZHOU Jianliang<sup>1</sup>

1. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001, China; 2. Department of Radiotherapy Physics, Zhejiang Cancer Hospital, Hangzhou 310022, China

**Abstract: Objective** To quantitatively analyze the effects of dose grid resolution on the dose distribution of stereotactic body radiotherapy (SBRT) of non-small-cell lung cancer (NSCLC) for providing guidance in selecting the optimal dose grid resolution for the design of SBRT plan of lung cancer. **Methods** Ten patients with NSCLC were enrolled in this study. With 0.20 cm dose grid resolution, volumetric modulated arc therapy technology was used to design SBRT plan, and then the dose grid resolution was set to 0.40, 0.30, 0.25, 0.15, 0.10 cm to calculate the final dose. Several dosimetric parameters of planning target volume and organs-at-risk, namely the  $D_{2\%}$ ,  $D_{mean}$ ,  $D_{98\%}$ , homogeneity index, conformity index of planning target areas, and the relevant dosimetric parameters of the whole lung, chest wall, esophagus, heart, spinal cord, aorta, tracheal tree, were compared among 6 SBRT plans with different dose grid resolutions. **Results** The  $D_{2\%}$ ,  $D_{mean}$  and conformity index in plans with dose grid resolutions of 0.40, 0.30, 0.25, 0.15 and 0.10 cm were statistically different from those in the plans with dose grid resolution of 0.20 cm ( $P<0.05$ ). Statistical differences were also found in homogeneity index between the plans with dose grid resolution of 0.20 cm and the other plans ( $P<0.05$ ), except for the plans with dose grid resolution of 0.15 cm. The relevant dosimetric parameters of the whole lung, chest wall, esophagus, heart, spinal cord, aorta and tracheal tree in plans with dose grid resolution larger than 0.2 cm (0.40, 0.30, 0.25 cm) were statistically different from those in plans with dose grid resolution of 0.2 cm ( $P<0.05$ ). For plans with dose grid resolution less than 0.2 cm (0.15, 0.10 cm) and plans with dose grid resolution of 0.2 cm, significant differences

**【收稿日期】**2018-06-11

**【基金项目】**国家重点研发计划(2017YFC0113200)

**【作者简介】**陈祥, 硕士研究生, 研究方向: 放射物理治疗, E-mail: 362639186@qq.com

**【通信作者】**周剑良, 教授, 博士生导师, E-mail: 13327341099@189.cn

were found in the  $V_{10}$ ,  $V_{20}$ ,  $V_{12.5}$  and  $V_{13.5}$  of the whole lung ( $P<0.05$ ), not in the relevant dosimetry parameters of chest wall, esophagus, heart, spinal cord, aorta and tracheal tree ( $P>0.05$ ). **Conclusion** Dose grid resolution can affect the accuracy of dose calculation. In the design of SBRT plans for NSCLC, dose grid resolution of 0.2 cm or smaller is recommended.

**Keywords:** non-small-cell lung cancer; stereotactic body radiotherapy; dose grid; resolution

## 前言

肺癌是临床常见的恶性肿瘤之一,我国肺癌发病率和病死率均居恶性肿瘤首位,约85%的患者为非小细胞肺癌(NSCLC)<sup>[1-2]</sup>。早期NSCLC首选手术治疗,但对于无法耐受手术或不愿意接受手术的患者,放疗则是重要的局部治疗手段<sup>[3]</sup>。立体定向放射治疗(SBRT)常用于NSCLC治疗,其特点是靶区剂量梯度陡峭、边缘剂量跌落迅速,能够将高能射线聚焦于靶区的同时,最大程度降低周围危及器官的剂量<sup>[4-6]</sup>。SBRT通常分次数较少、单次剂量较大、具有很高的生物等效剂量,因此需要准确计算剂量分布<sup>[7-9]</sup>。国内外有文献报道计算网格大小会影响剂量计算的准确性和剂量分布<sup>[10]</sup>,但是对于NSCLC患者SBRT计划设计时不同剂量网格分辨率对剂量计算的影响,相关文献报道较少。因此,本研究旨在定量分析剂量网格分辨率对NSCLC患者SBRT计划最终剂量分布的影响,为临床应用提供一定的剂量学参考依据,指导临床选用合适的剂量网格分辨率进行NSCLC患者SBRT计划设计。

