

基于水模体验证自主设计新型阴道宫颈固定系统的位置准确性和重复性

胡健¹, 王陆州¹, 陈心², 陈嘉羽², 昌胜¹, 徐细明²

1. 武汉大学人民医院放疗科, 湖北 武汉 430060; 2. 武汉大学人民医院肿瘤3科, 湖北 武汉 430060

【摘要】目的:基于水模体,用KVKV和CBCT验证自主设计的新型阴道宫颈固定系统的位置准确性和重复性。**方法:**新型阴道宫颈固定系统由体内和体外系统组成,体外系统由与底板固定的刻度尺、真空袋和腹部热缩膜构成;体内系统由圆柱形阴道固定器+宫腔管组成,内含4个钛合金标记点。水模体(40 cm×30 cm×20 cm)CT扫描层厚为1.25 cm,图像导入Monaco(v5.11)计划系统,分别以4个标记点为摆位等中心,在加速器分别行KVKV和CBCT验证,每个标记点两种模式各扫描5组(各20组图像),验证其位置准确性和重复性,并比较两种验证模式差异。**结果:**KVKV和CBCT总的垂直、头脚、左右方向位移分别为(0.10±0.05) cm vs (0.09±0.06) cm、(0.11±0.06) cm vs (0.10±0.05) cm、(-0.10±0.06) cm vs (-0.10±0.05) cm,两种验证模式的差异无统计学意义($P>0.05$)。位置偏差的绝对值最大值为0.2 cm(频率≤17.5%),其余的偏差绝对值均≤±0.1 cm。KVKV与CBCT偏差的差值均≤±0.1 cm。**结论:**自主设计的新型阴道宫颈固定系统具有良好的位置准确性和重复性。KVKV验证相对于CBCT验证具有分辨率高、伪影小和时间短的优势,推荐优先使用KVKV进行验证,若需再行CBCT局部验证。

【关键词】阴道宫颈固定系统;自主设计;水模体;验证

【中图分类号】R318;R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2023)11-1327-05

Verification of position accuracy and repeatability of a self-designed vaginal cervical immobilization device: a water phantom study

HU Jian¹, WANG Luzhou¹, CHEN Xin², CHEN Jiayu², CHANG Sheng¹, XU Ximing²

1. Department of Radiation Oncology, Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan 430060, China; 2. the Third Department of Oncology, Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan 430060, China

Abstract: Objective To verify the position accuracy and repeatability of a novel self-designed vaginal cervical immobilization device using KVKV and CBCT based on water phantom. **Methods** The novel vaginal cervical immobilization device consists of *in vivo* and *in vitro* systems. The *in vitro* one consists of a scale fixed with the base plate, a vacuum bag and an abdominal heat shrinkable film, and the *in vivo* consists of a cylindrical vaginal fixator and a vaginal tube containing 4 titanium alloy marker. The CT image obtained with a scanning thickness of 1.25 cm and a 40 cm×30 cm×20 cm phantom was imported into the Monaco (v5.11) system. Four marked points were taken as isocentric to perform KVKV and CBCT verifications at the linac accelerator. Each marked point was scanned in 5 groups of two modes (20 images each) to verify its position accuracy and repeatability. The differences between the two verification modes were compared. **Results** The total vertical, longitudinal, lateral displacements of KVKV and CBCT were (0.10±0.05) cm vs (0.09±0.06) cm, (0.11±0.06) cm vs (0.1±0.05) cm, (-0.10±0.06) cm vs (-0.10±0.05) cm, respectively, and there was no statistical difference between the two verification modes ($P>0.05$). The maximum absolute value of the setup deviation was 0.2 cm (frequency ≤ 17.5%), and the absolute values of the rest of the deviation were ≤±0.1 cm. The difference of setup deviation between KVKV and CBCT was ≤±0.1 cm. **Conclusion** The self-designed vaginal cervical immobilization device has good position accuracy and repeatability. KVKV verification has the advantages of higher resolution, smaller artifacts and shorter time as compared with CBCT. It is recommended to use KVKV for verification. If necessary, CBCT should be used for local assistant verification.

