

共面与非共面的VMAT在肺癌放疗中的剂量学比较

胡晓伟¹, 史玉静¹, 李金凯², 成红艳², 孙新臣², 顾宵寰²

1. 南京医科大学特种医学系, 江苏 南京 210009; 2. 南京医科大学第一附属医院放疗科, 江苏 南京 210009

【摘要】目的:探讨共面与非共面的容积调强(VMAT)技术在中央型肺癌和周围型肺癌中的剂量学差异。**方法:**选择14例单一病灶的肺癌患者, 其中7例为中央型肺癌、7例为周围型肺癌, 分别制定共面的VMAT计划以及非共面的VMAT计划。比较两种计划的靶区适形指数(CI)、均匀性指数(HI)和梯度指数(GI); 危及器官比较: 双肺 V_1 、 $V_{2.5}$ 、 V_5 、 V_{20} 、 D_{mean} , 健侧肺 V_1 和 V_5 , 心脏 D_{mean} , 食管 D_{max} , 脊髓 D_{max} , 胸壁 V_{30} 及 D_{max} 。**结果:**对于靶区GI、胸壁 V_{30} 和双肺 V_{20} , 非共面的VMAT计划均要好于共面的VMAT计划。在中央型肺癌中, 差异更加明显, 结果具有统计学意义($P<0.05$)。双肺及健侧肺的 V_1 中, 非共面的VMAT计划高于共面的VMAT计划($P<0.05$)。对于心脏 D_{mean} , 非共面VMAT计划高于共面的计划, 但差异无统计学意义($P>0.05$)。非共面VMAT计划的机器跳数高于共面的VMAT计划($P<0.05$)。**结论:**非共面的VMAT计划较共面的VMAT计划剂量梯度更陡, 对于保护胸壁和肺更有优势, 在中央型肺癌中更加明显。本研究结果为肺癌的计划设计提供了一种新思路。

【关键词】肺癌; 非共面; 容积调强; 立体定向放射治疗

【中图分类号】R312; R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)11-1246-06

Dosimetric comparison of coplanar and non-coplanar volumetric modulated arc therapy for lung cancer

HU Xiaowei¹, SHI Yujing¹, LI Jinkai², CHENG Hongyan², SUN Xincheng², GU Xiaohuan²

1. Department of Special Medicine, Nanjing Medical University, Nanjing 210009, China; 2. Department of Radiation Oncology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210009, China

Abstract: Objective To investigate the dosimetric differences between coplanar and non-coplanar volumetric modulated arc therapy (VMAT) in treatment of central type lung cancer and peripheral lung cancer. **Methods** A total of 14 patients with single lesion of lung cancer, including 7 cases of central type lung cancer and 7 cases of peripheral lung cancer, were selected. Two plans, namely coplanar and non-coplanar VMAT plans, were designed for each patient. The conformity index, homogeneity index and gradient index of target areas were compared, and several indexes of organs-at-risk, including the V_1 , $V_{2.5}$, V_5 , V_{20} , D_{mean} of lungs, the V_1 , V_5 of contralateral lung, the D_{mean} of heart, the D_{max} of esophagus, the D_{max} of spinal cord, and the D_{max} , V_{30} of chest wall, were also compared. **Results** The gradient index of target areas, the V_{30} of chest wall, and the V_{20} of lungs in non-coplanar VMAT plan were superior to those in coplanar VMAT plan, and the differences were more obvious in patients with central type lung cancer, with statistical significances ($P<0.05$). The V_1 of bilateral lungs and contralateral lung was higher in non-coplanar VMAT plan than in coplanar VMAT plan ($P<0.05$), and the D_{mean} of heart in non-coplanar VMAT plans was higher than that in coplanar VMAT plans, without any statistical differences ($P>0.05$). Moreover, the number of monitor units in non-coplanar VMAT plan was higher than that in coplanar VMAT plan ($P<0.05$). **Conclusion** Non-coplanar VMAT plan has a steeper dose gradient than coplanar VMAT plan, which is more advantageous for the protection of the chest wall and lung, especially for patients with central type lung cancer, providing a new idea for designing treatment plans of lung cancer.

