



### 3D打印个性化模具在子宫内膜癌术后三维后装治疗中的剂量学研究

徐庆涛, 娄鹏荣, 周建良, 王彬冰, 任江平

#### 引用本文:

徐庆涛, 娄鹏荣, 周建良, 王彬冰, 任江平. 3D打印个性化模具在子宫内膜癌术后三维后装治疗中的剂量学研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2024, 44(5): 410–414.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112271-20230725-00019>

#### 您可能感兴趣的其他文章

##### Articles you may be interested in

#### 3D打印模板辅助CT引导<sup>192</sup>Ir组织间插植治疗复发妇科肿瘤的可行性分析

Feasibility of 3D-printing template-assisted and CT-guided <sup>192</sup>Ir interstitial brachytherapy in the treatment of recurrent gynecologic tumors

中华放射医学与防护杂志. 2021, 41(1): 56–61 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.01.012>

#### 非共面与共面模板辅助<sup>125</sup>I种子植入治疗胰腺癌术前剂量学对比

Preoperative dosimetric comparison between non-coplanar and coplanar template-assisted <sup>125</sup>I seed implantation for pancreatic cancers

中华放射医学与防护杂志. 2021, 41(1): 42–45 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.01.009>

#### 组织非均匀性对宫颈癌近距离治疗剂量评估影响研究

Effects of tissue heterogeneity on dose evaluation of brachytherapy for cervical cancer

中华放射医学与防护杂志. 2021, 41(7): 486–491 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.07.002>

#### 导航辅助CT引导放射性粒子治疗盆腔复发恶性肿瘤剂量学研究

Dosimetry evaluation of navigation system-assisted and CT-guided seed implantation in the treatment of recurrent malignant pelvic tumors

中华放射医学与防护杂志. 2021, 41(1): 50–55 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.01.011>

#### 一种可控制驻留时间变化幅度的后装放射治疗逆向优化算法的研究

A study on a method for restricting dwell time variation in brachytherapy plan optimization

中华放射医学与防护杂志. 2020, 40(11): 873–876 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2020.11.011>

# 3D 打印个体化模具在子宫内膜癌术后三维后装治疗中的剂量学研究

徐庆涛<sup>1</sup> 姜鹏荣<sup>1</sup> 周建良<sup>1</sup> 王彬冰<sup>2</sup> 任江平<sup>1</sup>

<sup>1</sup>宁波大学附属第一医院肿瘤放疗科, 宁波 315000; <sup>2</sup>浙江省肿瘤医院放射物理室, 杭州 310022

通信作者:任江平, Email:fyyrenjiangping@nbu.edu.cn

**【摘要】 目的** 探讨 3D 打印个体化模具辅助子宫内膜癌术后三维后装治疗中的剂量学优势。**方法** 回顾性选取宁波大学附属第一医院 21 例早期子宫内膜癌术后患者的三维后装治疗计划, 利用北京科霖众计划系统, 在已实施的个体化模具组基础上, 为每位患者设计虚拟单通道柱状施源器计划, 所有计划均采用三维逆向模拟退火的算法。比较两组计划靶区 90%、98% 和 100% 体积接受的最低剂量 ( $D_{90}$ 、 $D_{98}$ 、 $D_{100}$ ) 以及适形指数 (CI)、均匀度 (HI)、超剂量体积指数 (OI); 同时, 对比两组危及器官膀胱、直肠、小肠和尿道的 0.01、1、2 以及 5 cm<sup>3</sup> 所接受的最大剂量 ( $D_{0.01\text{ cm}^3}$ 、 $D_{1\text{ cm}^3}$ 、 $D_{2\text{ cm}^3}$  以及  $D_{5\text{ cm}^3}$ ) 差异。**结果** 两组计划都能满足临床需求。在靶区所受剂量方面, 两组计划靶区  $D_{90}$ 、 $D_{98}$ 、 $D_{100}$  没有明显差异, 但是个体化模具组靶区剂量的 CI、HI 均优于单通道组靶区, 而靶区 OI 指数小于单通道计划 ( $t=-3.21$ 、 $-5.99$ 、 $6.25$ ,  $P<0.05$ )。在危及器官所受剂量方面, 个体化模具组膀胱、直肠、尿道所受剂量  $D_{1\text{ cm}^3}$ 、 $D_{2\text{ cm}^3}$  和  $D_{5\text{ cm}^3}$  相比单通道组均有明显降低 ( $t=3.18$ 、 $3.21$ 、 $3.77$ 、 $7.97$ 、 $8.92$ 、 $10.92$ 、 $2.54$ 、 $3.46$ 、 $4.28$ ,  $P<0.05$ ); 小肠由于距离靶区比较远, 在两组计划中所受剂量差异不明显 ( $P>0.05$ )。**结论** 3D 打印个体化模具在子宫内膜癌术后三维近距离治疗中靶区均匀度、适形指数更优, 而且膀胱、直肠、尿道所受剂量更低, 具有推广价值。

