

·临床研究·

## 第三代宫颈癌腔内联合组织间插植近距离放疗施源器模板的应用

周祥<sup>1</sup>, 黄晓丹<sup>2</sup>, 徐慧敏<sup>1</sup>, 欧阳翼<sup>2</sup>

(1. 湖南省益阳市中心医院肿瘤科, 湖南 益阳 413000; 2. 中山大学肿瘤防治中心放疗科, 广东 广州 510060)

**摘要:**【目的】评估第三代适用于局部晚期宫颈癌的腔内联合组织间插植近距离放疗(IC-ISBT)施源器模板, 以期提升治疗效果。【方法】对中山大学肿瘤防治中心在2023年01月至2023年10月期间收治的IB3-IVB期宫颈癌患者进行回顾性研究, 收集并分析这些患者接受外照射治疗前后的磁共振影像资料。根据外照射后肿瘤残留情况, 勾画出高危临床靶区(HR-CTV), 据此设计了一种第三代的IC-ISBT施源器模板。进一步比较使用该施源器模板(模板插植组)与传统徒手插植方式(徒手插植组)在治疗宫颈癌方面的剂量学和疗效差异。通过统计学方法分析两组数据, 以检验两种方法的有效性及其安全性。【结果】第三代施源器模板能够适配不同的宫颈结构, 优化针道布局。模板插植组肿瘤体积明显大于徒手插植组, 且具有统计学差异。在剂量学覆盖( $V_{100\%}$ )方面, 与徒手插植组相比, 模板插植组显示出显著的统计学差异, 表现出更优的剂量覆盖。同时, 第三代模板在直肠和乙状结肠的保护方面显示出优势, 潜在降低高剂量点, 而在膀胱的剂量学方面与徒手插植方法没有显著差异。两组间的宫颈原发灶缓解率差异无统计学意义。【结论】第三代IC-ISBT施源器模板设计科学合理, 尤其适用于肿瘤体积较大、分期较晚的患者。其操作简便, 重复性强, 在剂量分布和周围关键器官保护方面表现出明显优势, 具备作为常规治疗模板推广应用的潜力。

**关键词:** 宫颈癌; 近距离放疗(IC-ISBT); 施源器模板; 徒手插植; 剂量学

中图分类号: R737.33 文献标志码: A 文章编号: 1672-3554(2025)02-0354-07

DOI: 10.13471/j.cnki.j.sun.yat-sen.univ(med.sci).2025.0220

### Application of the Third-generation Intracavitary Combined With Interstitial Brachytherapy Applicator Template for Cervical Cancer

ZHOU Xiang<sup>1</sup>, HUANG Xiaodan<sup>2</sup>, XU Huimin<sup>1</sup>, OUYANG Yi<sup>2</sup>

(1. Department of Oncology, YiYang Central Hospital, YiYang 413000, China; 2. Department of Radiation Oncology, Sun Yat-sen University Cancer Center, Guangzhou 510060, China)

Correspondence to: OUYANG Yi; E-mail: ouyangy@sysucc.org.cn

**Abstract:**【Objective】To evaluate a third-generation applicator template for intracavitary combined with interstitial brachytherapy (IC-ISBT) suitable for locally advanced cervical cancer, aiming to improve therapeutic outcomes.【Methods】A retrospective study was conducted on patients with stage IB3-IVB cervical cancer treated at Sun Yat-sen University Cancer Center from January 2023 to October 2023. Magnetic resonance imaging data before and after external beam radiation therapy were collected and analyzed. According to the residual tumor after external beam radiation, high-risk clinical target volumes (HR-CTV) were delineated, based on which a third-generation IC-ISBT applicator template was designed. The dosimetric and therapeutic differences between using this applicator template (template implantation group) and traditional freehand interstitial implantation (freehand implantation group) were further compared. Statistical methods were used to analyze the data from both groups to test the efficacy and safety of the two approaches.【Results】The third-generation applicator template could accommodate different cervical structures and optimize needle path layout. The

收稿日期: 2024-08-02

录用日期: 2025-02-12

基金项目: 广州地区临床特色技术项目(2023P-TS26); 新锐肿瘤支持治疗课题研究项目(cphcf-2023-119)

