

论著·临床研究 doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2022.17.020
网络首发 https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20220424.1257.004.html(2022-04-24)

宫颈癌术后七野固定调强放疗与容积旋转调强放疗 计划剂量学对比研究^{*}

许新明,刘琦,刘颖,李秋娜,杨健[△]
(河北省沧州市人民医院放疗中心 061000)

[摘要] **目的** 比较宫颈癌术后七野固定调强放疗(IMRT)与容积旋转调强放疗(VMAT)计划的差异。**方法** 选取 2018 年 1 月至 2019 年 12 月在本院进行放疗的 29 例宫颈癌患者,分别制作 IMRT 和 VMAT 两种放疗计划,比较两种计划的计划靶体积(PTV)及股骨头、直肠、膀胱、小肠、骨盆等危及器官(OAR)的剂量学参数、机器跳数(MU)、治疗时间的差异。**结果** 与 IMRT 计划比较,VMAT 计划的 D_{max} 、 D_2 、 $V_{110\%}$ 更低, $V_{100\%}$ 更高,均匀性指数(HI)、适形性指数(CI)更优($P<0.05$)。VMAT 计划的双侧股骨头 V_{50} 、 D_{max} 、 D_{mean} ,直肠 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{45} 、 D_{min} 、 D_{max} 、 D_{mean} ,膀胱 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 D_{mean} ,小肠 V_{20} 、 V_{30} 、 D_{max} ,骨盆 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 、 D_{mean} 均低于 IMRT 计划($P<0.05$)。VMAT 计划的 MU 和治疗时间较 IMRT 计划均明显减少($P<0.05$)。**结论** VMAT 计划剂量学参数优于 IMRT 计划,且 MU 和治疗时间明显减少,提高了设备使用率。
[关键词] 宫颈癌;调强放疗;容积旋转调强;放疗计划;计划靶体积;危及器官;剂量学
[中图法分类号] R730.55 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2022)17-2970-06

Comparative study on the dosimetric between the seven-fixed-field intensity-modulated radiotherapy and volumetric modulated arc therapy plan for the postoperative cervical cancer^{*}

XU Xinming, LIU Qi, LIU Ying, LI Qiuna, YANG Jian[△]
(Center for Radiotherapy, Cangzhou People's Hospital, Cangzhou, Hebei 061000, China)

[Abstract] **Objective** To compare the dosimetric difference between the seven-fixed-field intensity-modulated radiotherapy (IMRT) and volumetric modulated arc therapy (VMAT) plan plan for the postoperative cervical cancer. **Methods** A total of 29 cervical cancer patients who received radiotherapy in this hospital from January 2018 to December 2019 were selected for this study. VMAT and IMRT plans were generated respectively. The plan target volume (PTV), dosimetry parameters of the organs at risk (OAR) such as femoral head, rectum, bladder, small intestine, and pelvis, monitor units (MU) and treatment time were compared between the two plans. **Results** Compared with those of the IMRT plan, the D_{max} , D_2 and $V_{110\%}$ of the VMAT plan were lower, the $V_{100\%}$ was higher, and the homogeneity index (HI) and conformability index (CI) were better ($P<0.05$). Compared with those of the IMRT plan, the V_{50} , D_{max} and D_{mean} of the femoral head, the V_{30} , V_{40} , V_{45} , D_{min} , D_{max} and D_{mean} of the rectum, the V_{20} , V_{30} , V_{40} and D_{mean} of the bladder, the V_{20} , V_{30} and D_{max} of bowel and the V_{20} , V_{30} , V_{40} , V_{50} and D_{mean} of the pelvis in the VMAT plan were lower ($P<0.05$). Compared with those of the IMRT plan, the MU and treatment time of the VMAT plan significantly reduced ($P<0.05$). **Conclusion** The dosimetry parameters of the VMAT plan are better than those of the IMRT plan, and the MU and treatment time are obviously lower, which improves the equipment utilization rate.
[Key words] cervical cancer; intensity-modulated radiotherapy; volume modulated arc therapy; radiotherapy plan; plan target volume; organ at risk; dosimetry

^{*} 基金项目:河北省医学科研课题计划(20200289)。 作者简介:许新明(1985—),主治医师,硕士,主要从事恶性肿瘤放疗研究。 [△] 通信作者, E-mail: 2009haoqi@sina.com。