Keywords: lung cancer; non-coplanar; volumetric modulated arc therapy; stereotactic body radiotherapy

【收稿日期】2018-05-12

【基金项目】国家自然科学基金(81472809, 81502653, 81672983, 81703028)

【作者简介】胡晓伟, 硕士, 研究方向: 医学物理, E-mail: 2424805446@qq.com

【通信作者】顾宵寰, 物理师, 研究方向: 医学物理学, E-mail: 15751886651@163.com

前言

目前, 肺癌的主要治疗方法是手术和放化疗, 对于部分早期患者(主要是I期和不作淋巴结引流区预防照射的II期)因心肺功能差、合并其他内科疾病或体弱不能耐受手术治疗^[1-2]; 或拒绝手术治疗的, 立体定向放射治疗(Stereotactic Body Radiation Therapy,

SBRT)是一种不错的治疗选择,能够达到与手术相当的治疗效果,而且可以避免手术带来的并发症^[3-6]。容积旋转调强(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)是一种先进的调强技术,应用于肺癌的SBRT治疗中,可以明显缩短治疗时间,减少治疗中患者体位的变动以及体内器官运动带来的随机误差,实现更为精确的放疗^[7]。目前,关于肺癌非共面射野的放射治疗,主要集中在调强放疗(Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT)中^[8-11],在VMAT技术中应用非共面射野的报道很少。本文通过比较共面与非共面的VMAT计划剂量学差异,探究非共面射野在VMAT计划中的剂量学优势。

1 材料与方法

1.1 病例资料

随机选取2016年3月~2017年12月在南京医科大学第一附属医院治疗中心进行放疗的单一病灶的肺癌患者14例,年龄范围41~87岁,中位年龄73岁;其中男性11例、女性3例;周围型肺癌7例、中央型肺癌7例;均为鳞癌。病人的详细信息见表1。

表1 病人的基本参数
Tab.1 General information of patients

No. of patient	Age/years	Gender	Planning target volume/cm ³	Location
1	71	M	56.43	Central
2	81	F	41.66	Central
3	87	M	14.58	Peripheral
4	58	M	38.70	Peripheral
5	75	M	7.11	Peripheral
6	78	M	67.61	Peripheral
7	66	M	86.53	Central
8	64	F	39.28	Central
9	75	M	53.96	Peripheral
10	54	M	82.17	Central
11	78	M	85.11	Peripheral
12	65	M	63.83	Central
13	41	F	53.09	Central
14	84	M	26.18	Peripheral

1.2 体位固定和CT扫描

患者在治疗前均采用仰卧位,双手上举至额头,用热塑体膜进行体位固定。嘱患者平静呼吸,待呼吸平稳后,使用4DCT(SOMATOM Sensation Open,

CT)进行扫描,扫描范围从第4颈椎上缘至第2腰椎下缘,扫描层厚5 mm。将获得的CT图像通过DICOM格式传输到Monaco医生工作站。

1.3 靶区勾画

由放疗科临床医师根据国际辐射单位和测量委员会(ICRU)62报告勾画肿瘤靶区(Gross Tumor Volume, GTV)、内靶区(Internal Target Volume, ITV)、计划靶区(Planning Target Volume, PTV)及危及器官。ITV是医师将10个呼吸相CT图像上的GTV进行融合后形成的;ITV根据病人的个体性差异,外放0.5~1.0 cm为PTV。危及器官包括左肺、右肺、脊髓、心脏、食管和胸壁。PTV的处方剂量为60 Gy/10 F。

1.4 计划设计

在Monaco计划系统进行计划设计,分别设计共面及非共面的VMAT计划,共获得28个治疗计划。具体的计划设计如下:共面和非共面的VMAT计划均采用相同起始角度的半弧照射,非共面的VMAT计划设计中射野的床转角度分别为15°和345°。以上两类计划均采用相同的限制条件、目标函数以及权重。危及器官剂量限量要求:肺 $V_5 < 60\%$ 、 $V_{20} < 30\%$ 、 $V_{30} < 20\%$;心脏 $V_{30} < 40\%$ 、 $V_{40} < 30\%$;脊髓 $D_{max} < 45$ Gy;食管 $D_{max} < 65$ Gy。两类计划的具体射野视图见图1。