Keywords: vaginal cervical immobilization device; self-designed; water phantom; verification

【收稿日期】2023-05-18

【基金项目】湖北省重点实验室开放项目(2021KFY016)

【作者简介】胡健, 硕士, 研究方向: 放射治疗, E-mail: tjhujian@163.com

【通信作者】徐细明, 博士, 主任医师, 研究方向: 肿瘤治疗, E-mail: doctorxu120@yahoo.com.cn

前言

宫颈癌是一种常见的妇科恶性肿瘤,体外放疗合并体内近距离治疗(Brachytherapy, BT)是目前主流的治疗模式^[1-2]。BT的优势在于其极快的剂量跌落,每毫米跌落可达20%^[3],理论上能最大限度地保护周围正常组织;但BT也存在一定的局限性,如其最大的优势(快速的剂量跌落)也会带来困扰:相应放射源放置的位置准确性有可能带来较大的剂量偏差,可能对靶区和危及器官造成12%和21%~26%的剂量误差率^[4]。目前立体定向放疗(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT)在头、肺部等得到大

量临床运用^[5-6],在宫颈癌二程局部推量的应用较少,主要基于单一阴道填充物^[7]或简易固定系统^[8]。鉴于此,本研究自主设计阴道宫颈固定系统(专利号:ZL 2020 2 1694031.9),在宫颈癌外照射(特别是二程加量治疗)时能同时满足模拟定位、治疗摆位和位置复位的高精度要求(图1)。本研究基于水模体,结合直线加速器(23IX, Varian, USA)机载图像引导模式:KVKV和CBCT验证,检验该固定系统的准确性和重复性,比较两种位置复位模式,以对该固定系统进行前期研究。

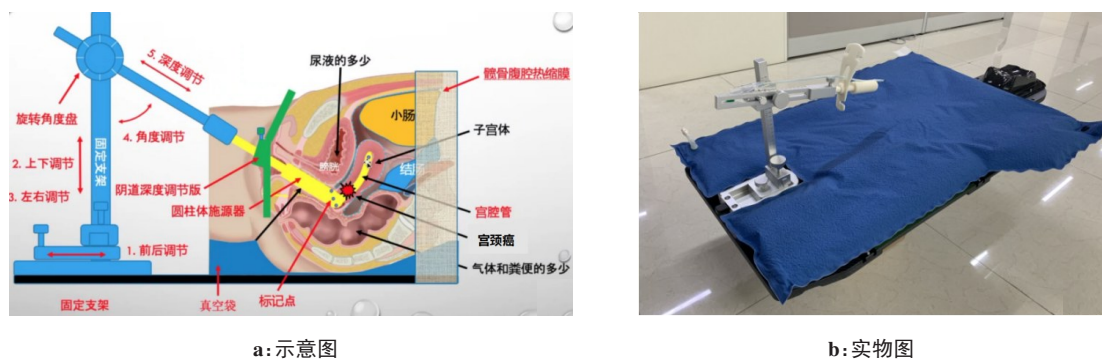


图1 阴道宫颈固定系统示意图和实物图
Figure 1 Schematic and physical pictures of vaginal cervical immobilization device

1 材料与方法

1.1 宫颈癌固定器系统

固定系统分为体外和体内固定系统。体外系统主要由固定体架及金属制带刻度装置构成,具体可进行底座前后、上下、左右调节,旋转角度、深度调节等(图1a)。

体内系统由3D打印而成的塑料制圆柱形固定装置,圆柱形施源器的尺寸可定制,一般选择直径30 cm,4个钛合金标记点(命名为Marker1、2、3、4)直径为2 cm,其中3个Marker位于圆柱体顶端,呈等腰直角三角形分布,第4个Marker位于宫腔管末端(图2)。

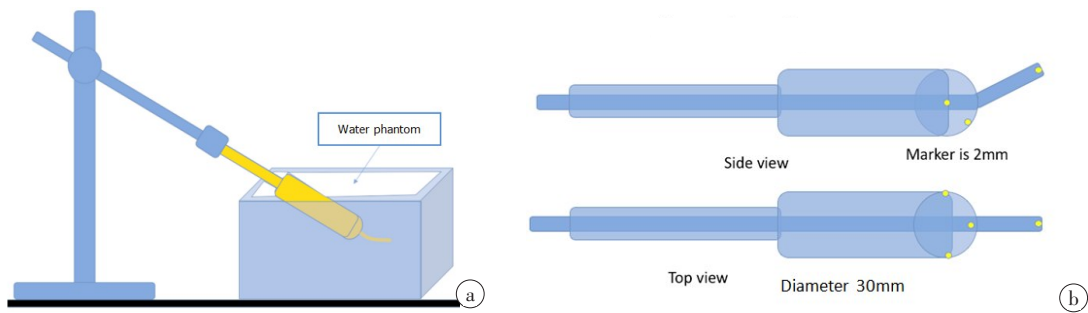


图2 宫颈癌固定系统(a)和圆柱体(b)示意图
Figure 2 Schematic diagrams of vaginal cervical immobilization device (a) and cylinder (b)