## 1 资料与方法

### 1.1 病例选择

随机选取浙江省肿瘤医院2017年5~12月接受RapidArc-SBRT根治性放疗的NSCLC患者10例。其中,男6例,女4例;年龄31~88岁,中位年龄72.5岁。所有患者均经病理检查确诊,无纵膈淋巴结转移,左侧肺癌4例,右侧肺癌6例,肿瘤形状近似圆形,肿瘤体积4.06~77.64 cm<sup>3</sup>,平均(28.24±21.68) cm<sup>3</sup>,此前均未接受过胸部放射治疗。

### 1.2 CT模拟定位

患者取仰卧位,采用热塑体膜(6例)或真空负压袋(4例)固定,在平静呼吸下使用飞利浦32排大孔径CT模拟定位机(Philips, BrillianceTM Big Bore CT, 荷兰)对患者进行全时相(10个时相)四维CT增强扫描,扫描范围从下颌到全胸廓的所有区域,扫描层厚3 mm。CT扫描图像以DICOM格式经局域网传输到RayStation v4.5.1 三维治疗计划系统中,由临床医生勾画靶区。

### 1.3 靶区勾画与处方设定

根据ICRU 62号和83号报告<sup>[11-12]</sup>,在肺窗下勾画10个不同呼吸时相的肿瘤靶区并生成内靶区(ITV),再将ITV在三维方向上各外扩5 mm生成计划靶区(PTV),并勾画左侧肺、右侧肺、胸壁、食管、气管树、心脏、主动脉、脊髓等危及器官,处方剂量统一为50 Gy/5 f,要求至少覆盖95% PTV体积。

### 1.4 计划设计

使用RayStation治疗计划系统分别为10例患者设计RapidArc-SBRT治疗计划。利用计划系统提供的“Dual Arc”功能生成顺时针和逆时针方向的对偶弧<sup>[13]</sup>,左侧肺患者使用330°~180°的对偶弧,右侧肺患者使用182°~30°的对偶弧,机架角度间隔2°、准直器角度10°、X线能量6 MV、剂量网格分辨率0.20 cm,按目标函数进行逆向运算,采用CC卷积叠加算法,单次优化迭代60次,经反复优化设计,获得符合临床要求、医生满意的治疗计划。复制此计划,将剂量网格分辨率分别修改为0.40、0.30、0.25、0.15、0.10 cm计算最终剂量分布,每例患者获得6种不同的计划,对结果进行分析比较。

### 1.5 计划评价参数

**1.5.1 靶区剂量参数** 根据ICRU 83号报告<sup>[12]</sup>,比较接近最大剂量( $D_{2\%}$ )( $D_{x\%}$ 表示 $x\%$  PTV体积接受的剂量)、平均剂量( $D_{mean}$ )、接近最小剂量( $D_{98\%}$ )、靶区均匀性指数(HI)、靶区适形度指数(CI)。HI=( $D_{2\%}-D_{98\%}$ )/ $D_{50\%}$ , HI取值为0~1, HI值越小表明靶区剂量分布越均匀;CI=( $V_{T, ref}/V_T$ )×( $V_{T, ref}/V_{ref}$ ),其中, $V_{T, ref}$ 为参考等剂量线面所包围的靶区体积, $V_T$ 为靶区体积, $V_{ref}$ 为参考等剂量线面所包围的所有区域的体积,CI取值为0~1, CI值越接近1说明靶区适形度越好。

**1.5.2 危及器官剂量参数** 根据AAPM TG101号报告<sup>[14]</sup>,比较全肺: $V_{10}(\%)$ 、 $V_{12.5}(cc)$ 、 $V_{13.5}(cc)$ 和 $V_{20}(\%)$ ;胸壁: $V_{30}(cc)$ 、 $V_{50}(cc)$ 和 $D_{max}$ ;食管、心脏、脊髓、主动脉、气管树: $D_{max}$ 。其中, $V_x(\%)$ 表示该器官受到 $x$  Gy及以上剂量的相对体积, $V_x(cc)$ 表示该器官受到 $x$  Gy及以上剂量的绝对体积。

### 1.6 统计学方法

采用SPSS 22.0统计学软件对6种计划所得数据进行统计学处理,计量资料用均数±标准差表示,采用配对 $t$ 检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 靶区剂量参数比较

