

### 3种调强放疗方式治疗非小细胞肺癌的剂量学比较

宋明永,戴相昆,杜乐辉,巩汉顺,王小深,方春锋,蒋中凯,陈高翔,王金媛  
解放军总医院放疗科,北京 100853

**【摘要】目的:**分析比较螺旋断层调强(HT)、静态调强(IMRT)和容积旋转调强(VMAT)治疗非小细胞肺癌(NSCLC)的剂量学特点,为临床选择提供依据。**方法:**选取18例NSCLC患者,分别设计HT、IMRT和VMAT计划,给予计划肿瘤靶区处方剂量60 Gy/25 F,计划靶区处方剂量50 Gy/25 F。根据剂量体积直方图评估靶区的 $D_{2\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、 $D_{mean}$ 、适形度指数、均匀性指数和危及器官受量,比较3组治疗计划之间靶区以及器官剂量、治疗时间和机器跳数(MU)的差异。**结果:**3组计划的剂量分布均能很好满足临床剂量要求,HT计划在靶区覆盖度、靶区适形度和靶区均匀性上均优于IMRT计划和VMAT计划,但剂量差异无统计学意义。在危及器官受量方面,VMAT计划对患侧肺的保护优于HT和IMRT( $P<0.05$ );而HT计划对健侧肺的保护优于IMRT和VMAT;从双肺来看,VMAT稍优于HT,HT稍优于IMRT( $P>0.05$ );HT和VMAT计划对脊髓的保护均优于IMRT计划( $P<0.05$ )。在治疗时间上,HT大于IMRT( $P>0.05$ ),IMRT大于VMAT( $P<0.01$ ),HT的MU数远大于IMRT和VMAT。**结论:**HT和VMAT计划均优于IMRT计划,VMAT计划相对于HT计划可以降低双肺剂量,并且具有效率优势。

**【关键词】**非小细胞肺癌;螺旋断层调强;容积旋转调强;静态调强;剂量学

**【中图分类号】**R816;R734.2

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2017)02-0121-05

### Dosimetric comparison of three intensity-modulated radiotherapies for non-small-cell lung cancer

SONG Mingyong, DAI Xiangkun, DU Lehui, GONG Hanshun, WANG Xiaoshen, FANG Chunfeng, JIANG Zhongkai, CHEN Gaoxiang, WANG Jinyuan

Department of Radiotherapy, General Hospital of the People's Liberation Army, Beijing 100853, China

**Abstract: Objective** To provide some reference for the clinical radiotherapy selection by comparing the dosimetric characteristics of helical tomotherapy (HT), static intensity-modulated radiotherapy (IMRT) and volume-modulated arc therapy (VMAT) for non-small-cell lung cancer (NSCLC). **Methods** HT, IMRT and VMAT plans were designed for 18 selected patients with NSCLC, respectively. The prescription dose was 60 Gy/25 F and 50 Gy/25 F for planning gross target volume and planning target volume. The conformal index (CI), homogeneity index (HI),  $D_{2\%}$ ,  $D_{98\%}$ ,  $D_{mean}$  of target areas and the dose of organs at risk (OAR) were analyzed based on the dose-volume histogram. The differences in the dose of target areas and OAR, delivery time, monitor unit (MU) were compared. **Results** The dose distributions of 3 plans met the clinical requirements. HT plan was better than IMRT plan and VMAT plan in the coverage of target areas, CI and HI, without statistical differences. VMAT plan was better than HT plan and IMRT plan in the protection of ipsilateral lung ( $P<0.05$ ); HT plan was better than IMRT plan and VMAT plan in the protection of contralateral lung; for the protection of total lung, VMAT plan was better than HT plan, and HT plan was better than IMRT plan ( $P>0.05$ ). HT plan and VMAT plan were better than IMRT plan in the protection of spinal cord ( $P<0.05$ ). The delivery time of HT plan was longer than that of IMRT plan ( $P>0.05$ ), and the delivery time of IMRT plan was longer than that of VMAT plan ( $P<0.01$ ). The MU of HT plan was significantly larger than that of IMRT plan and VMAT plan. **Conclusion** HT plan and VMAT plan are better than IMRT plan. Compared with HT plan, VMAT plan reduces the dose of total lung, with obvious advantages in efficiency.

