

临床研究

DOI:10.13406/j.cnki.cyx.002451

宫颈癌术后延伸野螺旋断层放疗与 固定野调强放疗剂量学比较

何亚男¹, 柳先锋¹, 赵秀娟²

(重庆大学附属肿瘤医院 1. 放射治疗中心; 2. 妇科肿瘤中心, 重庆 400030)

【摘要】目的:探讨宫颈癌术后延伸野螺旋断层放疗(helical therapy, HT)与固定野调强放疗(intensity-modulated radiation therapy, IMRT)计划靶区和危及器官(organ at risk, OAR)的剂量学特点。**方法:**收集重庆大学附属肿瘤医院 2016 年 11 月至 2018 年 4 月宫颈癌术后需行延伸野放疗的患者 20 例,由同一名医生勾画靶区和危及器官(膀胱、直肠、肠袋、股骨头、脊髓、肾脏),同一物理师分别进行 HT 和 IMRT 计划设计。比较 2 种计划的靶区适形度指数(conformal index, CI)、均匀指数(homogeneity, HI)、OAR 限量参数。**结果:**靶区 HI 指数 HT 组(0.06 ± 0.02)明显好于 IMRT 组(0.09 ± 0.03),差异有统计学意义($P=0.000$);但靶区 CI 指数 HT 组(0.78 ± 0.05)略低于 IMRT 组(0.92 ± 0.04),差异有统计学意义($P=0.000$)。OAR 限量肠袋 V_{40Gy} 参数 HT 组(120.97 ± 83.46) cm^3 大于 IMRT 组(77.06 ± 76.29) cm^3 ,且差异有统计学意义($P=0.000$),其他限量 HT 组均优于 IMRT 组。靶区的剂量跌落指数(gradient index, GI)HT 组明显优于 IMRT 组,差异有统计学意义($P=0.000$),体内剂量在 30%~50% 范围内跌落更明显。**结论:**宫颈癌术后延伸野放疗采用 HT 和 IMRT 均能满足临床需求,但 HT 靶区均匀性更好。当对特定危及器官有更高保护需求时,HT 更具有优势。

【关键词】宫颈癌术后;延伸野放疗;螺旋断层放疗;调强放疗;剂量学**【中图分类号】**R737.3**【文献标志码】**A**【收稿日期】**2019-11-06

Comparison of dosimetry between extended-field helical therapy and fixed-field intensity-modulated radiation therapy for postoperative cervical cancer

He Yanan¹, Liu Xianfeng¹, Zhao Xiujuan²

(1. Cancer Radiotherapy Center; 2. Gynecological Cancer Center, Chongqing University Cancer Hospital)

【Abstract】Objective: To compare the dosimetric difference of target areas and organs-at-risk (OAR) between extended-field tomotherapy (HT) and fixed-field intensity-modulated radiation therapy (IMRT) for postoperative cervical cancer. **Methods:** Twenty patients with extended-field HT who underwent cervical cancer radical surgery from November 2016 to April 2018 in Chongqing University Cancer Hospital were enrolled. The same doctor outlined the target area and OARs (bladder, rectum, intestine bags, the femoral heads, spinal cord and kidneys) and the same physicist designed the HT and IMRT plans separately. Conformity index (CI) of target area, homogeneity (HI), and OAR parameters of two plans were compared. **Results:** The HI parameter in the HT group (0.06 ± 0.02) was significantly better than that in the IMRT group (0.09 ± 0.03), with statistically significant difference ($P=0.000$), but the CI parameter in the HT group (0.78 ± 0.05) was slightly lower than that in the IMRT group (0.92 ± 0.04), with statistically significant difference ($P=0.000$). OAR parameters in the HT group were superior to those in the IMRT group, except the V_{40Gy} of intestine pouch in the HT group (83.46 cm^3) was greater than that in the IMRT group of 76.29 cm^3 , with statistically significant difference ($P=0.000$). The gradient

index (GI) parameter in the HT group was significantly superior to that in the IMRT group, with statistically significant difference ($P=0.000$), and the drop in the internal dose was more obvious in the range of 30% to 50%. **Conclusion:** Both HT and IMRT can meet the clinical needs, but HI of HT has better homogeneity. HT has a preferable advantage for protecting OAR.

