

容积旋转调强技术用于直肠癌时最佳机架角度设置研究

王贝¹, 全红¹, 邱杰², 杨波², 庞廷田², 刘峡², 刘楠², 董婷婷²

1. 武汉大学物理科学与技术学院, 湖北 武汉 430072; 2. 中国医学科学院/北京协和医学院协和医院放疗科, 北京 100730

【摘要】目的:探讨对直肠癌患者应用容积旋转调强(VMAT)技术时是否需要避免膀胱的问题。**方法:**随机选取12例直肠癌放疗患者的CT图像进行靶区及危及器官(OAR)勾画,并对同一CT图像分别设计“不避,避开30°~330°,40°~320°,50°~310°,60°~300°,70°~290°,80°~280°”7个计划,每个计划采用两个旋转弧进行照射,评估靶区及OAR的剂量分布。利用方差分析不同避开方法的结果是否存在显著性差异,若有就找出最好的避开方法,并分析其原因。**结果:**7个计划的靶区覆盖度均满足临床处方剂量要求,不避计划的靶区适形度和靶区均匀性均较其他设计方案最优($P=0.000$, $P=0.000$),而且不避计划处方剂量的95%所包绕的体积 V_{95} 最多($P=0.000$),处方剂量的105%包绕的体积 V_{105} 、 D_{mean} 、 D_{max} 、 D_5 最低($P=0.000$, $P=0.000$, $P=0.000$, $P=0.000$),膀胱 V_{40} 、 V_{50} 、 D_{max} 最低($P=0.044$, $P=0.043$, $P=0.000$),小肠、骨髓、Body的 D_{max} 最低($P=0.039$, $P=0.000$, $P=0.000$)。避开60°~300°的计划的膀胱 V_{20} 最低($P=0.005$)。角度变化对其他量的影响不显著。**结论:**在对直肠癌患者应用VMAT技术时,可以不用避免膀胱,用两个全弧照射。

【关键词】直肠癌;容积旋转调强技术;膀胱;机架角度;危及器官

【中图分类号】R735.37;R730.55

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)09-0898-05

Optimal gantry angle setting in volumetric modulated arc therapy for rectal cancer

WANG Bei¹, QUAN Hong¹, QIU Jie², YANG Bo², PANG Ting-tian², LIU Xia², LIU Nan², DONG Ting-ting²

1. School of Physics and Technology, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Department of Radiotherapy, Peking Union Medical College Hospital & Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China

Abstract: Objective To investigate whether it is need to avoid the bladder in volumetric modulated arc therapy (VMAT) for patients with rectal cancer. **Methods** The CT images of 12 patients with rectal cancer were randomly selected to contour the target volume and organs at risk. Seven plans without avoiding bladder, and respectively avoiding 30°-330°, 40°-320°, 50°-310°, 60°-300°, 70°-290°, 80°-280° were designed for the same CT image. Two rotating arcs were adopted by each plan to irradiate. The dose distributions of target volumes and organs at risk were evaluated. The variance analysis method was applied to analyze whether there were the significant differences among the different avoiding methods. The optimal avoiding method was researched, and the reasons were analyzed. **Results** The target coverage of 7 plans met the clinical requirements. For the plan without avoiding the bladder among the 7 plans, the conformity index and homogeneity index of target volume were the optimal ($P=0.000$, $P=0.000$), and the planning target volume (PTV) covered by 95% prescribed dose (PTV_{95}) was the largest ($P=0.000$), and the PTV covered by 105% prescribed dose (V_{105}), D_{mean} , D_{max} , D_5 were minimum ($P=0.000$, $P=0.000$, $P=0.000$, $P=0.000$), and the V_{40} , V_{50} , D_{max} of bladder were the lowest ($P=0.044$, $P=0.043$, $P=0.000$), and the D_{max} of small intestine, bone marrow, body were the lowest ($P=0.039$, $P=0.000$, $P=0.000$). The V_{20} of the bladder in plan avoiding 60°-300° is lowest ($P=0.005$). No significant differences were found in other measurements concerned with angle changes. **Conclusion** The plan without avoiding bladder can be applied in VMAT for patients with rectal cancers, and two rotating arcs can be adopted to irradiate.

