DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2016.03.021

医学放射物理

直肠癌术前不同照射技术剂量学比较

姚文良,许波,戚金凤,张佳卉,王雷
淄博市中心医院放疗科, 山东 淄博 255000

【摘 要】目的:通过比较常规放疗(Con-RT)、三维适形放疗(3DCRT)和调强放疗(IMRT)3种放疗计划模式的剂量分布,探讨直肠癌术前放疗的理想计划模式。**方法:**选取10例直肠癌术前患者,采用三维治疗计划系统对每例患者分别行3野Con-RT、3野三维适形($3DCRT_3$)、5野三维适形($3DCRT_5$)、5野调强放疗($IMRT_5$)和7野调强放疗($IMRT_7$)计划设计,利用剂量体积直方图(DVH)评价5种照射技术下靶区和危及器官的体积剂量分布,处方剂量为50 Gy。**结果:**Con-RT计划中肿瘤靶区(GTV)的最小剂量为(4991.5±69.1) cGy,靶区内有冷点。计划靶区(PTV)的适形指数(CI):$IMRT_7$>$IMRT_5$>3DCRT>Con-RT;PTV的剂量不均匀指数(HI):Con-RT>$3DCRT_3$>$3DCRT_5$>$IMRT_5$>$IMRT_7$。相比3DCRT计划,IMRT计划减少了小肠、膀胱、股骨头的V_{40}、V_{50}体积($P<0.05$)。**结论:**直肠癌术前放疗中Con-RT计划的靶区剂量分布不均,适形度差;相比于3DCRT计划,IMRT计划剂量分布均匀,适形度优,危及器官高剂量照射体积明显减少;在剂量分布和适形度方面,$IMRT_7$计划优于$IMRT_5$计划。

【关键词】直肠癌;常规放疗;三维适形放疗;调强适形放疗;剂量体积直方图
【中图分类号】R735.37 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1005-202X(2016)03-0317-05

Dosimetric comparison of different preoperative radiotherapy techniques for rectal cancer

YAO Wen-liang, XU Bo, QI Jin-feng, ZHANG Jia-hui, WANG Lei
Department of Radiation Oncology, Zibo Central Hospital, Zibo 255000, China

Abstract: Objective To discuss on the best preoperative radiotherapy plan for rectal cancer by evaluating the dose distribution of conventional radiotherapy (Con-RT), three-dimensional conformal radiotherapy (3DCRT) and intensity-modulated radiotherapy (IMRT). **Methods** Ten preoperative patients with rectal cancer were selected. Five plans were respectively designed for each patient by using 3D treatment planning system, including 3-field Con-RT plan, 3-field 3DCRT ($3DCRT_3$) plan, 5-field 3DCRT ($3DCRT_5$) plan, 5-field IMRT ($IMRT_5$) plan and 7-field IMRT ($IMRT_7$) plan. The volume-dose distribution of target volumes and organs at risk in the five plans were evaluated by using dose-volume histogram. The prescription dose was 50 Gy. **Results** The minimum dose of gross tumor volume in the Con-RT plan was (4991.5±69.1) cGy, and some cold spots were found in the target volume. The comparative result of conformity index (CI) of planning target volume (PTV) was $IMRT_7$>$IMRT_5$>3DCRT>Con-RT; the comparative result of homogeneity index of PTV was Con-RT>$3DCRT_3$>$3DCRT_5$>$IMRT_5$>$IMRT_7$. Compared with 3DCRT plan, IMRT plan reduced the V_{40}, V_{50} of small intestine, bladder and femoral head ($P<0.05$). **Conclusion** The dose distribution of target volume in preoperative Con-RT plan for rectal cancer has unsatisfactory dose distribution and conformity. Compared with 3DCRT plan, IMRT plan has a satisfactory dose distribution and a good conformity, obviously reducing the high dose radiation volume of organs at risk. And $IMRT_7$ plan is superior to $IMRT_5$ plan in dose distribution and conformity.