宫颈癌在世界范围内是女性第四常见的癌症,占所有女性癌症死亡人数的 7.5%^[1-2]。在我国,宫颈癌是第二大女性特有恶性肿瘤,2015 年我国宫颈癌新发与死亡病例数分别为 9.89 万例和 3.05 万例^[3]。随着技术的发展,图像引导放射治疗(image-guided radiotherapy,IGRT)与容积旋转调强放射治疗(volumetric modulated arc therapy,VMAT)计划越来越多地应用到宫颈癌放射治疗(放疗)中,调强放疗(intensity-modulated radiation therapy,IMRT)计划能使处方剂量被“雕刻”的与靶区三维形状几乎一致,在临床中相比于三维适形放疗(3-dimensional conformal radiation therapy,3D-CRT)展现出巨大的优势,特别是处方剂量线的高度适形和危及器官的保护^[4]。VMAT 计划则是通过加速器机架连续旋转,利用多叶准直器动态调节,形成一系列子野并配合可变束流实现调强放射,从而提升加速器效率^[5],同样比 3D-CRT 有更强优势^[6]。本研究通过分析 IMRT 和 VMAT 两种计划在宫颈癌中的剂量学参数差异,比较两种计划的特点,从而为临床放疗提供数据支持,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2018 年 1 月至 2019 年 12 月收治的 29 例宫颈癌手术患者为研究对象。纳入标准:(1)年龄 20~75 岁;(2)卡氏功能状态(KPS)评分 ≥ 60 分;(3)有明确的病理诊断。排除标准:(1)因严重心肺、肝肾、骨髓功能障碍无法耐受放疗者;(2)治疗过程中出现严重不良反应未能按计划完成放疗者;(3)定位 CT 未能包全所有危及器官者。研究对象年龄 45~63 岁,中位年龄 54 岁;手术方式为广泛子宫全切+双附件切除术+盆腔淋巴结清扫术;组织学分型:鳞癌 27 例,腺癌 2 例;国际妇产科协会(federation international of gynecology and obstetrics,FIGO)分期为 Ib~IIa;术后存在盆腔淋巴结转移、宫颈深层浸润或脉管癌栓等高危因素。

1.2 方法

1.2.1 定位方法

行盆腔 CT 定位前及每次治疗前 1 h 排空尿液,饮用 500 mL 水充盈膀胱。每日固定时间排便,以实现治疗重复性。定位时患者仰卧位,头垫 B/C 枕,双手抱肘于额前,采用体部低温热塑膜联合体板(华光普泰,HYX-UTS-CM)固定。应用 CT 模拟定位机(荷兰飞利浦,Brilliance16 排螺旋 CT)行模拟定位增强扫描,扫描范围为第 1 腰椎上缘到坐骨结节下 5 cm,层厚 3 mm,层间距 3 mm。扫描图像由 MO-

SAIQ 网络传输至 Monaco(瑞典医科达,V5.11.03)治疗计划系统,进行靶区勾画和治疗计划设计。

1.2.2 靶区勾画

靶区的勾画参照国际辐射单位与测量委员会(international commission on radiation unit and measurement,ICRU)第 50 号和第 62 号补充报告中提出的标准。所有病例由同一位主治医师以上级别放疗医师勾画靶区,并有同一副主任医师以上审核,保证靶区勾画的准确性和同质化。临床靶体积(clinical target volume,CTV)为阴道残端及其下 3 cm、阴道旁、宫旁软组织及(部分)双侧髂总、髂内、髂外、第 3 骶椎椎体以上骶前、闭孔淋巴引流区。计划靶体积(planning target volume,PTV)为 CTV 外放 0.5 cm;危及器官为股骨头、直肠、膀胱、小肠及骨盆。

1.2.3 处方剂量及计划要求

靶区处方剂量均为 PTV 50 Gy/25 F,5 F/周。放疗计划要求靶区剂量分布满足 PTV 的 $D_{95\%}$ (95% PTV 受照剂量,下同) ≥ 50 Gy,且 PTV 以外不可出现 $>110\%$ 剂量热点。各危及器官剂量体积限定条件分别为:双侧股骨头 $V_{50} < 5\%$,直肠 $V_{40} < 50\%$ 、 $V_{50} < 30\%$,膀胱 $V_{40} < 50\%$ 、 $V_{50} < 20\%$,小肠 $V_{30} < 40\%$,骨盆 $V_{10} < 90\%$ 、 $V_{20} < 75\%$ 、 $V_{30} < 60\%$ 。