**【关键词】** 3D 打印; 子宫内膜癌; 三维后装治疗

**基金项目:** 浙江省放射肿瘤学重点实验室开放课题 (2022ZJCCRAD07); 宁波市自然科学基金 (2017A610168)

## Dosimetric study on 3D printed individualized molds in postoperative three-dimensional brachytherapy for endometrial cancer

Xu Qingtao<sup>1</sup>, Lou Pengrong<sup>1</sup>, Zhou Jianliang<sup>1</sup>, Wang Binbing<sup>2</sup>, Ren Jiangping<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiation Oncology and Chemotherapy, First Affiliated Hospital of Ningbo University, Ningbo 315000, China; <sup>2</sup>Department of Radiation Physics, Zhejiang Cancer Hospital, Hangzhou 310022, China

Corresponding author: Ren Jiangping, Email:fyyrenjiangping@nbu.edu.cn

**【Abstract】 Objective** To explore the dosimetric advantages of 3D printed individualized molds in assisting postoperative three-dimensional brachytherapy (3D BT) for endometrial cancer. **Methods** The 3D BT plans of 21 postoperative patients with early-stage endometrial cancer at the First Affiliated Hospital of Ningbo University were retrospectively selected as the individualized mold group (the mold group). On this basis, virtual single-channel cylindrical applicator plans that employed a 3D inverse simulated annealing algorithm were designed for all the patients using the Beijing Colins Planning System

DOI:10.3760/cma.j.cn112271-20230725-00019

收稿日期 2023-07-25 本文编辑 董晓霞

引用本文:徐庆涛,姜鹏荣,周建良,等. 3D 打印个体化模具在子宫内膜癌术后三维后装治疗中的剂量学研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2024, 44(5): 410-414. DOI:10.3760/cma.j.cn112271-20230725-00019.

Xu QT, Lou PR, Zhou JL, et al. Dosimetric study on 3D printed individualized molds in postoperative three-dimensional brachytherapy for endometrial cancer[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2024, 44(5): 410-414. DOI:10.3760/cma.j.cn112271-20230725-00019.

(the single-channel group). Comparisons were made between the two groups of plans regarding the minimum doses exposed to 90%, 98%, and 100% of target area ( $D_{90}$ ,  $D_{98}$ , and  $D_{100}$ ), conformity index (CI), homogeneity index (HI), and overdose index (OI), as well as the maximum doses exposed to 0.01, 1, 2, and 5 cm<sup>3</sup> organs at risk (bladder, rectum, small intestine, and urethra) ( $D_{0.01\text{ cm}^3}$ ,  $D_{1\text{ cm}^3}$ ,  $D_{2\text{ cm}^3}$ , and  $D_{5\text{ cm}^3}$ ). **Results** Both groups met clinical requirements. For doses to target volumes, there was no significant difference in  $D_{90}$ ,  $D_{98}$ , and  $D_{100}$  between both groups, with the mold group demonstrating superior CI and HI but lower OI compared to the single-channel group ( $t = -3.21, -5.99, 6.25, P < 0.05$ ). Concerning the doses exposed to organs at risk, the mold group displayed significantly reduced  $D_{1\text{ cm}^3}$ ,  $D_{2\text{ cm}^3}$ , and  $D_{5\text{ cm}^3}$  for the bladder, rectum, and urethra compared to the single-channel group ( $t = 3.18, 3.21, 3.77, 7.97, 8.92, 10.92, 2.54, 3.46, 4.28, P < 0.05$ ). There was no significant difference in the doses exposed to the small intestine between both groups ( $P > 0.05$ ) due to the large distance from the small intestine to the target volumes. **Conclusions** 3D printed individualized molds exhibit advantages in terms of the homogeneity and conformity indices of target volumes in postoperative three-dimensional brachytherapy for endometrial cancer, accompanied by low doses exposed to the bladder, rectum, and urethra, thereby holding the potential for broader application.