Key words: rectal cancer; conventional radiotherapy; three-dimensional conformal radiotherapy; intensity-modulated radiotherapy; dose-volume histogram

前 言

结直肠癌是我国常见的恶性肿瘤之一,手术是大多数直肠癌患者的首选,但是对于II~III期直肠癌,局部复发率高仍然是一个棘手的问题。直肠癌

【收稿日期】2015-09-15
【作者简介】姚文良(1979-),男,山东沂水人,硕士。Tel:18678186985;
E-mail:wenliangy@sohu.com。

术前放化疗不但能降低局部复发率和总复发率，还提高了直肠癌患者保留肛门的几率[1]。相对于常规放射治疗（Con-RT），三维适形放疗（3DCRT）和调强放疗（IMRT）技术已经广泛用于各种肿瘤的放射治疗中，本研究旨在通过比较3种计划模式的优缺点，探索更加理想的临床放疗方式，用于指导临床实践。

1 材料与方法

1.1 临床资料

本研究收集2011年2月至2012年6月期间在本院放疗科行直肠癌术前放疗的患者10例，术前病理诊断明确。根据UICC临床分期标准，10例患者均处于II期和III期，其中II期7例，III期3例。

1.2 CT扫描定位及图像采集

CT激光定位扫描，所有患者全部采取俯卧位，采用有孔腹部定位器+体膜固定体位。CT模拟定位扫描前空腹3 h，前1 h叮嘱患者排空膀胱和直肠，然后口服20%泛影葡胺15 mL+800 mL水，1 h后行CT增强扫描，扫描前静脉注射100 mL欧乃派克造影剂，采用GE AcQsim CT模拟定位机扫描，扫描从第四腰椎上缘开始到肛门下缘，扫描层厚为0.5 cm，层间距为0.5 cm。通过院内局域网将CT图像传至VARIAN ECLIPSE10.0三维适形治疗计划系统，在放射治疗计划系统（TPS）上对图像进行三维重建，调整窗宽和窗位至统一标准，勾画靶区和危及器官。

1.3 靶区及危及器官的勾画

由两位资深的肿瘤放疗医生在TPS三维重建图像上勾画肿瘤靶区（GTV）和临床靶区（CTV）。GTV的勾画可根据CT增强后肠壁外缘的光滑程度和肠壁的厚度以及MRI图像来确定肿瘤的大小和外侵范围。根据ICRU 62号报告，CTV的上界通常为腰5骶1椎体之间，下界为肿瘤下缘下3 cm，外界为真骨盆外1 cm，具体包括肿瘤原发灶、部分乙状结肠、盆腔侧壁、坐骨直肠窝，还包括闭孔淋巴结、髂内及部分髂总和（或）髂外血管周围淋巴结，以及膀胱部分后壁；其中女性患者应包括部分阴道和子宫后壁，男性还应包括前列腺和精囊腺后壁。计划靶区（PTV）通过CTV外放1 cm。对于危及器官，为便于各计划小肠受量评价，将小肠统一勾画至第5腰椎上缘，根据CT定位扫描图像依次画出膀胱、左右股骨头及肛管。

1.4 制定放射治疗计划

对每例患者分别行Con-RT、3野三维适形（$3DCRT_3$）、5野三维适形（$3DCRT_5$）、5野调强放疗（$IMRT_5$）和7野调强放疗（$IMRT_7$）计划设计。Con-RT计划其实是虚拟常规治疗计划，传统Con-RT计划是采用模拟机下定位，模拟机透视下确定病灶中心，采用1后野加两水平侧野三野等中心照射。Con-RT计划采用CT模拟定位，射野中心为TPS根据PTV自动生成的等中心点，采用常规计划的三野布局，两侧野均为30°楔形板。使用多叶光栅（MLC）对3个射野进行模拟挡铅，虚拟Con-RT计划也采用等中心点剂量归一。$3DCRT_3$计划采用1后野加两侧野三野等中心照射，两侧野入射角度可根据患者的靶区形状调节两侧照射野的角度，所采用的楔形板也根据剂量分布调换。$3DCRT_5$计划射野角度分别为0°、45°、95°、265°和315°，可根据剂量分布调节楔形板的度数以及照射野的权重。$IMRT_5$计划射野角度分别为0°、50°、100°、260°和310°。$IMRT_7$计划射野角度分别为0°、33°、66°、100°、260°、327°和294°。3DCRT和IMRT的处方剂量规定为95% PTV接受的照射剂量，IMRT的GTV 100%的体积接受处方剂量照射。

1.5 处方剂量

5种计划的处方剂量均为50 Gy，50 Gy /25次。

1.6 数据统计及评价参数

（1）GTV采用最小剂量（D_{min}）、最大剂量（D_{max}）和平均剂量（D_{mean}）评价；（2）靶区PTV采用适形度指数（CI）和不均匀指数（HI）评价，根据ICRU 62号报告定义，$CI=V_{47.5}/V_{PTV}$，$HI=D_{5\%}/D_{95\%}$[2]；（3）危及器官的评价参数：小肠的V_{20}、V_{30}、V_{40}、V_{50}，即通过DVH图评价小肠受20、30、40和50 Gy等剂量曲线所包括的小肠体积，膀胱的V_{30}、V_{40}、V_{50}，股骨头的V_{30}、V_{40}、V_{50}，肛管的V_{50}、V_{55}。

