

## 铱源驻留步长对宫颈癌三维近距离治疗计划的影响

吴爱林<sup>1</sup>, 姜潇<sup>2</sup>, 吴爱东<sup>1</sup>, 朱磊<sup>2</sup>, 刘云琴<sup>1</sup>, 钱立庭<sup>1</sup>

1. 中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)放疗科, 安徽 合肥 230031; 2. 中国科学技术大学物理学院, 安徽 合肥 230026

**【摘要】目的:**研究宫颈癌近距离治疗计划设计中, 铱源驻留步长选择对计划评估及剂量稳定性的影响。**方法:**选取在安徽省肿瘤医院接受治疗的15例宫颈癌患者, 均接受Fletcher型施源器植入的铱源高剂量率CT引导下近距离治疗。按照驻留步长大小分别为每位患者制定4组计划(Plan\_1 mm、Plan\_3 mm、Plan\_5 mm和Plan\_7 mm), 对比治疗时长, 靶区 $D_{100}$ 、 $D_{90}$ 和 $V_{100}$ 和危及器官 $D_{2cc}$ 、SF系数等参数。模拟计算施源器发生脚向3 mm移位时剂量分布, 分析施源器移位对不同驻留步长近距离治疗计划剂量学的参数影响。**结果:**不同驻留步长治疗计划的高危靶区(HRCTV)剂量学参数差异不明显( $P>0.05$ ), 而Plan\_1 mm、Plan\_3 mm的中危靶区(IRCTV)的 $D_{100}$ 、 $D_{90}$ 、 $V_{100}$ 和治疗时长均大于Plan\_5 mm, 且差异有统计学意义( $P<0.05$ ); Plan\_5 mm计划中危及器官SF参数的平均值和中位值最小; Plan\_5 mm在施源器移位后HRCTV和IRCTV的 $D_{90}$ 平均降幅最小, 分别为2.88%和0.91%。**结论:**宫颈癌近距离治疗计划的制定应选择合适的铱源驻留步长, 使得治疗计划不仅满足剂量评估要求, 还具有一定的剂量传递稳定性。

**【关键词】**宫颈癌; 铱源; 驻留步长; 三维近距离治疗; 剂量

**【中图分类号】**R737.3; R817.8

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2022)01-0009-05

## Effects of iridium source dwell step size on three-dimensional brachytherapy plan of cervical cancer

WU Ailin<sup>1</sup>, JIANG Xiao<sup>2</sup>, WU Aidong<sup>1</sup>, ZHU Lei<sup>2</sup>, LIU Yunqin<sup>1</sup>, QIAN Liting<sup>1</sup>

1. Department of Radiation Oncology, The First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China (Anhui Provincial Hospital), Hefei 230001, China; 2. School of Physical Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

**Abstract: Objective** To study the effect of iridium source dwell step size on plan evaluation and dose stability in the brachytherapy planning for cervical cancer. **Methods** Fifteen cervical cancer patients undergoing CT-guided high-dose-rate brachytherapy with iridium source applied by the Fletcher applicator in Anhui Provincial Cancer Hospital were enrolled in the study. Four kinds of plans with different dwell step sizes (Plan\_1 mm, Plan\_3 mm, Plan\_5 mm and plan\_7 mm) were created for each patient. The treatment duration as well as the parameters of target areas ( $D_{100}$ ,  $D_{90}$  and  $V_{100}$ ) and organs-at-risk ( $D_{2cc}$  and SF coefficient) were compared. The dose distribution with applicators shifting 3 mm to the feet was calculated, and the effects of the applicators shift on the dosimetric parameters of brachytherapy plans were analyzed under different dwell step sizes. **Results** There was no significant difference in dosimetric parameters of HRCTV among treatment plans with different step sizes ( $P>0.05$ ). However, the  $D_{100}$ ,  $D_{90}$  and  $V_{100}$  of IRCTV and treatment duration of Plan\_1 mm and Plan\_3 mm were greater than those of Plan\_5 mm, and the differences were statistically significant ( $P<0.05$ ). The mean value and median value of SF coefficient of organs-at-risk in Plan\_5 mm were smallest. After shifting applicators, the average decreases of the  $D_{90}$  of HRCTV and IRCTV in Plan\_5 mm were minimum, which were 2.88% and 0.91%, respectively. **Conclusion** The appropriate iridium source dwell step size should be selected in the brachytherapy for cervical cancer, so that the treatment plan can not only fulfill the requirements of dose evaluation, but also has a certain dose delivery stability.