作者简介: 周祥, 第一作者, 研究方向: 结直肠癌、宫颈癌等腹部肿瘤的治疗与研究, E-mail: 925888079@qq.com; 欧阳翼, 通信作者, 副主任医师, 研究方向: 宫颈癌放疗, E-mail: ouyangy@sysucc.org.cn

tumor volume in the template implantation group was significantly larger than in the freehand implantation group, showing statistical differences. In terms of dosimetric coverage ( $V_{100\%}$ ), the template implantation group exhibited significant statistical differences compared with the freehand implantation group, demonstrating superior dose coverage. Additionally, the third-generation template showed advantages in protecting the rectum and sigmoid colon by potentially reducing high-dose points, while there were no significant differences in bladder dosimetry between the two methods. The primary cervical lesion remission rates were similar between the two groups.【Conclusion】The third-generation IC-ISBT applicator template is scientifically and rationally designed, especially for patients with larger tumor volumes and later stages. It is easy to operate, highly reproducible, and shows significant advantages in dose distribution and protection of surrounding critical organs. The template has the potential to be widely applied as a routine treatment option.

**Key words:** cervical cancer; intracavitary combined with interstitial; brachytherapy applicator template; freehand insertion; dosimetry

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci),2025,46(2):354-360]

近距离放射治疗是局部晚期宫颈癌根治性放疗不可或缺的一个环节。腔内联合组织间插植近距离放疗(IC-ISBT)技术能够在宫颈中心区域实现高剂量辐射的同时,确保靶区剂量的适形覆盖<sup>[1]</sup>。随着三维图像引导下近距离放疗技术的发展,个体化施源器的放置已成为可能,这对提高放疗的精确度和患者的治疗体验至关重要<sup>[2]</sup>。然而,国外开发的IC-ISBT施源器模板并不完全适合中国女性患者的解剖特征,且成本较高<sup>[3]</sup>。国内多数医疗机构仍主要采用传统的徒手布针插植技术,该方法存在准确性和重复性不足的问题,患者的治疗体验也有待提升。因此,研发一款符合中国国情、操作简便、精度高的IC-ISBT施源器模板成为当务之急。在此背景下,我们的研究团队自行设计并改良了一款新型圆柱形多通道阴道后装施源器模板(Ⅲ号),于2023年获批实用新型专利(专利号:ZL202320280646.4)。与前代产品相比<sup>[4-5]</sup>,新一代模板在设计上更加人性化,考虑到了局部晚期宫颈癌患者常见的宫旁组织侵犯情况,提供更为精确的靶区覆盖,同时更好地保护正常组织。在设计新型施源器模板时,我们充分利用了先进的三维成像技术来指导模板的制作和使用,以达到更优的放疗效果。进一步地,我们进行了真实世界的病例对照分析,将新一代模板插植的患者治疗数据与传统徒手插植患者的数据进行了详细比较。通过分析剂量覆盖和近期治疗效果,我们得出了支持新模板推广应用的有力证据。这项工作不仅有助于提升宫颈癌治疗水平,还可以提高患者的生活质量及治疗满意度。

## 1 材料与方法

### 1.1 设计模板的病例选取

选择本研究机构在2023年01月至2023年10月初接诊的无远处转移的局部晚期宫颈癌IB3-IVB期(基于国际妇产科协会最新FIGO分期)的患者99例,其中,67例患者使用了我们的施源器模板进行插植放疗,而另外32例患者采用了徒手插植放疗。每位患者均接受了根治性同步放化疗,外照射处方剂量为45~50 Gy分25次。所有参与者在接受外部照射之前和之后都进行了盆腔MRI平扫和动态增强扫描。本研究得到了中山大学肿瘤防治中心伦理委员会批准(伦理号:B2023-456-01)。

### 1.2 施源器模板设计流程

收集了患者在盆腔外照射后MRI显示的宫颈残留肿物边缘各个方向(顺时针3、6、9、12点)与宫颈管中心的最大距离。如果存在骶韧带侵犯,额外收集4、8点的数据。然后根据盆腔外照射前后MRI显示的肿物状况,逐个勾画出近距离放疗的高风险临床靶区(HR-CTV),并将其以宫颈管为中心堆叠到近距离放射治疗计划系统 Oncentra Brachytherapy Version4.6 (Nucletron, Elekta公司,瑞典)所提供的标准宫颈图像上,进行三维重建。然后依据宫腔管作为参考,测量并计算出覆盖85%以上患者HR-CTV的所有直、斜子宫通道的位置,据此设计一款新型多通道IC-ISBT阴道施源器模板,并采用先进的生物相容性材料制造。