【Key words】post-operative cervical cancer; extended field radiotherapy; tomography; intensity-modulated radiotherapy; dosimetry

作者介绍: 何亚男, Email: 18983920716@qq.com,

研究方向: 妇科肿瘤放射治疗计划设计。

通信作者: 赵秀娟, Email: 275232962@qq.com。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (编号: 11805025); 重庆市科技局资助项目 (编号: cstc2016shmszx130062); 重庆市卫生计生委资助项目 (编号: 2015zbxm025); 重庆市科技局技术创新与应用示范专项资助项目 (编号: cstc2018jsxm-mysybX0095); 重庆市科卫联合医学科研重点资助项目 (编号: 2019ZDXM031)。

优先出版: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.R.20200420.1730.008.html>
(2020-04-21)

宫颈癌占全世界女性癌症的第 4 位,全球每年新发病例约 52.8 万人,死亡约 26.6 万人^[1]。2015 年中国宫颈癌每年发病约 11.1 万人,死亡约 3.4 万人^[2]。宫颈癌患者根治性术后,若病理存在髂总淋巴结或腹主动脉淋巴结阳性,需行延伸野放疗(盆腔+腹膜后淋巴引流区)^[3]。目前国内外多项研究表明,预防性延伸野放疗使患者生存获益^[4]。调强放疗(intensity-modulated radiotherapy, IMRT)是比较成熟的宫颈癌放疗技术^[5]。随着放疗技术的发展,螺旋断层放疗(helical therapy, HT)是一种全新的调强实施模式,它将螺旋 CT 和直线加速器融合在一起^[6-7],采用切片式出束,在 CT 引导下 360°聚焦断层照射肿瘤。HT 在大多数肿瘤治疗中能改善靶区剂量均匀性、适形度,更好地保护危及器官^[8]。在宫颈癌行盆腔照射时,HT 较 IMRT 有剂量学优势^[5],但在宫颈癌延伸野照射时国内外未见相关报道。本研究旨在宫颈癌术后行延伸野放疗时,对 HT、IMRT 的靶区适形度、剂量分布均匀性、剂量梯度及危及器官受量进行比较,探索宫颈癌术后延伸野放疗的最佳方式。

1 材料与方法

1.1 主要仪器与设备

选用 PHILIPS MX 8000 高精度多排螺旋 CT 定位机、美国 Varian 医用直线加速器(型号 IX, 配备 120 片 MLC, 叶片宽 5~10 mm)、计划系统 Eclipse13.6、网络系统 VARIS、医生工作站 Somavision、安科锐螺旋断层放射治疗系统(Accuray HT therapy System)。

1.2 病例选择

选取重庆大学附属肿瘤医院 2016 年 11 月至 2018 年 4 月收治的宫颈癌,并行根治性手术治疗(术后无残留病灶),参考 NCCN 指南^[9]需行延伸野放疗的患者 20 例。

1.3 摆位固定和 CT 扫描

嘱患者定位和每次治疗前排空直肠、提前半小时饮水 500 mL,膀胱半充盈状态。采用 A 枕腹板热塑体膜固定,头先进、仰卧位行 CT 扫描,扫描范围为横膈至坐骨结节下 5 cm。获得 CT 影像(层厚 5 mm)后通过专用网络传输至 Eclipse13.6 放射治疗 TPS 计划系统。

1.4 放射治疗计划设计

1.4.1 靶区勾画原则 CT 定位后,根据 ICRU 62 和 83 号报告由同一妇科肿瘤放疗医生勾画靶区和危及器官^[9-10]。宫颈癌术后临床靶体积(clinical target volume, CTV)包括阴道上段 1/2 及残端、盆腔及腹膜后淋巴引流区域(包括腹主、髂总、髂外、髂内、闭孔及骶前淋巴引流区),上界达肾静脉水平