**Keywords:** non-small-cell lung cancer; helical tomotherapy; volume-modulated arc therapy; static intensity-modulated radiotherapy; dosimetry

**【收稿日期】**2016-08-17

**【基金项目】**解放军总医院临床科研扶持基金(2015FC-TSYS-1008)

**【作者简介】**宋明永,物理师,从事放射物理与防护研究,E-mail:1692757031@qq.com

**【通信作者】**戴相昆,工程师,从事放射物理与防护研究,E-mail:13520924521@163.com

## 前言

肺癌是世界范围内最为常见的恶性肿瘤之一<sup>[1-2]</sup>。随着放射治疗技术的不断发展,目前调强放射治疗(IMRT)已成为治疗非小细胞肺癌(NSCLC)常用的技术之一,并且放射治疗在NSCLC的治疗中占据非常重要的地位<sup>[3-4]</sup>。IMRT可以降低正常组织并发症发生率、提高肿瘤区照射剂量、提升肿瘤控制率,使用IMRT技术可以获得较好的剂量分布<sup>[5]</sup>。螺旋断层调强放疗(HT)和容积旋转调强放疗(VMAT)是目前两种主流的旋转类型调强放疗技术,在复杂的靶区计划设计上各有优势<sup>[6-7]</sup>。但是在旋转类型调强应用经验中,通常认为旋转调强照射范围广,低剂量区域较大,尤其是HT放疗。因此国内外较少见旋转类型调强技术应用于NSCLC的相关报道。为了探讨3种技术应用于NSCLC时存在的差异,本研究通过比较肺门部NSCLC的HT、IMRT和VMAT计划,比较分析两种旋转调强技术与常规IMRT技术的剂量学特点,为临床选择提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 临床资料

选取2016年3月至6月中国人民解放军总医院放疗科收治的18例NSCLC患者,其中9例左肺,9例右肺,年龄41~69岁,中位年龄57岁。

### 1.2 模拟定位

所有患者均采用仰卧位,热塑体模固定,使用SIEMENS大孔径CT模拟机进行模拟定位,所有患者均采用平扫+增强的扫描方式,扫描范围为颈1椎体至膈肌下,扫描层厚为3 mm。将患者的定位CT图像经网络传输至Pinnacle 8.0计划系统工作站。

### 1.3 靶区及危及器官勾画

靶区以及正常器官由医师在Pinnacle 8.0工作站上统一进行勾画。将平扫CT和增强CT图像融合,以增强CT图像作为参考。影像学上可见的肺部病灶和纵隔肿大淋巴结定义为肿瘤靶区(GTV),计划肿瘤靶区(PGTV)为GTV外扩0.5 cm,临床靶区(CTV)定义为肺门及受侵纵隔淋巴引流区,计划靶区(PTV)为CTV外扩0.6~0.8 cm。

### 1.4 治疗计划设计

将勾画好的靶区及正常器官CT图像经DICOM RT分别传输至HT和Pinnacle 9.1计划系统,分别设计IMRT、HT和VMAT计划,所有计划由同一物理师完成。VMAT计划在Pinnacle 9.1计划系统上进行设计,采用双弧照射,两个照射弧机架旋转范围分别是