1.2.4 治疗计划设计

放疗计划系统为 Monaco5.11.03,射野选择 6 MV X 射线,小机头角度为 0° ,最大剂量率 600 MU/min。为便于比较放疗计划射野角度优化函数设置完全相同。IMRT 采用七野固定照射动态调强设计,角度分别为 179° 、 129° 、 78° 、 25° 、 231° 、 282° 、 333° ,计算网格选择 0.3 cm,射野最大控制点 20 个,最小子野宽度 0.7 cm,调整铅门适形靶区并外扩 0.5 cm。VMAT 计划设计采用往返双弧,角度为逆时针旋转(counter-clockwise,CCW) $179^\circ \sim 181^\circ$,顺时针旋转(clockwise,CW) $181^\circ \sim 179^\circ$,计算网格选择 0.3 cm,每个弧最大控制点 120 个,调整铅门适形靶区并外扩 0.5 cm。所有放疗计划有同一位高年资物理师制作,使用 Elekta 直线加速器(瑞典医科达,Synergy)进行治疗。

1.2.5 放疗计划评估

1.2.5.1 靶区评估

比较 PTV 的最大剂量($D_{\max}$)、最小剂量($D_{\min}$)、平均剂量(D_{mean})、 $D_{98\%}$ 、 $D_{95\%}$ 、 $D_{50\%}$ 、 $D_{2\%}$ 、 $V_{110\%}$ (PTV 接受 110% 处方剂量的体积,下同)、 $V_{105\%}$ 、 $V_{100\%}$ 、 $V_{95\%}$ 、 $V_{90\%}$ 。评估靶区 PTV 的均匀性指数(homogeneity index, HI)和适形性指数(conformity index, CI), $HI = (D_{2\%} - D_{98\%}) / D_{50\%}$ ^[7], $CI = (V_{\text{PTV,ref}} / V_{\text{PTV}}) \times (V_{\text{PTV,ref}} / V_{\text{ref}})$ ^[8]。 $V_{\text{PTV,ref}}$ 为参考剂量覆盖的 PTV,

V_{PTV} 为 PTV, V_{ref} 为参考剂量包绕的体积。HI 值越接近 0, 均匀性越好; CI 值越接近 1, 适形度越高。

1.2.5.2 危及器官评估

比较股骨头的 V_{50} 、 D_{min} 、 D_{max} 、 D_{mean} , 直肠的 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{45} 、 D_{min} 、 D_{max} 、 D_{mean} , 膀胱的 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 、 D_{mean} , 小肠的 V_{20} 、 V_{30} 、 D_{max} , 骨盆的 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 、 D_{mean} 的受量。

1.2.5.3 等剂量线及剂量体积直方图(dose-volume histogram, DVH)图比较

等剂量线的分布、对于靶体积的包裹程度及变化梯度, 剂量曲线的跌落, 高剂量区的拖尾及冷点和热点的分布。

1.2.5.4 实施效率评估

比较两种计划实际照射的机器跳数(monitor unit, MU)及治疗时间。

1.3 统计学处理

采用 SPSS25.0 软件进行数据分析, 符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 比较采用 t 检验; 不符合正态分布的计量资料以 $M(Q1, Q3)$ 表示, 比较采用 Wilcoxon 秩和检验, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 靶区剂量学比较

所有入组患者 PTV 最大体积 $1\,150.37\text{ cm}^3$, 最小体积 598.19 cm^3 , 平均 $(824.67 \pm 133.44)\text{ cm}^3$ 。两种计划均可满足计划剂量学分布要求, 与 IMRT 计划比较, VMAT 计划的 D_{max} 、 $D_{2\%}$ 、 $V_{110\%}$ 更低, $V_{100\%}$ 更高, HI、CI 更优 ($P < 0.05$), 见表 1。