Key words: rectal cancer; volumetric modulated arc therapy; bladder; gantry angle; organs at risk

前言

在中国,按世界人口标化发病率结直肠癌排在第6位,按世界人口标化死亡率结直肠癌排在第5位^[1],而且直肠癌在我国的发病年龄中位数为45岁左右,年青人发病概率呈上升趋势^[2]。因此对于直肠癌如何准确高效的治疗是一个不容忽视的问题。放射治疗作为直肠癌的一种治疗手段,有其不同于手

【收稿日期】2016-04-03

【作者简介】王贝,女,在读硕士研究生,E-mail: beiliuliju@163.com

【通信作者】邱杰,研究方向:医学物理,E-mail: qj_w@139.com

术、化疗的独特优势。容积旋转调强技术(VMAT)作为一种先进的技术,在治疗过程中通过改变剂量率大小、机架旋转速度及控制MLC运动来形成所需要的剂量分布^[3-4],与常规固定野调强放疗(FF-IMRT)相比较有减少MU和缩短治疗时间的优势^[5-8]。近年来,随着放疗技术的不断发展,VMAT已经被广泛地用于直肠癌的治疗。对直肠癌患者应用VMAT技术进行计划优化时,通过调整目标函数达到较好的优化结果,在此基础上探索避开膀胱照射,但这样是否真的有效,需要进一步验证。

1 材料和方法

1.1 病例选择

随机选取2015年9月~2015年12月期间北京协和医院收治的12例直肠癌患者的CT图像,靶区体积 $1\,019.28\sim 1\,504.94\text{ cm}^3$,平均值 $1\,244.08\text{ cm}^3$ 。

1.2 模拟定位

所有患者定位前2 h,排空直肠,口服20 mL 60%泛影葡胺(500 mL水稀释),使膀胱充盈。患者采用仰卧位,热塑体膜固定,行静脉增强造影,在Philips Brilliance 16排大孔径CT模拟定位机内进行扫描。扫描范围从L₂椎体下缘到坐骨结节以下5 cm,层厚0.5 cm。把图像传输到Varian Eclipse计划系统8.6(ECLIPSE, Varian Medical Systems, USA)进行计划设计。

1.3 靶区及危及器官(OAR)勾画

临床靶区(CTV)包括直肠吻合口、直肠系膜区、坐骨直肠窝、闭孔、骶前、骶内、部分骶外淋巴引流区。CTV在前后方向外放0.6~0.8 cm,其余方向外放0.8~1.0 cm形成计划靶区(PTV)。OAR包括膀胱、小肠、骨髓、Body、股骨头。

1.4 计划设计及优化

对每例患者分别设计“不避,避开30°~330°,40°~

320°,50°~310°,60°~300°,70°~290°,80°~280°”7个计划,准直器选择 $\pm 10^\circ$,X方向铅门固定在15 cm,X1、X2方向铅门到射野中心距离相等,剂量率为600 MU/min。PTV处方剂量50 Gy,分25次,2 Gy/次,要求至少100%的处方剂量包绕95% PTV, $D_{\text{mean}} < 105\%$ 处方剂量, $D_{\text{max}} < 110\%$ 处方剂量。OAR剂量限值为膀胱 $D_{50} \leq 26\text{ Gy}$,小肠 $D_{50} \leq 10\text{ Gy}$,并根据实际情况进行更严格限制。剂量计算采用AAA模型,计算网格为0.25 cm,所有计划均由同一人设计、优化。照射使用Varian Trilogy加速器(Varian Medical Systems, USA),射线能量为6 MV,60对MLG。

1.5 计划评估

使用剂量体积直方图(DVH)评估靶区和OAR的剂量分布。靶区评估参数包括处方剂量的95%、105%、110%对应的PTV的体积和 D_{mean} 、 D_{max} 、均匀性指数(HI, $HI=D_5/D_{95}$)、适形度指数(CI, $CI=CF \times SF$,CF为PTV接受处方剂量的体积与PTV体积之比,SF为PTV接受处方剂量的体积与Body接受处方剂量的体积之比)。OAR评估参数包括膀胱、小肠、骨髓、Body的 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 、 D_{mean} 、 D_{max} 、股骨头的 D_5 等。

1.6 统计学方法

使用SPSS 22.0软件行方差分析方法分析不同避开方法的结果是否存在显著性差异, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 靶区剂量结果