**【Key words】** 3D printed; Endometrial cancer; Three-dimensional brachytherapy

**Fund programs:** Open Project of the Key Laboratory of Radiation Oncology in Zhejiang Province (2022ZJCCRAD07); Ningbo Natural Science Foundation (2017A610168)

子宫内膜癌是发生于子宫内膜的上皮性恶性肿瘤，是女性生殖道三大常见恶性肿瘤之一<sup>[1]</sup>。单通道施源器的模式是早期子宫内膜癌近距离放射治疗的常规手段<sup>[2-3]</sup>。由于传统单通道施源器结构单一，并且与阴道贴合不是紧密，导致后期不良反应比较大，尤其是外照射与近距离放射治疗相结合，患者的放射性直肠炎、膀胱炎的发生率相对较高<sup>[3]</sup>。3D 打印技术不仅被运用到工程机械专业，在骨科、影像科、泌尿科等临床学科中也逐渐被使用。本研究采用 3D 打印多孔道个体化模具施源器的模式，为更好地减轻子宫内膜癌近距离后装治疗不良反应提供一种新的优化治疗方案。

## 资料与方法

1. 临床资料：回顾性选取 2022 年 9 月至 2023 年 1 月在宁波大学附属第一医院进行三维近距离治疗早期子宫内膜癌患者 21 例，共计 63 份后装治疗计划。入组患者中位年龄 46.5 (22~67) 岁。纳入标准：接受子宫内膜癌手术，病理诊断明确患者；经过 MRI 或 PET-CT 检查，所有患者无远处转移；术前评估心肺功能正常，接受近距离放射治疗患者。排除范围：经影像学诊断，患者多发转移；患者不接受近距离治疗；患者有其他心肺功能疾病。本研究已通过宁波大学附属第一医院医学伦理委员会审核 (2023 研第 092RS 号)，治疗前患者均签署知情同意书。

2. 3D 模具准备和模拟定位模具准备：患者采取截石位平躺在治疗床，放射治疗医师首先进行妇科检查；然后根据患者情况选取合适的阴道模

具，之后再将预先样板模具填塞患者阴道，在 CT 扫描后传至北京科霖众后装治疗计划系统；由放射治疗医师勾画靶区；物理师通过预先设计通道，然后通过提取软件并 3D 打印出来，送至消毒备用。

模具制作：3D 模具是根据患者 CT 扫描后物理师首先设计，然后将患者定位影像 DICOM 数据导入 3D-Slicer 软件进行图像细节优化、再次分割以及三维模拟重建，经过 CAD 软件或者 Blender 软件进行优化调整，最后通过 Stratasys Objet J750 利用树脂材料打印模具雏形。该 3D 打印模具采用柱状体结构，初步设计周边紧贴模具壁 8 针道以及中心 1 管道，模具末端设计圆饼，方便固定使用。

模拟定位：①患者术前均行阴道冲洗以及灌肠准备后，由主管护师留置导尿。②后装治疗医师为患者消毒后放置 3D 打印个体化模具施源器，并根据靶区大小和剂量分布情况灵活调整实际针道的数目和位置。③经导尿管注入 150 ml 0.9% 的氯化钠溶液，送至大孔径 CT 扫描，扫描范围髂前上棘到坐骨结节下缘，扫描层厚 2.5 mm。④扫描后将 CT 传至北京科霖众后装治疗计划系统，之后把患者运送至后装治疗室等待。