1.7 统计学分析

采用SPSS17.0软件进行统计学分析，所测数据采用均数±标准差，检验标准α=0.05，治疗计划各指标之间的比较采用配对样本t检验。

2 结 果

2.1 $3DCRT_3$计划与Con-RT、$3DCRT_5$、IMRT计划的GTV剂量分布比较

直肠癌术前放疗与直肠癌术后放疗相比最大差异就是有明确的GTV。Con-RT计划的GTV所受最小剂量与3DCRT计划相比有显著差异（P<0.01），说明3DCRT显著改善了Con-RT剂量不足的缺陷，IMRT较3DCRT改善了剂量均匀性。结果见表1。

2.2 $3DCRT_3$计划与Con-RT、$3DCRT_5$、IMRT计划的

PTV剂量分布比较

5种计划的CI和HI的比较，CI：$IMRT_7$> $IMRT_5$ > 3DCRT>Con- RT；HI：Con- RT>$3DCRT_3$ >$3DCRT_5$> $IMRT_5$>$IMRT_7$。结果见表2。

2.3 $3DCRT_3$计划与Con-RT、$3DCRT_5$、IMRT计划的小肠剂量分布比较

与$3DCRT_3$计划比较，Con-RT计划和$3DCRT_5$计划中，小肠的V_{20}、V_{30}、V_{40}、V_{50}4组数据均无统计学意义（P>0.05）。$3DCRT_3$计划与两种IMRT计划相比较，IMRT的小肠V_{40}、V_{50}显著降低（P<0.05），表明IMRT计划可以减少高剂量照射区的小肠体积，同时低剂量区小肠的体积未明显增加。两种IMRT计划未有明显差别。小肠受照体积比的具体数值见表3。

2.4 $3DCRT_3$计划与Con-RT、$3DCRT_5$、IMRT计划的膀胱、股骨头、肛管剂量分布比较

与3DCRT3计划比较，Con-RT计划的膀胱V_{30}和V_{40}没有明显差异（P > 0.05），膀胱V_{50}明显低于3DCRT计划（P<0.01），这是由于Con-RT靠近膀胱后壁处剂量不足造成的；Con-RT计划的股骨头V_{30}和肛管的V_{55}高于$3DCRT_3$计划（P<0.05）。两种3DCRT计划中，膀胱、股骨头和肛管的受照体积未有显著差异。相对于$3DCRT_3$计划，IMRT计划中膀胱的V_{30}差异不明显，但V_{40}和V_{50}显著减少（P<0.05），表明IMRT可以减少膀胱的高剂量照射体积；3DCRT计划中股骨头的V_{30}、V_{40}和V_{50}均高于IMRT计划，这表明IMRT可以显著降低股骨头的受照剂量；$3DCRT_3$和IMRT放疗中肛管V_{55}均为零。两种IMRT计划相比较，膀胱、股骨头和肛管的受照剂量未有明显差异。具体数值见表4~表6。

3 讨 论

直肠癌术前放疗，由于盆腔血运未破坏，肿瘤氧供充足，放射生物学效应明显，因而肿瘤缩小降期成为可能。本研究数据表明Con-RT计划中有3例患者GTV剂量不足，7例病人髂内血管旁剂量分布不足，小肠受量偏高。3DCRT计划改善了靶区剂量分布，但小肠受量未改善。IMRT靶区适形度和剂量均匀度均明显优于3DCRT，且小肠、股骨头、膀胱及肛管

表1　$3DCRT_3$计划与Con−RT、$3DCRT_5$、IMRT计划的GTV剂量分布比较（$\bar{x}\pm s$, cGy）

Tab.1　Dose comparison of GTV between $3DCRT_3$ and Con−RT, $3DCRT_5$, IMRT (*Mean±SD*, cGy)

Parameter	Con-RT	$3DCRT_3$	$3DCRT_5$	$IMRT_5$	$IMRT_7$
D_{min}	4991.5±69.1	5083.5±49.7	5139.8±39.1	5039.6±19.7	5033.2±16.3
	P=0.003 4		*P*=0.205 9	*P*=0.023 7	*P*=0.011 3
D_{max}	5374.5±161.5	5383.2±137.7	5454.8±128.3	5334.7±16.3	5293.1±15.5
	P=0.898 3		*P*=0.602 0	*P*=0.296 6	*P*=0.069 1
D_{mean}	5226.4±80.5	5232.5±74.1	5391.3±69.8	5159.7±20.3	5105.4±17.8
	P=0.862 0		*P*=0.000 1	*P*=0.013 0	*P*=0.000 4

P values are the results of paired-sample *t* test between each program and $3DCRT_3$.