7个计划的靶区适形度均满足临床处方剂量要求,不避计划的靶区适形度($P=0.000$)和靶区均匀性($P=0.000$)都最优;而且不避计划的PTV处方剂量的95%最高,处方剂量的105%、 D_{mean} 、 D_{max} 、 D_5 最低,其他详见表1。

表1 7个计划的靶区剂量结果($\bar{x} \pm s$)

Tab.1 Dose distribution of target volumes in 7 plans ($Mean \pm SD$)

Item	Angle/ $^\circ$							P value
	None	30-330	40-320	50-310	60-300	70-290	80-280	
$V_{95}/\%$	99.96 \pm 0.27	99.93 \pm 0.42	99.92 \pm 0.37	99.91 \pm 0.42	99.91 \pm 0.45	99.87 \pm 0.52	99.83 \pm 0.55	0.000
$V_{105}/\%$	11.51 \pm 7.16	16.40 \pm 6.35	16.38 \pm 7.20	18.67 \pm 6.36	19.77 \pm 6.46	27.47 \pm 6.33	31.55 \pm 6.79	0.000
$V_{110}/\%$	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.01 \pm 0.03	0.09 \pm 0.29	-
$D_{\text{mean}}/\text{Gy}$	51.52 \pm 0.17	51.62 \pm 0.16	51.60 \pm 0.17	51.65 \pm 0.16	51.66 \pm 0.16	51.84 \pm 0.14	51.93 \pm 0.16	0.000
D_{max}/Gy	53.93 \pm 0.42	54.29 \pm 0.31	54.36 \pm 0.38	54.43 \pm 0.33	54.51 \pm 0.37	54.96 \pm 0.31	55.22 \pm 0.53	0.000
HI	1.05 \pm 0.01	1.06 \pm 0.00	1.06 \pm 0.01	1.06 \pm 0.01	1.06 \pm 0.00	1.07 \pm 0.01	1.07 \pm 0.01	0.000
CI	0.93 \pm 0.01	0.92 \pm 0.01	0.91 \pm 0.01	0.90 \pm 0.01	0.90 \pm 0.01	0.88 \pm 0.02	0.88 \pm 0.02	0.000

SD: Standard deviation; HI: Homogeneity index; CI: Conformal index

2.2 OAR 剂量结果

7种计划的膀胱 V_5 、 V_{10} 、 V_{30} 、 D_{mean} 均相近,但避开 $60^\circ \sim 300^\circ$ 的计划 V_{20} 的最低 ($P=0.005$),不避计划的 V_{40} 、 V_{50} 、 D_{max} 最低 ($P=0.044$, $P=0.043$, $P=0.000$)。7种计划的小肠、骨髓、Body 的 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 、

D_{mean} 均相近,不避计划的小肠 ($P=0.039$)、骨髓 ($P=0.000$)、Body ($P=0.000$) 的 D_{max} 最低,7种计划的左右股骨头 D_5 均相近,其他详见表2。

2.3 MU 结果

7种计划的MU均相近 ($P=0.781$, 表2)。

表2 7个计划的危及器官剂量结果 ($\bar{x} \pm s$)
Tab.2 Dose distribution of organs at risk in 7 plans ($Mean \pm SD$)