3. 靶区勾画：在北京科霖众 TPS 计划系统完成靶区和危及器官的勾画，器官勾画遵循欧洲放射肿瘤学会近距离放疗学组 (GEC-ESTRO) 指南<sup>[4]</sup>及影像引导后装治疗工作小组推荐，融合磁共振成像 (MRI)，逐层勾画膀胱、直肠、小肠以及尿道。靶区包括高危临床靶体积 (HR-CTV) 定义为阴道上段 3 cm 处，阴道黏膜下 5 mm。

4. 治疗计划以及计划评价：处方剂量 700 cGy/次，共计 3 次，2 次/周。计划要求  $D_{90} \geq 100\%$  剂量曲线。利用北京科霖众计划系统设置好目标参数，模拟退火的逆向优化算法，采用数据图形结合 DVH、靶区以及各个危及器官参数优化。根据具体情况调整权重，减少危及器官受量。最终以医师判断为要求，将最终 3D 打印个性化模具组治疗计划进行临床中患者的后装治疗。

5. 单通道模拟计划设计：利用北京科霖众计划系统在已实施的个性化模具组基础上，物理师为每位患者设计虚拟单通道柱状施源器计划，处方剂量 700 cGy/次，共计 3 次，2 次/周。计划要求和个性化模具组剂量要求一致， $D_{90} \geq 100\%$  剂量曲线，所有计划均采用三维逆向模拟退火的算法。

6. 评价指标：靶区覆盖度 ( $D_{90}$ 、 $D_{98}$ 、 $D_{100}$ ) 表示靶区 90%、98%、100% 体积接受的最低剂量。靶区高量 ( $V_{150}$ 、 $V_{200}$ ) 表示临床靶区受量高于 150%、200% 处方剂量的体积。

靶区均匀指数 (homogeneity index, HI)：HI =  $(V_{100} - V_{150}) / V_{100} \times 100\%$  [5]。式中， $V_{100}$  和  $V_{150}$  临床靶区受量高于 150%、200% 处方剂量的体积；HI 值越大，说明靶区内均匀度越高，高剂量处方包绕体积越小。

靶区适形指数 (conformity index, CI)：CI =  $V_{100} / V_{tot}$ 。式中， $V_{100}$  为临床靶区受量高于 100% 处方剂量的体积； $V_{tot}$  为临床靶区总体积；CI 指数越高，说明 100% 处方剂量包裹临床靶区越多。

超剂量体积指数 (over index, OI)：OI =  $V_{200} / V_{tot}$  [5]。式中， $V_{200}$  为临床靶区受量高于 200% 处方剂量的体积； $V_{tot}$  为临床靶区总体积；OI 指数越高，说明临床靶区内高剂量体积越多。

危及器官  $D_{0.01 \text{ cm}^3}$ 、 $D_{1 \text{ cm}^3}$ 、 $D_{2 \text{ cm}^3}$  以及  $D_{5 \text{ cm}^3}$  为 0.01、1、2、5  $\text{cm}^3$  的危及器官所接受的最大剂量。

7. 统计学处理：使用 SPSS 23.0 软件进行统计学处理。靶区所受剂量  $D_{98}$ 、 $D_{100}$ 、CI、HI、OI 以及危及器官膀胱、直肠、尿道和小肠所受剂量经 Shapiro-wilk 检验符合正态分布，以  $\bar{x} \pm s$  表示，采用配对样本  $t$  检验进行组间比较。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

结 果

1. 靶区剂量比较：两组计划都能满足临床需

求  $D_{90} \geq 100\%$  剂量曲线，并且两组计划靶区在  $D_{98}$ 、 $D_{100}$  的处方剂量差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。单通道线模具组 CI、HI 明显低于个性化模具组 [ $(94.64 \pm 2.66)\% \text{ vs. } (95.35 \pm 2.67)\%$ ,  $t = 3.21$ ,  $P = 0.004$ ;  $(28.48 \pm 3.84)\% \text{ vs. } (34.21 \pm 6.20)\%$ ,  $t = 5.99$ ,  $P < 0.001$ ]。但是由于单通道线模可调节能力有限，临床靶区内高剂量体积多于个性化模具组，导致 OI 指数偏高，见表 1。

