

放射肿瘤学专题

• 放射技术 •

宫颈癌术后阴道三维腔内近距离放射治疗两种施源器剂量学研究

龚文, 晏军, 刘军, 王琳, 谭榜宪[△]

643000 四川 自贡, 自贡市第一人民医院 肿瘤科(龚文、晏军、刘军、王琳); 637000 四川 南充, 川北医学院附属医院 肿瘤科(谭榜宪)

[摘要] 目的: 比较宫颈癌根治术后行阴道三维腔内近距离治疗采用单通道柱状、双卵圆球两种施源器的剂量学差异, 为宫颈癌术后行阴道三维腔内近距离放疗选择施源器提供参考。方法: 回顾性分析 2018 年 6 月~12 月于川北医学院附属医院肿瘤科完成阴道三维腔内近距离放射治疗的早期宫颈癌术后患者 20 例, 每例患者均在接受宫颈癌根治手术后因有术后放疗指征, 进行术后三维腔内近距离放射治疗。每例患者分别采用单通道柱状施源器、双卵圆球施源器行后装治疗各 1 次, 不分先后。利用患者放疗时 40 个实际 CT 定位资料, 按照统一的靶区勾画标准重新勾画靶区(靶体积及危及器官)后制作近距离腔内放射治疗计划。分别统计两种施源器近距离治疗计划中靶区体积、 D_{90} 、 D_{100} 和膀胱、直肠体积及其 D_{2cc} 。采用独立样本 t 检验方法比较两种施源器在宫颈癌术后三维近距离治疗中靶区、危及器官剂量。结果: 阴道柱状施源器组和双卵圆球施源器组平均临床靶区体积分别为: $(29.56 \pm 4.51) \text{ cm}^3$ 、 $(31.68 \pm 3.16) \text{ cm}^3$, 差异无统计学意义($P=0.095$)。柱状施源器组 D_{90} 、 D_{100} 分别为 $(611.60 \pm 8.70) \text{ cGy}$ 和 $(414.38 \pm 47.16) \text{ cGy}$; 双卵圆球施源器组 D_{90} 、 D_{100} 分别为 $(608.19 \pm 7.30) \text{ cGy}$ 与 $(359.54 \pm 38.13) \text{ cGy}$, 两组 CTV D_{90} 约为 6 Gy , 差异无统计学意义($P=0.180$); D_{100} 差异有统计学意义($P=0.003$)。柱状施源器组与双卵圆球施源器组直肠体积分别为 $(53.03 \pm 10.70) \text{ cm}^3$ 、 $(52.37 \pm 8.87) \text{ cm}^3$, 差异无统计学意义($P=0.213$); 直肠 D_{2cc} 分别为 $(375.77 \pm 62.10) \text{ cGy}$ 、 $(341.57 \pm 38.43) \text{ cGy}$, 差异有统计学意义($P=0.043$); 膀胱体积分别为 $(129.31 \pm 18.90) \text{ cm}^3$ 、 $(123.14 \pm 13.15) \text{ cm}^3$, 差异无统计学意义($P=0.239$); 膀胱 D_{2cc} 分别为 $(391.13 \pm 62.94) \text{ cGy}$ 、 $(356.42 \pm 27.12) \text{ cGy}$, 差异有统计学意义($P=0.032$)。结论: 宫颈癌根治术后阴道三维腔内近距离放射治疗中, 与双卵圆球施源器相比, 使用单通道柱状施源器靶区剂量分布更优, 但膀胱、直肠受照剂量更高。因此在临床上, 当直肠膀胱外照射受量较高、副反应较重时可选择双卵圆球施源器, 反之可选择单通道柱状施源器。

[关键词] 宫颈癌根治术; 阴道三维后装放射治疗; 施源器; 剂量学

[中图分类号] R737.33; R730.55 **[文献标志码]** A doi:10.3969/j.issn.1674-0904.2020.01.009

引文格式: Gong W, Yan J, Liu J, et al. Dosimetric study of two kinds of applicators for vaginal three dimensional intracavitary brachytherapy after radical hysterectomy for cervical cancer [J]. J Cancer Control Treat, 2020, 33(1): 51-55. [龚文, 晏军, 刘军, 等. 宫颈癌术后阴道三维腔内近距离放射治疗两种施源器剂量学研究 [J]. 肿瘤预防与治疗, 2020, 33(1): 51-55.]