GTV: Gross tumor volume; Con-RT: Conventional radiotherapy; $3DCRT_3$: Three-field three-dimensional conformal radiotherapy; $3DCRT_5$: Five-field three-dimensional conformal radiotherapy; $IMRT_5$: Five-field intensity-modulated radiotherapy; $IMRT_7$: Seven-field intensity-modulated radiotherapy

表2　$3DCRT_3$计划与Con−RT、$3DCRT_5$、IMRT计划PTV剂量分布比较

Tab.2　Dose comparison of PTV between $3DCRT_3$ and Con−RT, $3DCRT_5$, IMRT

Item	Con-RT	$3DCRT_3$	$3DCRT_5$	$IMRT_5$	$IMRT_7$
CI	0.69±0.03	0.75±0.02	0.76±0.02	0.86±0.02	0.89±0.01[a]
	P=0.000 0		*P*=0.053 6	*P*=0.000 0	*P*=0.000 0
HI	1.23±0.02	1.10±0.01	1.09±0.01	1.06±0.01	1.05±0.01[b]
	P=0.000 0		*P*=0.027 3	*P*=0.000 0	*P*=0.000 0

P values are the results of paired-sample t test between each program and $3DCRT_3$. Compared with $IMRT_5$, *P* value of [a] is 0.000 0, and *P* value of [b] is 0.000 0.

PTV: Planning target volume; CI: Conformity index; HI: Homogeneity index

表3 3DCRT$_3$计划与Con−RT、3DCRT$_5$、IMRT计划的小肠的剂量分布比较($\bar{x}\pm s$, %)

Tab.3 Dose comparison of small intestine between 3DCRT$_3$ and Con−RT, 3DCRT$_5$, IMRT (*Mean±SD*, %)

Treatment plan	V_{20}	V_{30}	V_{40}	V_{50}
Con-RT	28.88±18.81	20.54±15.92	10.18±6.67	5.38±5.30
	P=0.719 9	*P*=0.378 3	*P*=0.247 4	*P*=0.527 8
3DCRT$_3$	32.01±19.61	26.05±10.77	14.34±8.72	7.02±4.48
3DCRT$_5$	29.94±18.33	24.45±10.08	15.67±8.56	7.44±4.90
	P=0.810 1	*P*=0.735 6	*P*=0.734 7	*P*=0.843 7
IMRT$_5$	37.75±12.37	22.54±10.41	5.44±6.61	3.17±3.08
	P=0.445 7	*P*=0.468 2	*P*=0.019 9	*P*=0.039 7
IMRT$_7$	37.35±12.16^b	20.46±9.92^b	4.18±3.35^b	2.27±2.09^b
	P=0.475 5	*P*=0.243 1	*P*=0.005 1	*P*=0.009 7

P values are the results of paired-sample t test between each program and 3DCRT$_3$. Compared with IMRT$_5$, *P* values of ^{b} are respectively 0.9427, 0.6529, 0.5997, 0.4557.

表4 3DCRT$_3$计划与Con−RT、3DCRT$_5$、IMRT计划的膀胱剂量分布比较($\bar{x}\pm s$, %)

Tab.4 Dose comparison of bladder between 3DCRT$_3$ and Con−RT, 3DCRT$_5$, IMRT (*Mean±SD*, %)

Treatment plan	V_{30}	V_{40}	V_{50}
Con-RT	51.62±10.81	40.29±9.14	9.88±7.02
	P=0.295 9	*P*=0.783 7	*P*=0.000 4
3DCRT$_3$	45.33±14.92	38.82±13.91	27.12±10.07
3DCRT$_5$	45.14±14.45	35.49±13.58	23.96±9.93
	P=0.977 2	*P*=0.594 7	*P*=0.488 9
IMRT$_5$	39.38±8.85	25.95±7.94	9.65±3.15
	P=0.295 6	*P*=0.023 2	*P*=0.000 3
IMRT$_7$	36.54±8.02^b	22.91±8.04^b	7.75±2.77^b
	P=0.123 4	*P*=0.007 1	*P*=0.000 1

P values are the results of paired-sample *t* test between each program and 3DCRT$_3$. Compared with IMRT$_5$, *P* values of ^{b} are respectively 0.4619, 0.4061, 0.1695.