1.2 水模体CT扫描及计划系统多中心模拟计划设计

水模体为刚性物体,在CT扫描和加速器机载图像引导时,水模体置于扫描床(治疗床)都需要用水

平尺确保水平放置。本次水模体(40 cm×30 cm×20 cm)CT扫描采用CT(HISPEED, GE, USA),扫描参数:螺距 0.562:1.000,速度 11.25 cm/rot,层厚 1.25 cm。在

Marker附近区域的水模体表面激光灯十字交叉处贴3个铅点,CT图像的3个铅点连线交叉点为扫描参考点(Scan Reference Point, SRP);图像导入 Monaco (v5.11)计划系统,该次扫描的每一个Marker与SRP的距离(垂直方向Vrt、头脚方向Lng、左右方向Lat)为相应的固定数值。以4个Marker为等中心生成相应4个单野计划并在Mosaiq(Elekta, USA)网络系统添加KV-setup和CT射野,以备加速器打开其图像引导放疗(Image-Guided Radiotherapy, IGRT)程序。位置重复性研究:每个Marker分别扫描5次CBCT和KVKV,各自生成20组图像。

1.3 直线加速器图像引导

(1)将水模体根据模体表面十字交叉线(即SRP)摆位。(2)根据SRP和Marker的距离移动治疗床后进行IGRT。(3)单一Marker行KVKV和CBCT扫描一次后,换人将水模体重新摆位及配准图像,以模拟不同人员可能造成的人为因素影响;由于IGRT系统对射线源的阳极过热保护,一次不能完成所有扫描,需在不同时间分3次完成。(4)KVKV图像采集:采用Varian(On board imager v1.4, OBI)的图像引导系统,机架角为0°和90°,相应KV-Source为270°和0°,获取

两幅正交KV图像,图像配准选择Marker配准。CBCT图像采集:OBI系统三维图像引导,在100 kV、10~80 mA、20~25 ms曝光条件下,KV-Source处附加全滤线器(Full bowtie)从22°逆时针旋转至181°,生成一组分辨率为512×512,层厚为2.5 cm的三维图像。图像配准选择为Marker和圆柱体综合配准。

1.4 统计学分析

采用SPSS 19.0软件进行统计学分析,以均数±标准差表示,组间比较采用t检验,P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 阴道宫颈固定系统位置的准确性

KVKV和CBCT总的验证位移结果显示Vrt、Lng、Lat方向位移分别为(0.10±0.05) cm vs (0.09±0.06) cm、(0.11±0.06) cm vs (0.10±0.05) cm、(-0.10±0.06) cm vs (-0.10±0.05) cm,两种验证模式的差异无统计学意义(P>0.05)。根据Van Herk^[9]提出的公式($M=2.5\sigma+0.7\sigma$),针对摆位环节,该固定系统的外放最高为0.23 cm(KVKV的头脚和左右方向),详见表1。

表1 KVKV和CBCT验证位移结果及外放($\bar{x}\pm s$, cm)
Table 1 Verification results and margin of KVKV and CBCT (Mean±SD, cm)

等中心	KVKV 模式			CBCT 模式		
	垂直方向	头脚方向	左右方向	垂直方向	头脚方向	左右方向
标记点1	0.08±0.04	0.10±0.07	-0.10±0.07	0.08±0.04	0.08±0.04	-0.08±0.04
标记点2	0.10±0.07	0.10±0.07	-0.10±0.07	0.10±0.07	0.10±0.07	-0.10±0.07
标记点3	0.12±0.04	0.10±0.07	-0.12±0.04	0.10±0.07	0.12±0.04	-0.10±0.07
标记点4	0.10±0.07	0.12±0.04	-0.10±0.07	0.08±0.04	0.10±0.07	-0.12±0.04
总和	0.10±0.05	0.11±0.06	-0.10±0.06	0.09±0.06	0.10±0.05	-0.10±0.05
均方根	0.11	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
外放	0.22	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22