**Keywords:** cervical cancer; iridium source; dwell step size; three-dimensional brachytherapy; dose

**【收稿日期】**2021-08-18

**【基金项目】**国家自然科学基金(11805198, 81671681); 中国科学技术大学基本科研业务费创新团队培育基金(WK2030040089)

**【作者简介】**吴爱林, 博士, 高级工程师, 研究方向: 肿瘤放射物理, E-mail: wuailing@mail.ustc.edu.cn

**【通信作者】**吴爱东, 博士, 正高级工程师, 研究方向: 肿瘤放射物理, E-mail: flkaidongwu@163.com

## 前言

宫颈癌严重威胁全球女性健康, 其发病率和死亡率均为女性恶性肿瘤的第4位<sup>[1]</sup>。近距离治疗作为中晚期宫颈癌体外放疗不可或缺的补量手段<sup>[2]</sup>, 能借助放射源周边陡峭的剂量梯度, 在大幅增加肿瘤

剂量的同时有效保护周围正常组织。随着影像技术的快速发展,三维图像引导的近距离治疗技术得到广泛应用及推广<sup>[3-4]</sup>。临床上通常采用逆向优化方法高效完成近距离治疗计划设计,而在放射源传输轨迹固定的情况下,计划设计中可调节的主要有剂量学目标值及权重、放射源驻留步长、驻留时间离差限制等有限参数。此外,已有研究<sup>[5-6]</sup>表明施源器移位将对近距离治疗精度有不可忽视的影响,而综合考虑施源器移位下铱源驻留步长对宫颈癌近距离治疗剂量影响的研究尚未见报道。

本研究随机选取15例宫颈癌三维近距离治疗计划,分别采用1、3、5和7 mm驻留步长进行逆向计划设计,分析对比上述计划的靶区和危及器官(OARs)剂量学参数差异;同时在放射治疗计划系统(TPS)中模拟施源器发生脚向移位,研究移位前后不同步长治疗计划的剂量偏差情况,为临床宫颈癌三维近距离治疗计划设计提供参考依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 患者资料

随机选取安徽省肿瘤医院放疗科收治的宫颈癌患者15例,病理类型均为鳞癌。根据宫颈癌国际妇产科协会(FIGO)指定标准,其分期为Ⅱb期~Ⅲb期。所有病例均在完成体外照射40 Gy(总剂量46 Gy/23次)后,开始接受CT引导的铱源高剂量率近距离治疗,每周1次,共5次。所有患者接受标准的治疗前准备<sup>[7]</sup>,使用三通道Fletcher型施源器进行植入。通过GE 16排放疗专用大孔径CT模拟定位系统Discovery CT 590进行图像采集,扫描条件为扫描电流400 mAs,扫描电压120 kV,层厚2.5 mm。将CT影像传至瓦里安BrachyVision后装计划系统(Brachytherapy Planning v10.0.39),由主管医生根据GEC-ESTRO指南要求,完成靶区[高危靶区(HRCTV)、中危靶区(IRCTV)]及膀胱、直肠、小肠、乙状结肠等OARs勾画,由高年资物理师勾画并重建出施源器轨迹。

### 1.2 计划设计

本研究基于TG43公式的固定体积均匀纯水<sup>[8]</sup>计算模型,采用TPS的体积优化(Volume Optimization)逆向优化模块进行计划设计,最大、最小驻留时间限值分别为120和0 s,各驻留位置时间差smooth设为中位。根据2018年(GYN)GEC-ESTRO研究<sup>[9]</sup>推荐的剂量标准,单次近距离治疗计划的剂量目标为:HRCTV  $D_{90} \geq 6$  Gy, IRCTV  $D_{90} \geq 3$  Gy,膀胱  $D_{2cc} \leq 5.3$  Gy,直肠、乙状结肠和小肠  $D_{2cc} \leq 4.15$  Gy。