Dosimetric Study of Two Kinds of Applicators for Vaginal Three Dimensional Intracavitary Brachytherapy after Radical Hysterectomy for Cervical Cancer

Gong Wen, Yan Jun, Liu Jun, Wang Lin, Tan Bangxian

Oncology Department, Zigong First People's Hospital, Zigong 643000, Sichuan, China (Gong Wen, Yan Jun, Liu Jun, Wang Lin); Oncology Department, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan, China (Tan bangxian)

Corresponding author: Tan Bangxian, E-mail: tbx_nsmc@126.com

[收稿日期] 2019-07-23 [修回日期] 2019-12-20

[通讯作者] [△]谭榜宪, E-mail: tbx_nsmc@126.com

[Abstract] Objective: To compare the dosimetric difference between single channel cylinder applicator and ovoid applicator in three dimensional intracavitary brachytherapy for cervical cancer patients after hysterectomy, and provide a reference for the selection of different applicators in clinical practice. **Methods:** A retrospective analysis was made on 20 patients with early stage cervical cancer who underwent three dimensional intracavitary brachytherapy from June to December 2018 at the oncology department in Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College. Each patient received three dimensional intracavitary brachytherapy because of the indication of postoperative radiotherapy. Each patient was treated with single channel cylinder applicator and ovoid applicator in any sequence. Based on actual CT data sets of each patient during radiotherapy, a total of 40 CT data sets were used to delineate the clinical target volume and organs at risk according to unified target area delineation criteria, and then the brachytherapy plan was conducted. Clinical target volume, D_{90} , D_{100} , volume and D_{2cc} of bladder and rectum in two brachytherapy plans with two kinds of applicators were calculated. Independent sample t-test was used to compare the doses of clinic target volume and doses of organs at risk for two applicators in three dimensional intracavitary brachytherapy. **Results:** There was no significant difference in target volume between the single channel cylinder group and the ovoid group (29.56 ± 4.51) cm^3 and (31.68 ± 3.16) cm^3 ($P=0.095$). D_{90} and D_{100} of the single channel cylinder applicator were (611.60 ± 8.70) cGy and (414.38 ± 47.16) cGy, and those of the ovoid applicator were (608.19 ± 7.30) cGy and (359.54 ± 38.13) cGy. Difference in CTV D_{90} was not significant ($P=0.180$), while that in CTV D_{100} was significant ($P=0.003$). The rectal volumes in the single channel applicator group and the ovoid applicator group were (53.03 ± 10.70) cm^3 and (52.37 ± 8.87) cm^3 ($P=0.832$); rectal D_{2cc} in two groups were (375.77 ± 62.10) cGy and (341.57 ± 38.43) cGy ($P=0.043$); bladder volumes in two groups were (129.31 ± 18.90) cm^3 and (123.14 ± 13.15) cm^3 ($P=0.239$); bladder D_{2cc} in two groups were (391.13 ± 62.94) cGy and (356.42 ± 27.12) cGy ($P=0.032$). **Conclusion:** In three dimensional intracavitary brachytherapy for early stage cervical cancer patients who underwent radical surgery, single channel cylinder applicator shows better target dose distribution, but higher dose for bladder and rectum compared with the ovoid applicator. In clinical practice, therefore, when dose of rectum and bladder is high during the external radiation and side effects are serious, it is suggested to choose the ovoid applicator, otherwise single channel cylinder applicator is recommended.

[Key words] Radical hysterectomy for cervical cancer; Vaginal three dimensional intracavitary brachytherapy; Applicator; Dosimetry

三维腔内近距离放射治疗 (three-dimensional intracavitary brachytherapy, 3D-ICBT) 是以三维影像 (computed tomography, CT/magnetic resonance imaging, MRI) 为基础, 引入外照射剂量学概念, 精确勾画临床靶区体积 (clinical target volume, CTV)、危及器官 (organs at risks, OAR), 并对 CTV、OARs 予以处方剂量, 采用体积剂量直方图 (dose-volume parameters, DVH) 评估剂量的现代化近距离放射治疗技术。由于 3D-ICBT 中心源剂量分布与距离平方成反比, 具有靶区中心剂量高、周围剂量跌落快的特点, 3D-ICBT 系宫颈癌放射治疗不可或缺的组成部分之一。最新版本美国国立综合癌症网 (National Comprehensive Cancer Network, NCCN) 指出, 对于阴道切缘阳性患者术后补充 3D-ICBT 能够获益, 推荐对于术后阴道切缘阳性及肿瘤靠近切缘的宫颈癌患者补充 3D-ICBT; 对于术后盆腔淋巴结阳性、宫旁阳性宫颈癌患者术后近距离放射治疗没有明确推荐。多个研究^[1-2]均显示对于宫颈癌根治术后存在高危因素的患者术后辅助同步放化疗后再补充 3D-ICBT 能够取得临床获益。可见 3D-ICBT 在宫颈癌术后