2.2 固定系统位置的重复性

综合两种位置复位方式:在Vrt方向≤0.1 cm的比例为87.5%,0.2 cm的比例为12.5%;在Lng方向和Lat方向0.2 cm的比例均为17.5%,≤0.1 cm的比例为82.5%(图3a)。在同一方向该系统位置偏差具有大比例的同向性(图3b)。

2.3 KVKV和CBCT的比较

所有Marker的同一分次内的KVKV与CBCT偏差的差值,在3个方向均≤±0.1 cm。在Vrt方向偏差为0的频数为10(50%),其余偏差为±0.1 cm;在Lng

和Lat方向偏差为0的频数为9(45%)和10(50%),其余偏差为±0.1 cm。详见图4。

3 讨论

在该阴道宫颈固定系统的辅助下,本研究的KVKV和CBCT都体现了较高的位置准确性和重复性,绝对位移偏差最大为0.2 cm,且出现的概率较小,Vrt、Lng和Lat方向0.2 cm绝对位移偏差的比例分别为12.5%、17.5%和17.5%。同一分次的KVKV与CBCT位移偏差的差值≤±0.1 cm,两种验证模式在位

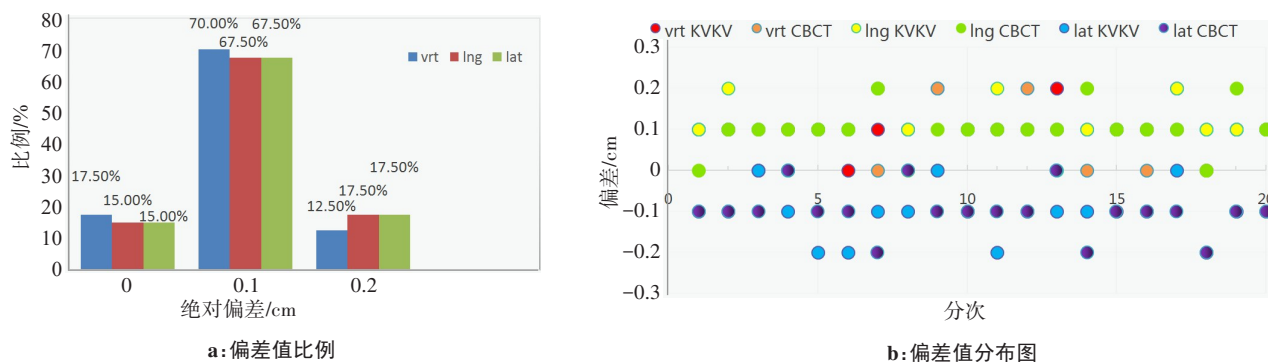


图3 两种验证复位模式位置偏差的重复性

Figure 3 Repeatability of position deviations in two verification modes

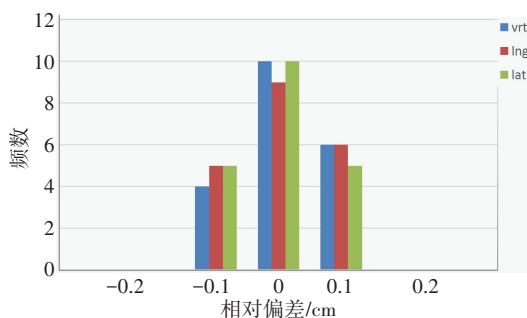


图4 KVKV与CBCT摆位偏差的差值分布

Figure 4 Difference distribution of set-up deviation between KVKV and CBCT

移偏差结果相近,差异没有统计学意义。Oehler等^[10]发现基于金标的二维KVKV验证和三维CBCT验证在盆腔部位的前列腺癌应用中没有明显差异,相辅相成能更好服务于临床,本研究结果与之类似。