1.5 评价参数

所有计划均采用剂量体积直方图(Dose Volume Histogram, DVH)进行评估。靶区的评价指标包括:适形指数(Conformity Index, CI)、均匀指数(Homogeneity Index, HI)、梯度指数(Gradient Index, GI)。

$$HI = \frac{(D_{2\%} - D_{98\%})}{D_{50\%}}$$

其中 $D_{2\%}$ 表示2%的PTV体积所接受的照射剂量; $D_{98\%}$ 表示98%的PTV体积所接受的照射剂量; $D_{50\%}$ 表示50%的PTV体积所接受的照射剂量。HI值越接近0,表明靶区的均匀性越好。

$$CI = \frac{V_{95\%}}{V_t}$$

其中 $V_{95\%}$ 表示95%的处方剂量线所包绕的体积; V_t 表示PTV的体积。CI的范围是0~1之间,其值越接近1,表示靶区的适形度越好。

$$GI = \frac{V_{50\%}}{V_{95\%}}$$

其中 $V_{50\%}$ 表示50%的处方剂量线所包绕的体积; $V_{95\%}$ 表示95%的处方剂量线所包绕的体积。GI越小表示剂量跌落的越快^[12]。

危及器官的评价指标包括:双肺的 V_1 、 $V_{2.5}$ 、 V_5 、 V_{20} 、 D_{mean} ,健侧肺 V_1 、 V_5 ,心脏 D_{mean} ,脊髓 D_{max} 、食管 D_{mean} 、胸壁的 D_{mean} 和 V_{30} 。

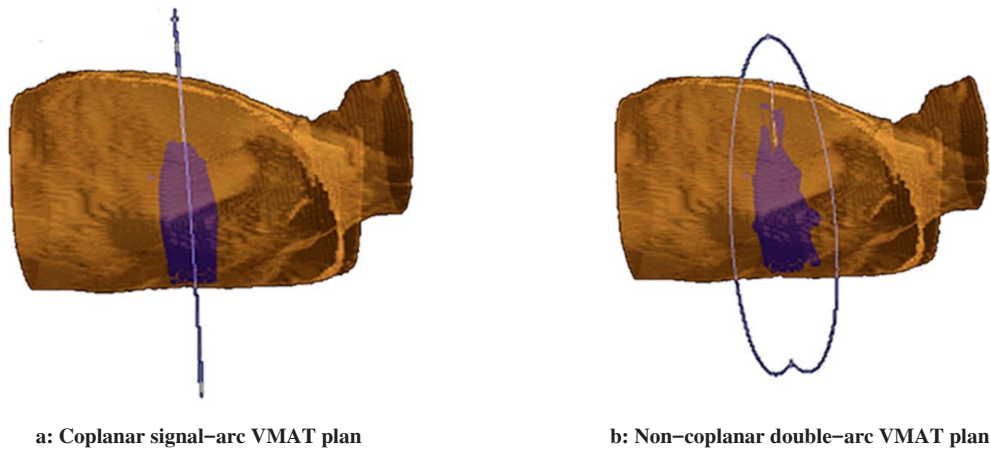


图1 共面与非共面 VMAT 计划的 Arc 分布

Fig.1 Arc distribution of coplanar and non-coplanar volumetric modulated arc therapy (VMAT) plans

1.6 统计学分析

使用 SPSS 20.0 软件对参数进行统计学分析,计量资料用均值±标准差表示,两类计划的靶区和危及器官的评价指标比较均采用配对 *t* 检验, *P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 中央型肺癌共面及非共面的 VMAT 计划剂量分布

共面 VMAT 计划的 GI 为 3.75±0.21,非共面 GI 为 3.20±0.18,差异具有统计学意义 (*P*<0.05),非共面的计划剂量跌落的更快,剂量梯度更陡。详见表 2。

表 2 中央型肺癌靶区剂量学参数比较
Tab.2 Comparison of dosimetric parameters of target areas in central type lung cancer

Parameter	Coplanar	Non-coplanar	<i>P</i> value
HI	0.06±0.04	0.06±0.005	1.000
CI	0.67±0.02	0.65±0.03	0.260
GI	3.75±0.21	3.20±0.18	<0.001