(或原肿大淋巴结上界 2 cm),下界至闭孔下缘水平。计划靶体积(planning target volume, PTV)按 Lim K 等^[11]的方法将 CTV 三维方向外扩 0.7 cm。勾画 OARs 包括肠袋、直肠、膀胱、骨髓、双侧股骨头、双侧肾脏。其中肠袋包括小肠、乙状结肠及其周围肠系膜组织,直肠上界为直肠乙状结肠交界处约骶 3 水平、下界为肛门,膀胱包括充盈状态下的全部膀胱,肾脏为肾脏实质部分。最后将在 TPS 勾画完的结构传输至各自计划系统。

1.4.2 计划设计 IMRT 采用 Varian IX 直线加速器的 6MV-X 线,根据既往研究选择更优的 9 野均分实施固定野调强技术进行照射^[11]。HT 射野宽度(field width, FW)为 2.512 cm,螺距(pitch)为 0.287,调制因子(modulation factor, MF)为 2.5, 360°旋转照射。统一给出相同的靶区剂量、分割方式及危及器官(organ at risk, OAR)限量,其中 PTV 的处方剂量为 45 Gy/25F,靶区要求 $D_{95\%} \geq 45$ Gy, $V_{45\text{Gy}} \geq 95\%$ (100%的剂量至少占靶区的 95%)。靶区内最大值和最小值不超过处方剂量 $\pm 10\%$ 。OAR 限量:肠袋 $V_{40\text{Gy}} < 50\%$;直肠 $V_{40\text{Gy}} < 50\%$;膀胱 $V_{40\text{Gy}} < 50\%$;双侧股骨头 $V_{30\text{Gy}} < 30\%$;脊髓 < 40 Gy;肾脏 $V_{20\text{Gy}} < 20\%$, $D_{\text{mean}} < 12$ Gy。所有放疗需 5 周内完成(每日 1 次,每周 5 次)。

1.5 剂量比较参数

通过等剂量曲线和剂量体积直方图(dose volume histogram, DVH)比较 2 种计划靶区及 OAR 的各参数。

1.5.1 靶区 适形度指数(conformal index, CI) = $(V_{T,\text{ref}} \times V_{T,\text{ref}}) / (V_T \times V_{\text{ref}})$ ^[5]。靶区均匀性指数(heterogeneous index, HI) = $(D_{2\%} - D_{98\%}) / D_{50\%}$ ^[5]。剂量跌落指数(gradient index, GI) = $V_{50\%} / V_{95\%}$ ^[12],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 越小表示剂量跌落得越快。靶区的最大剂量 D_{max} 和平均剂量 D_{mean} 。

1.5.2 危及器官 分别统计肠袋、直肠、膀胱、双侧股骨头受到 10 Gy、20 Gy、30 Gy 和 40 Gy 照射的体积,以及最大值 D_{max} 和平均剂量 D_{mean} ;双侧肾脏受到 20 Gy 照射的体积和 D_{mean} ;脊髓的 D_{max} 。通过等剂量曲线和 DVH 来比较 2 种计划靶区适 CI、HI、GI 及 OAR 的剂量差异。

1.6 统计学处理

使用 SPSS 25.0 软件对参数进行统计学分析。结果用均值 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示。2 种计划的靶区和危及器官的评价参数应用配对 t 检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 靶区参数比较

本研究结果显示,HT 与 IMRT 均能满足临床靶区处方剂量要求。HT 组 HI 优于 IMRT 组,差异有统计学意义($P=0.000$),CI 不及 IMRT 组,差异有统计学意义($P=0.000$)。HT 组 GI 明显优于 IMRT 组。HT 降低了靶区的最大剂量 D_{max} ,平均剂量 D_{mean} 与 IMRT 无差异(表 1)。

表 1 靶区照射剂量参数对比 ($\bar{x} \pm s$)

评价参数	MRT组	HT组	t 值	P 值
HI	0.09 ± 0.01	0.06 ± 0.01	10.568	0.000
CI	0.92 ± 0.01	0.77 ± 0.03	29.874	0.000
GI	3.81 ± 0.24	3.20 ± 0.27	15.214	0.000
$V_{100\%}/\text{cm}^3$	1 103.34 ± 185.08	1 154.58 ± 179.62	-4.783	0.000
$V_{107\%}/\text{cm}^3$	23.35 ± 12.48	1.34 ± 1.86	8.362	0.000
$D_{\max}/\text{Gy}$	49.20 ± 0.50	48.71 ± 0.27	3.908	0.001
$D_{\text{mean}}/\text{Gy}$	46.26 ± 0.27	46.21 ± 0.18	0.727	0.476