### 1.3 多通道IC-ISBT阴道施源器模板设计

结合盆腔外照射后宫颈残留肿物的特性,依据

相应的HR-CTV叠加重建三维图<sup>[5]</sup>,设计了一种小胖圆柱体式多通道IC-ISBT源器模板(图1)。该模板圆柱部分长度为 $(9.5\pm 0.55)$ cm,直径2.0cm;顶部长径3.4cm、短径2.0cm,中心适配宫腔管。设计分为A、B、C三个层次,左右对称,12个通道(C1-C12)呈表盘状排列,同时在2至4点和8至10点之间扩展6个B层孔(B1-B6)及3个A层孔(A1-A3)。根据宫旁浸润程度,自行旋转选择,结合尾部硅胶底板侧孔,可以实现对宫旁肿物不同角度的插植。设计的AB侧孔放射源有效治疗半径为0.5cm,3点和9点方向的有效治疗范围为2.2cm。研究显示,89%的患者在3点处和87%的患者在9点处的残留肿瘤未达盆壁,均在2.2cm范围内。因此,该模板可为85%以上的患者提供有效治疗剂量。基于实践经验,小胖基础针道A2B3适用于宫旁浸润未达盆壁的宫颈癌,而特殊针道双侧B1B6则适合膀胱后壁及尿道、直肠侵犯的宫颈癌。该施源器模板于2023年获得实用新型专利(专利号:ZL202320280646.4)并已成功量产。

#### 1.4 临床应用

在2023年01月至2023年10月期间,初诊并不具有远处转移的67例II B-IV B期宫颈癌患者(按照最新的FIGO分期)在改良的施源器模板引导下接受了IC-ISBT。所有参与者在治疗前已签署了知情同意书。根据妇科检查结果和盆腔MRI图像,确定残留肿瘤的情况,设计子宫通道,将插针放入施源器模板的预定位置,并在手术室将带针模具与宫腔管置入患者阴道中,然后进行CT扫描。之后调整针的深度以适应肿瘤的位置,进行第二次扫描,数据导入计划系统,进行靶区勾画和计划设计,评估后执行治疗。处方剂量和评价方法均依照本团队的先前研究以及国际标准<sup>[6-7]</sup>。

#### 1.5 评价方法

挑选进行了徒手插植后装放疗的32例II B-IV A期宫颈癌患者(FIGO最新分期),并对两组在剂量覆盖和近期疗效上进行比较。通过剂量体积参数图记录靶区和危及器官的剂量数据,并结合盆腔MRI复查影像进行效果评估,研究符合RECIST标准。本研究基于真实世界临床应用的数据进行回顾性剂量分析和疗效评估。

#### 1.6 统计处理

对早期病例的临床特征和残留肿物情况进行

描述性统计。使用SPSS软件,对后期应用病例两组间的临床特征、疗效评价和剂量数据进行比较,分类变量采用卡方检验或Fisher精确检验,连续变量采用 $t$ 检验或 $U$ 检验, $P<0.05$ 视为有统计学意义。

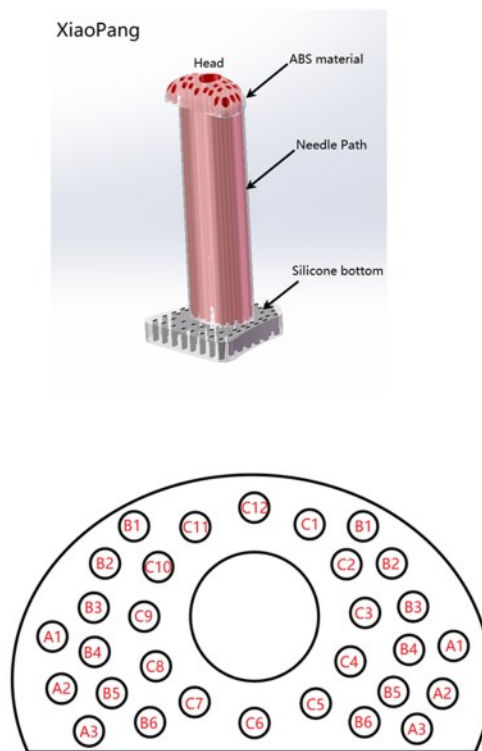


图1 小胖圆柱体式多通道IC-ISBT源器模板  
Fig. 1 Cylindrical multichannel IC-ISBT source template of Xiao Pang