HI: Homogeneity index; CI: Conformity index; GI: Gradient index

表 3 中的数据显示两类计划在胸壁 *V*₃₀、双肺 *V*₂₀ 中具有统计学差异 (*P*<0.05),其中非共面的计划较共面计划的胸壁 *V*₃₀ 减少了 27.60%、双肺 *V*₂₀ 降低了 9.51%;在双肺及健侧肺的 *V*₁ 中,非共面的计划均高于共面的计划 (*P*<0.05),分别增加了 20.67%、46.01%,主要是由于健侧肺 *V*₁ 的增加,而导致双肺 *V*₁ 的增加。非共面的计划在脊髓 *D*_{max}、胸壁 *D*_{mean}、健侧肺 *V*₅、双肺 *V*_{2.5}、*V*₅、*D*_{mean} 均低于共面的计划,但差异无统计学意义。在心脏 *D*_{mean} 以及食管 *D*_{mean} 中,非共面计划高于共面的计划,也没有统计学差异。非共面计

划的机器跳数(MU)增加了 17.13%。图 2 是其中一个病例的剂量分布情况。可见非共面 VMAT 计划的 20 Gy 和 30 Gy 剂量线收的较好,在保护肺和胸壁方面较共面的计划更有优势。

2.2 周围型肺癌共面及非共面的 VMAT 计划剂量分布

表 4、表 5 中显示了共面及非共面 VMAT 计划在周围型肺癌中的剂量学比较。对于 HI、GI 和健侧肺 *V*₅ 非共面计划均低于共面的计划,结果具有统计学意义 (*P*<0.05)。在双肺及健侧肺的 *V*₁ 中,非共面的计划均高于共面的计划 (*P*<0.05),分别增加了 19.26%、39.64%,主要是健侧肺 *V*₁ 的增加。对于心脏 *D*_{mean}、双肺 *V*_{2.5} 和 *D*_{mean},非共面计划均高于共面计划,但差异无统计学意义。在脊髓 *D*_{max}、食管 *D*_{mean}、胸壁 *V*₃₀、双肺 *V*₅ 和 *V*₂₀ 非共面计划低于共面的计划,结果没有统计学差异。非共面计划较共面计划的机器跳数(MU)增加了 30.28% (*P*<0.05)。

3 讨论

SBRT 技术的特点是单次剂量高、分割次数少,是有别于常规分割方式的一种大分割治疗,要求剂量的跌落更陡,对危及器官的保护更为严格^[13-14]。非共面照射技术是通过转动治疗床,实现各照射野的射野中心轴不在同一平面内,实现几何空间多角度、多弧度的照射;增加了射野的入射方向,对于保护重要危及器官非常有利;并且可以改善靶区内的剂量分布情况,可以更好的实现单次大剂量分割照射^[15]。

非共面的照射技术在肿瘤的放射治疗中已有广泛的应用。吴骏翔等^[16]在宫颈癌的 IMRT 治疗中加入非共面射野,能够明显的降低两侧股骨头、骶骨和髂骨的受照剂量,从而降低脊髓的受照剂量。胡海琴等^[17]在鼻咽癌筛窦侵犯的 IMRT 治疗中加入非共

表 3 中央型肺癌的危及器官剂量学参数比较 ($\bar{x} \pm s$)Tab.3 Comparison of dosimetric parameters of organs-at-risk (OAR) in central lung cancer (*Mean±SD*)

OAR	Parameter	Coplanar	Non-coplanar	P value
Spinal cord	D _{max} /cGy	1 600.54±327.28	1 488.24±194.20	0.292
Heart	D _{mean} /cGy	346.03±340.78	362.80±328.55	0.287
Esophagus	D _{mean} /cGy	657.17±537.13	715.33±510.36	0.051
Thoracic wall	V ₃₀ /%	7.68±5.44	5.56±3.89	0.017
	D _{mean} /cGy	1 395.51±320.68	1 349.14±259.97	0.259
Contralateral lung	V _I /%	49.32±7.73	72.01±9.33	<0.001
	V _S /%	10.26±3.71	8.04±3.70	0.094
Bilateral lungs	V _I /%	57.14±6.60	68.95±6.81	<0.001
	V _{2.5} /%	40.21±5.18	39.32±4.04	0.583
	V _S /%	26.47±2.81	24.64±4.38	0.116
	V ₂₀ /%	11.99±2.88	10.85±3.13	0.018
	D _{mean} /cGy	688.81±131.54	660.71±137.00	0.161
Monitor unit		1 844.44±357.55	2 160.37±172.06	<0.001