表5 3DCRT$_3$计划与Con−RT、3DCRT$_5$、IMRT计划的股骨头剂量分布比较($\bar{x}\pm s$, %)

Tab.5 Dose comparison of femoral head between 3DCRT$_3$ and Con−RT, 3DCRT$_5$, IMRT (*Mean±SD*, %)

Treatment plan	V_{30}	V_{40}	V_{50}
Con-RT	55.81±9.26	16.75±6.61	3.49±3.51
	P=0.015 6	*P*=0.743 4	*P*=0.541 1
3DCRT$_3$	68.36±11.53	18.24±12.46	2.62±2.67
3DCRT$_5$	67.53±10.83	17.97±12.18	2.45±1.98
	P=0.870 1	*P*=0.961 5	*P*=0.873 5
IMRT$_5$	14.62±8.72	4.79±3.69	0.00±0.00
	P=0.000 0	*P*=0.007 8	*P*=0.012 7
IMRT$_7$	14.93±6.44^b	4.66±2.81^b	0.00±0.00
	P=0.000 0	*P*=0.007 3	*P*=0.012 7

P values are the results of paired-sample *t* test between each program and 3DCRT$_3$. Compared with IMRT$_5$, *P* values of ^{b} are respectively 0.9290, 0.9304.

受量均有改善。IMRT$_7$计划优于IMRT$_5$计划。姚波等[3]和胡克等[4]对直肠癌术前放疗患者的研究也表明IMRT较3DCRT能改善靶区均匀度。是否IMRT射野越多越好？李宝生等[5]从理论上讲射野数越多，IMRT剂量分布越好，但当射野大于10个后，并不会明显提高剂量优化。

小肠属于对放射线反应敏感器官。在直肠癌放疗中小肠是最主要剂量限制器官，小肠照射剂量与小肠的早期和晚期毒性反应呈正相关性[6-8]。且照射剂量在45 Gy以上的小肠体积与放射损伤的发生率密切相关，减少小肠的照射剂量是避免放射性损伤的主要方法[9]。Celia等[10]用3DCRT代替常规三野方案显示改善了靶区剂量分布，而小肠及膀胱照射剂量未增加。Engels等[11]用IMRT替代3DCRT，发现剂量分布与靶区高度吻合，高剂量区的小肠体积明显减少，从而减少了小肠的损伤几率。Urbano等[12]研究也得出类似的结论。且由于直肠癌术前放疗小肠未降入盆腔，减少了照射野范围内的小肠受照体积；而且相对于直肠癌术后小肠容易粘连，术前放疗时小肠活动良好，因此术前放疗较术后放疗可以降低

表6 3DCRT$_3$计划与Con−RT、3DCRT$_5$、IMRT计划的肛管剂量分布比较($\bar{x}\pm s$, %)

Tab.6 Dose comparison of anal canal between 3DCRT$_3$ and Con−RT, 3DCRT$_5$, IMRT (*Mean±SD*, %)

Treatment plan	V_{50}	V_{55}
Con-RT	35.21±10.53	2.07±2.11
	P=0.435 4	*P*=0.012 7
3DCRT$_3$	30.75±14.16	0.00±0.00
3DCRT$_5$	29.64±17.13	0.00±0.00
	P=0.876 3	
IMRT$_5$	31.34±7.86	0.00±0.00
	P=0.909 9	
IMRT$_7$	30.26±8.12[b]	0.00±0.00
	P=0.925 7	

P values are the results of paired-sample *t* test between each program and 3DCRT$_3$. Compared with IMRT$_5$, *P* value of [b] is 0.7660.