首先,在TPS中制定4组计划Plan\_1 mm、

Plan\_3 mm、Plan\_5 mm和Plan\_7 mm,其中铱源驻留步长分别为1、3、5和7 mm,经优化设计后每组计划均满足预期剂量目标。其次,在上述4组计划基础上,设计完成施源器移位计划,如图1所示Fletcher型三管施源器整体向患者脚方向移位3 mm,同时放射源在施源器中相对驻留位置、驻留步长和驻留时间均保持不变,重新完成剂量计算。

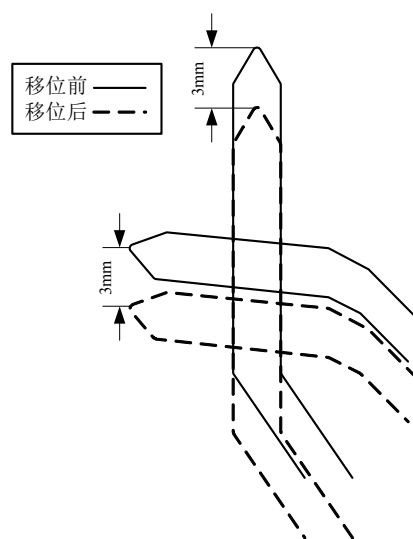


图1 Fletcher施源器脚向移位模拟示意图

Figure 1 Schematic diagram of the Fletcher applicators shifting to the feet

### 1.3 数据采集

对不同驻留步长的近距离治疗计划,选择的比较参数包括:靶区(HRCTV和IRCTV)90%和100%体积受照射剂量 $D_{90}$ 和 $D_{100}$ ,处方剂量线包括的体积 $V_{100}$ ,各OARs 2 cm<sup>3</sup>体积所接受的最小剂量 $D_{2cc}$ ,并统计各OARs的SF系数(Sparing Factor, SF),其定义为对应OARs的 $D_{2cc}$ 与HRCTV  $D_{90}$ 比值( $SF = D_{2cc}/D_{90}$ )<sup>[10]</sup>。对于施源器移位前后的近距离治疗计划,记录靶区 $D_{90}$ 和OARs  $D_{2cc}$ 剂量学参数。

### 1.4 统计学方法

采用SPSS 26.0软件进行统计分析,符合正态分布的计量资料用均数±标准差表示,采用配对t检验进行两两比较, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 靶区与治疗时长

不同驻留步长近距离治疗计划的靶区剂量学参数和治疗时长对比结果见表1。从表1可知,不同驻留步长的4组计划靶区 $D_{90}$ 剂量均实现预期剂量目标。对于HRCTV,各计划 $D_{100}$ 、 $D_{90}$ 和 $V_{100}$ 统计学差异不显著( $P > 0.05$ )。对于IRCTV,Plan\_1 mm、Plan\_3 mm

的 IRCTV 剂量学参数  $D_{100}$ 、 $D_{90}$  和  $V_{100}$  均明显高于 Plan\_5 mm, 且差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。此外, Plan\_1 mm 和 Plan\_3 mm 计划的治疗时长均高于 Plan\_5 mm, 且差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。

表 1 不同驻留步长近距离治疗计划的靶区剂量学参数和治疗总时长比较( $\bar{x} \pm s$ )  
Table 1 Comparison of dosimetric parameters of target areas and total treatment duration among brachytherapy plans with different dwell step sizes (Mean±SD)

参数		Plan_1 mm	Plan_3 mm	Plan_5 mm	Plan_7 mm
HRCTV	$D_{100}/\text{Gy}$	3.71±0.51	3.67±0.51	3.54±0.52	3.50±0.47
	$D_{90}/\text{Gy}$	6.20±0.34	6.11±0.31	6.12±0.33	6.14±0.30
	$V_{100}/\text{cm}^3$	26.85±8.73	26.66±8.78	26.67±8.76	26.73±8.81
IRCTV	$D_{100}/\text{Gy}$	2.08±0.46 <sup>a</sup>	2.01±0.50 <sup>a</sup>	1.89±0.48	1.90±0.47
	$D_{90}/\text{Gy}$	3.37±0.22 <sup>b</sup>	3.33±0.19 <sup>b</sup>	3.21±0.18	3.24±0.18
	$V_{100}/\text{cm}^3$	57.89±16.89 <sup>c</sup>	56.60±15.64 <sup>c</sup>	55.06±15.69	55.27±15.27
治疗时间/min		5.50±1.27 <sup>d</sup>	5.15±0.97 <sup>d</sup>	4.90±0.96	4.92±0.87