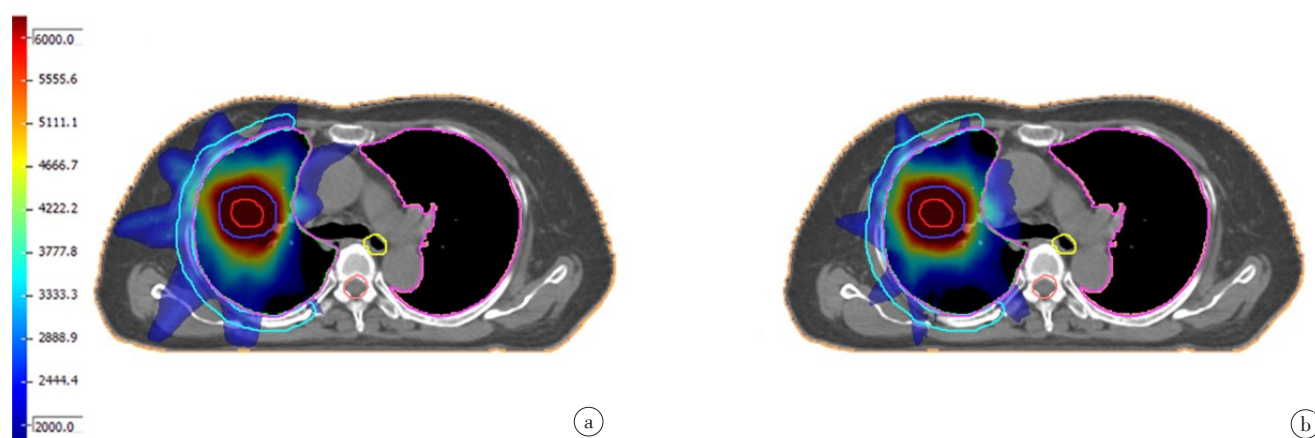


图 2 共面(a)与非共面(b)VMAT计划的横截面剂量分布

Fig.2 Transverse dose distribution of coplanar (a) and non-coplanar (b) VMAT plan

表 4 周围型肺癌靶区剂量学参数比较

Tab.4 Comparison of dosimetric parameters of target areas in peripheral lung cancer

Parameter	Coplanar	Non-coplanar	P value
HI	0.09±0.18	0.06±0.01	0.009
CI	0.60±0.12	0.58±0.11	0.095
GI	4.01±0.65	3.71±0.69	0.004

面射野,能够明显的降低正常组织的受照剂量,腮腺 30 Gy 的照射体积减少 10%以上。Orlandi 等^[18]的研究认为非共面 VMAT 计划在治疗没有手术的鼻窦癌时,可以在不增加危及器官受照剂量的前提下,提高

靶区剂量,比共面的 VMAT 及 IMRT 计划更有优势。同样 Uto 等^[19]在颅咽管瘤的放射治疗中,发现非共面的 VMAT 计划在不增加正常组织及其它危及器官受照剂量的前提下,可以显著地降低双侧海马区的剂量。Sharfo 等^[20]在肝癌的 VMAT 计划中,加入一些计算机优化的非共面 IMRT 射野,发现非共面射野可以更好的保护危及器官。以上结果与本文结果类似。

本研究选用单一病灶的肺癌患者,通过比较共面与非共面的 VMAT 计划在周围型与中央型肺癌中的剂量学差异,显示非共面的 VMAT 计划可以使剂量跌落的更陡,能够降低胸壁 V₃₀和双肺的 V₂₀,在中央型肺癌中更加显著,分别降低了 27.60%、9.51%,这

表5 周围型肺癌的危及器官剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$)

Tab.5 Comparison of dosimetric parameters of OAR in peripheral lung cancer (Mean±SD)

OAR	Parameter	Coplanar	Non-coplanar	P value
Spinal cord	D _{max} /cGy	1 315.41±315.37	1 214.89±354.72	0.055
Heart	D _{mean} /cGy	220.77±255.78	233.96±286.37	0.625
Esophagus	D _{mean} /cGy	414.87±227.69	409.26±256.60	0.893
Thoracic wall	V ₃₀ /%	11.58±5.28	10.94±5.86	0.307
	D _{mean} /cGy	1 176.77±331.99	1 209.83±386.86	0.255
Contralateral lung	V ₁ /%	35.47±15.64	49.53±22.15	0.030
	V ₅ /%	6.17±5.18	3.46±3.29	0.026
Bilateral lungs	V ₁ /%	42.05±16.39	50.15±19.37	0.033
	V _{2.5} /%	27.48±10.30	27.51±11.07	0.981
	V ₅ /%	18.41±7.23	17.22±7.39	0.217
	V ₂₀ /%	7.25±2.89	7.12±2.85	0.600
	D _{mean} /cGy	458.69±168.89	460.37±172.056	0.902
Monitor unit		1 844.44±357.55	2 470.36±340.97	0.040