## 2 结果

99例IB3-IV B期宫颈癌患者,其中67例患者使用了我们的施源器模板进行插植放疗,而另外32例患者采用了徒手插植放疗。对比分析显示,两组患者在年龄、病理类型及分期等临床特征上差异无统计学意义( $P>0.05$ ;表1)。在放疗过程中,模板插植组共进行了339次后装放疗,徒手插植组则进行了163次,所有放疗过程均顺利完成,未出现脱靶或严重不良反应。

与徒手插植组相比,模板插植组入组患者相对偏晚FIGO 2018分期( $P=0.1815$ ),且HR-CTV Volume明显更大( $P<0.01$ )。两组患者的HR-CTV  $D_{90\%}$ 均满足处方剂量要求且差异无统计学意

义,但模板插植组的 $D_{98\%}$ ,HR-CTV  $V_{100\%}$ 明显更高( $P=0.03, P<0.01$ )。在危及器官的剂量控制方面,两组的膀胱、直肠和乙状结肠 $D_{2\text{cm}^3}$ 均满足限量要求( $P>0.05$ ),但模板插植组的直肠 $D_{0.1\text{cm}^3}$ 和乙状结肠 $D_{0.1\text{cm}^3}$ 值相对较低( $P<0.01$ ;表2)。

最终,在疗效方面,两组的宫颈原发灶客观缓解率均超过96%,其中,完全缓解率分别为49.2%(33/67)和53.1%(17/32),部分缓解率分别为47.8%(32/67)和43.8%(14/32),这些差异无统计学意义( $P=0.8786$ ;表1)。

表1 99例IB3-IVB期宫颈癌患者近距离放疗不同插植模式的临床特征及疗效评价对比

Table 1 Clinical characteristics and efficacy evaluation comparison of different implantation modes for brachytherapy in 99 patients with stage IB3-IVB cervical cancer

	Template implantation group (n=67)	Freehand implantation group (n=32)	Chi-square value	P value
Pathological type				
Squamous cell carcinoma	65	31		
Adenocarcinoma	2	1		
Other	0	0		
FIGO 2018 staging			8.861 3	0.181 5
I B3	1	0		
II B	9	4		
III A	2	1		
III B	1	2		
III C	34	21		
IV A	6	4		
IV B	12	0		
Efficacy evaluation <sup>a</sup>			0.265 5	0.875 7
CR	33	14		
PR	32	17		
SD/PD	2(SD)	1(PD)		
Age	57	56	1 029 <sup>b</sup>	0.748

FIGO stands for the international federation of gynecology and obstetrics; CR indicates complete response; PR denotes partial response; SD signifies stable disease; PD represents progressive disease; a: The evaluation of gynecological examinations and cervical MRI results conducted 3 months after treatment was based on solid tumor efficacy evaluation criteria; b: The Mann-Whitney  $U$  value was obtained by performing a  $U$  test on the median ages of the two groups.

### 3 讨论

宫颈癌是在全球及中国女性群体中均不容忽视的重要公共卫生问题,在中国女性中发病率排第4,死亡率第7<sup>[8-9]</sup>。大多数患者确诊时已处于局部晚期,主要接受根治性同步放化疗,其中近距离放疗对疗效至关重要<sup>[10]</sup>。IC-ISBT技术是当前主流,结合腔内后装和组织间插植后装治疗的优点,不仅

确保肿瘤中心接受高剂量辐射,同时使靶区剂量分布更加适形,并降低危及器官的辐射剂量。

施源器的精确置入是宫颈癌近距离治疗成功的关键<sup>[11]</sup>。在实施术后阴道内照射前,必须进行妇科和盆腔检查,以确定阴道残端状态、形态和长度。ABS建议使用最大尺寸的阴道柱状或卵圆形施源器贴合阴道残端,以实现最佳剂量分布<sup>[12]</sup>。近年来,国外IC-ISBT模板经历了从MUPIT、