PTV外放已从IGRT时代之前的1.0 cm降至IGRT时代的0.5 cm^[11-13]。对于盆腔部位(宫颈癌、前列腺癌等)放疗的PTV范围,主要是由于机构间的技术问题和IGRT方式,几乎没有达成一致意见。本研究中,因为本单位的治疗床不具备六维移动功能,而且水模体为刚性物体,可以避免旋转的因素,只分析3个平移方向的偏差。该阴道宫颈固定体架系统的外放最大为0.23 cm,这里的随机摆位偏差差异来源主要包括不同人员的摆位习惯以及在图像配准时的认知差异。在临床中,患者为非刚性,会存在6个维度的偏差因素。Langer等^[14]指出当旋转 $\leq \pm 5^\circ$ 时,等中心位于GTV/CTV(PTV)的几何中心时,外放0.5 cm得来的PTV基本能全部覆盖GTV/CTV旋转的可能运动区域,在SBRT临床应用过程中,靶区等中心肯定置于靶区几何中心,且在该固定系统辅助下能把旋转偏差控制在接受范围内。Khan等^[15]报道CTV-PTV的外放为前后左右方向1.0 cm,头脚方向1.5 cm,远大于本研究的结果,可能原因一是本研究的随机偏

差不包括靶区勾画(影响可能最大)和分次内运动;二是该固定系统位置的准确性和高重复性。

目前主流的放疗患者从定位到治疗,会经过CT模拟定位、加速器治疗摆位和IGRT系统引导的位置验证复位。对于体部放疗(如肺、肝、肾、前列腺、膀胱、直肠、宫颈癌等),呼吸、器官充盈、蠕动等带来的运动管理方案有主动呼吸控制系统^[16-17]、深吸气屏气^[18-19]、膀胱测量仪^[20-21]等。在宫颈癌、前列腺癌等盆腔部位的放疗中,治疗前固定时间喝定量的水(如治疗前1 h喝500 mL水)和直肠排空成为目前应用较多的其中一种简单的运动管理方案^[22-24],这些都是对于危及器官的运动管理,迄今对于靶区的运动管理甚少,简易的阴道填充物由于没有和体外固定系统成为关联的一个整体,所以可能存在治疗前位置复位时,需要多次调整才能达到临床可接受的位置^[7]。Sethi等^[25]研究认为外照射完全可以达到内照射的剂量要求,且相对内照射更易操作。本研究的创新在于整个固定系统分体外和体内,独立固定且是一个整体,能实现在定位、摆位和复位阶段,患者位置的高准确性和重复性;但具体的患者临床数据待收集和

研究。

综上所述,自主设计的新型阴道宫颈固定系统具有良好的位置准确性和重复性,KVKV验证相对于CBCT具有分辨率高、伪影小和时间短的优势,推荐优先使用KVKV进行验证,若需再行CBCT局部验证。

【参考文献】

- [1] Lee LJ, Das IJ, Higgins SA, et al. American Brachytherapy Society consensus guidelines for locally advanced carcinoma of the cervix. Part III: low-dose-rate and pulsed-dose-rate brachytherapy [J]. Brachytherapy, 2012, 11(1): 53-57.
- [2] Wang JZ, Allen LX. Evaluation of external beam radiotherapy and brachytherapy for localized prostate cancer using equivalent uniform dose [J]. Med Phys, 2003, 30(1): 34-40.
- [3] Ryan J, Quan C, Ryan B, et al. Dosimetric feasibility of stereotactic body radiation therapy as an alternative to brachytherapy for definitive treatment of medically inoperable early stage endometrial cancer [J].