Item		Angle/ $^\circ$							P value
		None	30-330	40-320	50-310	60-300	70-290	80-280	
Bladder	$V_5/\%$	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	99.94 \pm 0.20	99.99 \pm 0.02	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	-
	$V_{10}/\%$	99.70 \pm 1.01	99.16 \pm 1.93	99.25 \pm 1.76	98.06 \pm 4.32	98.29 \pm 4.72	98.72 \pm 2.65	99.73 \pm 0.80	-
	$V_{20}/\%$	79.29 \pm 9.62	72.96 \pm 8.99	73.70 \pm 8.67	68.05 \pm 8.67	66.31 \pm 7.93	71.82 \pm 8.62	76.64 \pm 7.11	0.005
	$V_{30}/\%$	40.14 \pm 5.53	41.92 \pm 6.37	43.62 \pm 6.43	42.11 \pm 7.07	41.72 \pm 8.31	44.12 \pm 8.03	48.49 \pm 9.15	0.158
	$V_{40}/\%$	22.51 \pm 6.27	24.43 \pm 6.68	26.35 \pm 7.07	26.77 \pm 7.56	27.82 \pm 8.43	30.92 \pm 9.51	32.57 \pm 9.84	0.044
	$V_{50}/\%$	8.96 \pm 3.59	10.29 \pm 4.04	11.81 \pm 4.16	11.97 \pm 4.24	12.66 \pm 5.24	14.27 \pm 5.38	14.77 \pm 5.82	0.043
	D_{mean}/Gy	29.84 \pm 1.70	29.73 \pm 2.07	30.31 \pm 2.05	29.51 \pm 2.25	29.46 \pm 2.61	30.78 \pm 2.57	32.02 \pm 2.78	0.096
	D_{max}/Gy	53.22 \pm 0.41	53.53 \pm 0.48	53.57 \pm 0.49	53.79 \pm 0.49	53.91 \pm 0.52	54.23 \pm 0.47	54.57 \pm 0.71	0.000
Small intestine	$V_5/\%$	59.87 \pm 7.46	61.27 \pm 7.20	61.75 \pm 6.98	62.15 \pm 6.99	62.67 \pm 6.12	63.10 \pm 6.65	63.20 \pm 6.84	0.914
	$V_{10}/\%$	48.82 \pm 7.70	48.54 \pm 7.08	48.43 \pm 7.32	48.99 \pm 7.33	49.17 \pm 7.53	51.17 \pm 7.86	51.28 \pm 7.32	0.925
	$V_{20}/\%$	37.12 \pm 6.94	33.70 \pm 9.04	32.23 \pm 9.64	29.80 \pm 8.87	28.68 \pm 9.16	27.06 \pm 9.31	27.76 \pm 8.92	0.075
	$V_{30}/\%$	17.35 \pm 7.55	17.03 \pm 7.28	16.52 \pm 7.69	15.17 \pm 7.03	14.57 \pm 6.96	13.43 \pm 6.65	13.06 \pm 6.53	0.649
	$V_{40}/\%$	7.75 \pm 4.47	7.85 \pm 4.67	8.13 \pm 4.76	7.84 \pm 4.79	7.96 \pm 4.97	7.91 \pm 5.02	7.85 \pm 4.87	1.000
	$V_{50}/\%$	2.35 \pm 2.05	2.49 \pm 2.13	2.46 \pm 2.08	2.57 \pm 2.23	2.57 \pm 2.09	2.78 \pm 2.29	3.15 \pm 2.46	0.982
	D_{mean}/Gy	15.42 \pm 2.56	15.13 \pm 2.72	14.99 \pm 2.86	14.65 \pm 2.70	14.58 \pm 2.77	14.48 \pm 2.81	14.57 \pm 2.74	0.975
	D_{max}/Gy	51.65 \pm 0.92	51.87 \pm 0.83	51.83 \pm 0.85	52.07 \pm 0.89	52.06 \pm 0.84	52.38 \pm 0.70	52.81 \pm 1.10	0.039
Bone marrow	$V_5/\%$	94.13 \pm 5.93	94.45 \pm 5.88	94.67 \pm 5.82	94.63 \pm 5.89	94.70 \pm 5.86	94.44 \pm 5.81	93.99 \pm 5.58	1.000