2.2 危及器官受照射剂量和体积比较

2 种计划中 OAR 均满足 RTOG 标准要求。HT 组除肠袋 $V_{40\text{Gy}}$ [(120.97 ± 83.46) cm^3] 大于 IMRT 组 [(77.06 ± 76.29) cm^3] 外, 差异有统计学意义 ($P=0.000$), 其他参数 $V_{10\text{Gy}}$ 、 $V_{20\text{Gy}}$ 、 $V_{30\text{Gy}}$ 、 $D_{\max}$ 、 D_{mean} 及膀胱、直肠、肾脏、股骨头、脊髓的限量均低于 IMRT 组 (表 2)。

2.3 体内受照剂量分布差异

从表 3 及横断面的等剂量曲线分布图 (图 1) 来看, HT 的 $V_{100\%}$ 明显高于 IMRT, 而 $D_{\max}$ 和 $V_{107\%}$ 却显著低于 IMRT。HT 组整个体内所接受到处方剂量的 70% (31.5 Gy) 以上区域明显大于 IMRT 组; 处方剂量的 30%~50% 区域明显小于 IMRT 组 (图 2); 而低于 5 Gy 的剂量覆盖区域 HT 较大。

3 讨论

放疗作为宫颈癌术后补充治疗的重要手段之一, 在提高局部控制率的同时还可以提高总生存率^[13-14]。宫颈癌术后延伸野放疗与盆腔放疗相比, 增加了肾脏、脊髓、更多的肠袋等危及器官。目前 IMRT 是宫颈癌术后盆腔野放疗的主要方式, 其在保证靶区剂量的同时可以减少危及器官受量, 降低二次致癌率; 但 IMRT 技术行延伸野放疗时存在严重的胃肠道及泌尿系副反应^[15]。既往研究报道, HT 在宫颈癌术后盆腔野放疗较 IMRT 具有优势^[5], 在宫颈癌术后延伸野放疗是否仍有优势未见报道。本研究旨在探讨 HT 与 IMRT 在宫颈癌术后行延伸野放疗的优劣。

表 2 危及器官照射剂量参数对比 ($\bar{x} \pm s$)

