

## Monaco 与 Pinnacle 计划系统在宫颈癌容积旋转调强计划中的剂量比较及分析

柏晗, 陈飞虎, 李文辉, 李岚, 朱思瑾, 刘旭红  
昆明医科大学第三附属医院/云南省肿瘤医院, 昆明 云南 650118

**【摘要】目的:**比较和分析基于 Monaco 和 Pinnacle 这两种计划设计系统设计宫颈癌放疗容积旋转调强 (VMAT) 计划的剂量差异, 探寻更适用于宫颈癌 VMAT 计划设计的计划设计系统。 **方法:**选取 11 例在云南省肿瘤医院接受根治性放疗治疗的宫颈癌病人。在定位 CT 数据、靶区和危及器官完全一致的前提下, 分别基于 Monaco 系统和 Pinnacle 系统为病人设计 VMAT 计划, 即 VMAT<sub>MONACO</sub> 和 VMAT<sub>PINNACLE</sub>。比较两个计划中靶区的剂量分布、适形指数、均匀性指数及危及器官的剂量体积差异, 探讨两种 TPS 在设计宫颈癌根治放疗 VMAT 计划中的优劣, 以及产生这种优劣的原因。 **结果:**就 PGTVnd 和 PTV 的适形指数而言, VMAT<sub>MONACO</sub> 和 VMAT<sub>PINNACLE</sub> 计划的差异不具有统计学意义 ( $P>0.05$ )。就 PGTVnd 的均匀性指数而言, VMAT<sub>PINNACLE</sub> 优于 VMAT<sub>MONACO</sub>, 差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ )。VMAT<sub>MONACO</sub> 和 VMAT<sub>PINNACLE</sub> 在直肠、膀胱的低剂量区不存在差异 ( $P>0.05$ ); 在高剂量区域, VMAT<sub>MONACO</sub> 显现出优于 VMAT<sub>PINNACLE</sub> 的趋势; 在直肠和膀胱的平均剂量上, VMAT<sub>MONACO</sub> 明显低于 VMAT<sub>PINNACLE</sub>, 差异具有显著统计学意义 ( $P<0.01$ )。VMAT<sub>MONACO</sub> 的小肠和股骨头的剂量明显低于 VMAT<sub>PINNACLE</sub>, 差异具有显著统计学意义 ( $P<0.05$ )。 **结论:**宫颈癌 VMAT 计划中, 相较 Pinnacle 系统, 选用 Monaco 系统设计放疗计划存在潜在的剂量学优势。

**【关键词】**宫颈癌; Monaco 计划设计系统; Pinnacle 计划设计系统; 容积旋转调强; 放疗治疗剂量

**【中图分类号】**R730.55; R735.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2018)06-0654-05

## Dosimetric comparison and analysis of volumetric modulated arc radiotherapy plan for cervical cancer based on Monaco system and Pinnacle system

BAI Han, CHEN Feihu, LI Wenhui, LI Lan, ZHU Sijin, LIU Xuhong

The Third Affiliated Hospital of Kunming Medical University & Yunnan Tumor Hospital, Yunnan 650118, China