179.9°~180.1°和180.1°~179.9°,准直器旋转10°和350°,机架角每4°为1个子野,每个弧有90个子野。HT为Helical Tomotherapy加速器,治疗计划在Hi ART Plan Version 4.3上进行设计。HT计划中铅门宽度、螺距和调制因子分别设置为2.51、0.32和2.70。IMRT计划在Pinnacle 8.0计划系统上进行设计,均采用五野照射,照射角度依据靶区大小、形状及位置的不同而有所差别,准直器为0°,子野25~35个,最小子野面积为8~10 cm<sup>2</sup>,最小MU为10。靶区处方剂量PGTV是60 Gy/25 F,PTV是50 Gy/25 F,要求处方剂量至少覆盖95%的靶区体积。危及器官剂量限制为双肺V<sub>5</sub>≤60%、V<sub>10</sub>≤40%、V<sub>20</sub>≤25%、V<sub>30</sub>≤18%,要求脊髓D<sub>max</sub><45 Gy、心脏V<sub>50</sub><50%、食管V<sub>55</sub><50%。

### 1.5 剂量学评价

靶区评价指标:剂量均匀性指数(HI): $HI=(D_{2\%}-D_{98\%})/D_T$ (其中D<sub>2%</sub>、D<sub>98%</sub>分别为2%和98%的靶区体积所受照射剂量,D<sub>T</sub>为处方剂量),HI越小说明靶区均匀性越好。靶区适形度指数(CI): $CI=(TV_{pv})^2/(TV \times PV)$ (其中TV<sub>pv</sub>为处方剂量所覆盖的靶区体积,TV为靶区体积,PV为处方剂量所覆盖的总体积),CI值越接近1表示适形度越好<sup>[8-10]</sup>。危及器官评价指标:肺脏比较患侧肺、健侧肺和全肺的D<sub>mean</sub>及V<sub>5</sub>~V<sub>30</sub>,其它危及器官比较D<sub>max</sub>等。

### 1.6 统计学方法

使用SPSS 22.0统计软件对3组数据进行单因素方差分析,数据以均数±标准差表示,P<0.05为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 靶区剂量分布曲线及参数

3组计划均能满足95%的靶区体积接受处方剂量的照射,图1给出了3组计划横断面的剂量分布。从3组横断面的剂量分布可以看出60 Gy和50 Gy的剂量线均能较好包绕靶区。表1给出了3组计划PGTV和PTV靶区的剂量参数比较结果,由表1数据可知:HT计划的靶区剂量分布好于IMRT和VMAT计划,但3组计划PGTV的HI、D<sub>2%</sub>、D<sub>98%</sub>、D<sub>mean</sub>和PTV的CI、D<sub>98%</sub>、D<sub>mean</sub>均无统计学差异(P>0.05)。

### 2.2 危及器官剂量学比较

患侧肺各参数见表2,由表2可知:患侧肺的VMAT计划优于HT和IMRT计划(其中V<sub>10</sub>~V<sub>25</sub>的差异有统计学意义,V<sub>5</sub>和V<sub>30</sub>无统计学差异);在低剂量区(V<sub>5</sub>~V<sub>15</sub>)IMRT计划稍优于HT计划(P>0.05);在高剂量区(V<sub>25</sub>,V<sub>30</sub>)HT计划稍优于IMRT计划(P>0.05)。