小肠放射性损伤。FFCD-9203试验[13]、German-CAO/ARO-94试验[14]和NSABP R-03随机试验[15]都证实术前放化疗较术后放化疗降低了小肠的毒副作用。由于开展直肠癌术前IMRT临床研究时间较短,能否降低小肠远期毒副作用,还需要做更多的临床。

本研究中3DCRT$_3$中膀胱V_{50}体积百分比为27.12%,而IMRT$_5$计划中为9.65%,两者相比有显著差异(P<0.01)。由于膀胱的毒副作用与照射体积和剂量有关,因此理论上IMRT在直肠癌术前放疗中可降低膀胱的毒副作用发生率。股骨头的放疗损伤与V_{50}的体积有关,两种IMRT的V_{50}均为零,优势明显。因部分肛管包绕在PTV内,IMRT与3DCRT相比较,优势不明显,3DCRT计划和IMRT计划的肛管V_{55}均为零,而Con-RT为2.07%,这与Con-RT高剂量区明显靠近骶前区分布有关。

综上所述,Con-RT不符合临床剂量学要求,尽量避免使用。IMRT在剂量分布和小肠等危及器官保护方面明显优于3DCRT。IMRT$_7$计划在适形度和剂量均匀性方面优于IMRT$_5$计划。

【参考文献】

[1] GREARD J P, CHAPET O, NEMOZ C, et al. Improved sphincter preservation in low rectal cancer with high- dose preoperative radiotherapy: the lyon R96-02 randomized trial[J]. J Clin Oncol, 2004, 22(12): 2404-2409.

[2] MURSHED H, LIU H H, LIAO Z X, et al. Dose and volume reduction for normal lung using intensity-modulated radiotherapy for advanced-stage non-small-cell lung cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2004, 58(4): 1258-1267.

[3] 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. Dosimetryic 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.

[4] 胡克, 庞延田, 杨波, 等. 直肠癌术前放疗中三维适形放疗与调强适形放疗的剂量学比较分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2010, 30(3): 310-313.
HU K, PANG T T, YANG B, et al. Dosimetric analysis of preoperative three-dimensional conformal and preoperative intensity modulated radiotherapy for rectal cancer[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2010, 30(3): 310-313.

[5] 李宝生, 于金明. 调强放射治疗计划[J]. 中国肿瘤, 2001, 10(8): 461-463.
LI B S, YU J M. Plan of intensity modulated radiation therapy[J]. Bulletin of Chinese Cancer, 2001, 10(8): 461-463.

[6] MAK A C, RICH T A, SCHULTHEISS T E, et al. Late complications of postoperative radiation therapy for cancer of the rectum and rectosig-moid[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1994, 28(3): 597-603.

[7] GALLAGHER M J, BRERETON H D, ROSTOCK R A, et al. A prospective study of treatment techniques to minimize the volume of pelvic small bowel with reduction of acute and late effects associated with pelvic irradiation[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1986, 12(9): 1565-1573.

[8] LETSCHERT J G, LEBESQUE J V, ALEMAN B M, et al. The volume effect in radiation-related late small bowel complications: results of clinical study of the EORTC Radiotherapy Cooperative Group in patients treated for rectal carcinoma[J]. Radiother Oncol, 1994, 32(2): 116-123.

[9] ROESKE J C, BONTA D, MELL L K, et al. A dosimetric analysis of acute gastrointestinal toxicity women receiving intensity-modulated whole-pelvic radiation therapy[J]. Radiother Oncol, 2003, 69 (2): 201-207.

[10] CELIA L, CISCOGNETTI N, MARTIN G, et a1. Preoperative radiation treatment for rectal cancer: comparison of target coverage and small bowel NTCP in conventional *vs* 3D-conformal planning[J]. Med Posim, 2009, 34: 75-81.

[11] ENGELS B, DE RIDDER M, TOURNEL K, et a1. Preoperative belical tomotherapy and megavoltage computed tomography for rectal cancer impact on the irradiated volume of small bowel[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 74: 1476-1480.

[12] URBANO M T, HENRYS A J, ADAMS E J, et a1. Intensity-modulated radiotherapy in patients with locally advanced rectal cancer reduces volume of bowel treated to high dose levels[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 65(3): 907-916.

[13] GERAD J P, CONROY T, BONNETAIN F, et al. Preoperative radiotherapy with or without concurrent fluorouracil and leucovorin in T3-4 rectal cancers: results of FFCD 9203[J]. J Clin Oncol, 2006, 24(28): 4620-4625.

[14] SAUER R, BECKER H, HOHENBERGER W, et al. Preoperrative versus postoperative chemoradiotherapy for rectal cancer[J]. N Engl J Med, 2004, 351(17): 1731-1740.

[15] ROH M S, PETRELLI N, WEIAND H, et al. Phase III randomized trial of preoperrative versus postoperative multimodality therapy in patients with carcinoma of the rectum (NSABP R-03)[J]. Proc Am Soc Clin Oncol, 2001, 20: 123.