表2 99例IB3-IVB期宫颈癌患者近距离放疗不同插植模式下靶区和危及器官的剂量参数对比  
**Table 2 Comparison of dose parameters for target areas and organs at risk under different implantation modes in 99 cases of stage IB3-IVB cervical cancer patients receiving brachytherapy**

Dose parameters	Template implantation group (n=67)	Freehand implantation group (n=32)	t value	P value
<b>HR-CTV</b>				
Volume	87.94±35.62	69.55±27.94	6.16	<0.01
D <sub>90%</sub> /cGy	637.74±40.84	633.35±25.18	1.44	0.15
D <sub>98%</sub> /cGy	541.84±41.09	535.67±32.27	1.79	0.03
V <sub>100%</sub> /%	94.15±2.69	93.51±2.27	2.71	<0.01
EQD2/cGy	872.05±69.94	862.6±48.10	1.72	0.08
<b>Bladder</b>				
D <sub>2 cm<sup>3</sup></sub> /cGy	472.4±63.51	471.78±72.45	0.09	0.92
D <sub>1 cm<sup>3</sup></sub> /cGy	505.59±62.15	509.77±67.59	-0.65	0.51
D <sub>0.1 cm<sup>3</sup></sub> /cGy	578.16±91.40	539.95±98.96	-0.59	0.55
EQD2/cGy	741.00±132.95	738.83±171.86	0.13	0.88
<b>Rectum</b>				
D <sub>2 cm<sup>3</sup></sub> /cGy	416.72±64.28	413.12±68.95	0.54	0.58
D <sub>1 cm<sup>3</sup></sub> /cGy	450.79±62.72	457.00±65.98	-0.98	0.32
D <sub>0.1 cm<sup>3</sup></sub> /cGy	516.61±72.12	539.85±80.88	-3.07	<0.01
EQD2/cGy	606.59±138.62	598.63±142.36	0.57	0.56
<b>Sigmoid colon</b>				
D <sub>2 cm<sup>3</sup></sub> /cGy	353.69±95.76	366.78±67.62	-1.62	0.1
D <sub>1 cm<sup>3</sup></sub> /cGy	392.89±95.13	410.47±71.02	-2.13	0.03
D <sub>0.1 cm<sup>3</sup></sub> /cGy	478.18±110.89	509.19±107.83	-2.76	<0.01
EQD2/cGy	481.38±171.88	498.21±135.94	-1.09	0.27

HR-CTV refers to the high-risk clinical target volume; D<sub>x%</sub> indicates the dose received by x% of the HR-CTV volume; V<sub>100%</sub> represents the percentage of the target volume that receives 100% of the prescribed dose; EQD2 is the equivalent dose in 2 Gy; and D<sub>x cm<sup>3</sup></sub> refers to the dose received by x cm<sup>3</sup> of the organ at risk.

Syed-Neblett 到现代的 Vienna I/II、Utrecht 和 Venezia 施源器等多次改进<sup>[13-14]</sup>。Venezia I 施源器基于环形腔内施源器,通过头端圆环孔引导平行于宫腔管的插植针,可治疗宫旁 3 cm 的肿瘤;研究表明,它比单纯腔内施源器能更有效地覆盖靶区剂量并降低 OAR 剂量。针对远端宫旁浸润的肿瘤,Venezia II 施源器增加了斜孔设计,引导成 20° 斜角的插植针。2017 年应用的 Venezia 施源器结合尾部会阴模板,实现多角度插植针导入,适用于多种影像引导系统。然而,这些模板主要基于西方人体型设计,中国女性体型和阴道尺寸较小,不完全适用。此外,模板价格昂贵且为一次性使用,增加了治疗