表 1 单通道线模组和个性化模具组靶区剂量学比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Table 1 Dosimetric comparison of target area between the single-channel and mold groups ( $\bar{x} \pm s$ )				
项目	单通道线模组	个性化模具组	$t$ 值	$P$ 值
$D_{90}$ (cGy)	666.80±49.12	666.80±49.66	0.03	0.989
$D_{98}$ (cGy)	562.45±55.39	569.62±43.09	-1.09	0.286
$D_{100}$ (cGy)	460.89±44.84	462.43±42.57	-0.29	0.775
CI (%)	94.64±2.66	95.35±2.67	-3.21	0.004
HI (%)	28.48±3.84	34.21±6.20	-5.99	<0.001
OI (%)	33.88±2.61	31.42±3.62	6.25	<0.001

注： $D_{90}$ 、 $D_{98}$ 、 $D_{100}$  分别表示靶区 90%、98% 和 100% 体积接受的最低剂量；CI. 适形指数；HI. 均匀度；OI. 超剂量体积指数

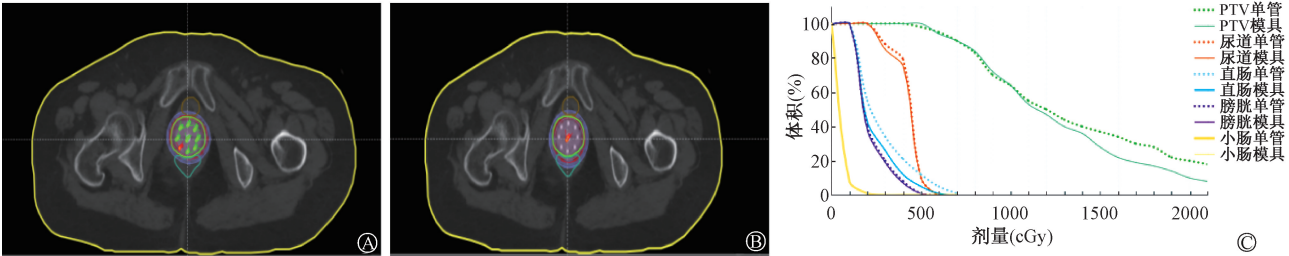
2. 靶区形态学比较：两组计划均采用相同算法以及处方剂量要求。单通道施源器组靶区适形度明显低于 3D 打印模具，单通道施源器高剂量部分累及直肠，从而导致所受直肠剂量高于 3D 模具组，模拟情况下单通道施源器组超剂量体积指数高于 3D 打印模具组，见图 1。

3. 危及器官剂量学比较：两组计划相比个性化模具组膀胱、直肠和尿道所受剂量  $D_{1 \text{ cm}^3}$ 、 $D_{2 \text{ cm}^3}$  和  $D_{5 \text{ cm}^3}$  明显比单通道组危及器官所受剂量低 ( $t = 3.18$ 、 $3.21$ 、 $3.77$ 、 $7.97$ 、 $8.92$ 、 $10.92$ 、 $2.54$ 、 $3.46$ 、 $4.28$ ,  $P < 0.05$ )；但是个性化模具组和单通道组的尿道  $D_{0.01 \text{ cm}^3}$  和小肠所受剂量差异无统计学意义，见表 2。

讨 论

3D 打印技术具有精准细化、独特个体化以及远程操作的优点，在临床医疗方面使用越来越广泛，如模拟软骨、血管、心脏瓣膜以及其他器官 [6]。而在后装治疗中，部分子宫颈癌切缘阳性或者宫旁复发患者以及偏中心的子宫颈癌患者，由于位置特殊，常规的施源器并不能很好地将靶区剂量包裹，3D 打印技术恰恰能解决这个问题 [7-9]。Qu 等 [10] 报道了 1 例复发性偏中心子宫颈癌患者，利用 3D 打印技术引导下进行组织间插植