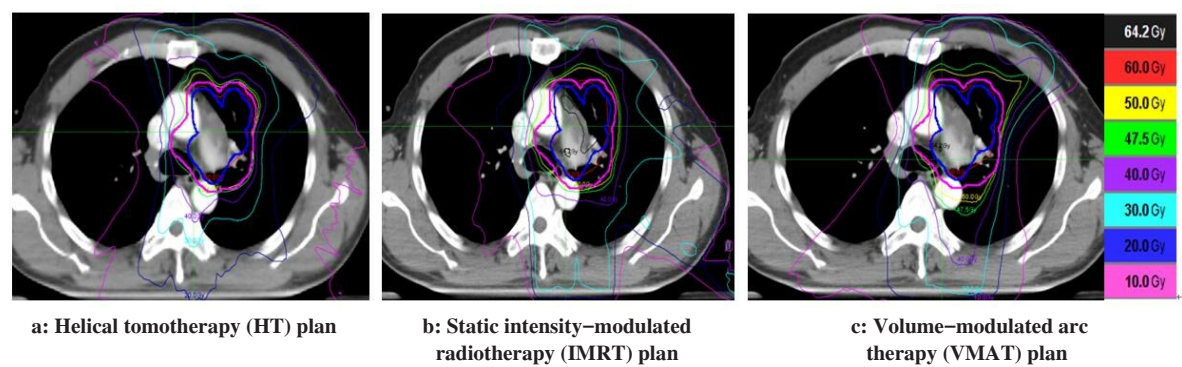


图1 同例患者3组计划间靶区剂量分布

Fig.1 Transverse dose distribution in 3 plans for the same patient with non-small-cell lung cancer

表1 3组治疗计划靶区间各剂量参数比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

Tab.1 Dosimetric comparison of target areas among 3 plans (*Mean±SD*)

Parameter	PGTV				PTV		
	HI	D <sub>2</sub> /Gy	D <sub>98</sub> /Gy	D <sub>mean</sub> /Gy	CI	D <sub>98</sub> /Gy	D <sub>mean</sub> /Gy
HT	0.076±0.02	64.32±1.06	60.07±0.74	62.30±1.00	0.76±0.10	50.12±0.55	58.74±1.44
IMRT	0.093±0.03	65.16±1.36	59.55±1.14	62.60±0.89	0.72±0.05	48.14±5.97	58.45±1.34
VMAT	0.084±0.02	64.67±0.88	58.81±3.64	62.10±1.67	0.70±0.08	47.23±6.79	57.89±1.13
F value	1.798	1.735	0.951	0.523	1.286	0.952	1.294
P value	0.181	0.192	0.397	0.597	0.290	0.396	0.288

PGTV: Planning gross target volume; PTV: Planning target volume; CI: Conformal index; HI: Homogeneity index

健侧肺各参数见表3,由表3可知:HT和VMAT计划在低剂量区(V<sub>5</sub>~V<sub>10</sub>)优于IMRT计划;HT计划在高剂量区(V<sub>13</sub>~V<sub>30</sub>)优于其余两者,但是无统计学差异( $P>0.05$ )。全肺各参数见表4,由表4可知:全肺的VMAT计划优于HT计划,HT计划优于IMRT计划。由表5可知HT和VMAT计划均可以比IMRT计划更好地保护脊髓( $P<0.05$ );在食管和心脏的保护上,三者无统计学差异( $P>0.05$ )。

表2 3组间患侧肺各参数剂量学比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

Tab.2 Dosimetric comparison of ipsilateral lung among 3 plans (*Mean±SD*)

Parameter	V <sub>5</sub> /%	V <sub>10</sub> /%	V <sub>13</sub> /%	V <sub>15</sub> /%	V <sub>20</sub> /%	V <sub>25</sub> /%	V <sub>30</sub> /%	D <sub>mean</sub> /Gy
HT	65.13±8.24	55.89±6.86	51.01±6.46	47.79±6.52	39.98±6.05	32.74±6.39	26.52±6.54	19.56±3.05
IMRT	65.49±7.07	55.06±4.24	49.65±3.86	46.72±4.23	40.04±4.23	34.35±4.39	29.21±4.59	19.93±2.00
VMAT	59.44±9.53	46.73±7.29	41.77±5.89	39.07±5.22	33.14±4.51	28.63±4.26	25.42±4.90	17.51±2.62
F value	1.987	7.821	9.79	9.302	7.574	4.003	1.557	3.382
P value	0.153	0.002	<0.001	0.001	0.002	0.028	0.226	0.046
P <sub>HT vs IMRT</sub>	-	0.746	0.551	0.631	0.978	0.447	-	0.711
P <sub>HT vs VMAT</sub>	-	0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.057	-	0.049
P <sub>IMRT vs VMAT</sub>	-	0.003	0.001	0.001	0.002	0.010	-	0.021