费用。

目前,国内大部分中心依赖徒手插植技术进行组织间插植。徒手插植虽可根据个体情况灵活布针,但操作难度大、依赖医生经验,准确性和可重复性较差,针道移位风险高,创伤较大,患者体验不佳。因此,3D 打印技术在宫颈癌近距离治疗中的应用逐渐兴起<sup>[15-17]</sup>。例如,Li 等<sup>[18]</sup>通过 3D 打印模具对 IV A 期宫颈癌患者进行治疗,显示出其潜在疗效。侯晓荣等<sup>[12]</sup>利用 3D 打印技术制作个体化施源器,使之与阴道残端贴合良好。王凤玫等<sup>[19]</sup>则认为,3D 打印模型能有效指导个体化治疗。两种插植方式在宫颈原灶的近期疗效上均无显著差异,均

可实现95%以上的客观缓解率。

研究基于真实世界数据,比较了施源器模板插植与徒手插植在IC-ISBT中的应用效果。相比徒手插植,施源器模板插植具有以下优点:无需阴道壁插植或填塞,可缩短操作时间,减轻患者痛苦;插植针固定性高,不易移位,提升操作准确性和可重复性;插植针位置明确,降低接针错误率。分析显示,即使模版插植组患者肿瘤分期偏晚,HR-CTV Volume更大,两种插植方式在HR-CTV  $D_{90\%}$ 剂量覆盖上差异无统计学意义,但模板插植组的HR-CTV  $D_{98\%}$ 和HR-CTV  $V_{100\%}$ 明显更高。模板插植组的直肠 $D_{0.1\text{cm}}$ 和乙状结肠 $D_{0.1\text{cm}}$ 值相对较低,更好保护直肠和乙状结肠。宫颈原发灶近期疗效方面,两种插植方式均可达到96%以上的缓解率,差异无统计学意义。

多通道阴道施源器模板设计合理,充分实现腔内联合插植放疗的优势,与徒手插植疗效相当,能满足临床剂量要求,直肠,乙状结肠高剂量受量相对更小,更好保护危及器官,靶区剂量覆盖率高,操作简单,时间短,患者痛苦小,安全可靠,适用于临床。模板操作简便,准确性和可重复性强,利于推广,提高工作效率;插植时间短,创伤风险小,提高患者依从性;造价低,可量化生产,减轻患者经济负担。而且,与前1、2代产品相比<sup>[4-5]</sup>,小胖针对巨大肿瘤或宫旁浸润到盆壁、膀胱及直肠的患者,该模板在布针范围及靶区剂量覆盖上,以及保护危器官更加具有优势。期待通过更大规模的临床研究,以及后期副作用和疗效追踪,明确其作为常规模板的应用价值。

#### 参考文献

- [1] Holschneider CH, Petereit DG, Chu C, et al. Brachytherapy: a critical component of primary radiation therapy for cervical cancer: from the Society of Gynecologic Oncology (SGO) and the American Brachytherapy Society (ABS) [J]. *Brachytherapy*, 2019, 18(2): 123-132.
- [2] Ling CC, Spiro IJ, Kubiawicz DO, et al. Measurement of dose distribution around Fletcher-Suit-Delcos colpostats using a Therados radiation field analyzer (RFA-3) [J]. *Med Phys*, 1984, 11(3): 326-330.
- [3] Mourya A, Aggarwal LM, Choudhary S. Evolution of brachytherapy applicators for the treatment of cervical cancer [J]. *J Med Phys*, 2021, 46(4): 231-243.
- [4] 凌宝珍, 麦苗青, 曹新平, 等. 插植针植入棒在妇科肿瘤术后残端近距离腔内放疗的应用[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2022, 31(7): 622-627.  
Ling BZ, Mai MQ, Cao XP, et al. Clinical application of new self-designed implanting applicator in vaginal three-dimensional intracavitary brachytherapy after hysterectomy for gynecological cancer [J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2022, 31(7): 622-627.
- [5] 欧阳翼, 黄晓丹, 陈佛平, 等. 宫颈癌腔内联合组织间插植近距离放疗施源器模板的应用[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2024, 33(2): 137-144.  
Ouyang Y, Huang XD, Chen FP, et al. Design and clinical application of intracavitary-interstitial brachytherapy applicator template in locally advanced cervical cancer [J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2024, 33(2): 137-144.
- [6] Pötter R, Haie-Meder C, Limbergen EV, et al. Recommendations from gynaecological (GYN) GEC ESTRO working group (II): concepts and terms in 3D image-based treatment planning in cervix cancer brachytherapy-3D dose volume parameters and aspects of 3D image-based anatomy, radiation physics, radiobiology [J]. *Radiother Oncol*, 2006, 78(1): 67-77.
- [7] Hellebust TP, Kirisits C, Berger D, et al. Recommendations from Gynaecological (GYN) GEC-ESTRO Working Group: considerations and pitfalls in commissioning and applicator reconstruction in 3D image-based treatment planning of cervix cancer brachytherapy [J]. *Radiother Oncol*, 2010, 96(2): 153-160.
- [8] Han B, Zheng R, Zeng H, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2022 [J]. *J Natl Cancer Cent*, 2024, 4(1): 47-53.
- [9] 何婵婵, 曾典, 张玥, 等. 全球各国宫颈癌筛查年龄范围的分析与讨论[J]. *现代预防医学*, 2024, 51(4): 630-639.  
He CC, Zeng D, Zhang Y, et al. Analyses and discussion of age ranges for cervical cancer screening in countries worldwide [J]. *Modern Prevent Med*, 2024, 51(4): 630-639.
- [10] Zhang SW, Sun KX, Zheng RS, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2015 [J]. *J Natl Cancer Cent*, 2021, 1(1): 2-11.
- [11] 赵秀娟, 吴海燕, 钟明松, 等. 宫颈癌近距离治疗中隐匿性子官穿孔研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2021, 30(7): 682-687.  
Zhao XJ, Wu HY, Zhong MS, et al. Study of occult uterine