注：绿色为靶区（PTV）；棕色为尿道；蓝色为直肠；红色为剂量曲线

图 1 3D 打印个性化模具辅助近距离后装治疗 A. 个性化模具组剂量分布；B. 模拟单通道施源器组剂量分布；

C. 两组计划 DVH 剂量图比较

Figure 1 3D printed individual mold-assisted brachytherapy A. Dose distribution in the mold group; B. Dose distribution in the single-channel group; C. DVH showing the comparison of doses between both groups of plans

表 2 单通道线模组和个性化模具组危及器官  
剂量学比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Table 2 Dosimetric comparison of organs at risk between the single-channel and mold groups ( $\bar{x} \pm s$ )

参数	单通道线模组	个性化模具组	t 值	P 值
膀胱 (cGy)				
$D_{0.01\text{ cm}^3}$	695.42±190.61	599.48±100.89	2.82	0.011
$D_{1\text{ cm}^3}$	462.83±97.18	425.20±95.30	3.18	0.005
$D_{2\text{ cm}^3}$	411.53±92.32	380.99±96.14	3.21	0.004
$D_{5\text{ cm}^3}$	334.84±91.51	309.41±95.61	3.77	0.001
直肠 (cGy)				
$D_{0.01\text{ cm}^3}$	681.24±109.47	606.42±82.10	2.62	0.016
$D_{1\text{ cm}^3}$	492.59±69.63	413.10±48.67	7.97	<0.001
$D_{2\text{ cm}^3}$	439.94±62.96	368.38±45.37	8.92	<0.001
$D_{5\text{ cm}^3}$	350.01±53.32	291.77±41.85	10.92	<0.001
尿道 (cGy)				
$D_{0.01\text{ cm}^3}$	661.77±147.82	635.68±123.4	1.76	0.095
$D_{1\text{ cm}^3}$	412.75±73.34	388.62±64.91	2.54	0.020
$D_{2\text{ cm}^3}$	348.19±66.45	323.79±67.71	3.46	0.003
$D_{5\text{ cm}^3}$	233.79±43.96	210.48±47.48	4.28	<0.001
小肠 (cGy)				
$D_{0.01\text{ cm}^3}$	595.38±93.18	585.14±116.48	0.62	0.545
$D_{1\text{ cm}^3}$	399.63±62.43	386.20±56.53	1.17	0.254
$D_{2\text{ cm}^3}$	278.20±31.37	267.05±46.20	1.41	0.175
$D_{5\text{ cm}^3}$	225.10±41.48	213.05±53.01	1.67	0.111

注： $D_{0.01\text{ cm}^3}$ 、 $D_{1\text{ cm}^3}$ 、 $D_{2\text{ cm}^3}$ 和 $D_{5\text{ cm}^3}$ 分别为单位0.01、1、2和5 cm<sup>3</sup>所接受到的照射剂量

治疗获得了很好的效果。而针对一些阴道狭窄患者，3D 打印技术可以根据患者影像资料，提前进行插植针的方向引导以及固定，打印出患者阴道轮廓，解决患者因阴道狭窄带来伤害。Sethi 等<sup>[11]</sup>介绍了 3 例阴道狭窄患者，通过使用 3D 打印技术模拟阴道尺寸，使得阴道狭窄患者治疗不会受到影响，并且获得了较好的剂量分布。

临床上定义子宫内膜癌近距离治疗是以阴道黏膜下 5 mm 为靶区，而在后装治疗中常以单通道施源器治疗阴道顶端和全阴道的照射<sup>[12]</sup>。大部分

子宫内膜癌术后阴道形状相对规范，传统的单通道施源器基本可以满足治疗要求。但是部分子宫内膜癌患者由于手术后阴道形状改变造成形状不规则，常规单通道施源器后装治疗会使靶区剂量分布不均匀，产生超高剂量分布，而高剂量的照射对于直肠、尿道等危及器官的影响不可忽视<sup>[13]</sup>。另外，国外学者试图通过改变优化计划算法或改进施源器来增加靶区适形性，但是子宫内膜靶区表面高剂量分布不均匀，同样会导致放射性肠炎和膀胱炎的产生<sup>[14]</sup>，而国内学者通过增加 3D 打印施源器来增加阴道的适形性，但是由于分别植入单通道线模和 3D 模具不仅对患者有伤害，而且两种模具尺寸不一定一致，造成在子宫内膜和施源器之间产生空腔<sup>[15]</sup>。空腔组织会使施源器不能完全的贴合阴道壁，导致剂量分布不均匀。