应用的适应症将会进一步扩大。施源器是实施 3D-ICBT 不可或缺的工具, 阴道柱状、双卵圆球施源器是目前临床上常用于宫颈癌根治术后阴道 3D-ICBT 的两种施源器, 但是考虑到阴道切除术后解剖结构改变等个体差异以及医师临床经验, 因此施源器的选择需要个体化^[3]。本研究旨在回顾性分析对于宫颈癌根治术后阴道补充 3D-ICBT, 并且阴道条件适合这两种施源器的患者, 使用单通道柱状施源器、双卵圆球施源器剂量分布的优缺点, 为临床选择提供参考。

1 临床资料及方法

1.1 研究对象

选取 2018 年 6 月 ~ 12 月于本院肿瘤科行 3D-ICBT 的宫颈癌根治术后患者 20 例, 分期 IB ~ IIA 期 (2009 年国际妇产科联盟分期标准), 中位年龄 47.0 岁, 均行宫颈癌根治性手术, 病理类型均为鳞癌, 术后至少存在淋巴结阳性、宫旁受侵、阴道切缘阳性三大高危复发因素之一, 3D-ICBT 前行 25 次盆腔外照射, 处方剂量 1.8 ~ 2.0 Gy/Fx。

每例患者分别采用单通道柱状施源器(图 1 展示 4 种不同规格单通道柱状施源器)、双卵圆球施源器(图 2)行 3D-ICBT 各 1 次,不分先后。利用每例患者实际放疗前的 CT 定位资料,共 40 个 CT 定位资料,按照统一的靶区勾画标准重新勾画靶区(靶体积与 OAR)后制作 3D-ICBT 计划。

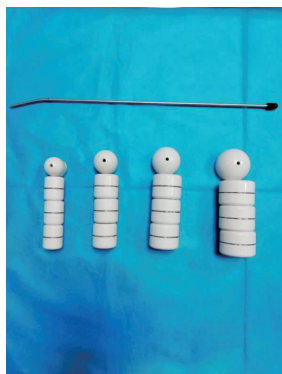


图 1 4 种不同直径单通道柱状施源器
Figure 1. Single Channel Cylinder Applicators with Different Diameters
The diameter from left to right is 2cm, 2.5cm, 3cm and 3.5cm respectively.



图 2 双卵圆球施源器
Figure 2. Ovoid Applicator

1.2 三维腔内近距离治疗

1.2.1 放射治疗前准备 治疗前 1 天进行肠道准备,治疗当天行妇科检查,了解残余阴道形状,纳入 20 例患者残余阴道形状均为柱状,阴道伸展性预评估适合放置这两种施源器。患者取截石位,常规外阴、尿道外口消毒后插入导尿管,排空膀胱尿液后,用空针注射生理盐水 100mL 充盈膀胱,窥阴器扩开阴道后,插入单管柱状施源器(Vaginal Applicator, Set Part Number 084.350)或者双卵圆球施源器(Fletcher Williamson Asia Pacific' Applicator Set, Part Number 085.260),施源器的尺寸选择为患者能承受的最大尺寸,以减少施源器至阴道粘膜间的空

气间隙对剂量分布的影响^[4],用纱布填塞固定施源器,取下窥阴器,真空垫固定患者,行 CT(SIEMENS SOMATOM Emotion 16)扫描评估施源器位置,扫描范围腰 3 椎体水平至会阴下缘水平,重建层厚 3mm。CT 图像传输至后装放疗计划治疗系统(Oncentra Brachy Planning System Version 4.3)。

1.2.2 放射治疗靶区、OAR 勾画 CTV 勾画为阴道残端开始到阴道上 3cm, OARs 勾画标准参照 Gay^[5]标准:直肠勾画:勾画整个肠外壁,上界为乙状结肠曲,下界为肛门(坐骨结节水平);膀胱:勾画膀胱外壁,从膀胱底勾画至膀胱顶。