与 Plan\_5 mm 同指标比较, a 表示  $t=3.995, 3.469, P=0.003, 0.006$ ; b 表示  $t=3.993, 3.107, P=0.003, 0.011$ ; c 表示  $t=4.014, 3.661, P=0.002, 0.004$ ; d 表示  $t=3.056, 3.828, P=0.012, 0.003$

2.2 OARs与SF系数

不同驻留步长近距离治疗计划 OARs  $D_{2cc}$  对比结果见表 2。从表 2 可知, 在不同驻留步长的 4 组计划中, 所有 OARs 的  $D_{2cc}$  剂量均在目标限值以下。从统计结果可得, Plan\_5 mm 计划的膀胱、直肠  $D_{2cc}$  均值最小, 而 Plan\_7 mm 的乙状结肠、小肠  $D_{2cc}$  均值最小。图 2 给出了不同驻留步长的近距离治疗计划的 OARs SF 系数分布箱式图, 图中空心方块、箱体横线分别代表 OARs 的 SF 系数平均值和中位值。由图可知, Plan\_5 mm 计划在 4 组计划中 OARs 的 SF 系数相对最小。

表 2 不同驻留步长近距离治疗计划 OARs  $D_{2cc}$  比较(Gy,  $\bar{x} \pm s$ )

Table 2 Comparison of the  $D_{2cc}$  to organs-at-risk among brachytherapy plans with different dwell step sizes (Gy, Mean±SD)

危及器官	Plan_1 mm	Plan_3 mm	Plan_5 mm	Plan_7 mm
膀胱	4.79±0.96	4.64±0.98	4.61±1.01	4.62±0.97
直肠	3.92±0.72	3.77±0.77	3.72±0.82	3.89±0.76
乙状结肠	2.92±1.15	2.84±1.16	2.76±1.22	2.75±1.20
小肠	3.37±1.18	3.42±1.22	3.25±1.18	3.22±1.19

2.3 施源器移位前后对比

当施源器脚向移位 3 mm, 各组计划的剂量学参数百分偏差如表 3 所示。可见, 施源器移位将造成靶区剂量降低, 其中 Plan\_5 mm 计划受施源器移位影响最小, 移位后 HRCTV 和 IRCTV 的  $D_{90}$  分别下降 2.88% 和 0.91%。同时, 数据显示施源器移位后膀胱、乙状结肠和小肠的  $D_{2cc}$  剂量减少, 而直肠  $D_{2cc}$  受量增

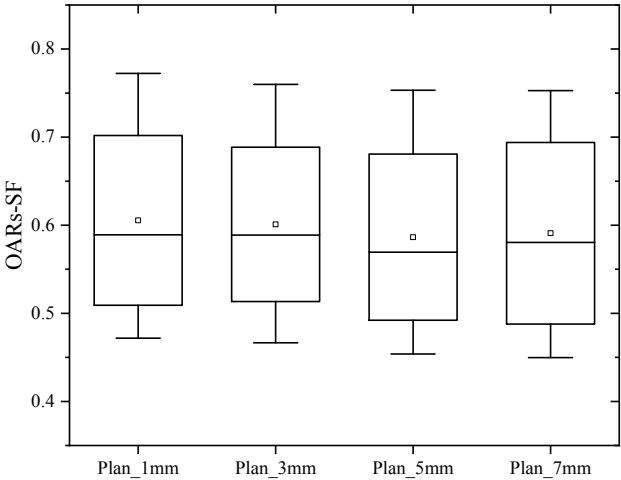


图 2 不同驻留步长近距离治疗的 OARs SF 系数分布箱式图

Figure 2 Box-plot of SF coefficient of organs-at-risk in brachytherapy plans with different dwell step sizes

加。其中膀胱、直肠、乙状结肠和小肠  $D_{2cc}$  的百分偏差绝对值最小的计划分别是 Plan\_5 mm、Plan\_1 mm 和 Plan\_3 mm。