与对照组 0.20 cm 剂量网格分辨率计划相比较, 0.40、0.30、0.25、0.15、0.10 cm 剂量网格分辨率计算得

到的计划 PTV 的  $D_{\text{mean}}$ 、 $D_{2\%}$ 、CI 均具有统计学意义 ( $P<0.05$ ); HI 除 0.15 cm 组以外, 均具有统计学意义 ( $P<0.05$ );  $D_{98\%}$  除 0.30 cm 组以外, 均无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 如表 1 所示。

表 1 6 种剂量网格分辨率 RapidArc-SBRT 计划的靶区剂量学比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.1 Dosimetric comparison of target areas among 6 RapidArc-SBRT plans with different dose grid resolutions ( $\text{Mean} \pm \text{SD}$ )

Dose grid resolution/cm	PTV				
	$D_{98\%}/\text{cGy}$	$D_{\text{mean}}/\text{cGy}$	$D_{2\%}/\text{cGy}$	HI	CI
0.10	4 850.60±98.50	5 773.50±91.39*	6 621.80±195.90*	0.31±0.04*	0.90±0.02*
0.15	4 842.00±88.68	5 793.00±91.34*	6 651.80±193.68*	0.31±0.04	0.89±0.03*
0.20	4 840.40±89.83	5 815.80±90.76	6 682.30±189.85	0.32±0.03	0.88±0.03
0.25	4 823.90±80.76	5 860.20±103.78*	6 736.70±204.69*	0.32±0.03*	0.86±0.03*
0.30	4 810.70±64.34*	5 901.80±95.44*	6 806.90±212.93*	0.34±0.04*	0.84±0.04*
0.40	4 812.10±65.76	6 017.30±125.90*	6 961.00±214.86*	0.35±0.03*	0.79±0.05*

SBRT: Stereotactic body radiotherapy; PTV: Planning target volume; HI: Homogeneity index; CI: Conformity index; Compared with plan with dose grid resolution of 0.20 cm, \* $P<0.05$

此外, 将 0.10 cm 剂量网格分辨率组计划与 0.15 cm 组计划相比较, 除  $D_{98\%}$  以外,  $D_{\text{mean}}$ 、 $D_{2\%}$ 、HI 和 CI 均有统计学意义 ( $P<0.05$ ), 如表 2 所示。

表 2 0.10 与 0.15 cm 剂量网格分辨率 RapidArc-SBRT 计划的靶区剂量学比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.2 Dosimetric comparison of PTV between RapidArc-SBRT plan with dose grid resolutions of 0.10 and 0.15 cm ( $\text{Mean} \pm \text{SD}$ )

PTV	Dose grid resolution/cm		P value
	0.10	0.15	
$D_{98\%}/\text{cGy}$	4 850.60±98.50	4 842.00±88.68	0.29
$D_{\text{mean}}/\text{cGy}$	5 773.50±91.39	5 793.00±91.34	0.02
$D_{2\%}/\text{cGy}$	6 621.80±195.90	6 651.80±193.68	0.01
HI	0.31±0.04	0.31±0.04	0.00
CI	0.90±0.02	0.89±0.03	0.01

### 2.2 危及器官剂量参数比较

与对照组 0.20 cm 剂量网格分辨率计划相比较, 用 0.40、0.30、0.25 cm 剂量网格分辨率计算得到的计划全肺  $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{12.5}$  和  $V_{13.5}$  都高于 0.20 cm 组, 且均具有统计学意义 ( $P<0.05$ ); 胸壁  $V_{30}$ 、 $V_{50}$  和  $D_{\text{max}}$  均高于 0.20 cm 组, 但除 0.40、0.30 cm 组  $D_{\text{max}}$  和 0.40 cm 组  $V_{30}$  以外, 均无统计学意义 ( $P>0.05$ ); 除 0.25 cm 组主动脉  $D_{\text{max}}$ 、0.30 cm 组心脏  $D_{\text{max}}$ 、0.30 cm 组主动脉  $D_{\text{max}}$  和 0.40 cm 组气管树  $D_{\text{max}}$  以外, 食管、心脏、脊髓、主动