1.2.3 计划制作 使用 Oncentra Brachy Planning System Version 4.3 制作 3D-ICBT 计划,施源器重建参照 GEC-ESTRO^[6]推荐。放射源步进长度 2.5mm。处方剂量 CTV $D_{90} = 600\text{cGy}$, 单次膀胱 $D_{2cc} < 500\text{cGy}$, 单次直肠 $D_{2cc} < 400\text{cGy}$ 。优化方法采用直接拖拽优化法^[7]。结合外照射及腔内近距离治疗,按照线性二次方程(正常组织 α/β 值 = 3)将每次 OAR 的 D_{2cc} 相加,直肠常规分割的等效生物剂量(equivalent dose in 2Gy/Fx, EQD₂) $< 75\text{Gy}$, 膀胱 EQD₂ $< 90\text{Gy}$ ^[8]。

1.2.4 后装治疗实施 采用高剂量率放射源¹⁹²Ir 行三维后装机治疗照射,每周 1 次,共照射 2 次。治疗结束后患者通常休息观察 30 ~ 60min,无特殊不适后离院。

1.3 数据统计及评估

本研究采用 DVH 评估运用两种施源器治疗的 CTV 及 OARs 体积剂量参数,分别统计两种施源器靶区体积、 D_{90} 、 D_{100} 、膀胱、直肠体积以及其 D_{2cc} 。

1.4 统计学处理

运用 SPSS 22.0 统计软件进行统计分析,采用独立样本 t 检验,结果以均数 \pm 标准差($\bar{X} \pm S$)表示,以 $P < 0.05$ 判定为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 CTV 评价指标

阴道柱状施源器组和双卵圆球施源器组靶区靶体积分别为 $(29.56 \pm 4.51)\text{cm}^3$ 、 $(31.68 \pm 3.16)\text{cm}^3$, 差异无统计学意义($P = 0.095$)。柱状施源器 D_{90} 、 D_{100} 分别为 $(611.60 \pm 8.70)\text{cGy}$ 、 $(414.38 \pm 47.16)\text{cGy}$; 双卵圆球施源器 D_{90} 、 D_{100} 分别为 $(608.19 \pm 7.30)\text{cGy}$ 、 $(359.54 \pm 38.13)\text{cGy}$, 两组 D_{100} 差异有统计学意义($P = 0.003$)(表 1)。

2.2 OARs 评价指标

柱状施源器组与双卵圆球施源器组直肠体积分

别为 $(53.03 \pm 10.70) \text{ cm}^3$ 、 $(52.37 \pm 8.87) \text{ cm}^3$, 差异无统计学意义 ($P = 0.213$); 直肠 D_{2cc} 分别为 $(375.77 \pm 62.10) \text{ cGy}$ 、 $(341.57 \pm 38.43) \text{ cGy}$, 差异有统计学意义 ($P = 0.043$); 膀胱体积分别为 $(129.31 \pm 18.90) \text{ cm}^3$ 、 $(123.14 \pm 13.15) \text{ cm}^3$, $P = 0.239$, 差异无统计学意义; 膀胱 D_{2cc} 分别为 $(391.13 \pm 62.94) \text{ cGy}$ 、 $(356.42 \pm 27.12) \text{ cGy}$, 差异有统计学意义 ($P = 0.032$) (表 1)。

表 1 靶区及危及器官体积剂量参数

Table 1. Volume Parameters of Targets and Organs at Risk

Parameter	$\bar{X} \pm S$		<i>t</i>	<i>P</i>
	Ovoid applicator	Cylinder applicator		
Target				
Volume cm^3	31.68 ± 3.16	29.56 ± 4.51	-1.710	0.095
D_{100} cGy	359.54 ± 38.13	414.38 ± 47.16	3.221	0.003
D_{90} cGy	608.19 ± 7.30	611.60 ± 8.70	1.343	0.18
Rectum				
Volume cm^3	52.37 ± 8.87	53.03 ± 10.70	0.832	0.213
D_{2cc} cGy	341.57 ± 38.43	375.77 ± 62.10	2.095	0.043
Bladder				
Volume cm^3	123.14 ± 13.15	129.31 ± 18.90	1.199	0.239
D_{2cc} cGy	356.42 ± 27.12	391.13 ± 62.94	2.265	0.032

3 讨论

3.1 CTV 的勾画范围

对于宫颈癌根治性术后阴道残端行 3D-ICBT 时 CTV 的勾画, 目前尚无统一推荐与标准。目前文献报告的 CTV 范围多为阴道残端到阴道上 4cm 之间。本研究中 CTV 的勾画方式与 Lan 等^[2]的 CTV 勾画方式一致, 即从阴道残端到阴道上 3cm; 而类似研究 Li 等^[9]的研究中 CTV 的定义为阴道残端至阴道上 3~4cm。