**Abstract: Objective** To compare and analyze the dose differences of volumetric modulated arc radiotherapy (VMAT) plan for cervical cancer based on Monaco treatment planning system (TPS) and Pinnacle TPS for exploring an optimal TPS to design cervical cancer VMAT plan. **Methods** Eleven cervical cancer patients receiving radical radiotherapy in Yunnan Tumor Hospital were selected. With the same location CT data, target areas and organs-at-risk, Monaco TPS and Pinnacle TPS were applied to design two VMAT plans for each patient, namely VMAT<sub>MONACO</sub> plan and VMAT<sub>PINNACLE</sub> plan. The dose distribution in target areas, conformity index, homogeneity index, and the dose-volume differences in organs-at-risk were compared. Finally, the advantage and disadvantage of two kinds of TPS in VMAT plan design were discussed and their causes were expounded. **Results** The differences in conformity index of PGTVnd and PTV didn't showed any significances between VMAT<sub>MONACO</sub> plan and VMAT<sub>PINNACLE</sub> plans ( $P>0.05$ ). For the homogeneity index of PGTVnd, VMAT<sub>PINNACLE</sub> plan was superior to VMAT<sub>MONACO</sub> plan, with statistical differences ( $P<0.05$ ). No differences were found in the low-dose area of the rectum and bladder between VMAT<sub>PINNACLE</sub> plan and VMAT<sub>VMAT</sub> plan ( $P>0.05$ ); in high-dose areas, VMAT<sub>MONACO</sub> plan was better than VMAT<sub>PINNACLE</sub> plan. The mean doses of the rectum and the bladder in VMAT<sub>MONACO</sub> plan were lower than those in VMAT<sub>PINNACLE</sub> plan, with statistical significance ( $P<0.01$ ). Moreover, the dose of the small intestine and the femur head were lower in VMAT<sub>MONACO</sub> plan as compared with VMAT<sub>PINNACLE</sub> plan ( $P<0.05$ ). **Conclusion** Using Monaco TPS instead of Pinnacle TPS to design radiotherapy plan for cervical cancer has potential dose advantages.

**Keywords:** cervical cancer; Monaco treatment planning system; Pinnacle treatment planning system; volumetric modulated arc radiotherapy; radiotherapy dose

**【收稿日期】**2017-12-07

**【作者简介】**柏晗, 硕士, 研究方向: 放射肿瘤物理学的临床应用, E-mail: bh001925@163.com

**【通信作者】**李文辉, 博士, 主任医师, 主要研究方向: 放射肿瘤学和放射生物学, E-mail: 916133705@qq.com

## 前言

宫颈癌是危害女性健康的常见恶性肿瘤,目前多采用以手术和放疗为主,化疗为辅的综合治疗方案进行治疗<sup>[1]</sup>。放疗中,传统的两野对穿和三维适形放疗技术使盆腔内的膀胱和部分小肠受到高剂量的照射,选择调强放疗能有效地保护正常组织,提高靶区的剂量<sup>[2-4]</sup>。但调强放疗的剂量受到多方面因素的影响,如放疗计划设计系统(Treatment Planning System, TPS)<sup>[5]</sup>、调强的实现方式、射束的形态(锥形束和扇形束)<sup>[6]</sup>等,其中,调强的实现方式包括静态调强、动态调强和容积旋转调强(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)等<sup>[7-8]</sup>。不同的TPS对相同的射野序列进行剂量计算,得到的计算结果是有差异的<sup>[9]</sup>,但这一差异较因TPS“求解”方式不同而带来的剂量差异要小很多<sup>[10]</sup>。本研究拟采用两种常见的商用TPS,即Monaco 5.11和Pinnacle 9.10,分别为Ⅱb~Ⅲb期接受根治放疗的宫颈癌病人设计VMAT计划,即VMAT<sub>MONACO</sub>和VMAT<sub>PINNACLE</sub>,对比VMAT<sub>MONACO</sub>和VMAT<sub>PINNACLE</sub>的剂量学差异,评估两种的TPS的优缺点,为选择合适的TPS以设计宫颈癌放疗方案提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 临床资料

随机选取2017年在云南省肿瘤医院接受VMAT的宫颈癌患者11例为研究对象。患者年龄为35~61岁,中位年龄48岁;患者均未接受过手术,无放疗禁忌症,行根治性放疗。腹盆腔内阳性淋巴结(GTVnd)外扩0.5 cm后形成计划靶区(PGTVnd),给治疗剂量62.5 Gy/25 F;临床靶区(CTV)前后左右外放0.5 cm,上下(头脚)外放0.8 cm得到计划靶区(PTV),给予预防剂量45 Gy/25 F。