	$V_{10}/\%$	88.78 \pm 6.55	88.37 \pm 6.55	88.55 \pm 6.53	87.93 \pm 6.46	87.73 \pm 6.47	87.28 \pm 6.39	86.57 \pm 6.38	0.984
	$V_{20}/\%$	77.94 \pm 6.66	76.51 \pm 7.16	76.81 \pm 7.62	76.47 \pm 8.06	76.28 \pm 7.79	74.74 \pm 8.23	72.64 \pm 8.30	0.729
	$V_{30}/\%$	50.36 \pm 6.33	53.72 \pm 4.91	54.54 \pm 5.48	54.89 \pm 5.09	55.06 \pm 5.87	54.35 \pm 4.93	53.42 \pm 5.51	0.405
	$V_{40}/\%$	20.79 \pm 5.36	23.34 \pm 5.45	24.67 \pm 5.70	25.62 \pm 5.82	25.66 \pm 5.45	26.73 \pm 5.73	25.95 \pm 4.86	0.150
	$V_{50}/\%$	5.48 \pm 2.66	5.81 \pm 2.66	6.26 \pm 3.93	6.62 \pm 2.87	6.67 \pm 3.09	7.23 \pm 2.06	7.25 \pm 2.86	0.689
	D_{mean}/Gy	29.21 \pm 2.02	29.66 \pm 1.95	29.99 \pm 2.11	30.09 \pm 2.13	30.11 \pm 2.19	29.98 \pm 2.10	29.48 \pm 2.15	0.920
	D_{max}/Gy	53.68 \pm 0.48	53.97 \pm 0.43	53.88 \pm 0.47	54.15 \pm 0.33	54.29 \pm 0.46	54.64 \pm 0.51	54.98 \pm 0.61	0.000
Body	$V_5/\%$	45.66 \pm 5.00	46.09 \pm 5.05	46.39 \pm 5.18	46.27 \pm 5.16	46.38 \pm 5.17	46.23 \pm 5.03	45.99 \pm 5.05	1.000
	$V_{10}/\%$	39.57 \pm 4.37	39.01 \pm 4.59	38.88 \pm 4.74	38.39 \pm 4.82	38.21 \pm 4.78	37.80 \pm 4.74	37.48 \pm 4.45	0.938
	$V_{20}/\%$	24.92 \pm 3.40	25.33 \pm 3.33	25.44 \pm 3.31	25.30 \pm 3.15	25.41 \pm 3.30	25.18 \pm 3.02	25.23 \pm 3.09	1.000
	$V_{30}/\%$	12.69 \pm 2.30	13.43 \pm 2.31	13.85 \pm 2.31	14.13 \pm 2.23	14.34 \pm 2.21	14.69 \pm 2.10	15.02 \pm 2.10	0.189
	$V_{40}/\%$	8.05 \pm 1.58	8.30 \pm 1.64	8.47 \pm 1.69	8.51 \pm 1.69	8.66 \pm 1.69	8.88 \pm 1.77	8.99 \pm 1.70	0.844
	$V_{50}/\%$	5.47 \pm 1.04	5.54 \pm 1.07	5.61 \pm 1.08	5.65 \pm 1.07	5.68 \pm 1.07	5.77 \pm 1.10	5.79 \pm 1.09	0.991
	D_{mean}/Gy	11.85 \pm 1.41	11.98 \pm 1.44	12.06 \pm 1.47	12.03 \pm 1.45	12.07 \pm 1.45	12.09 \pm 1.41	12.10 \pm 1.41	1.000
	D_{max}/Gy	53.93 \pm 0.42	54.29 \pm 0.31	54.36 \pm 0.38	54.48 \pm 0.34	54.52 \pm 0.38	54.98 \pm 0.32	55.31 \pm 0.66	0.000
Left femur	D_5/Gy	36.79 \pm 2.83	37.67 \pm 2.47	37.90 \pm 2.52	38.97 \pm 2.84	39.00 \pm 2.42	38.37 \pm 2.28	36.80 \pm 2.73	0.188
Right femur	D_5/Gy	36.14 \pm 3.67	37.16 \pm 2.54	37.24 \pm 2.98	37.96 \pm 3.54	37.81 \pm 3.50	37.53 \pm 3.93	36.41 \pm 2.68	0.822
Monitor unit		601.58 \pm 54.24	594.92 \pm 104.12	607.17 \pm 83.59	585.58 \pm 82.96	616.92 \pm 81.07	604.42 \pm 124.47	597.51 \pm 91.42	0.781