脉、气管树的  $D_{\text{max}}$  与 0.20 cm 组相比较均具有统计学意义 ( $P<0.05$ ), 如表 3 所示。

与对照组 0.20 cm 剂量网格分辨率计划相比较, 用 0.10 和 0.15 cm 剂量网格分辨率计算得到的计划全肺  $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{12.5}$  和  $V_{13.5}$  要低于 0.20 cm 组, 除 0.15 cm 组  $V_{20}$  和  $V_{13.5}$  以外, 均具有统计学意义 ( $P<0.05$ ); 胸壁、食管、心脏、脊髓、主动脉的评价参数与 0.20 cm 组相比较均无统计学意义 ( $P>0.05$ ); 气管树  $D_{\text{max}}$  0.15 cm 组有统计学意义 ( $P<0.05$ )、0.10 cm 组无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 如表 4 所示。

此外将 0.10 cm 剂量网格分辨率组计划与 0.15 cm 剂量网格分辨率组计划相比较, 全肺  $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{12.5}$  和  $V_{13.5}$ , 以及脊髓  $D_{\text{max}}$  有统计学意义 ( $P<0.05$ ), 其它评价参数均无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 如表 4 所示。

## 3 讨论

本研究针对同一患者, 在约束函数、子野个数及形状等其它条件完全一致的情况下, 使用 0.40、0.30、0.25、0.20、0.15、0.10 cm 6 种不同的剂量网格分辨率计算得到 6 个 RapidArc-SBRT 计划, 结果表明, 剂量网格分辨率的大小会影响剂量计算的准确性和剂量分布。

国外学者采用特殊人体模型, 对不同剂量网格分辨率计算得到的计划进行剂量测量; 国内学者选取不同病例, 对多种剂量网格分辨率计算得到的计划进行评估和验证, 均证明剂量网格分辨率对治疗

表 3 0.20, 0.25, 0.30 和 0.40 cm 剂量网格分辨率计划的危及器官剂量学比较( $\bar{x} \pm s$ )Tab.3 Dosimetry comparison of organs-at-risk among plans with dose grid resolutions of 0.20, 0.25, 0.30 and 0.40 cm (Mean $\pm$ SD)

Organs-at-risk	Parameter	Dose grid resolution/cm			
		0.20	0.25	0.30	0.40
Whole lung	V <sub>10</sub> /%	8.78 $\pm$ 3.63	8.88 $\pm$ 3.69*	8.95 $\pm$ 3.64*	9.18 $\pm$ 3.67*
	V <sub>20</sub> /%	3.84 $\pm$ 2.43	3.90 $\pm$ 2.47*	3.94 $\pm$ 2.45*	4.07 $\pm$ 2.47*
	V <sub>12.5</sub> /cc	250.61 $\pm$ 125.80	253.24 $\pm$ 126.30*	255.57 $\pm$ 125.44*	261.29 $\pm$ 124.87*
	V <sub>13.5</sub> /cc	230.85 $\pm$ 121.79	233.38 $\pm$ 122.32*	235.54 $\pm$ 121.59*	241.93 $\pm$ 119.53*
Chest wall	D <sub>max</sub> /cGy	3 796.00 $\pm$ 1 788.89	3 830.00 $\pm$ 1 790.80	3 882.10 $\pm$ 1 833.03*	3 979.40 $\pm$ 1 882.41*
	V <sub>30</sub> /cc	5.25 $\pm$ 8.70	5.50 $\pm$ 9.08	5.65 $\pm$ 9.34	6.17 $\pm$ 9.87*
	V <sub>50</sub> /cc	0.13 $\pm$ 0.41	0.14 $\pm$ 0.44	0.16 $\pm$ 0.47	0.21 $\pm$ 0.60
Esophagus	D <sub>max</sub> /cGy	1 026.40 $\pm$ 320.66	1 039.00 $\pm$ 321.32*	1 061.40 $\pm$ 328.56*	1 061.70 $\pm$ 310.41*
Heart	D <sub>max</sub> /cGy	938.80 $\pm$ 717.06	954.90 $\pm$ 729.42*	925.90 $\pm$ 708.39	975.50 $\pm$ 753.86*
Spinal cord	D <sub>max</sub> /cGy	1 016.00 $\pm$ 353.97	1 028.70 $\pm$ 358.28*	1 040.50 $\pm$ 360.75*	1 067.30 $\pm$ 392.61*
Aorta	D <sub>max</sub> /cGy	1 729.40 $\pm$ 998.83	1 743.90 $\pm$ 1 008.00	1 773.30 $\pm$ 1 046.37	1 827.00 $\pm$ 1 089.95*
Tracheal tree	D <sub>max</sub> /cGy	1 513.00 $\pm$ 1 204.24	1 564.80 $\pm$ 1 239.75*	1 566.00 $\pm$ 1 255.28*	1 560.70 $\pm$ 1 251.92