可能与肿瘤的位置有关。周围型肺癌的瘤体离胸壁较近,30 Gy的剂量线在胸壁中不能很快的跌落,导致非共面的计划与共面的计划在胸壁V₃₀中差异不明显;在健侧肺的V₁中,非共面的VMAT计划明显高于共面的VMAT计划,分析结果,可能是由于射野Arc数量及机器跳数的增加造成健侧肺低剂量受照体积也相应增加。曹洋森等^[21]研究表明总MU数的减少使得肺平均剂量及V₅都显著降低。与本文的分析结果一致。

综上所述,在周围型肺癌和中央型肺癌中,对于GI、胸壁V₃₀及双肺V₂₀,非共面的VMAT计划优于共面的VMAT计划,在中央型肺癌中更加明显,为肺癌的计划设计提供了一种新的思路。但是非共面的VMAT技术存在加速器的机头与治疗床及病人相撞的危险,要求物理师在设计非共面的射野时,要格外的谨慎;还要定期检查加速器的防碰撞装置确定是否灵敏。

【参考文献】

[1] 姜科,李平. 立体定向放疗治疗肺癌的临床有效性及安全性研究[J]. 医学综述, 2016, 22(8): 1569-1572.
JIANG K, LI P. Effectiveness and safety study of stereotactic body radiation therapy in lung cancer[J]. Medical Recapitulate, 2016, 22(8): 1569-1572.

[2] 谷铎之. 肿瘤放射治疗学[M]. 第4版. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2007: 1322-1323.
GU X Z. Radiation oncology[M]. 4th ed. Beijing: Union Medical University Press, 2007: 1322-1323.

[3] 郭金栋,吕长兴,王家明,等. 不能手术Ⅰ+Ⅱ期非小细胞肺癌立体定向放疗疗效分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2011, 20(1): 18-22.

GUO J D, LÜ C X, WANG J M, et al. Preliminary investigation of stereotactic body radiation therapy for medically inoperable stage I+II non-small cell lung cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2011, 20(1): 18-22.

[4] 董百强,徐裕金,孙晓江,等. 200例肺部肿瘤SBRT的经验和疗效[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(6): 627-630.
DONG B Q, XU Y J, SUN X J, et al. Experience and efficacy of SBRT for lung cancer: an analysis of 200 patients[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(6): 627-630.

[5] 李放,葛宏雷,金昊. 电视辅助胸腔镜手术和体部立体定向放疗治疗早期非小细胞肺癌的临床疗效比较[J]. 临床和实验医学杂志, 2017, 16(10): 1008-1010.
LI F, GE H L, JIN H. A comparative study on efficacy of TV auxiliary thoracoscopic surgery and stereotactic radiotherapy in treatment of early stage non-small cell lung cancer[J]. Journal of Clinical and Experimental Medicine, 2017, 16(10): 1008-1010.

[6] 徐丽,马栋辉,谭遥,等. 立体定向放疗与手术治疗早期非小细胞肺癌疗效的Meta分析[J]. 新疆医科大学学报, 2014, 37(5): 524-530.
XU L, MA D H, TAN Y, et al. Efficacy of stereotactic radiotherapy and surgical treatment for early non-small cell lung cancer: a Meta analysis[J]. Journal of Xinjiang Medical University, 2014, 37(5): 524-530.

[7] ISHII K, OKADA W, OGINO R, et al. A treatment-planning comparison of three beam arrangement strategies for stereotactic body radiation therapy for centrally located lung tumors using volumetric-modulated arc therapy[J]. J Radiat Res, 2016, 57(3): 273-279.

[8] 周俊东,朱忻,史建平,等. 非共面野在局部晚期非小细胞肺癌调强放射治疗中的应用[J]. 南通大学学报(医学版), 2013, 33(5): 353-355.
ZHOU J D, ZHU X, SHI J P, et al. The study for non-coplanar intensity modulated radiation therapy in local advanced non-small-cell lung cancer[J]. Journal of Nantong University (Medical Sciences), 2013, 33(5): 353-355.