2.2 危及器官剂量学比较

双侧股骨头的 VMAT 计划 V_{50} 、 D_{max} 、 D_{mean} 低于 IMRT 计划 ($P < 0.05$)。直肠的 VMAT 计划 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{45} 、 D_{min} 、 D_{max} 、 D_{mean} 较 IMRT 计划低 ($P < 0.05$)。膀胱的 VMAT 计划 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 D_{mean} 低于 IMRT ($P < 0.05$)。小肠的 VMAT 计划 V_{20} 、 V_{30} 、 D_{max} 低于 IMRT 计划 ($P < 0.05$)。骨盆的 VMAT 计划 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 、 D_{mean} 低于 IMRT ($P < 0.05$), 见表 2。

2.3 PTV 和危及器官的截面剂量分布及 DVH 比较

从放疗计划等剂量线图和 DVH 图中可以看出 VMAT 计划的剂量线对于靶区的包裹更紧密, 周围危及器官受量较 IMRT 计划更低, 故其 CI 优于 IMRT 计划。VMAT 计划中靶区内的冷点及危及器官上的热点均较 IMRT 计划少, PTV 剂量跌落更陡峭, 拖尾更短, 提示其剂量均匀性更优, 见图 1、2。

表 1 两种计划 PTV 剂量学比较($n=29$)

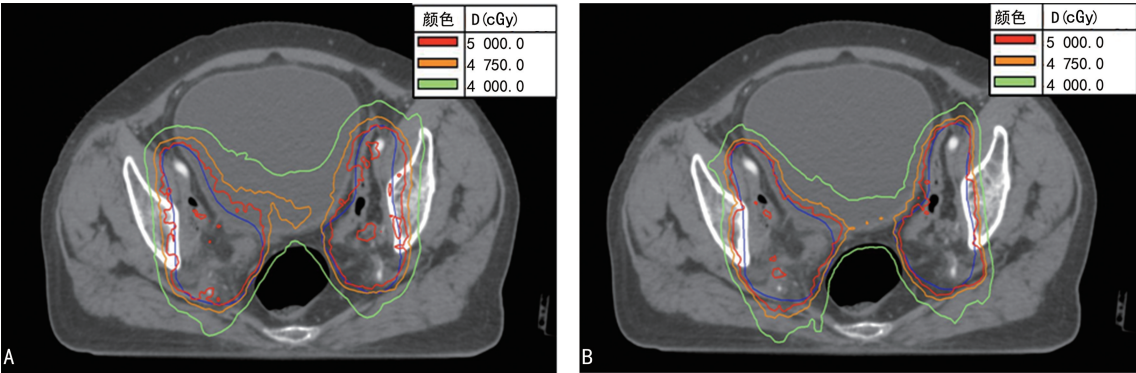
项目	VMAT	IMRT	t/Z	P
$D_{min}(\bar{x} \pm s, \text{cGy})$	4 271.39 $\pm$ 218.62	4 308.72 $\pm$ 178.77	-0.946	0.352
$D_{max}(\bar{x} \pm s, \text{cGy})$	5 525.09 $\pm$ 23.59	5 587.23 $\pm$ 35.31	-8.771	<0.001
$D_{mean}(\bar{x} \pm s, \text{cGy})$	5 227.64 $\pm$ 18.95	5 226.20 $\pm$ 17.31	0.411	0.684
$D_{98\%}[M(Q1, Q3), \text{cGy}]$	4 928.00(4 916.00, 4 944.50)	4 937.00(4 910.50, 4 944.50)	-0.364	0.716
$D_{95\%}[M(Q1, Q3), \text{cGy}]$	5 005.00(5 002.00, 5 008.00)	5 004.00(4 997.50, 5 007.00)	-1.884	0.060
$D_{50\%}[M(Q1, Q3), \text{cGy}]$	5 247.00(5 225.00, 5 261.00)	5 229.00(5 220.00, 5 250.00)	-1.363	0.173
$D_{2\%}[M(Q1, Q3), \text{cGy}]$	5 417.00(5 402.00, 5 428.50)	5 445.00(5 427.00, 5 463.50)	-3.872	<0.001
$V_{110\%}[M(Q1, Q3), \%]$	0.00(0.00, 0.00)	0.05(0.02, 0.17)	-4.461	<0.001
$V_{105\%}(\bar{x} \pm s, \%)$	40.07 $\pm$ 8.99	38.44 $\pm$ 7.49	1.057	0.300
$V_{100\%}(\bar{x} \pm s, \%)$	94.10 $\pm$ 0.77	93.59 $\pm$ 0.61	4.390	<0.001
$V_{95\%}(\bar{x} \pm s, \%)$	99.65 $\pm$ 0.29	99.65 $\pm$ 0.30	-0.078	0.939
$V_{90\%}[M(Q1, Q3), \%]$	99.99(99.95, 100.00)	99.99(99.97, 100.00)	-0.804	0.422
HI $[M(Q1, Q3)]$	0.10(0.09, 0.10)	0.10(0.10, 0.11)	-3.229	0.001
CI $[M(Q1, Q3)]$	0.89(0.88, 0.90)	0.83(0.81, 0.85)	-4.703	<0.001