- perforation in brachytherapy of cervical cancer [J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2021, 30(7):682-687.
- [12] 侯晓荣,于浪,单书灿,等. 子宫内膜癌单通道和六通道柱状施源器三维近距离照射的剂量学比较[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2015, 24(1):60-64.
- Hou XR, Yu L, Shan SC, et al. Dosimetric comparison between single-channel and six-channel vaginal cylinders with three-dimensional treatment planning in postoperative brachytherapy for endometrial carcinoma [J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2015, 24(1):60-64.
- [13] Dimopoulos JC, Kirisits C, Petric P, et al. The Vienna applicator for combined intracavitary and interstitial brachytherapy of cervical cancer: clinical feasibility and preliminary results[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2006, 66(1):83-90.
- [14] Mahantshetty U, Sturdza A, Naga Ch P, et al. Vienna- II ring applicator for distal parametrial/pelvic wall disease in cervical cancer brachytherapy: an experience from two institutions: Clinical feasibility and outcome [J]. *Radiother Oncol*, 2019, 141: 123-129.
- [15] 陈文娟,夏小艺,柏朋刚,等. 3D打印个体化施源器在宫颈癌治疗中的探索[J]. *生物医学工程与临床*, 2021, 25(5):575-579.
- Chen WJ, Xia XY, Bai PG, et al. Exploration of 3D printing individualized applicator in treatment of cervical cancer [J]. *Med Eng Phys*, 2021, 25(5):575-579.
- [16] 张婷,邱凌平,殷皓泽,等. 3D打印模具引导与徒手插植治疗宫颈癌剂量学比较[J]. *数理医药学杂志*, 2022, 35(11): 1592-1594.
- Zhang T, Qiu LP, Yin HZ, et al. Dosimetric comparison of three-dimensional printed template and free implantation in the treatment of cervical cancer [J]. *J Postgrad Med*, 2022, 35(11): 1592-1594.
- [17] Biltekin F, Akyol HF, Gültekin M, et al. 3D printer-based novel intensity-modulated vaginal brachytherapy applicator: feasibility study [J]. *J Contemp Brachytherapy*, 2020, 12(1): 17-26.
- [18] Li J, Xin M, Dang Y, et al. Pure interstitial brachytherapy using 3D-printed vaginal template for improved catheter tracks in treating cervical cancer [J]. *J Biomater Tissue Engineer*, 2017, 7(6):499-503.
- [19] 王凤玫,程惠华,冯静,等. 3D打印技术引导宫颈癌个体化近距离放疗应用研究[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2020, 27(12):1003-1007.
- Wang FM, Cheng HH, Feng J, et al. Clinical observation of 3D printing-guided three-dimensional brachytherapy for cervical cancer [J]. *Chin J Cancer Prev Treat*, 2020, 27(12): 1003-1007.

(编辑 孙慧兰)