3 讨论

直肠癌是消化系统常见的恶性肿瘤之一。由于其位置深入到盆腔,且解剖结构复杂,术后复发率较高。目前对于直肠癌的放疗,VMAT技术的适用性及经济性使得大多数患者选择此项技术。随着对放疗的精度要求越来越高,如何利用现有技术在提高靶区剂量的同时尽可能降低周围正常组织的受量,如膀胱、小肠等。杨波等^[9]在直肠癌术前VMAT与固定野IMRT剂量学比较的研究中得出直肠癌术前患者采用VMAT技术可以得到等同于或优于固定野IMRT计划的剂量分布,患者治疗时间缩短,MU降低。赵文斌等^[10]研究认为VMAT作为一种特殊的IMRT技术,在靶区适形度和剂量分布均匀性方面更有优势。

Rana等^[11]比较了部分单弧计划和全弧计划在前列腺癌治疗的可行性,研究结果得出避开膀胱和直肠能有效降低其受量。由此提示我们在直肠癌放疗中应用VMAT技术时,定义某段角度不出束以达到更好的器官保护。李润霄等^[12]研究直肠癌静态IMRT与VMAT放疗计划的剂量学对比,但其VMAT选择部分照射($50^{\circ}\sim 310^{\circ}$ 不出束),得出VMAT的适形度低于静态IMRT。

国内有关在直肠癌的治疗中是否避开膀胱这一问题的文献报道还相对较少。但根据本实验结论可推测出若避开膀胱一定的角度照射,为使靠近膀胱的靶区要达到处方剂量,其他方向给予靶区的剂量贡献会更多,从而造成对膀胱的散射更多,膀胱受量因此会增加。而对于不避的情况,由于VMAT技术中兼顾多叶准直器的调制,机架旋转速率以及剂量率的变化,使得射线根据肿瘤厚度的变化进行调制。同时通过这三者的有效结合使射线避开紧贴肿瘤或者肿瘤凹陷处的膀胱和小肠,使靶区获得精确的放射剂量,有效杀灭肿瘤,保护周围正常组织,减少不良反应^[13]。

本文的研究结果是用VMAT技术时不避开膀胱得到的结果最好,但不排除由于个人做计划的水平有限而未能得出更好的结论。在进行计划制作时膀胱是作为一个整体器官进行优化的,但是膀胱与PTV有交集,故下一步尝试把膀胱分成靶区内膀胱和靶区外膀胱两部分进行优化,观察结果是否有变化。由于瓦里安加速器中多叶准直器同侧叶片最大相对运动范围小于 15 cm ^[14-15],故本文中横向铅门大小都设置在 15 cm ,但在临床中直肠癌靶区的横向距离会大于 15 cm ,导致靶区边界包绕不全,只能通过机架旋转过程中有限的控制点进行调制,以后可以

继续研究铅门的设置对计划的影响。本文采取应用靶区和OAR的DVH图进行剂量评价,对病人计划的实际实施以及病人得到的实际受量和后期反应还未做比较,待在以后的工作中进一步探讨。

【参考文献】

- [1] 代敏,任建松,李霓,等. 中国2008年肿瘤发病和死亡情况估计及预测[J]. 中华流行病学杂志, 2012, 33(1): 57-61.
DAI M, REN J S, LI N, et al. Estimation and prediction on cancer related incidence and mortality in China, 2008[J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2012, 33(1): 57-61.
- [2] 郁宝铭. 低位直肠癌的诊治进展[J]. 中国实用外科杂志, 2002, 22(1): 389-391.
YU B M. The diagnosis and treatment of low rectal cancer[J]. Chinese Journal of Practical Surgery, 2002, 22(1): 389-391.
- [3] LING C C, ZHANG P, ARCHAMBAULT Y, et al. Commissioning and quality assurance of RapidArc radiotherapy delivery system[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 72: 575-581.
- [4] OTTO K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc[J]. Med Phys, 2008, 35: 310-317.
- [5] 孙晓欢, 周咏春, 谭丽娜, 等. 容积旋转调强与固定野调强在宫颈癌术后放疗中的剂量学比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2014, 31(1): 4604-4607.
SUN X H, ZHOU Y C, TAN L N, et al. Dosimetric comparison of volumetric modulated arc therapy with fixed field intensity-modulated radiotherapy for postoperative of cervical carcinoma[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2014, 31(1): 4604-4607.
- [6] 张矛, 金海国, 杨金磊, 等. 容积旋转调强与固定野调强计划在鼻咽癌放疗中的剂量学比较[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2014, 34(11): 852-854.
ZHANG M, JIN H G, YANG J L, et al. Dosimetric comparison of volumetric modulated arc therapy with fixed field intensity-modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2014, 34(11): 852-854.
- [7] LI J L, JI J F, CAI Y, et al. Preoperative concomitant boost intensity-modulated radiotherapy with oral capecitabine in locally advanced mid-low rectal cancer: a phase II trial[J]. Radiother Oncol, 2012, 102(1): 4-9.
- [8] TEOH M, CLARK C H, WOOD K, et al. Volumetric modulated arc therapy: a review of current literature and clinical use in practice[J]. Br J Radiol, 2011, 84: 967-996.
- [9] 杨波, 庞廷田, 孙显松, 等. 直肠癌术前容积调强与固定野调强技术的剂量学比较[J]. 协和医学杂志, 2014, 5(2): 179-183.
YANG B, PANG T T, SUN X S, et al. Dosimetric comparison between preoperative volumetric modulated arc therapy and fixed-field intensity-modulated radiotherapy for rectal cancer[J]. Medical Journal of Peking Union Medical College Hospital, 2014, 5(2): 179-183.
- [10] 赵文斌, 丘敏敏, 文碧秀, 等. 精准放射治疗技术在直肠癌的临床应用[J]. 世界华人消化杂志, 2016, 24(5): 714-721.
ZHAO W B, QIU M M, WEN B X, et al. Clinical application of precise radiotherapy in rectal cancer[J]. World Chinese Journal of Digestology, 2016, 24(5): 714-721.
- [11] RANA S, CHENG C Y. Feasibility of the partial-single arc technique in RapidArc planning for prostate cancer treatment[J]. Chin J Cancer, 2013, 32(10): 546-552.
- [12] 李润霄, 迟子锋, 曹彦坤, 等. 直肠癌静态调强与容积旋转调强放疗计划的剂量学对比研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015,