表 2 两种计划危及器官剂量学比较($n=29$)

项目	VMAT	IMRT	t/Z	P
左股骨头				
$V_{50}[M(Q1, Q3), \%]$	0.00(0.00, 0.00)	0.00(0.00, 0.00)	-2.201	0.028
$D_{min}[M(Q1, Q3), \text{cGy}]$	189.50(156.70, 253.50)	184.90(155.15, 230.00)	-0.649	0.517

续表 2 两种计划危及器官剂量学比较 (n=29)

项目	VMAT	IMRT	t/Z	P
D _{max} ($\bar{x}\pm s$,cGy)	4 366.52±420.34	4 811.68±313.50	-8.724	<0.001
D _{mean} ($\bar{x}\pm s$,cGy)	1 384.43±161.22	1 504.66±204.24	-3.348	0.002
右股骨头				
V ₅₀ [M(Q1,Q3),%]	0.00(0.00,0.00)	0.00(0.00,0.00)	-2.023	0.043
D _{min} [M(Q1,Q3),cGy]	180.50(148.75,240.30)	191.00(151.85,382.85)	-2.735	0.006
D _{max} ($\bar{x}\pm s$,cGy)	4 142.86±375.97	4 662.61±391.28	-11.035	<0.001
D _{mean} ($\bar{x}\pm s$,cGy)	1 354.49±197.30	1 460.29±226.56	-3.539	0.001
直肠				
V ₃₀ ($\bar{x}\pm s$,%)	65.94±7.98	79.75±12.37	-10.796	<0.001
V ₄₀ ($\bar{x}\pm s$,%)	38.79±7.45	46.69±9.24	-9.689	<0.001
V ₄₅ [M(Q1,Q3),%]	26.07(22.26,31.87)	27.85(25.89,35.44)	-4.395	<0.001
V ₅₀ ($\bar{x}\pm s$,%)	9.94±4.78	9.95±4.55	-0.031	0.975
D _{min} [M(Q1,Q3),cGy]	1 437.90(850.20,1 934.25)	1 673.60(1 102.65,2 092.00)	-3.384	0.001
D _{max} [M(Q1,Q3),cGy]	5 320.60(5 286.55,5 358.70)	5 371.40(5 319.55,5 414.95)	-3.622	<0.001
D _{mean} ($\bar{x}\pm s$,cGy)	3 612.49±208.74	3 839.20±273.46	-10.159	<0.001
膀胱				
V ₂₀ ($\bar{x}\pm s$,%)	78.89±13.26	96.15±5.20	-8.046	<0.001
V ₃₀ ($\bar{x}\pm s$,%)	53.89±13.50	76.33±13.50	-14.699	<0.001
V ₄₀ ($\bar{x}\pm s$,%)	35.64±10.28	44.27±10.68	-11.828	<0.001
V ₅₀ ($\bar{x}\pm s$,%)	17.57±6.53	17.85±6.05	-0.880	0.386
D _{mean} ($\bar{x}\pm s$,cGy)	3 307.04±436.48	3 833.76±314.78	-13.262	<0.001
小肠				
V ₂₀ ($\bar{x}\pm s$,%)	58.45±12.67	65.01±13.50	-6.998	<0.001
V ₃₀ ($\bar{x}\pm s$,%)	26.98±9.14	33.81±11.94	-7.111	<0.001
D _{max} ($\bar{x}\pm s$,cGy)	5 405.87±51.99	5 485.04±60.79	-8.809	<0.001
骨盆				
V ₁₀ [M(Q1,Q3),%]	95.73(94.55,96.84)	95.27(92.52,96.95)	-1.685	0.092
V ₂₀ ($\bar{x}\pm s$,%)	78.63±5.62	84.24±4.88	-9.861	<0.001
V ₃₀ ($\bar{x}\pm s$,%)	45.15±6.30	55.06±6.50	-20.970	<0.001
V ₄₀ ($\bar{x}\pm s$,%)	22.37±4.01	28.60±5.18	-15.640	<0.001
V ₅₀ ($\bar{x}\pm s$,%)	5.31±1.56	7.63±2.33	-10.171	<0.001
D _{mean} ($\bar{x}\pm s$,cGy)	2 985.64±177.52	3 219.92±196.51	-17.805	<0.001