Compared with plans with dose grid resolution of 0.20 cm, \*P&lt;0.05

表 4 0.10, 0.15 和 0.20 cm 剂量网格分辨率计划的危及器官剂量学比较( $\bar{x} \pm s$ )Tab.4 Dosimetry comparison of organs-at-risk among plans with dose grid resolutions of 0.10, 0.15 and 0.20 cm (Mean $\pm$ SD)

Organs-at-risk	Parameter	Dose grid resolution /cm			P value
		0.10	0.15	0.20	0.10 cm vs 0.15 cm
Whole lung	V <sub>10</sub> /%	8.70 $\pm$ 3.70*	8.73 $\pm$ 3.66*	8.78 $\pm$ 3.63	0.01
	V <sub>20</sub> /%	3.80 $\pm$ 2.45*	3.82 $\pm$ 2.45	3.84 $\pm$ 2.43	0.02
	V <sub>12.5</sub> /cc	248.18 $\pm$ 126.93*	249.36 $\pm$ 126.69*	250.61 $\pm$ 125.80	0.01
	V <sub>13.5</sub> /cc	228.50 $\pm$ 122.82*	229.63 $\pm$ 122.67	230.85 $\pm$ 121.79	0.01
Chest wall	D <sub>max</sub> /cGy	3 789.30 $\pm$ 1 780.64	3 808.70 $\pm$ 1 797.45	3 796.00 $\pm$ 1 788.89	0.38
	V <sub>30</sub> /cc	5.08 $\pm$ 8.44	5.21 $\pm$ 8.67	5.25 $\pm$ 8.70	0.13
	V <sub>50</sub> /cc	0.11 $\pm$ 0.35	0.12 $\pm$ 0.38	0.13 $\pm$ 0.41	0.34
Esophagus	D <sub>max</sub> /cGy	1 025.80 $\pm$ 322.92	1 032.70 $\pm$ 314.58	1 026.40 $\pm$ 320.66	0.21
Heart	D <sub>max</sub> /cGy	927.10 $\pm$ 704.17	925.50 $\pm$ 707.46	938.80 $\pm$ 717.06	0.77
Spinal cord	D <sub>max</sub> /cGy	1 008.00 $\pm$ 345.68	1 012.70 $\pm$ 347.44	1 016.00 $\pm$ 353.97	0.05
Aorta	D <sub>max</sub> /cGy	1 708.80 $\pm$ 969.92	1 718.60 $\pm$ 987.40	1 729.40 $\pm$ 998.83	0.24
Tracheal tree	D <sub>max</sub> /cGy	1 529.70 $\pm$ 1 226.96	1 523.80 $\pm$ 1 205.26*	1 513.00 $\pm$ 1 204.24	0.55

Compared with plan with dose grid resolution of 0.20 cm, \*P&lt;0.05

计划剂量分布存在影响<sup>[15-19]</sup>。Chung 等<sup>[15]</sup>提出计划系统在实际剂量计算时计算点个数有限,其它点的剂量是通过插值得到的。网格插值计算会产生剂量误差和位置误差,每个网格体中心点剂量代表该立方体的剂量,网格划分越小相邻格体间剂量梯度变化

越呈线性,从而插值计算的结果越准确;反之可能偏离线性,计算误差就越大。王文婷<sup>[20]</sup>提出剂量梯度大的区域剂量网格分辨率改变对计算精度影响较大,插值计算时容易产生剂量计算偏差。本研究结果表明,在满足处方剂量至少覆盖 95% PTV 体积的