3 讨论

近距离治疗用于宫颈癌治疗已有百年历史, 是根治性宫颈癌放疗必不可少的组成部分。随着对二维腔内近距离治疗缺陷的深入认识, 以及三维影像技术在放疗领域广泛应用, 本世纪以来三维影像引导宫颈癌近距离治疗成为研究热点, 回顾性研究更是显示了该技术在肿瘤局控率、总生存率以及并发症发生率上的明显优势<sup>[11]</sup>。中国作为宫颈癌的高发区, 每年的新发病例占全球 18.3%<sup>[1, 12]</sup>。随着国内医



表3 施源器移位 3 mm 后不同驻留步长近距离治疗计划的  
剂量学参数偏差(%,  $\bar{x} \pm s$ )

Table 3 Dosimetric parameters deviations of brachytherapy plans with  
different dwell step sizes after shifting applicators by 3 mm (%, *Mean±SD*)

评估参数	Plan_1 mm	Plan_3 mm	Plan_5 mm	Plan_7 mm
HRCTV D <sub>90</sub>	-4.25±2.23	-3.38±3.11	-2.88±2.03	-3.39±2.13
IRCTV D <sub>90</sub>	-2.20±2.89	-1.31±1.71	-0.91±1.33	-1.30±1.00
膀胱 D <sub>2cc</sub>	-2.87±3.37	-2.96±3.42	-2.76±3.85	-3.05±3.53
直肠 D <sub>2cc</sub>	6.47±3.74	6.69±3.33	6.63±3.71	6.85±3.94
乙状结肠 D <sub>2cc</sub>	-3.78±4.47	-3.37±3.89	-3.94±3.20	-3.98±3.12
小肠 D <sub>2cc</sub>	-8.45±5.43	-8.26±4.31	-8.67±4.00	-8.59±3.94

疗水平不断提升,我国宫颈癌近距离治疗也快速进入三维时代。有数据表明<sup>[13]</sup>,2018 年在我国西部 20 所三级甲等医院中,54.3% 的宫颈癌患者接受了 CT 引导三维近距离治疗。

基于 CT/MRI 影像,医生可以精准勾画出靶区和 OARs 轮廓,再使用逆向优化 (IPSA、Volume Optimization)或图形优化的方法完成计划设计。在逆向优化过程中,放射源驻留步长、最大驻留时间、时间差限制参数等输入参数直接影响优化效率和最终计算结果。如文献<sup>[14]</sup>通过分析不同步长下钴源宫颈癌近距离治疗的剂量学参数变化,进而给出了驻留步长的推荐范围;王先良等<sup>[15]</sup>和纪天龙等<sup>[16]</sup>针对驻留时间差限制参数选择对宫颈癌近距离治疗剂量分布影响进行了分析;Manikandan 等<sup>[17]</sup>则研究了设置不同最大驻留时间、驻留步长在前列腺癌近距离治疗计划逆向优化中的作用。值得关注的是,由于三维近距离治疗流程复杂,耗时较长,患者体内施源器容易发生移位,可能造成靶区和 OARs 并未接受预期剂量。如 Balsdon 等<sup>[18]</sup>研究显示宫颈癌腔内近距离治疗期间,T&O 型施源器在左右、头脚和前后方向平均移位分别为 1.9、3.0 和 9.5 mm。Andrew 等<sup>[19]</sup>针对 185 例人工转运的宫颈癌近距离治疗施源器位置稳定性进行研究,发现施源器平均移位约为 3.41 mm,其中超过 5 mm 的比例高达 22.7%,超过 10 mm 比例仍有 3.78%。由此可知,若能在计划设计前明确合适的输入计算参数范围,将有助于提高近距离治疗计划设计效率和目标剂量的实现,同时高质量的治疗计划要结合临床实际,加入施源器移位影响的输入参数设置,可能会在一定程度上减少因移位导致的剂量偏差。

在本研究中,针对临床最为常见的 CT 引导铱源高剂量率宫颈癌腔内近距离治疗计划展开研究。首先,在 TPS 中制定了 4 组不同驻留步长近距离治疗计划,经优化后均满足预期剂量目标。研究结果显示:

(1)4 组计划 HRCTV 剂量学参数 D<sub>100</sub>、D<sub>90</sub>、V<sub>100</sub> 无明显差异,可见 HRCTV 剂量对驻留步长选择并不敏感;(2)Plan\_1 mm、Plan\_3 mm 的 IRCTV 剂量学参数 D<sub>100</sub>、D<sub>90</sub> 和 V<sub>100</sub> 高于 Plan\_5 mm,且差异有统计学意义 ( $P<0.05$ ),但 Plan\_1 mm、Plan\_3 mm 治疗用时明显长于 Plan\_5 mm ( $P<0.05$ ),说明小于 5 mm 驻留步长有利于肿瘤控制的同时延长了治疗时长,增加了患者不适和体内组织的移位;(3)4 组计划各 OARs 的 D<sub>2cc</sub> 受量差异均没有统计学意义 ( $P>0.05$ ),但 Plan\_5 mm 计划中 OARs 的 SF 系数平均值和中位值均最小,说明 Plan\_5 mm 计划在 OARs 保护与靶区治疗间平衡相对最佳。其次,考虑临床患者转运中施源器发生脚向脱落可能性较大,同时结合调研文献<sup>[18-19]</sup>给出的移位数据,本研究模拟了上述 4 组计划的施源器整体发生脚向 3 mm 移位。其剂量学研究结果表明,施源器移位将造成靶区剂量下降,膀胱、乙状结肠和小肠剂量减少,以及直肠剂量升高,这与文献<sup>[20-21]</sup>结果吻合。其中,移位后 Plan\_5 mm 计划靶区剂量降幅最低,HRCT、IRCTV 的 D<sub>90</sub> 分别下降 2.88%、0.91%,均小于 3%。同时数据显示,对于小于 5 mm 驻留步长的治疗计划,施源器移位导致的 OARs 剂量偏差相对较小。综合上述研究结果,选择 5 mm 铱源驻留步长能取得相对较好的剂量学评估,同时施源器移位造成靶区剂量欠量相对较小。

综上所述,铱源驻留步长不仅影响宫颈癌近距离治疗计划的逆向优化结果,如靶区及 OARs 剂量学参数、治疗时长等,对于施源器移位导致的剂量偏差也存在一定差异。在临床中,需要选择合适的铱源驻留步长以制定高质量的宫颈癌近距离治疗计划,在兼顾靶区受照和 OARs 保护的基础上,尽量减少治疗中剂量传递的不确定性。

【参考文献】

[1] BRAY F, FERLAY J, SOERJOMATARAM I, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2018, 68(6): 394-424.

[2] BANERJEE R, KAMRAVA M. Brachytherapy in the treatment of cervical cancer: a review[J]. Int J Womens Health, 2014, 6: 555.

[3] HAIE-MEDER C, PÖTTER R, VAN LIMBERGEN E, et al. Recommendations from Gynaecological (GYN) GEC-ESTRO Working Group ☆ (I): concepts and terms in 3D image based 3D treatment planning in cervix cancer brachytherapy with emphasis on MRI assessment of GTV and CTV[J]. Radiother Oncol, 2005, 74(3): 235-245.

[4] HARKENRIDER M M, ALITE F, SILVA S R, et al. Image-based brachytherapy for the treatment of cervical cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2015, 92(4): 921-934.

[5] WU A L, TANG D, WU A, et al. Comparison of the dosimetric influence of applicator displacement on 2D and 3D brachytherapy for cervical cancer treatment[J]. Technol Cancer Res Treat, 2021, 20: 1-10.