A:IMRT 计划;B:VMAT 计划。

图 1 等剂量线分布图

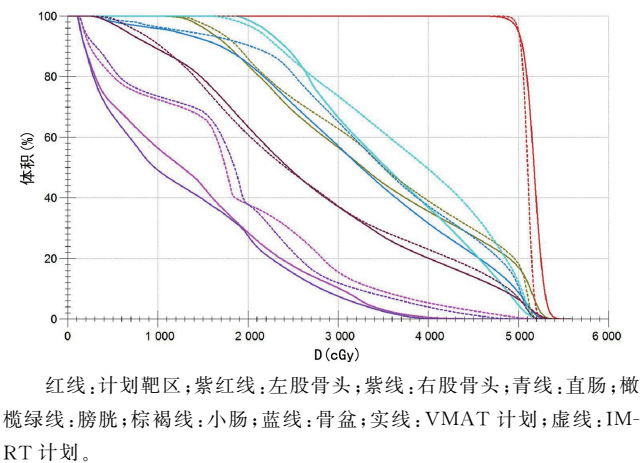


图 2 DVH 图

2.4 两种计划实施效率比较

两种计划 MU 和治疗时间比较,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 3。

表 3 两种计划实施效率比较($n=29, \bar{x} \pm s$)				
项目	VMAT	IMRT	t	P
MU	825.48±44.58	923.55±62.85	-7.889	<0.001
治疗时间(s)	296.59±13.95	399.59±20.88	-21.840	<0.001

3 讨 论

IMRT 计划是目前的主流放疗技术之一,在我国已得到广泛应用^[9]。相较于 3D-CRT,IMRT 计划可在提高肿瘤组织照射剂量的同时降低正常组织受照剂量,但不降低肿瘤的局控率^[10]。研究表明,在宫颈癌的放疗中,IMRT 计划可以降低膀胱、直肠高剂量区域的剂量^[11]和由此带来的毒副作用^[12]。近年来,国内外越来越多的研究将 VMAT 计划应用于鼻咽癌、乳腺癌、肝癌等放疗计划,因其可实现在任何角度下对肿瘤进行旋转照射,生成高度适形的放疗计划,故较 IMRT 计划的剂量分布更具优势,可达到与 IMRT 计划相当或更优的治疗效果^[13-15]。

杨东明等^[16]对 90 例Ⅱb 期以上宫颈癌患者分别做 3D-CRT、IMRT 和 VMAT 计划并进行剂量学对比,发现 3D-CRT 的 PTV 平均剂量、HI 和 CI 明显低于 IMRT 和 VMAT 计划。而 IMRT 和 VMAT 计划之间的 PTV 平均剂量和 HI 无差异,IMRT 的 CI 低于 VMAT 计划。NAGARAJAN 等^[17]研究头颈部肿瘤的放疗计划显示 IMRT 和 VMAT 计划的 HI 分别为 0.035 和 0.058,CI 分别为 1.033 和 1.016,VMAT 计划的 $D_{2\%}$ 、 $D_{5\%}$ 、 $D_{50\%}$ 也高于 IMRT 计划。与上述研究略有差异,本研究显示 D_{mean} 及 $D_{50\%}$ 两种计划无差异,但 VMAT 计划 HI 及 CI 优于 IMRT 计划,VMAT 计划的 D_{max} 、 $D_{2\%}$ 、 $V_{110\%}$ 低于 IMRT 计划,VMAT 计划的 $V_{100\%}$ 高于 IMRT 计划,差异有统计学意义($P<0.05$),以上结果提示虽然两种计划均可满足临床要求,但无论是在靶区的 HI 还是 CI 上