### 1.2 方法

**1.2.1 体位固定和CT扫描** 患者均采用仰卧位,热塑网膜固定,在自由呼吸状态下应用德国Siemens公司的Sensation Open 24 CT模拟定位机扫描定位,扫描范围从横膈顶至耻骨联合下缘1 cm,重建3 cm层厚,经局域网传至Pinnacle 9.10三维TPS工作站。

**1.2.2 靶区和危及器官的定义** 由患者的放疗主管医生根据ICRU 52、62号报告定义放疗靶区。GTVnd包括下腹部和盆腔内阳性淋巴结。CTV上界至腹主动脉分叉处,约L<sub>4-5</sub>间隙;下界至闭孔下缘;左右界包括双侧髂总、髂内外血管周围、闭孔淋巴区。定义的危及器官主要包括:直肠、膀胱、小肠和股骨头。

**1.2.3 物理计划的设计** 在Pinnacle 9.10系统上定义

GTVnd、PGTVnd、CTV、PTV及所有的危及器官后,经由物理师工作站间的网络,将CT序列和定义好的解剖结构传输至Monaco 5.11系统。物理师根据医生的推荐标准和本研究拟要统计的剂量体积参数,在Pinnacle 9.10系统和Monaco 5.11系统上针对每位患者分别设计VMAT计划,计划均设置为共面双弧,逆时针180.1°~180.0°,而后顺时针180.0°~180.1°,治疗床角度为0°,小机头顺时针旋转5°。所有计划均选择6 MV光子线进行计划设计,两种TPS优化时的目标函数设置见表1。为减少物理师在使用两种计划设计系统上经验的差异,本研究优先设计VMAT<sub>MONACO</sub>,然后将VMAT<sub>MONACO</sub>优化的剂量体积结果作为物理目标函数进行VMAT<sub>PINNACLE</sub>的优化。

表1 计划设计时Monaco5.11和Pinnacle 9.10计划设计系统中生物、物理目标函数的设计情况

Tab.1 Design of biological and physical objective functions in Monaco 5.11 and Pinnacle 9.10 TPS

Target area	Monaco 5.11	Pinnacle 9.10
PGTVnd	Target Penalty	MinDose
		MaxDose
		MinDVH
	Quadratic Overdose	Uniform Dose
PTV (Monaco) or PTV-(PGTVnd+0.3 cm)	Target Penalty	MaxDose
	Quadratic Overdose	MinDose
Cord	Serial	MaxDose
	Maximum Dose	
Intestine	Parallel	MaxDVH
	Quadratic Overdose	
Rectum	Maximum Dose	MaxDose
	Serial	MaxDVH
Bladder	Parallel	MaxDVH
	Quadratic Overdose	
	Serial	
Femur	Parallel	MaxDVH

PGTV: Planning gross target volume; PTV: Planning target volume;

TPS: Treatment planning system

**1.2.4 放疗计划的评价指标** 将处方剂量归一至95%的PTV体积,即使处方剂量覆盖95%以上的靶区体积,借助剂量体积直方图DVH、剂量统计表和等剂量曲线分布图对靶区和危及器官的吸收剂量进行对比分析。(1) PGTVnd、PTV的评价指标为适形度指数(CI)和均匀性指数(HI)。 $CI = \frac{V_{t, ref}}{V_t} \times \frac{V_{t, ref}}{V_{ref}}$ ,  $HI = \frac{D_{2\%}}{D_{98\%}}$ ; (2) 危及器官

的评价指标有直肠  $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $V_{50}$ 、 $D_{mean}$ ,膀胱  $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $D_{mean}$ ,小肠  $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ ,股骨头  $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 。

**1.2.5 统计学方法** 采用SPSS 20.0统计软件建立数据库,并对计划的所得数据进行录入和分析。定量资料采用均数±标准差表示。两种计划的剂量差采用配对  $t$  检验进行分析,  $P<0.05$ 、 $P<0.01$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 PGTVnd和PTV的CI、HI比较