条件下,随着剂量网格分辨率的减小,靶区  $D_{2\%}$ 、 $D_{\text{mean}}$  随之减小,  $D_{98\%}$  随之增大,靶区适形度和靶区剂量分布越来越好。0.40 cm 剂量网格分辨率组  $D_{2\%}$  与  $D_{\text{mean}}$  分别比 0.10 cm 组要高 3.40、2.44 Gy,这可能是由于 RapidArc-SBRT 调强射野内靶区剂量梯度陡峭、边缘剂量跌落迅速,加之靶区体积较小,插值计算时剂量网格分辨率稍有变化即可造成 PTV 较大的剂量学改变。在危及器官受量方面,使用 0.20 cm 或更小的剂量网格分辨率进行剂量计算,剂量准确性较高,这和 Ong 等<sup>[10]</sup>与 Kan 等<sup>[21]</sup>研究结果一致;使用 0.20 cm 以上剂量网格分辨率进行剂量计算,危及器官受量会存在明显差异。与 0.20 cm 剂量网格分辨率组计划相比较,小于 0.20 cm (0.10 和 0.15 cm) 组计划全肺受照剂量存在差异 ( $P < 0.05$ ),但  $V_{10}$  和  $V_{20}$  变化在 0.08% 以内,  $V_{12.5}$  和  $V_{13.5}$  变化约 2 cc,胸壁、食管、心脏、脊髓、主动脉、气管树等的受照剂量无明显差异 ( $P > 0.05$ );大于 0.20 cm (0.25、0.30 和 0.40 cm) 组计划全肺、胸壁、食管、心脏、脊髓、主动脉、气管树等的相关剂量学参数均存在差异 ( $P < 0.05$ )。特别是对于受量接近限量值的危及器官,采用较大的剂量网格分辨率进行计算,结果会超出剂量限制值。这与 AAPM TG101 号报告<sup>[14]</sup>建议的 SBRT 使用 0.20 cm 或更小的各向同性网格,不鼓励使用大于 0.30 cm 的网格一致。基于此点建议,本研究又将 0.10 cm 剂量网格分辨率组计划与 0.15 cm 剂量网格分辨率组计划进行比较,仅全肺  $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{12.5}$ 、 $V_{13.5}$  和脊髓  $D_{\text{max}}$  存在差异,其它危及器官评价参数均无统计学意义。因此我们猜测剂量网格分辨率或许对点剂量影响较小,对体积剂量影响较大。

肺癌患者靶区周围的危及器官较多,不恰当的肺部受照体积与受照剂量会引起放射性肺炎的发生,一旦靶区定位存在偏差,很可能引发放射性脊髓损伤、食管穿孔以及放射性心脏病等严重并发症<sup>[22]</sup>。因此,需要较小的剂量网格分辨率来保证剂量计算的准确性。但是剂量网格分辨率越小,计划系统计算时间就越长,影响计划设计的效率。本文的研究初步认识了剂量网格分辨率对肺癌 SBRT 计划的剂量学影响,在后续的研究中将探讨剂量网格分辨率如何取值来平衡计划设计效率和计算精度,并结合计划的 Gamma 通过率做进一步的研究。

综上所述,在设计 NSCLC 患者 SBRT 治疗计划时建议使用 0.20 cm 或更小的剂量网格分辨率。

## 【参考文献】

[1] CHEN W Q, ZHENG R S, ZENG H M, et al. Annual report on status

of cancer in China, 2011 [J]. Chinese Journal of Cancer Research, 2015, 27(1): 2-12.

[2] 石远凯, 孙燕, 丁翠敏, 等. 中国埃克替尼治疗非小细胞肺癌专家共识(2016版)[J]. 中国肺癌杂志, 2016, 19(7): 489-493.

SHI Y K, SUN Y, DING C M, et al. Chinese erlotinib therapy for non-small cell lung cancer expert consensus (2016 version) [J]. Chinese Journal of Lung Cancer, 2016, 19(7): 489-493.

[3] 林晓东, 吴其年, 梁剑菲, 等. p-MNK1 表达水平与非小细胞肺癌术后生存率的关系 [J]. 实用医学杂志, 2017, 33(4): 623-626.

LIN X D, WU Q N, LIANG J F, et al. Correlation between p-MNK1 expression and postoperative survival rate in patients with non small cell lung cancer [J]. The Journal of Practical Medicine, 2017, 33(4): 623-626.

[4] GUCKENBERGER M, HEILMAN K, WULF J, et al. Pulmonary injury and tumor response after stereotactic body radiotherapy (SBRT): results of a serial follow-up CT study [J]. Radiother Oncol, 2007, 85(3): 435-442.

[5] TAKEDA A, KUNIEDA E, TAKEDA T, et al. Possible misinterpretation of demarcated solid patterns of radiation fibrosis on CT scans as tumor recurrence in patients receiving hypofractionated stereotactic radiotherapy for lung cancer [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 70(4): 1057-1065.