评价参数	IMRT组	HT组	t 值	P 值
肠袋				
$V_{10\text{Gy}}/\text{cm}^3$	1 767.38 ± 371.66	1 654.47 ± 373.73	4.130	0.001
$V_{20\text{Gy}}/\text{cm}^3$	1 115.39 ± 273.94	802.21 ± 237.12	9.080	0.000
$V_{30\text{Gy}}/\text{cm}^3$	308.41 ± 108.92	340.02 ± 136.12	-1.876	0.076
$V_{40\text{Gy}}/\text{cm}^3$	77.06 ± 76.29	120.97 ± 83.46	-9.799	0.000
$D_{\max}/\text{Gy}$	47.44 ± 1.97	47.48 ± 0.71	-0.150	0.882
$D_{\text{mean}}/\text{Gy}$	21.91 ± 2.32	20.39 ± 2.32	11.605	0.000
直肠				
$V_{10\text{Gy}}/\text{cm}^3$	66.07 ± 43.15	63.49 ± 42.55	8.557	0.000
$V_{20\text{Gy}}/\text{cm}^3$	64.44 ± 42.31	51.78 ± 39.72	6.386	0.000
$V_{30\text{Gy}}/\text{cm}^3$	47.64 ± 31.16	34.27 ± 28.15	11.302	0.000
$V_{40\text{Gy}}/\text{cm}^3$	23.74 ± 21.65	20.85 ± 19.93	4.444	0.000
$D_{\max}/\text{Gy}$	47.72 ± 2.04	47.33 ± 1.66	1.476	0.156
$D_{\text{mean}}/\text{Gy}$	34.88 ± 3.53	29.51 ± 5.10	10.479	0.000
膀胱				
$V_{10\text{Gy}}/\text{cm}^3$	278.31 ± 232.98	273.64 ± 230.10	3.397	0.003
$V_{20\text{Gy}}/\text{cm}^3$	261.03 ± 214.59	184.04 ± 180.80	4.657	0.000
$V_{30\text{Gy}}/\text{cm}^3$	133.38 ± 103.94	110.80 ± 105.26	3.163	0.005
$V_{40\text{Gy}}/\text{cm}^3$	69.17 ± 65.84	70.09 ± 71.20	-0.373	0.713
$D_{\max}/\text{Gy}$	47.73 ± 1.72	47.61 ± 1.11	0.636	0.532
$D_{\text{mean}}/\text{Gy}$	32.71 ± 3.37	27.30 ± 4.83	8.128	0.000
左股骨头				
$V_{10\text{Gy}}/\text{cm}^3$	41.13 ± 7.70	30.58 ± 8.00	6.969	0.000
$V_{20\text{Gy}}/\text{cm}^3$	30.47 ± 7.46	7.78 ± 2.65	14.079	0.000
$V_{30\text{Gy}}/\text{cm}^3$	5.56 ± 3.03	1.44 ± 0.82	6.594	0.000
$V_{40\text{Gy}}/\text{cm}^3$	0.03 ± 0.07	0.03 ± 0.07	0.596	0.558
$D_{\max}/\text{Gy}$	24.03 ± 2.33	14.79 ± 1.85	15.196	0.000
右股骨头				
$V_{10\text{Gy}}/\text{cm}^3$	41.03 ± 8.95	32.14 ± 8.59	8.600	0.000
$V_{20\text{Gy}}/\text{cm}^3$	29.18 ± 6.94	8.68 ± 2.93	13.349	0.000
$V_{30\text{Gy}}/\text{cm}^3$	6.84 ± 3.84	1.75 ± 1.02	6.163	0.000
$V_{40\text{Gy}}/\text{cm}^3$	0.03 ± 0.09	0.09 ± 0.19	-1.464	0.159
$D_{\max}/\text{Gy}$	23.90 ± 2.03	15.22 ± 1.40	13.092	0.000
左肾				
$V_{20\text{Gy}}/\text{cm}^3$	11.39 ± 7.00	7.70 ± 8.94	1.823	0.084
$D_{\max}/\text{Gy}$	10.14 ± 2.10	7.57 ± 1.84	12.851	0.000
右肾				
$V_{20\text{Gy}}/\text{cm}^3$	13.48 ± 10.93	5.82 ± 5.52	3.625	0.002
$D_{\max}/\text{Gy}$	11.75 ± 2.48	8.97 ± 2.42	5.464	0.000
脊髓				
$D_{\max}/\text{Gy}$	24.58 ± 0.51	18.56 ± 2.10	13.049	0.000