两种TPS设计的VMAT计划均能较好地满足处方剂量覆盖95%以上靶区的要求,且靶区的剂量区间为处方剂量±5%。就PGTVnd和PTV的CI而言,基于两种TPS设计的VMAT计划不存在有统计学差异 ( $P>0.05$ ),VMAT<sub>MONACO</sub>和VMAT<sub>PINNACLE</sub>中,PGTVnd的

CI值分别为  $0.83\pm0.03$ 、 $0.84\pm0.06$ ;PTV的CI值分别为  $0.85\pm0.02$ 、 $0.85\pm0.05$ 。就PGTVnd的HI而言,VMAT<sub>PINNACLE</sub>要优于VMAT<sub>MONACO</sub>,差异具有统计学意义 [ $(1.06\pm0.03)$  vs  $(1.03\pm0.02)$ ,  $P<0.05$ ]。

### 2.2 VMAT中危及器官剂量体积比较

**2.2.1 直肠剂量体积的比较** 基于两种TPS设计的VMAT计划中直肠的剂量体积统计如表2所示。两种VMAT计划在直肠低剂量( $V_{20}$ 、 $V_{30}$ )没有统计学差异 ( $P>0.05$ );对于直肠高剂量  $V_{40}$ ,VMAT<sub>MONACO</sub>计划略优于VMAT<sub>PINNACLE</sub>计划,但差异不具有统计学意义 ( $P>0.05$ );但直肠更高剂量  $V_{50}$ 的比较,两种计划间的差异消失。对于直肠  $D_{mean}$ ,VMAT<sub>MONACO</sub>计划明显优于VMAT<sub>PINNACLE</sub>计划,差异具有显著统计学意义 ( $P<0.01$ )。

表2 直肠剂量体积比较 ( $\bar{x}\pm s$ )  
Tab.2 Rectal dose-volume comparison (*Mean*±*SD*)

Plan	$V_{20}/\%$	$V_{30}/\%$	$V_{40}/\%$	$V_{50}/\%$	$D_{mean}/cGy$
VMAT <sub>PINNACLE</sub>	99.60±0.16	99.30±0.51	95.80±1.21	0.00±0.00	4 525.00±130.00
VMAT <sub>MONACO</sub>	99.60±0.44	99.30±0.67	93.70±2.23	0.00±0.00	4 346.00±185.00
<i>P</i> value	0.502	0.317	0.085	Infinite	0.001

**2.2.2 膀胱剂量体积比较** 基于两种TPS设计的VMAT计划中膀胱的剂量体积统计如表3所示。两种VMAT计划在膀胱低剂量  $V_{20}$  没有统计学差异 ( $P>0.05$ );对于膀胱高剂量  $V_{30}$ 、 $V_{40}$ ,VMAT<sub>MONACO</sub>计划

优于VMAT<sub>PINNACLE</sub>计划,差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ );对于膀胱  $D_{mean}$ ,VMAT<sub>MONACO</sub>计划明显优于VMAT<sub>PINNACLE</sub>计划,差异具有统计学意义 ( $P<0.01$ )。

表3 膀胱剂量体积比较 ( $\bar{x}\pm s$ )  
Tab.3 Bladder dose-volume comparison (*Mean*±*SD*)

Plan	$V_{20}/\%$	$V_{30}/\%$	$V_{40}/\%$	$D_{mean}/cGy$
VMAT <sub>PINNACLE</sub>	97.00±1.11	92.60±1.66	86.60±3.11	4 481.00±105.00
VMAT <sub>MONACO</sub>	96.70±2.04	85.90±3.11	69.30±4.87	4 218.00±221.00
<i>P</i> value	0.232	0.022	0.034	0.005