VMAT 计划均有优势,且靶区实际受量更贴近处方剂量。

在危及器官的保护方面 VMAT 计划也能体现出其优势。邓海军等^[18]通过对七野均分 IMRT 计划和共面二弧 VMAT 计划在宫颈癌术后放疗中的比较和,显示二者对危及器官的保护差异较大,小肠 V_{20} 、 V_{30} ,膀胱 V_{40} ,股骨头 V_{20} 、 V_{30} 和骨盆 V_{20} 、 V_{30} 均优于 IMRT 计划,所有危及器官的 D_{max} 和 D_{mean} (除直肠偏高外)也均有不同程度的降低,VMAT 计划身体内 15 Gy 左右剂量覆盖的体积较小,IMRT 计划 15 Gy 左右剂量覆盖的体积较大,两种治疗计划对整个骨盆受照射剂量分布影响最大的是髌骨和髌骨。杨勤等^[19]研究显示在危及器官的保护上,VMAT 计划略优于 IMRT 计划,特别是在小肠 V_{20} 和左股骨头 V_{20} 上有明显的优势,与 IMRT 计划比较,VMAT 计划治疗时间缩短至 2~4 min。李明等^[20]研究表明双弧 VMAT 计划与 5 野 IMRT 计划比较,膀胱 V_{40} 、 V_{45} 、 V_{50} 和小肠 V_{20} 、股骨头、骨盆剂量前者优于后者。本研究显示,与 IMRT 计划比较,除左侧股骨头 D_{min} 、直肠 V_{50} 、膀胱 V_{50} 及骨盆 V_{10} 等少数参数以外,VMAT 计划均可明显降低其他剂量体积参数,降低股骨头、小肠、直肠、膀胱、骨盆诸骨等危及器官的受量,从而降低放疗带来的各种不良反应,与上述研究结果结论较一致。

从技术原理上讲,VMAT 计划是 IMRT 计划的延伸,通过优化机架旋转角度、调整多叶光栅的形状及放射线输出剂量率,从而产生剂量更加均匀和高度适形的剂量分布曲线,同时也极大降低了射线的损耗,提高了放疗设备的使用效率,节省了治疗时间^[19,21-22]。在一项保护海马的全脑放疗研究中,七野固定 IMRT 计划的平均 MU 为 2 863,而 VMAT 计划中平均 MU 为 935,MU 降低 67%^[23]。IMRT 计划的平均治疗时间为 573 s,VMAT 计划为 150 s,时间减少了 74%。NAGARAJAN 等^[17]相关研究显示头颈部肿瘤 VMAT 计划 MU 为 610,而 IMRT 计划为 1 079,差异有统计学意义($P<0.05$)。苏晓科等^[21]对宫颈癌的研究显示 IMRT 技术和 VMAT 技术的 MU 为 864 及 756,治疗时间为 873 及 459 s。本研究显示 IMRT 和 VMAT 计划 MU 及治疗时间分别为 923.55、399.59 s 和 825.48、296.59 s,差异有统计学意义($P<0.05$),VMAT 计划明显减少了 MU 和治疗时间,与既往研究结果相似。治疗时间的缩短可间接减少患者的不自主运动,进而降低器官运动及靶区移动误差,提高治疗精确性。尤其对于老年患者,由于体质弱和控制力差,长时间放疗容易发生体位变化,导致其治疗依从性下降^[14]。

综上所述,对于宫颈癌患者的术后放疗,IMRT 和 VMAT 计划均可满足靶区剂量要求,但 VMAT 计划可使靶区 HI 和 CI 更佳,实际受量更贴近处方剂

量,危及器官也能得到更好的保护,尤其使治疗时间得到大幅度的缩短。但真实世界中,VMAT 计划的治疗费用可能会更高,因此,在无特殊治疗要求情况下可优先考虑 VMAT 计划。