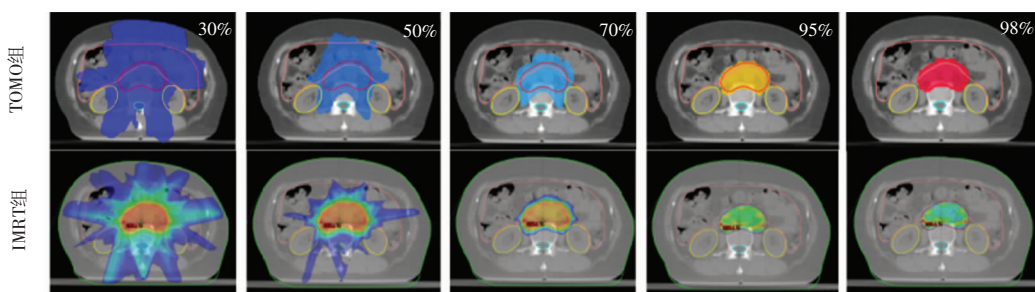


图 1 体内等剂量曲线分布图

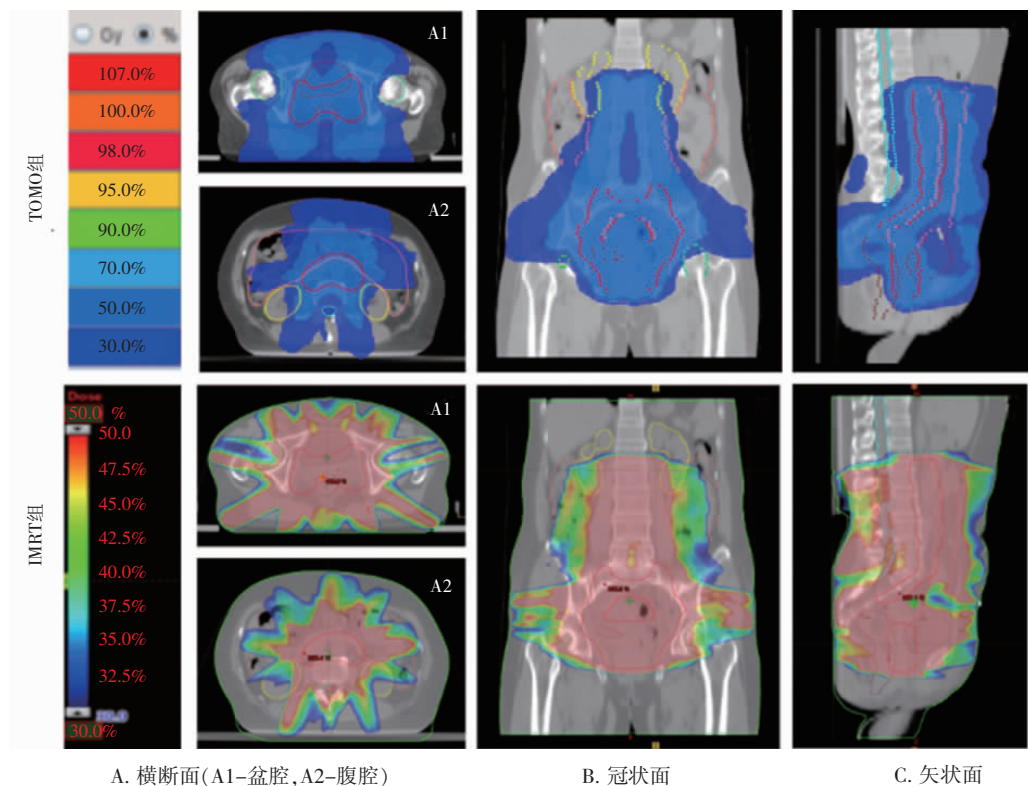


图 2 2 种计划 30%~50%等剂量曲线分布图

表 3 体内照射剂量分布差异 ($\bar{x} \pm s$)

评价参数	IMRT组	HT组	t 值	P 值
$V_{107\%}/\text{cm}^3$	23.35 ± 12.48	1.34 ± 1.86	8.362	0.000
$V_{100\%}/\text{cm}^3$	$1\ 103.12 \pm 183.30$	$1\ 287.65 \pm 190.84$	-12.152	0.000
$V_{95\%}/\text{cm}^3$	$1\ 309.33 \pm 194.03$	$1\ 551.04 \pm 204.869$	-28.733	0.000
$V_{90\%}/\text{cm}^3$	$1\ 463.25 \pm 209.65$	$1\ 760.79 \pm 223.80$	-26.137	0.000
$V_{70\%}/\text{cm}^3$	$2\ 296.91 \pm 317.69$	$2\ 720.04 \pm 308.16$	-17.440	0.000
$V_{50\%}/\text{cm}^3$	$4\ 971.88 \pm 703.61$	$4\ 941.25 \pm 558.56$	0.471	0.643
$V_{30\%}/\text{cm}^3$	$10\ 395.07 \pm 1\ 380.15$	$9\ 805.04 \pm 1\ 284.50$	7.070	0.000
$V_{11.1\%}/\text{cm}^3$	$15\ 194.95 \pm 2\ 289.44$	$15\ 725.91 \pm 2\ 379.15$	-6.632	0.000
D_{max}/Gy	49.18 ± 0.50	47.21 ± 6.81	1.293	0.211