[6] TAKEDA T, TAKEDA A, KUNIEDA E, et al. Radiation injury after hypofractionated stereotactic radiotherapy for peripheral small lung tumors: serial changes on CT [J]. AJR Am J Roentgenol, 2004, 182(5): 1123-1128.

[7] VIDETIC G M, HU C, SINGH A K, et al. A randomized phase 2 study comparing 2 stereotactic body radiation therapy schedules for medically inoperable patients with stage I peripheral non-small cell lung cancer: NRG Oncology RTOG 0915 (NCCTG N0927) [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2015, 93(4): 757-764.

[8] OLSEN J R, ROBINSON C G, NAQA I E, et al. Dose-response for stereotactic body radiotherapy in early-stage non-small-cell lung cancer [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 81(4): e299-e303.

[9] TIMMERMAN R, PAULUS R, GALVIN J, et al. Stereotactic body radiation therapy for inoperable early stage lung cancer [J]. JAMA, 2010, 303(11): 1070-1076.

[10] ONG C L, CUIJPERS J P, SENAN S, et al. Impact of the calculation resolution of AAA for small fields and RapidArc treatment plans [J]. Med Phys, 2011, 38(8): 4471-4479.

[11] ICRU. International Commission on Radiation Units and Measurements: Prescribing, recording, and reporting photon beam therapy. ICRU Report 62 [R]. ICRU, 1999: 1097-1101.

[12] ICRU. International Commission on Radiation Units and Measurements: Prescribing, recording, and reporting photon beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT). ICRU Report 83 [R]. ICRU, 2010, 10: 1-106.

[13] RAYSEARCH LABORATORIES A B. Raysearch white paper volumetric modulated arc therapy (VMAT) optimization with RayArc [R]. 2009.

[14] BENEDICT S H, YENICE K M, FOLLOWWILL D, et al. Stereotactic body radiation therapy: the report of aapm task group 101 [J]. Med Phys, 2010, 37(8): 4078-4101.

[15] CHUNG H, JIN H, PALTA J, et al. Dose variations with varying calculation grid size in head and neck IMRT [J]. Phys Med Biol, 2006, 51(19): 4841-4856.

[16] 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.

[17] 王文婷, 李勤, 梁志文, 等. 计算网格改变对鼻咽癌调强放疗计算精

- 度的影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2009, 18(6): 494-495.
- WANG W T, LI Q, LIANG Z W, et al. Effects of calculation grid changes on the calculation accuracy of IMRT for nasopharyngeal cancer [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2009, 18(6): 494-495.
- [18] 乌晓礼, 王利华, 郝志龙, 等. Pinnacle 3 治疗计划系统中计算网格大小对剂量分布的比较研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(3): 224-225.
- WU X L, WANG L H, YU Z L, et al. Comparison of dose distribution by calculation grid size in Pinnacle 3 treatment planning system[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(3): 224-225.
- [19] 刘翔宇, 柳先锋, 何亚男, 等. 计算网格大小对Eclipse治疗计划系统剂量计算的影响[J]. 吉林大学学报(医学版), 2011, 37(5): 843-847.
- LIU X Y, LIU X F, HE Y N, et al. Effects of different calculation grids on dose calculation in treatment plan system of Eclipse[J]. Journal of Jilin University (Medicine Edition), 2011, 37(5): 843-847.
- [20] 王文婷. 计算网格对调强不同剂量梯度区域剂量计算的影响[J]. 医疗装备, 2009, 22(5): 16-18.
- WANG W T. Effect of calculating grid on dosage calculation in different dose gradient regions [J]. Medical Equipment, 2009, 22(5): 16-18.
- [21] KAN M W, LEUNG L H, YU P K. Verification and dosimetric impact of Acuros XB algorithm on intensity modulated stereotactic radiotherapy for locally persistent nasopharyngeal carcinoma [J]. Med Phys, 2012, 39(8): 4705-4714.
- [22] 吕冬婕, 王澜, 韩春, 等. 局部晚期非小细胞肺癌同期放化疗所致急性食管损伤相关因素分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2010, 30(2): 185-188.
- LÜ D J, WANG L, HAN C, et al. Toxicity analysis for esophagus in locally advanced non-small cell lung cancer (NSCLC) treatment using three dimensional conformal radiotherapy combined with concurrent chemotherapy [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2010, 30(2): 185-188.

(编辑:陈丽霞)