2.3 治疗时间和机器跳树(MU)比较

3种计划的治疗时间全部由实际测量获取,MU分

别从计划系统上读取,HT的治疗时间和MU数明显大于其余两组,VMAT的治疗时间显著缩短(表6)。

表 3 3 组间健侧肺各参数剂量学比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

Tab.3 Dosimetric comparison of contralateral lung among 3 plans (*Mean±SD*)

Parameter	V <sub>5</sub> /%	V <sub>10</sub> /%	V <sub>13</sub> /%	V <sub>15</sub> /%	V <sub>20</sub> /%	V <sub>25</sub> /%	V <sub>30</sub> /%	D <sub>mean</sub> /Gy
HT	35.33±10.08	12.25±5.38	7.67±4.41	5.67±3.92	2.45±2.67	1.14±1.87	0.62±1.32	5.00±1.21
IMRT	45.96±8.20	23.29±9.44	12.75±9.42	8.62±7.63	2.93±3.52	1.48±2.33	0.86±1.66	6.32±1.54
VMAT	31.55±17.40	16.39±14.27	11.02±11.09	8.41±9.07	4.17±5.55	2.43±3.82	1.51±2.75	5.18±2.64
F value	4.261	3.510	1.050	0.624	0.562	0.684	0.632	1.701
P value	0.023	0.041	0.361	0.542	0.575	0.511	0.538	0.198
P <sub>HT vs IMRT</sub>	0.046	0.013	-	-	-	-	-	-
P <sub>HT vs VMAT</sub>	0.466	0.333	-	-	-	-	-	-
P <sub>IMRT vs VMAT</sub>	0.008	0.111	-	-	-	-	-	-

表 4 3 组间全肺各参数剂量学比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

Tab.4 Dosimetric comparison of total lung among 3 plans (*Mean±SD*)

Parameter	V <sub>5</sub> /%	V <sub>10</sub> /%	V <sub>13</sub> /%	V <sub>15</sub> /%	V <sub>20</sub> /%	V <sub>25</sub> /%	V <sub>30</sub> /%	D <sub>mean</sub> /Gy
HT	50.14±8.95	33.43±5.71	28.56±5.20	25.91±4.77	20.51±3.51	16.30±3.05	13.05±2.89	11.74±1.63
IMRT	55.69±6.19	38.74±6.12	30.60±5.89	27.02±5.09	20.82±2.92	17.29±2.28	14.49±2.10	12.91±1.51
VMAT	45.19±11.70	31.31±9.06	26.10±6.82	23.40±5.48	18.26±3.65	15.13±2.81	12.90±2.28	11.17±2.00
F value	3.899	3.466	1.685	1.573	2.054	1.855	1.539	3.151
P value	0.030	0.043	0.201	0.223	0.144	0.172	0.230	0.056
P <sub>HT vs IMRT</sub>	0.149	0.077	-	-	-	-	-	-
P <sub>HT vs VMAT</sub>	0.198	0.470	-	-	-	-	-	-
P <sub>IMRT vs VMAT</sub>	0.009	0.015	-	-	-	-	-	-

表 5 3 组间食管、心脏、脊髓各参数剂量学比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

Tab.5 Dosimetric comparison of esophagus, heart and spinal cord among 3 plans (*Mean±SD*)

Parameter	Spinal cord	Esophagus			Heart	
	D <sub>max</sub> /Gy	V <sub>40</sub> /%	V <sub>60</sub> /%	D <sub>max</sub> /Gy	V <sub>40</sub> /%	D <sub>max</sub> /Gy
HT	30.12±4.55	11.94±15.23	0.62±1.55	51.85±12.73	5.52±5.52	57.03±11.52
IMRT	39.02±3.73	17.18±20.56	0.74±2.23	52.54±11.79	5.78±7.44	58.27±10.06
VMAT	31.00±7.27	15.67±22.05	0.36±1.13	49.59±14.69	7.10±7.53	56.83±15.08
F value	9.893	0.210	0.145	0.153	0.182	0.047
P value	<0.001	0.811	0.866	0.859	0.834	0.954