[6] SCHINDEL J, ZHANG W, BHATIA S K, et al. Dosimetric impacts

- of applicator displacements and applicator reconstruction-uncertainties on 3D image-guided brachytherapy for cervical cancer[J]. J Contemp Brachytherapy, 2013, 5(4): 250.
- [7] 吴爱林, 姜潇, 吴爱东, 等. 组织非均匀性对宫颈癌近距离治疗剂量评估影响研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2021, 41(7): 486-491.
- WU A L, JIANG X, WU A D, et al. Effects of tissue heterogeneity on dose evaluation of brachytherapy for cervical cancer[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2021, 41(7): 486-491.
- [8] RIVARD M J, COURSEY B M, DEWERD L A, et al. Update of AAPM Task Group No. 43 Report: a revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations[J]. Med Phys, 2004, 31(3): 633-674.
- [9] PÖTTER R, TANDERUP K, KIRISITS C, et al. The EMBRACE II study: the outcome and prospect of two decades of evolution within the GEC-ESTRO GYN working group and the EMBRACE studies[J]. Clin Transl Radiat Oncol, 2018, 9: 48-60.
- [10] TRNKOVÁ P, PÖTTER R, BALTAS D, et al. New inverse planning technology for image-guided cervical cancer brachytherapy: description and evaluation within a clinical frame [J]. Radiother Oncol, 2009, 93(2): 331-340.
- [11] STURDZA A, PÖTTER R, FOKDAL L U, et al. Image guided brachytherapy in locally advanced cervical cancer: improved pelvic control and survival in RetroEMBRACE, a multicenter cohort study [J]. Radiother Oncol, 2016, 120(3): 428-433.
- [12] 刘宗超, 李哲轩, 张阳, 等. 2020 全球癌症统计报告解读[J]. 肿瘤综合治疗电子杂志, 2021, 7(2): 1-13.
- LIŮ Z C, LI Z X, ZHANG Y, et al. Interpretation on the report of Global Cancer Statistics 2020[J]. Journal of Multidisciplinary Cancer Management (Electronic Version), 2021, 7(2): 1-13.
- [13] 中华医学会放射肿瘤治疗分会近距离治疗学组, 中国医师协会放射肿瘤分会妇科肿瘤学组, 中国抗癌协会近距离治疗专委会. 宫颈癌图像引导三维近距离后装治疗中国专家共识[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2020, 29(9): 712-717.
- The Brachytherapy Group of China Society for Radiation Oncology, The Gynecological Oncology Group of Chinese Association for Therapeutic Radiation Oncologists, The Brachytherapy Special Committee of Chinese Anti-Cancer Association. Chinese expert consensus on three-dimensional image guided brachytherapy for cervical cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2020, 29(9): 712-717.
- [14] SHUKLA A K, RANA B S, SINGH N P, et al. Dosimetric study of CO<sup>60</sup> source step size in uterine cervix intracavitary HDR brachytherapy[J]. Brachytherapy, 2019, 18(2): 180-185.
- [15] 王先良, 吴俊翔, 袁珂, 等. 驻留点权重标准差与施源器位置不确定性对宫颈癌患者剂量影响分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(4): 419-422.
- WANG X L, WU J X, YUAN K, et al. Dosimetric influence of dwell weight standard deviation and applicator displacement in patients with cervical cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2017, 26(4): 419-422.
- [16] 纪天龙, 赵晶, 李权, 等. 驻留时间离差限制参数对三维后装计划的影响分析[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(8): 900-904.
- JI T L, ZHAO J, LI Q, et al. Effects of dwell time deviation constraint parameters on three-dimensional afterloading plan[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(8): 900-904.
- [17] MANIKANDAN A, SARKAR B, RAJENDRAN V T, et al. Role of step size and max dwell time in anatomy based inverse optimization for prostate implants[J]. J Med Phys, 2013, 38(3): 148-154.
- [18] BALSDON A, TIMOTIN E, HUNTER R, et al. Stability of intracavitary applicator placement for HDR brachytherapy of cervix cancer[J]. J Med Imaging Radiat Sci, 2019, 50(3): 441-448.
- [19] ANDREW M, KIM Y, GINADER T, et al. Reduction of applicator displacement in MR/CT-guided cervical cancer HDR brachytherapy by the use of patient hover transport system [J]. J Contemp Brachytherapy, 2018, 10(1): 85.
- [20] SCHINDEL J, ZHANG W, BHATIA S K, et al. Dosimetric impacts of applicator displacements and applicator reconstruction-uncertainties on 3D image-guided brachytherapy for cervical cancer[J]. J Contemp Brachytherapy, 2013, 5(4): 250.
- [21] YONG J S, UNG N M, JAMALLUDIN Z, et al. Dosimetric impact of applicator displacement during high dose rate (HDR) Cobalt-60 brachytherapy for cervical cancer: a planning study[J]. Radiat Phys Chem, 2016, 119: 264-271.

(编辑:陈丽霞)