参考文献

- [1] VU M, YU J, AWOLUDE O A, et al. Cervical cancer worldwide[J]. *Curr Probl Cancer*, 2018, 42(5):457-465.
- [2] COHEN P A, JHINGRAN A, OAKNIN A, et al. Cervical cancer[J]. *Lancet*, 2019, 393(10167):169-182.
- [3] 乔友林. 中国宫颈癌防治任重而道远[J]. *中华肿瘤杂志*, 2018, 40(10):721-723.
- [4] 谢辉, 欧晋, 李庆. Monaco 计划系统子野数目对宫颈癌调强放射治疗计划剂量分布的影响[J]. *中国医学装备*, 2020, 17(5):67-70.
- [5] 姜仁伟, 李芹飞. 宫颈癌术后 IMRT 和 VMAT 放疗技术剂量学探讨[J]. *影像研究与医学应用*, 2020, 4(3):11-13.
- [6] DENG X, HAN C, CHEN S, et al. Dosimetric benefits of intensity-modulated radiotherapy and volumetric-modulated arc therapy in the treatment of postoperative cervical cancer patients[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2017, 18(1):25-31.
- [7] BOSSE C, NARAYANASAMY G, SAENZ D, et al. Dose calculation comparisons between three modern treatment planning systems[J]. *J Med Phys*, 2020, 45(3):143-147.
- [8] ZHANG N, GU M, WANG J, et al. Comparison of nodal irradiation dose using radiotherapy for patients with thoracic esophageal cancer[J]. *Oncol Lett*, 2020, 19(1):1042-1050.
- [9] PAN Y, YANG R, ZHANG S, et al. National survey of patient specific IMRT quality assurance in China[J]. *Radiat Oncol*, 2019, 14(1):69-78.
- [10] ALTERIO D, GUGLIANDOLO S G, AUGUGLIARO M, et al. IMRT versus 2D/3D conformal RT in oropharyngeal cancer: a review of the literature and meta-analysis[J]. *Oral Dis*, 2021, 27(7):1644-1653.
- [11] MARJANOVIC D, PLESINAC KARAPA NDZIC V, STOJANOVIC RUNDIC S, et al. Implementation of intensity-modulated radiotherapy and comparison with three-dimensional conformal radiotherapy in the postoperative treatment of cervical cancer[J]. *J BUON*, 2019, 24(5):2028-2034.
- [12] VORDERMARK D. Radiotherapy of cervical cancer[J]. *Oncol Res Treat*, 2016, 39(9):516-520.
- [13] 刘洋, 冯革, 张振勇, 等. VMAT 和 IMRT 在早期右侧乳腺癌保乳术后放射治疗中的比较剂量学研究[J]. *现代肿瘤医学*, 2020, 28(12):2117-2121.
- [14] 徐久宏, 郭建, 王建平, 等. 局部晚期鼻咽癌不同调强技术的剂量学比较[J]. *中国老年学杂志*, 2020, 40(9):1838-1841.
- [15] 王兴, 姜敏. 肝癌 VMAT 与 IMRT 调强放疗计划差异性研究[J]. *中国继续医学教育*, 2020, 12(15):133-136.
- [16] 杨东明, 卢庆刚. “半野”三维适形放疗、固定野静态调强放疗和容积旋转调强放疗在中晚期宫颈癌治疗上的剂量学比较[J]. *实用肿瘤学杂志*, 2020, 34(3):244-248.
- [17] NAGARAJAN M, BANU R, SATHYA B, et al. Dosimetric evaluation and comparison between volumetric modulated arc therapy (VMAT) and intensity modulated radiation therapy (IMRT) Plan in head and neck cancers[J]. *Gulf J Oncolog*, 2020, 1(33):45-50.
- [18] 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.
- [19] 杨勤, 李贵玲, 陈秘, 等. 宫颈癌容积旋转调强与固定野九野调强计划对比研究[J]. *中国医师杂志*, 2015, 17(4):501-505.
- [20] 李明, 王忠明, 赵军, 等. 术前宫颈癌容积旋转调强与固定野动态调强技术剂量对比[J]. *中国医学物理学杂志*, 2019, 36(1):29-32.
- [21] 苏晓科, 胡艳微, 谷晓华, 等. 宫颈癌术后容积旋转调强与三维适形调强放疗技术的剂量学差异[J]. *现代肿瘤医学*, 2021, 29(4):675-678.
- [22] LATALA A, FUJAK E, WALEWSKA A, et al. The comparison of VMAT test results for Clinac 2300C/D and TrueBeam accelerators[J]. *Med Dosim*, 2020, 45(3):219-224.
- [23] LI J, TANG X B, WANG B H, et al. Comparison between dual arc VMAT and 7F-IMRT in the protection of hippocampus for patients during whole brain radiotherapy[J]. *J Xray Sci Technol*, 2016, 24(3):457-466.