**2.2.3 小肠和股骨头剂量体积比较** 基于两种TPS设计的VMAT计划中小肠和股骨头的剂量体积统计如表4所示。小肠和股骨头在两种TPS中显现出明显差异 ( $P<0.05$ )。其中,VMAT<sub>MONACO</sub>计划的股骨头  $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 明显低于VMAT<sub>PINNACLE</sub>计划,差异有统计学意义 ( $P<0.01$ )。

## 3 讨论

宫颈癌根治性放疗的PTV通常是个凹形的区域,在这个凹形区域内会分布1个或多个孤立的PGTVnd,要实现PGTVnd高吸收剂量(62.5 Gy)的同时给予预防区域一个相对较低的吸收剂量,依靠三维适形放疗技术显然不能,调强放射治疗可实现在



表4 小肠和股骨头剂量体积比较(  $\bar{x} \pm s$ , %)   
 Tab.4 Dose-volume comparison of small intestine and femoral head (Mean±SD, %)

Plan	Small intestine			Femur head		
	V <sub>10</sub>	V <sub>20</sub>	V <sub>30</sub>	V <sub>20</sub>	V <sub>30</sub>	V <sub>40</sub>
VMAT <sub>PINNACLE</sub>	86.60±5.12	60.90±3.81	35.90±2.64	46.40±3.11	23.00±3.38	4.60±3.05
VMAT <sub>MONACO</sub>	85.20±6.33	53.30±7.99	32.20±2.76	24.80±5.14	10.30±4.25	2.50±2.61
P value	0.044	0.032	0.026	0.006	0.000	0.000

PTV内同步推高PGTVnd的剂量,但会大大地延长治疗时间,降低相对生物效应和治疗效率。VMAT是一种优于调强放射治疗的放疗技术<sup>[11-13]</sup>,在获得更优于调强放射治疗靶区CI和HI的同时,能有效地缩短治疗时间<sup>[6,14]</sup>。

本研究基于Elekta-VersaHD直线加速器,对比研究Pinnacle 9.10和Monaco 5.11两种系统设计VMAT计划的差异。研究发现,基于这两种TPS设计的VMAT计划均能满足临床要求,在PTV和PGTVnd的CI上,两种TPS的结果几乎一样,但在PGTVnd的HI上,Monaco系统的结果不如Pinnacle系统,这其中可能的原因之一是Pinnacle系统采用DMPO技术能进一步计算出最后的剂量结果,这使计划设计者更容易找到好的约束条件,而Monaco系统是首先进行通量优化,然后将通量结果转化成可执行的机器参数,最后得出剂量结果。通量结果转化成可执行的机器参数存在着很大的不确定性,对于通量优化来说好的约束条件,并不一定是“可执行的机器参数”的好的约束条件,也就说Monaco系统中PGTVnd的HI不如Pinnacle系统,是因为没有找到“可执行的机器参数”的好的约束条件所致。其可能原因二是,Pinnacle系统低估了靶区内剂量,因为理论上Monaco系统采用的蒙特卡罗算法比Pinnacle系统采用的筒束卷积算法要更准确。

直肠是距离靶区近且体积较小的危及器官,一部分与靶区重叠,重叠部分视为靶区,所以直肠的V<sub>20</sub>、V<sub>30</sub>的值都很高,且在两种TPS间不存在差异;而两种TPS间,直肠的V<sub>40</sub>出现了差异的趋势。直肠的V<sub>50</sub>均为0,原因一是直肠距离高剂量的PGTVnd较远,二是在计划优化时,均对最大剂量给予了高处罚的约束。直肠D<sub>mean</sub>,Monaco系统明显低于Pinnacle系统,原因是Monaco系统中的Serial函数对剂量体积直方图中直肠的曲线“多点作用”的结果。Monaco系统中膀胱D<sub>mean</sub>明显低于Pinnacle,也是这个原因。膀胱的体积较大,剂量体积统计结果与直肠略有不同,从V<sub>30</sub>起便开始出现了差异(P<0.05)。小肠的体