3 讨论

本研究分析比较HT、VMAT和IMRT这3种调强技术在非小细胞肺癌治疗中的剂量学特点。由于3种调强技术的原理存在差异,其剂量学特点也不相同。IMRT能实现比三维适形技术更好的高剂量分布,其低剂量区域依赖于照射野角度分布以及数

量。而HT和VMAT技术都属于旋转调强的范畴,在以往旋转类型调强应用经验中,通常认为旋转调强照射范围广,低剂量区域较大(尤其是HT放疗),因此认为旋转调强不适用于肺部肿瘤。

本研究结果显示,对于靶区剂量分布,3组计划均能满足临床要求。在靶区覆盖度、适形度和均匀



表6 3组间治疗时间和MU比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

Tab.6 Comparison of delivery time and monitor unit among 3 plans (*Mean±SD*)

Parameter	Delivery time/s	Monitor unit/MU
HT	308.30±69.60	4 293.00±1 001.00
IMRT	273.80±27.59	641.00±13.27
VMAT	155.75±1.20	699.70±69.20
F value	41.119	153.813
P value	<0.001	<0.001

性上三者无统计学差异( $P>0.05$ ),但HT计划的均匀性要好于IMRT和VMAT计划。我们认为NSCLC的靶区形状并不复杂,其周围的解剖结构较为简单,因此3种调强技术均能实现比较好的高剂量分布,满足靶区临床剂量要求。

通常NSCLC计划设计的难点主要在于控制双肺的照射剂量,尤其是低剂量区域。有研究发现放射性肺损伤是影响肺癌患者放疗后生存质量的主要因素,重度放射性肺损伤的发生与低剂量区体积密切相关,尤其是 $V_5$ ,小剂量大体积的肺照射比大剂量小体积的肺照射对肺的损伤更大<sup>[11-12]</sup>。Schlienkamp等<sup>[13]</sup>研究认为全肺 $V_5$ 是预测放射性肺炎发生的最重要因素,临床应用中全肺 $V_5$ 应尽量控制在60%内。本研究结果提示IMRT计划对肺的保护差于VMAT和HT计划,VMAT计划对患侧肺、双肺及健侧肺的 $V_5$ 保护更好,HT计划对健侧肺大于 $V_{10}$ 的剂量区域能更好的保护。此结果与孟玲玲等<sup>[14]</sup>研究观察到的NSCLC计划中,HT比IMRT有更好的靶区剂量均匀性及更陡峭的剂量梯度,可降低肺的高剂量照射体积相一致。在对心脏和食管的保护上,三者无统计学差异,这表明VMAT比IMRT在治疗NSCLC上有更好的优势。

HT计划的治疗时间和MU数明显大于VMAT和IMRT计划,VMAT计划的治疗时间比HT和IMRT计划分别缩短了约150 s和120 s,表明VMAT有更高的治疗效率。此结果与Wen等<sup>[15-16]</sup>研究得到的结论相一致。如果患者治疗时间过长,即使要求患者在治疗床上不动,也可能会使患者体位移动扩大、器官体积变化等,因此降低治疗时间对提高治疗精度等具有重要意义<sup>[2]</sup>。

近几年来,HT和VMAT技术运用越来越广泛,但是VMAT技术较少用于肺部肿瘤的治疗,尤其肺部肿瘤简直成为HT的禁忌症。我们经过研究发现事实并非如此,两种旋转调强技术均能很好用于NSCLC的放射治疗,尤其是VMAT在肺部受量方面还具有一定的优势。而对于HT技术而言,由于本研究中未采用全遮挡技术,其在降低肺部剂量尤其低剂量区域仍有潜力,有待于进一步研究。

【参考文献】

[1] 殷蔚伯, 李晔雄. 肿瘤放射治疗手册[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2009: 114.