[9] 陈子印,钱茂森,潘慧莹. 非共面野在早期非小细胞肺癌立体定向放射治疗方面的剂量学优势[J]. 实用肿瘤学杂志, 2017, 31(2): 142-146.

- CHEN Z Y, QIAN M S, PAN H Y. Dosimetry advantage of stereotactic body radiation therapy of the non-coplanar technology application in the early stage of NSCLC [J]. The Journal of Practical Oncology, 2017, 31(2): 142-146.
- [10] 胡睿, 吴锦昌, 周俊东, 等. 晚期肺癌非共面和共面IMRT剂量学比较研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2015, 24(1): 74-77.
- HU R, WU J C, ZHOU J D, et al. Comparative study of coplanar and non-coplanar intensity modulated radiotherapy in advanced lung cancer [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2015, 24(1): 74-77.
- [11] 张慕娟, 周素珠, 汤亚莉. 局部晚期肺癌三维适型放射治疗和调强放射治疗的剂量学比较研究[J]. 现代医院, 2015, 15(10): 10-13.
- ZHANG M J, ZHOU S Z, TANG Y L. Comparative dosimetry study of 3DCRT and IMRT for treatment of local advanced [J]. Modern Hospitals, 2015, 15(10): 10-13.
- [12] SMYTH G, EVANS P M, BAMBER J C, et al. Non-coplanar trajectories to improve organ at risk sparing in volumetric modulated arc therapy for primary brain tumors [J]. Radiother Oncol, 2016, 121(1): 124-131.
- [13] SHEN Y L, ZHANG H, WANG J, et al. Hypofractionated radiotherapy for lung tumors with online cone beam CT guidance and active breathing control [J]. Radiat Oncol, 2010, 5(1): 19-28.
- [14] BENEDICT S H, YENICE K M, FOLLOWILL D, et al. Stereotactic body radiation therapy: the report of AAPM Task Group 101 [J]. Med Phys, 2010, 37(8): 4078-4101.
- [15] 王鹏程. 放射治疗剂量学 [M]. 北京: 人民军医出版社, 2007: 91-92.
- WANG P C. Radiation dosimetry in radiotherapy [M]. Beijing: People's Military Medical Press, 2007: 91-92.
- [16] 吴骏翔, 康盛伟, 黎杰, 等. 非共面野在宫颈癌术后调强放射治疗中的应用 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2017, 37(5): 363-366.
- WU J X, KANG S W, LI J, et al. A treatment planning study using non-coplanar intensity modulated radiation for postoperative cervical cancer [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2017, 37(5): 363-366.
- [17] 胡海琴, 陈心得, 吕明月, 等. 非共面照射技术对鼻咽癌筛窦侵犯的剂量分析 [J]. 实用癌症杂志, 2016, 31(11): 1803-1805.
- HU H Q, CHEN X D, LÜ M Y, et al. Dose analysis of non coplanar irradiation technique for ethmoid sinus involvement of nasopharyngeal carcinoma [J]. The Practical Journal of Cancer, 2016, 31(11): 1803-1805.
- [18] ORLANDI E, GIANDINI T, IANNAcone E, et al. Radiotherapy for unresectable sinonasal cancers: dosimetric comparison of intensity modulated radiation therapy with coplanar and non-coplanar volumetric modulated arc therapy [J]. Radiother Oncol, 2014, 113(2): 260-266.
- [19] UTO M, MIZOWAKI T, OGURA K, et al. Non-coplanar volumetric-modulated arc therapy (VMAT) for craniopharyngiomas reduces radiation doses to the bilateral hippocampus: a planning study comparing dynamic conformal arc therapy, coplanar VMAT, and non-coplanar VMAT [J]. Radiat Oncol, 2016, 86(11): 86-95.
- [20] SHARFO A W, DIRKX M L, BREEDVLD S, et al. VMAT plus a few computer-optimized non-coplanar IMRT beams (VMAT+) tested for liver SBRT [J]. Radiother Oncol, 2017, 123(1): 49-56.
- [21] 曹洋森, 于春山, 张火俊. 跳数优化参数在射波刀肺癌治疗计划中的研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(11): 841-843.
- CAO Y S, YU C S, ZHANG H J. Study of OMU parameter optimizing in lung cancer treatment planing with CyberKnife [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2015, 35(11): 841-843.

(编辑: 薛泽玲)