- 35(2): 123-127.
- LI R X, CHI Z F, CAO Y K, et al. Dosimetric comparison of the VMAT and IMRT planning in rectal carcinoma [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2015, 35(2): 123-127.
- [13] MOK H, CRANE C H, PALMER M B, et al. Intensity modulated radiation therapy (IMRT): differences in target volumes and improvement in clinically relevant doses to small bowel in rectal carcinoma[J]. Radiat Oncol, 2011, 6: 63.
- [14] 杨波, 鹿廷田, 孙显松, 等. 直肠癌调强放疗中固定铅门技术和分野的剂量学比较[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2012, 32(5): 509-512.
- YANG B, PANG T T, SUN X S, et al. Dosimetric comparison of split field and fixed jaw techniques for target volumes in the rectum cancer [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2012, 32(5): 509-512.
- [15] 鹿廷田, 杨波, 刘楠, 等. 固定铅门尺寸技术在宫颈癌容积调强计划设中的应用[J]. 协和医学杂志, 2014, 5(2): 184-188.
- PANG T T, YANG B, LIU N, et al. Fixed-jaw technique in volumetric modulated arc therapy plan for cervical cancer radiotherapy [J]. Medical Journal of Peking Union Medical College Hospital, 2014, 5 (2): 184-188.
- (编辑: 黄开颜)

(上接 884 页)

- [2] KAPATOES M, OLIVERA G H, LU W, et al. Dose gradients as a tool the optimization and verification of intensity modulated radiation therapy(IMRT) [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2000, 48(3): 139-140.
- [3] TSAI J S, WAZER D E, LING M N, et al. Dosimetric verification of dynamic intensity-modulated radiation therapy of 92 patients[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1998, 40(5): 1213-1230.
- [4] BASRAN P S, WOO M K. An analysis of tolerance levels in IMRT quality assurance procedures[J]. Med Phys, 2008, 35(6): 2300-2307.
- [5] EZZELL G A, GALVIN J M, LOW D, et al. Guidance document on delivery, treatment planning, and clinical implementation of IMRT: report of the IMRT subcommittee of the AAPM radiation therapy committee[J]. Med Phys, 2003, 30(8): 2089-2115.
- [6] FUHRER R, BLODGETT K, COLONIAS A, et al. Quality control trigger: a quality assurance process in radiation oncology [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 84(3): s663.
- [7] DING A, HAN B, XING L. An EPID-based dosimetric verification tool for electron beam therapy [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2014, 90(1): S921.
- [8] FAN Y, CHEN Z, NATH R. Effects of detector spatial resolution on 2D IMRT dose verification using MapCheck and electronic portal imager[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 72(1): s599-s600.
- [9] NAKAGUCHI Y, ARAKI F, SAIGA S. New dosimetric treatment verification system of IMRT using a COMPASS, clinical experience and dosimetric properties[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 78 (3): s767.
- (编辑: 陈丽霞)