3.2 靶区体积剂量参数

CTV D_{100} 是近距离放射治疗中常用来评价靶区受照剂量, 表示整个靶区受照最小剂量的指标。本研究中在靶区体积无显著差异的情况下, 单通道阴道柱状施源器组平均 D_{100} 为 $(414.38 \pm 47.16) \text{ cGy}$, 达到处方剂量的 (CTV D_{90} 约为 600 cGy) 69.06%; 双卵圆球施源器组平均 D_{100} 为 $(359.54 \pm 38.13) \text{ cGy}$,

达到处方剂量的 59.92%, 表明单通道阴道柱状施源器组靶区最小受照剂量高于双卵圆球施源器组, 即前者靶区受量优于后者。Kumar 等^[10]、Zingoni 等^[11]的研究结果趋势与本研究类似。

3.3 OAR 体积剂量参数

D_{2cc} 代表 OAR 最高剂量体积 2 cm^3 中受照最小剂量, 被众多相关研究^[12]证实是近距离放射治疗中用于评价 OARs 受量的一个稳定、重复性好的剂量参数。本研究在 CTV 体积无显著性差异情况下, 双卵圆形施源器组直肠 D_{2cc} 及膀胱 D_{2cc} 均低于柱状施源器组, 这是由于柱状施源器组等剂量分布曲线呈同心圆状, 仅能单维度调节, 残余阴道位于前后 OAR 之间, 当靶区剂量达到临床要求时, 也增加紧邻靶区前后的直肠、膀胱剂量 (图 3), 而理想的双卵圆球施源器靶区剂量分布成哑铃状, 通过双维度调节, 可适当降低靶区前后 OAR 受量 (图 4), 这与类似研究^[10-11]研究结果一致。

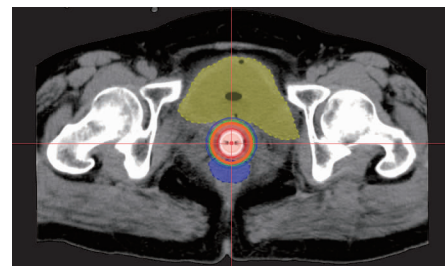


图 3 柱状施源器等剂量曲线分布图

Figure 3. Isodose Curve Distribution of Cylinder Applicator

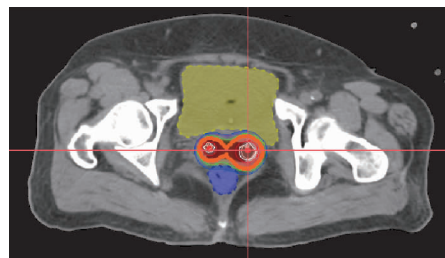


图 4 双卵圆球施源器等剂量曲线分布图

Figure 4. Isodose Curve Distribution of Ovoid Applicator

施源器的选择需要考虑子宫切除术后解剖结构以及临床医师经验等多方面因素, 因此施源器的选择要个体化。美国近距离治疗协会推荐单通道阴道柱状施源器无法满足临床要求时选用多通道阴道柱状施源器^[3]。Bahadur 等^[13]研究表明: 多通道阴道柱状施源器与单通道施源器相比在减少 OAR 受量的同时不减少靶区剂量。Kharouta 等^[14]关于两种不同阴道柱状施源器 (短通道型: 远端停留位置距离阴道残端 7.1~12.8 mm vs 长通道型: 距阴道残端 3.2 mm) 剂量学、疗效对比研究表明: 长通道型阴

道柱状施源器阴道残端受量更高,同时膀胱小体积受量增加;研究病例中所有复发病例均来自短通道型施源器组。所以,对于施源器的选择需要综合多因素,推荐使用定制施源器。3D 打印技术又名增材科学,是以三维管理软件计算机辅助设计数学模型为基础,采用高能束源或者其他方式提供能量,将液体、粉末等材料堆积黏结,通过材料叠加的方式构成三维实体^[15]。目前该技术在医学领域用途广泛,包括定制施源器的制作^[16-17]。3D 打印施源器更加个性化,能更好地与阴道贴合,减少空隙,是今后施源器的发展方向。

本研究为单纯剂量学的回顾性分析,接下来的研究中将进一步观察患者后续临床疗效及治疗不良反应。

4 结 论

宫颈癌根治术后阴道 3D-ICBT 中,与双卵圆球施源器相比,使用单通道柱状施源器靶区剂量分布更优,但膀胱、直肠受照剂量更高。因此在临床上,当直肠膀胱外照射受量较高、副反应较重时可选择双卵圆球施源器,反之可选择单通道柱状施源器。