YIN W B, LI Y X. Radiation oncology handbook [M]. Beijing: Peking Union Medical College Press, 2009: 114.

[2] 王正安, 李飞燕, 徐宁红, 等. 肺癌常规放射治疗与三维适形放射治疗的剂量学比较[J]. 医学综述, 2011, 17(16): 2556-2557.

WANG Z A, LI F Y, XU N H, et al. Dosimetric comparison of lung cancer with conventional radiotherapy and 3D-CRT [J]. Medical Review, 2011, 17(16): 2556-2557.

[3] 胡逸民, 殷蔚伯, 谷铎之. 肿瘤放射治疗学[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2010.

HU Y M, YIN W B, GU X Z. Radiation oncology [M]. Beijing: Peking Union Medical College Press, 2010.

[4] 张保义, 李建斌, 聂鲁栋. 三种放疗方式治疗早期非小细胞肺癌的剂量学比较[J]. 临床医药文献杂志, 2015, 2(4): 598-599.

ZHANG B Y, LI J B, NIE L D. Dosimetric comparison of incipient-NSCLC with three radiation[J]. Journal of Clinical Medicine, 2015, 2(4): 598-599

[5] 戴相昆, 蔡博宁, 葛瑞刚, 等. 胸上段食管癌螺旋断层放疗和旋转调强放疗的剂量学比较[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2016, 36(1): 58-62.

DAI X K, CAI B N, GEI R G, et al. Dosimetric comparison of helical tomotherapy and volume-modulated arc therapy for upper toracic esophageal carcinoma [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2016, 36(1): 58-62.

[6] VAN VULPEN M, FIELD C, RAAIJMAKERS C P, et al. Comparing step-and-shoot IMRT with dynamic helical tomotherapy IMRT plans for head-and-neck cancer [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 62(5): 1535-1539.

[7] MACKIE T R, HOLMES T, SWERDLOFF S, et al. A new concept for the delivery of conformal radiotherapy [J]. Med Phys, 1993, 20(6): 1709-1719.

[8] PADDICK I. A simple scoring ratio to index the conformity of radiosurgical treatment plans [J]. J Neurosurg, 2000, 93(Suppl 3): 219-222.

[9] 孟万斌, 祁英, 马霄云, 等. 食管中段癌三维适形放疗与旋转拉弧适形放疗剂量学比较[J]. 肿瘤学杂志, 2015, 21(9): 777-778.

MENG W B, QI Y, MA X Y, et al. Dosimetric analysis of 3D-CRT and rapid arc-SBRT for middle esophageal cancer [J]. Journal of Oncology, 2015, 21(9): 777-778.

[10] 姚波, 郑明民, 王平, 等. 直肠癌五野调强放疗与传统适形放疗剂量学研究[J]. 临床肿瘤学杂志, 2009, 14(5): 446-449.

YAO B, ZHENG M M, WANG P, et al. Dosimetric study of five-field intensity modulated radiotherapy compared with conventional three-dimensional conformal radiotherapy for rectal cancer [J]. Chinese Clinical Oncology, 2009, 14(5): 446-449.

[11] 孟玲玲, 冯林春, 王运来, 等. 螺旋断层调强放疗治疗非小细胞肺癌的剂量学研究[J]. 军医进修学院学报, 2011, 32(1): 52-55.

MENG L L, FENG L C, WANG Y L, et al. Dosimetric study of helical tomotherapy for non-small cell lung cancer [J]. Journal of Chinese PLA Postgraduate Medical School, 2011, 32(1): 52-55.

[12] LANGEN K M, ZHANG Y, ANDREWS R D, et al. Initial experience with megavoltage (MV) CT guidance daily prostate alignments [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 62(5): 1517-1524.

[13] SCHLLENKAMP J M, MILLER R C, BRINKMANN D H, et al. Incidence of radiation pneumonitis after thoracic irradiation: dose-volume correlates [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2007, 67(2): 410-416.

(下转第146页)