积更大,因此差异从低剂量的V<sub>10</sub>便已开始了。股骨头的密度较高,电子在低密度肌肉与高密度骨头界面处失去平衡,筒束卷积算法的计算值低于实际测量值,但这不是VMAT<sub>MONACO</sub>与VMAT<sub>PINNACLE</sub>产生差异的主要原因,原因是Parallel函数优于MaxDVH,Parallel以给定的参考物理剂量D<sub>0</sub>为“处罚原点”,同时对DVH曲线上的其它物理剂量也进行“处罚”,这不但可以降低参考物理剂量D<sub>0</sub>对应的百分值,同时也可降低其它临近物理剂量对应的百分值。而MaxDVH只对给定的参考物理剂量D<sub>0</sub>进行“处罚”。

在临床实践上剂量学上的优势是否能转化成更好的疗效,还要受到其他一些因素的影响。宫颈癌位于盆腔内,其吸收剂量很容易摆位误差<sup>[15]</sup>,膀胱直肠的充盈程度和小肠状态的影响<sup>[16-18]</sup>,这些影响可能会“抹平”一些差别不太大的差异,比如小肠V<sub>10</sub>和直肠V<sub>40</sub>等。基于上述论述和分析,对于根治放射治疗宫颈癌,选用蒙特卡罗算法的Monaco系统设计放疗计划存在潜在的剂量学优势。

【参考文献】

[1] 刘丹,程雪花. 年轻女性宫颈癌患者临床特征与早期宫颈癌预后因素分析[J]. 热带医学杂志, 2017, 17(1): 32-34.   
 LIU D, CHENG X H. Analysis of clinical features and prognostic factors of early cervical cancer in young women[J]. Journal of Tropical Medicine, 2017, 17(1): 32-34.

[2] KUROKAWA M, IWAI Y, TOGASAKI G, et al. Postoperative radiation therapy for cervical cancer: three-dimensional conformal radiation therapy (3DCRT) versus intensity modulated radiation therapy (IMRT)[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2016, 96(2): E309.

[3] ISOHASHI F, MABUCHI S, YOSHIOKA Y, et al. Intensity-modulated radiation therapy versus three-dimensional conformal radiation therapy with concurrent nedaplatin-based chemotherapy after radical hysterectomy for uterine cervical cancer: comparison of outcomes, complications, and dose-volume histogram[J]. Radiat Oncol, 2015, 10(2): 180.

[4] HUI B, ZHANG Y, SHI F, et al. Association between bone marrow dosimetric parameters and acute hematologic toxicity in cervical cancer patients undergoing concurrent chemoradiotherapy: comparison of three-dimensional conformal radiotherapy and intensity-modulated radiation therapy[J]. Int J Gynecol Cancer, 2014, 24(9): 1648-1652.