作者声明:本文全部作者对于研究和撰写的论文出现的不端行为承担相应责任;并承诺论文中涉及的原始图片、数据资料等已按照有关规定保存,可接受核查。

学术不端:本文在初审、返修及出版前均通过中国知网(CNKI)科技期刊学术不端文献检测系统的学术不端检测。

同行评议:经同行专家双盲外审,达到刊发要求。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

文章版权:本文出版前已与全体作者签署了论文授权书等协议。

[参考文献]

[1] Li L, Kou X, Feng X, et al. Postoperative external beam irradiation with and without brachytherapy in pelvic node-positive IB1-IIA2 cervical cancer patients: A retrospective clinical study[J]. Radiat Oncol, 2015,10(1):189.

[2] Lan ML, Yu X, Xiao H, et al. Comparison of chemoradiotherapy with and without brachytherapy as adjuvant therapy after radical surgery in early-stage cervical cancer with poor prognostic factors: An observational study[J]. Medicine(Baltimore), 2017,96(46):e8384.

[3] Small W Jr, Beriwal S, Demanes DJ, et al. American Brachytherapy Society consensus guidelines for adjuvant vaginal cuff brachytherapy after hysterectomy[J]. Brachytherapy, 2012,11(1):58-67.

[4] Onal C, Guler OC, Dolek Y. The impact of air pockets around the vaginal cylinder on vaginal vault brachytherapy[J]. Br J Radiol, 2015,88(1047):20140694.

[5] Gay HA, Barthold HJ, O'Meara E, et al. Pelvic normal tissue contouring guidelines for radiation therapy: A Radiation Therapy Oncology Group consensus panel atlas[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012,83(3):e353-e362.

[6] 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.

[7] 刘志杰, 朱小东, 付庆国, 等. 逆向优化算法在宫颈癌三维近距离放疗计划制定中的应用[J]. 广西医学, 2017,39(12):1805-1807.

[8] 晏俊芳, 于浪, 孙玉亮, 等. 以 CT 图像为基础的宫颈癌三维腔内放疗[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014,23(5):377-381.

[9] Li L, Kou X, Feng X, et al. Postoperative external beam irradiation with and without brachytherapy in pelvic node-positive IB1-IIA2 cervical cancer patients: A retrospective clinical study[J]. Radiat oncol, 2015,10:189.

[10] Kumar NP, Kumar A, Jayaprakash PG, et al. Dosimetric comparison of bladder, rectal, and vaginal surface doses between ovoids and cylinder-based vaginal brachytherapy in carcinoma of the endometrium[J]. J Cancer Res Ther, 2018,14(6):1191-1195.

[11] Zingoni A, Bonetta A, D'Abbiere N, et al. 82 Influence of applicator shape on the dose to rectum and bladder in vaginal cuff brachytherapy[J]. Radiother Oncol, 1998,47(S1):S21.

[12] Hellebust TP, Tanderup K, Lervåg C, et al. Dosimetric impact of interobserver variability in MRI-based delineation for cervical cancer brachytherapy[J]. Radiother Oncol, 2013,107(1):13-19.

[13] Bahadur YA, Constantinescu C, Hassouna AH, et al. Single versus multichannel applicator in high-dose-rate vaginal brachytherapy optimized by inverse treatment planning[J]. J Contemp Brachytherapy, 2015,6(4):362-370.

[14] Kharouta MZ, Pham N, Nieto K, et al. Comparison of dosimetric and clinical outcomes between short-and long-channel cylinder applicators for vaginal brachytherapy in intermediate-and high-risk endometrial cancer[J]. Brachytherapy, 2018,17(4):673-679.

[15] 刘杨. 国内外热轧结构钢取样和力学性能试验标准的差异分析[J]. 理化检验(物理分册), 2016,52(7):469-475,506.

[16] Sethi R, Cunha A, Mellis K, et al. Clinical applications of custom-made vaginal cylinders constructed using three-dimensional printing technology[J]. J Contemp Brachy, 2016,8(3):208-214.

[17] 盛健峰, 唐平, 胡俊, 等. 计算机设计及辅助制作结合 3D 打印技术在颌骨肿瘤切除后骨缺损修复的应用[J]. 肿瘤预防与治疗, 2019,32(7):618-623.