- Radiat Oncol, 2014, 9: 164.
- [4] Hegazy N, Pitter R, Kirisits C, et al. High-risk clinical target volume delineation in CT-guided cervical cancer brachytherapy: impact of information from FIGO stage with or without systematic inclusion of 3D documentation of clinical gynecological examination[J]. Acta Oncol, 2013, 52(7): 1345-1352.
- [5] Siddiqui F, Patel M, Khan M, et al. Stereotactic body radiation therapy for primary, recurrent, and metastatic tumors in the head-and-neck region[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 74(4): 1047-1053.
- [6] Onishi H, Shirato H, Nagata Y, et al. Stereotactic body radiotherapy (SBRT) for operable stage I non-small-cell lung cancer: can SBRT be comparable to surgery?[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 81(5): 1352-1358.
- [7] Omar M, Sarah K, Khan AJ, et al. External beam techniques to boost cervical cancer when brachytherapy is not an option-theories and applications[J]. Ann Transl Med, 2017, 5(10): 207.
- [8] Kubota Y, Ohno T, Kawashima M, et al. Development of a vaginal immobilization device: a treatment-planning study of carbon-ion radiotherapy and intensity-modulated radiation therapy for vaginal cervical cancer[J]. Anticancer Res, 2019, 39(4): 1915-1921.
- [9] Van Herk M, Remejer P, Rasch C, et al. The probability of correct target dosage: dose-population histograms for deriving treatment margins in radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2000, 47(4): 1121-1135.
- [10] Oehler C, Lang S, Dimmerling P, et al. PTV margin definition in hypofractionated IGRT of localized prostate cancer using cone beam CT and orthogonal image pairs with fiducial markers[J]. Radiat Oncol, 2014, 9: 229.
- [11] Crehan G, Mirjole C, Gauthier M, et al. Clinical impact of margin reduction on late toxicity and short-term biochemical control for patients treated with daily on-line image guided IMRT for prostate cancer[J]. Radiother Oncol, 2012, 103(2): 244-246.
- [12] Al-Mamgani A, Kessels R, Janssen T, et al. The dosimetric and clinical advantages of the GTV-CTV-PTV margins reduction by 6 mm in head and neck squamous cell carcinoma: significant acute and late toxicity reduction[J]. Radiother Oncol, 2022, 168: 16-22.
- [13] Caruana K, Refalo N, Spiteri D, et al. PTV margin calculation for head and neck patients treated with VMAT: a systematic literature review[J]. 2022. 21, 4: 586-593.
- [14] Langer MP, Papiez L, Spiridovich S, et al. The need for rotational margins in intensity-modulated radiotherapy and a new method for planning target volume design[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 63(5): 1592-1603.
- [15] Khan A, Jensen LG, Sun S, et al. Optimized planning target volume for intact cervical cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 83(5): 1500-1505.
- [16] Wong JW, Sharpe MB, Jaffray DA, et al. The use of active breathing control (ABC) to reduce margin for breathing motion[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1999, 44(4): 911-919.
- [17] Wang W, Purdie TG, Rahman M, et al. Rapid automated treatment planning process to select breast cancer patients for active breathing control to achieve cardiac dose reduction[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 82(1): 386-393.
- [18] Rosenzweig KE, Hanley J, Mah D, et al. The deep inspiration breath-hold technique in the treatment of inoperable non-small-cell lung cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2000, 48(1): 81-87.
- [19] Lee HY, Chang JS, Lee IJ, et al. The deep inspiration breath hold technique using Abches reduces cardiac dose in patients undergoing left-sided breast irradiation[J]. Radiat Oncol J, 2013, 31(4): 239-246.
- [20] Fedorkow DM, Dore S, Cotton A. The use of an ultrasound bladder scanning device in women undergoing urogynaecologic surgery[J]. J Obstet Gynaecol, 2005, 27(10): 945-948.
- [21] Claxton K, Appleyard R. Implementation of ultrasound bladder volume scanning for patients receiving intensity-modulated radiotherapy to the cervix or endometrium: clinical experiences from a United Kingdom radiotherapy department[J]. J Radiother Pract, 2017: 1-13.
- [22] 马建萍, 夏新舍, 潘闻燕, 等. 膀胱充盈状态对宫颈癌调强放疗子宫及危及器官的影响[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2019, 39(9): 652-657.
- Ma JP, Xia XS, Pan WY, et al. The impact of bladder filling status on the movement of uterus and the volume of organs at risk in intensity modulated radiotherapy of cervical cancer[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine Protection, 2019, 39(9): 652-657.
- [23] 张亮, 鞠永健, 王高仁, 等. 前列腺癌IMRT中膀胱充盈状态对靶区及OAR影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(5): 382-385.
- Zhang L, Ju YJ, Wang GR, et al. Impacts of bladder filling status on dosimetric parameters of target volume and OAR in intensity-modulated radiotherapy for prostate cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(5): 382-385.
- [24] Buchali A, Koswig S, Dinges S, et al. Impact of the lling status of the bladder and rectum on their integral dose distribution and the movement of the uterus in the treatment planning of gynaecological cancer[J]. Radiother Oncol, 1999, 52(1): 29-34.
- [25] Sethi RA, Jozsef G, Grew D, et al. Is there a role for an external beam boost in cervical cancer radiotherapy?[J]. Front Oncol, 2013, 3: 3.

(编辑:谭斯允)