3D 打印个性化模具在子宫内膜癌近距离治疗过程中，CI 和 HI 相比于传统单管治疗靶区优势更明显，因为靶区内剂量本身就是不均匀的，后装计划很少比较均匀性指数，但可以间接衡量在个性化模具表面到阴道黏膜下 5 mm 范围内靶区高于处方剂量体积。而在危及器官方面，个性化模具组膀胱、直肠和尿道所受剂量  $D_{1\text{ cm}^3}$ 、 $D_{2\text{ cm}^3}$  和  $D_{5\text{ cm}^3}$  明显比单通道组危及器官所受剂量低，其主要原因是个性化模具组进行多通道调节，在不损害靶区剂量情况下尽量降低危及器官的剂量，所以 CI 高于单通道模具。其次，由于危及器官小肠距离阴道比较远，并且在膀胱充盈的前提条件下，小肠所接受的剂量很低，差异没有统计学意义。本研究中并未对患者身体产生伤害，仅利用患者 CT 图像进行模拟操作，并且所有患者执行计划均有由主管医师执行 3D 打印个性化模具治疗。

本次研究也有一定不足，样本容量偏少而且

普遍性利用率低,原因可能是 3D 打印模具操作过程较复杂,患者等候时间较长,临床上对大多数患者的应用必要性不高,仅对部分术后阴道形状不规则或者偏中心以及阴道狭窄的患者适用,并且子宫内膜癌患者愿意接受 3D 打印模具治疗的较少,导致偶发因素比较多,还需今后进一步验证。

综上所述,3D 打印个性化模具辅助子宫内膜癌三维近距离放射治疗方式相比单通道模具治疗方法更具有剂量学优势。此外,通道的数目对于计划的剂量分布也有一定的影响,下一步将持续关注 3D 打印多通道数目对于剂量学的分布差异。