HT是一种全新的图像引导 IMRT 技术,其 360°螺旋断层照射,使单次照射多达 2 万个子野,从而提高靶区均匀性。由于其剂量跌落梯度陡峭,能够满足靶区高剂量的同时更有效地保护正常器官如肾脏、小肠^[6-7,16-17]。本研究结果显示,HT 的 HI、CI、 D_{max} 明显优于 IMRT,与既往报道的 HT 能明显改善靶区均匀性相符^[8]。HT 的 CI 不及 IMRT 可能是由于适形度的计算是基于 95%的处方剂量所覆盖的区域来定义,HT 的此区域大于靶区外轮廓,而造成 CI 不佳。如果用 98%的剂量来定义 CI,HT 的适形度肯定会明显增加^[18-19]。图 2、表 3 显示 HT 组在剂量 50% 跌落到 30% 时更快,这部分区域体积更小,而此区

域正好包含大部分的危及器官如直肠、膀胱、肠袋(小肠和乙状结肠和其周围肠系膜组织),表明 HT 在保证靶区剂量的同时能凭借剂量陡降更好地保护以上危及器官。上述危及器官为并联器官,其放射耐受性与百分体积剂量及最高剂量有关^[20]。本研究结果显示,膀胱、直肠受照剂量及肠袋的 $V_{10\text{Gy}}$ 、 $V_{20\text{Gy}}$ 和 D_{mean} HT 组明显低于 IMRT 组,肠袋的 $V_{40\text{Gy}}$ 限量 HT 组 $[(120.97 \pm 83.46)\text{cm}^3]$ 大于 IMRT 组 $[(77.06 \pm 76.29)\text{cm}^3]$,但 D_{max} 两者无差异。HT 组中肠袋的 $V_{40\text{Gy}}$ 较大,可能是由于体内 70% 以上剂量区域明显大于 IMRT 组,导致靶区相邻区域的危及器官高剂量范围偏大,但最大量与 IMRT 持平。有研究表明,当小肠

全部被照射时,45 Gy 的受照体积超过 195 cm³ 阈值时,出现≥3 级毒副反应^[21]。肠袋耐受剂量范围内相对小体积的高剂量照射相对安全。因此,HT 较 IMRT 可以降低小肠毒副作用。本研究在剂量学角度上证实既往报道 HT 可以降低放射性膀胱炎、放射性肠炎发生风险结论^[21-22]。

在延伸野放疗中肾脏的受照剂量也非常值得关注。对肾脏来说,临床耐受性取决于受照射体积的大小。当全肾受照射时非常敏感,而小体积的局部照射可以承受较高的剂量。本研究结果显示,HT 较 IMRT,左右肾平均值分别下降 2.57 Gy、2.84 Gy;左右肾 $V_{20\text{Gy}}$ 分别下降 3.69 Gy、7.66 Gy,可见 HT 对肾脏的保护具有绝对优势。股骨头受照剂量 HT 组明显低于 IMRT 组。脊髓最大照射剂量 HT 组比 IMRT 降低 6.02 Gy。

综上所述,本研究从剂量学角度证实了在宫颈癌术后延伸野放疗中 HT 和 IMRT 均能满足临床要求;HT 不但能提高靶区均匀性,且凭借剂量跌落陡峭特点,对特定危及器官保护具有绝对优势。不足之处是研究中未增加 HT 与 IMRT 临床毒副反应观察结果。由于 HT 技术采用的是螺旋断层治疗,低于 5 Gy 的剂量覆盖区域较大^[23],其风险还需要进一步评估。