- [5] CHEN Y, SHELTH N, LIAO X, et al. SU-E-T-633: to evaluate dosimetric differences of IMRT lung plans generated from RayStation multi-criteria optimization (MCO) and Pinnacle direct machine parameters optimization (DMPO)[J]. Med Phys, 2012, 39(6Part20): 3851.
- [6] LIN J C, TSAI J T, CHEN L J, et al. Compared planning dosimetry of TOMO, VMAT and IMRT in rectal cancer with different simulated positions[J]. Oncotarget, 2017, 8(26): 42020-42029.
- [7] WU Z, XIE C, HU M, et al. Dosimetric benefits of IMRT and VMAT in the treatment of middle thoracic esophageal cancer: is the conformal radiotherapy still an alternative option?[J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(3): 93-101.
- [8] ASUNI G, VAN BEEK T A, VENKATARAMAN S, et al. A Monte Carlo tool for evaluating VMAT and DIMRT treatment deliveries including planar detectors[J]. Phys Med Biol, 2013, 58(11): 3535-3550.
- [9] 吴建亭, 狄慧, 施春明, 等. 两种算法在宫颈癌术后调强放疗中的剂量学比较研究[J]. 肿瘤预防与治疗, 2017, 30(1): 39-42.  
WU J T, DI H, SHI C M, et al. Dosimetric study of two algorithms in postoperative intensity modulated radiotherapy for cervical carcinoma[J]. Journal of Cancer Control and Treatment, 2017, 30(1): 39-42.
- [10] QI X S, SEMENENKO V A, LI X A. Improved critical structure sparing with biologically based IMRT optimization[J]. Med Phys, 2009, 36(5): 1790-1799.
- [11] 赵玲, 卜明伟, 杨筑春, 等. VMAT 应用于局部晚期直肠癌术前同步放化疗的剂量学研究[J]. 中国肿瘤, 2016, 25(7): 575-578.  
ZHAO L, BU M W, YANG Z C, et al. A dosimetric study on the application of VMAT in preoperative concurrent chemoradiotherapy for locally advanced rectal cancer[J]. China Cancer, 2016, 25(7): 575-578.
- [12] 李壮玲, 李先明, 钟鹤立, 等. 胶质母细胞瘤术后 IMRT 和 VMAT 的剂量学比较[J]. 广东医学, 2017, 38(10): 1538-1541.  
LI Z L, LI X M, ZHONG H L, et al. A dose comparison of intensity-modulated radiotherapy and volumetric modulated arc therapy for postoperative glioma[J]. Guangdong Medical Journal, 2017, 38(10): 1538-1541.
- [13] 刘丽虹, 王澜, 韩春, 等. 食管癌 VMAT 与 IMRT 的剂量学比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2015, 24(3): 318-322.  
LIU L H, WANG L, HAN C, et al. The application of volumetric modulated arc therapy in esophageal carcinoma[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2015, 24(3): 318-322.
- [14] LO Y, SHEU R, GERMANO I, et al. SU-E-T-584: dosimetric comparison between static IMRT and VMAT for a four-lesion brain treatment[J]. Med Phys, 2012, 39(6Part19): 3840.
- [15] 喻梦阳, 徐文涛, 蒋华, 等. 在线校正对宫颈癌图像引导容积调强放疗剂量的影响[J]. 中国血液流变学杂志, 2017, 27(1): 113-114.  
YU M Y, XU W T, JIANG H, et al. The online correction effect on dose of image-guided volumetric arc modulated therapy for cervical cancer[J]. Chinese Journal of Hemorheology, 2017, 27(1): 113-114.
- [16] 毛睿, 何艳芬, 齐洪志, 等. 膀胱充盈状态对宫颈癌术后调强放疗靶区和危及器官的影响[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2013, 27(8): 794-796.  
MAO R, HE Y F, QI H Z, et al. The effect on the target and the OARs of adjuvant IMRT after cervical cancer surgery because of the bladder[J]. Journal of Chinese Practical Diagnosis and Therapy, 2013, 27(8): 794-796.
- [17] 叶岚, 吴星尧, 李康明, 等. 膀胱状态对宫颈癌调强放射治疗靶区及危及器官体积剂量影响研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2016, 23(20): 1365-1371.  
YE L, WU X R, LI K M, et al. Comparative study of IMRT plans based on full bladder *versus* empty bladder for cervical cancer[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2016, 23(20): 1365-1371.
- [18] 张基永, 陆佳扬, 吴丽丽, 等. 老年宫颈癌调强放射治疗在膀胱不同充盈条件下的受照剂量[J]. 中国老年学杂志, 2017, 37(6): 1426-1428.  
ZHANG J Y, LU J Y, WU L L, et al. The dose effect of intensity-modulated radiation therapy based on full bladder *versus* empty bladder for elderly cervical cancer[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2017, 37(6): 1426-1428.

(编辑:谭斯允)