**利益冲突** 无

**作者贡献声明** 徐庆涛负责数据整理、论文撰写及统计学分析;娄鹏荣、周建良负责论文修改;王彬冰、任江平负责研究指导

## 参 考 文 献

- [1] Shrestha AD, Neupane D, Vedsted P, et al. Cervical cancer prevalence, incidence and mortality in low and middle income countries; a systematic review [J]. *Asian Pac J Cancer Prev*, 2018, 19 (2): 319-324. DOI: 10. 22034/APJCP. 2018. 19. 2. 319.
- [2] Elshaikh MA, Al-Wahab Z, Mahdi H, et al. Recurrence patterns and survival endpoints in women with stage II uterine endometrioid carcinoma; a multi-institution study [J]. *Gynecol Oncol*, 2015, 136 (2): 235-239. DOI: 10. 1016/j. ygyno. 2014. 12. 012.
- [3] 秦雪, 晏俊芳, 杨波, 等. 近距离治疗技术在早期子宫内膜癌术后的应用进展 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2021, 30 (10): 1089-1093. DOI: 10. 3760/cma. j. cn113030-20201010-00488.
- [4] Qin X, Yan JF, Yang B, et al. The application progress of close range therapy technology in early postoperative endometrial cancer [J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2021, 30 (10): 1089-1093. DOI: 10. 3760/cma. j. cn113030-20201010-00488.
- [5] Beriwal S, Leeuw AD, Dheera A, et al. SP-0097 GEC-ESTRO/IBS/ABS recommendations for treatment planning [J]. *Radiother Oncol*, 2021, 158: S65-S66. DOI: 10. 1016/S0167-8140(21)06509-9.
- [6] Cao T, Dai Z, Ding Z, et al. Analysis of different evaluation indexes for prostate stereotactic body radiation therapy plans: conformity index, homogeneity index and gradient index [J]. *Pre Radia Oncol*, 2019, 3 (3): 72-79. DOI: 10. 1002/pro6. 1072.
- [7] Jang TS, Jung HD, Pan HM, et al. 3D printing of hydrogel composite systems: Recent advances in technology for tissue engineering [J]. *Int J Bioprint*, 2018, 4 (1): 126. DOI: 10. 18063/IJB. v4i1. 126.
- [8] 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. DOI: 10. 16073/j. cnki. cjept. 2020. 12. 14.
- [9] 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. DOI: 10. 16073/j. cnki. cjept. 2020. 12. 14.
- [10] 张永侠, 袁香坤, 苗琚珺, 等. 3D 打印模板应用于局部晚期宫颈癌后装放疗的剂量学研究 [J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2020, 40 (7): 519-523. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0254-5098. 2020. 07. 005.
- [11] Zhang YX, Yuan XK, Mian JJ, et al. Dosimetric analysis of 3D-printed minimally invasive-guided template in the brachytherapy treatment of locally advanced cervical cancer [J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2020, 40 (7): 519-523. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0254-5098. 2020. 07. 005.
- [12] 江萍, 郭福新, 姜玉良, 等. 3D 打印非共面模板辅助 CT 引导<sup>125</sup>I 粒子植入治疗盆腔复发子宫宫颈癌的剂量学研究 [J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2017, 37 (7): 490-494. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0254-5098. 2017. 07. 003.
- [13] Jing P, Guo FX, Jiang YL, et al. 3D-printing non-coplanar template assisted CT-guided <sup>125</sup>I seed implantation on pelvic recurrent cervical cancer [J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2017, 37 (7): 490-494. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0254-5098. 2017. 07. 003.
- [14] Qu A, Sun H, Wang J, et al. 3D printing individual applicator used for interstitial brachytherapy in recurrent cervical cancer [J]. *Brachyther*, 2017, 16 (3): S68-S69. DOI: 10. 1016/j. brachy. 2017. 04. 119.
- [15] Sethi R, Cunha A, Mellis K, et al. Clinical applications of custom-made vaginal cylinders constructed using three-dimensional printing technology [J]. *J Contemp Brachytherapy*, 2016, 8 (3): 208-214. DOI: 10. 5114/jcb. 2016. 60679.
- [16] 热孜亚·库尔班, 李小文, 古丽娜·库尔班. 三维调强放疗配合 CT 引导三维插植腔内后装治疗中晚期宫颈癌的临床疗效 [J]. *实用癌症杂志*, 2019, 34 (2): 57-60. DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-5930. 2019. 02. 014.
- [17] Kuerban RZY, Li XW, Kuerban GLN. Three-dimensional intensity modulated radiotherapy combined with CT-guided three-dimensional implantation treatment in the late cervical cancer of clinical efficacy [J]. *Pract J Cancer*, 2019, 34 (2): 57-60. DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-5930. 2019. 02. 014.
- [18] Song J, Alyamani N, Bhattacharya G, et al. The impact of high-dose-rate brachytherapy: measuring clinical outcomes in the primary treatment of cervical cancer [J]. *Adv Radiat Oncol*, 2020, 5 (3): 419-425. DOI: 10. 1016/j. adro. 2020. 02. 003.
- [19] Price M, McLoone P, Buman KD, et al. Clinical evaluation of an automated treatment planning framework for radiation oncology [J]. *Int J Radiat Oncol*, 2022, 114 (3): S38. DOI: 10. 1016/j. ijrobp. 2022. 07. 399.
- [20] Wang J, Liu Z, Zhang Q, et al. The choice of 2D-brachytherapy or 3D-brachytherapy for cervical cancer patients after external beam radiation based on residual gross tumor volume [J]. *Int J Radiat Oncol*, 2022, 114 (3): e264-e265. DOI: 10. 1016/j. ijrobp. 2022. 07. 1261.