参 考 文 献

- [1] Siegel RL, Miller KD, Jemal A. Cancer statistics, 2019[J]. *CA Cancer J Clin*, 2019, 69(1): 7-34.
- [2] 郑荣寿, 孙可欣, 张思维, 等. 2015 年中国恶性肿瘤流行情况分析[J]. *中华肿瘤杂志*, 2019, 41(1): 19-28.
- [3] National Comprehensive Cancer Network. Cervical cancer (Version 1.2020). https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/cervical.pdf Accessed February January 14, 2020.
- [4] 张 凤, 杜霄勤, 黄曼妮. 延伸野 IMRT 对宫颈癌预后研究进展[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2018, 27(3): 323-326.
- [5] 刘 娟, 李双双, 高山宝, 等. 宫颈癌螺旋断层放疗与静态调强技术的剂量学比较[J]. *中国医学物理学杂志*, 2019, 36(1): 29-34.
- [6] Kim YJ, Kim JY, Yoo SH, et al. High control rate for lymph nodes in cervical cancer treated with high-dose radiotherapy using helical tomotherapy[J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2013, 12(1): 45-51.
- [7] Chang AJ, Richardson S, Grigsby PW, et al. Split-field helical tomotherapy with or without chemotherapy for definitive treatment of cervical cancer[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2012, 82(1): 263-269.
- [8] Marnitz S, Kohler C, Burova E, et al. Helical tomotherapy with simultaneous integrated boost after laparoscopic staging in patients with cervical cancer; analysis of feasibility and early toxicity[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2012, 82(2): e137-e143.
- [9] Lim K, Small W, Portelance L, et al. Consensus guidelines for delineation of clinical target volume for intensity-modulated pelvic radiotherapy for the definitive treatment of cervix cancer[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2011, 79(2): 348-355.
- [10] Ceraro GA, Perez CA, Genovesi D. Delineating organs at risk in radiation therapy[M]. Italy: Springer, 2013.
- [11] 曾华驱, 温尊北, 陈宗友, 等. 不同射野方向和数目对宫颈癌术后静态调强放疗计划的剂量学比较研究[J]. *生物医学工程与临床*, 2018, 22(4): 439-443.
- [12] 邓海军, 赵艳群, 罗文娟, 等. 宫颈癌术后 IMRT 和 VMAT 放疗技术剂量学研究[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2017, 24(10): 708-713.
- [13] Dueñas-Gonzalez A, Cetina L, Coronel J, et al. New pharmacotherapy options for cervical cancer[J]. *Expert Opin Pharmacother*, 2014, 15(1): 51-60.
- [14] Peralta-Zaragoza O, Bermúdez-Morales VH, Pérez-Plasencia C, et al. Targeted treatments for cervical cancer: a review[J]. *Onco Targets Ther*, 2012, 5: 315-328.
- [15] Papp Z, Csapó Z, Mayer A, et al. Wertheim-operation; 5-year survival of 501 consecutive patients with cervical cancer[J]. *Orv Heti*, 2006, 147(12): 537-545.
- [16] Kim YJ, Kim JY, Yoo SH, et al. High control rate for lymph nodes in cervical cancer treated with high-dose radiotherapy using helical tomotherapy[J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2013, 12(1): 45-51.
- [17] Schwarz JK, Wahab S, Grigsby PW. Prospective phase I-II trial of helical tomotherapy with or without chemotherapy for postoperative cervical cancer patients[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2011, 81(5): 1258-1263.
- [18] 张慧娟, 周桂霞, 戴相昆, 等. 宫颈癌术后螺旋断层放疗与常规加速器调强放疗的剂量学比较[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2010, 30(3): 317-319.
- [19] Liu X, Huang E, Wang Y, et al. Dosimetric comparison of helical tomotherapy, VMAT, fixed-field IMRT and 3D-conformal radiotherapy for stage I-II nasal natural killer T-cell lymphoma[J]. *Radiat Oncol*, 2017, 12(1): 76.
- [20] Kavanagh BD, Pan CC, Dawson LA, et al. Radiation dose volume effects in the stomach and small bowel[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 76(3S): 101-107.
- [21] Michalski JM, Gay H, Jackson A, et al. Radiation dose volume effects in radiation-induced rectal injury[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 76(3S): 123-129.
- [22] Viswanathan AN, Yorke ED, Marks LB, et al. Radiation dose-volume effects of the urinary bladder[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 76(3S): 116-122.
- [23] Lu SH, Cheng JC, Kuo SH, et al. Volumetric modulated arc therapy for nasopharyngeal carcinoma: a dosimetric comparison with TomoTherapy and step-and-shoot IMRT[J]. *Radiat Oncol*, 2012, 104(3): 324-330.

(责任编辑: 冉明会)