

DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2024.02.014

· 论 著 ·

新型宫颈癌放疗计划评价工具对膀胱毒性的预测价值

刘庆啸, 朱月香, 田龙, 杨松林, 王晟, 赵御森, 任志英, 常茂叶

河北北方学院附属第一医院医学影像中心, 河北 张家口 075000

摘要: **目的** 评价剂量表面积直方图(dose and surface histogram, DSH)对宫颈癌患者放射性膀胱炎(radiation cystitis, RC)的预测价值。**方法** 筛选 2013 年 5 月—2023 年 5 月河北北方学院附属第一医院 HIS 系统接受图像引导放疗的宫颈癌患者 190 例, 将患者分为试验组($n=100$)和对照组($n=90$), 收集其资料行回顾性研究。分别采用 DSH 和剂量体积直方图(dose and volume histogram, DVH)评价试验组和对照组患者膀胱剂量分布。以 DVH 为参考, 采用受试者工作特征曲线评价 DSH 对 RC 的预测价值。**结果** 2 组基线资料和 RC 发生率比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。DSH 同 DVH 各项评价指标比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。 S_{45} 和 V_{45} 对 I、II、III 级 RC 发生率的预测价值均为低等(均 $P<0.05$); S_{50} 和 V_{50} 对 I、II、III 级 RC 发生率的预测价值均为中等(均 $P<0.05$); $S_{55}\sim S_{57}$ 和 $V_{55}\sim V_{57}$ 对 I、II、III 级 RC 发生率的预测价值均为高等(均 $P<0.05$)。**结论** 同 DVH 相比, DSH 对宫颈癌 IGRT 致 RC 发生率的预测价值同其基本一致, 未来有望成为新的放疗计划评价工具。

关键词: 宫颈癌; 剂量表面积直方图; 剂量体积直方图; 放射性膀胱炎; 预测

中图分类号: R737.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2024)02-0189-06

Predictive value of a new radiotherapy plan evaluation tool for bladder toxicity in cervical cancer

LIU Qingxiao, ZHU Yuexiang, TIAN Long, YANG Songlin, WANG Zheng,

ZHAO Yusen, REN Zhiying, CHANG Maoye

Medical Imaging Center, the First Affiliated Hospital of Hebei Northern University, Zhangjiakou 075000 China

Abstract: **Objective** To evaluate the predictive value of a dose-surface histogram (DSH) for radiation cystitis (RC) in patients with cervical cancer. **Methods** We retrospectively included 190 patients with cervical cancer who underwent image-guided radiotherapy (IGRT) from the HIS system of The First Affiliated Hospital of Hebei North University from May 2013 to May 2023. The patients were divided into test group ($n=100$) and control group ($n=90$). The dose distribution in the bladder was evaluated by using a DSH for the test group and using a dose-volume histogram (DVH) for the control group. Receiver operating characteristic curves were used to evaluate the predictive value of DSH for RC in comparison with DVH. **Results** There were no significant differences in baseline data and RC incidence between the two groups (all $P>0.05$). All evaluation indicators were significantly different between DSH and DVH (all $P<0.05$). The predictive value of S_{45} and V_{45} for the incidence of grade-I, -II, and -III RC was low (all $P<0.05$). The predictive value of S_{50} and V_{50} for the incidence of grade-I, -II, and -III RC was moderate (all $P<0.05$). $S_{55}\sim S_{57}$ and $V_{55}\sim V_{57}$ showed high value for predicting the incidence of grade-I, -II, and -III RC (all $P<0.05$). **Conclusion** DSH shows basically the same predictive value for the incidence of RC caused by IGRT in cervical cancer as DVH, which is expected to become a new tool for evaluating radiotherapy plans.

Keywords: Cervical cancer; Dose-surface histogram; Dose-volume histogram; Radiation cystitis; Prediction

Corresponding author: ZHU Yuexiang, E-mail: zjkxhtl@126.com

宫颈癌是女性生殖系统常见的恶性肿瘤, 其治疗方法包括手术、放疗和化疗^[1-3]。其中, 配合同步化疗的图像引导放疗(image guided radiotherapy, IGRT)是局部中晚期宫颈癌推荐治疗技术^[4-6]。该技术使得肿

瘤局部控制率显著上升, 大部分危及器官毒性显著下降。然而, 患者存在一定的放射性膀胱炎(radiation cystitis, RC)发生几率^[7-9]。RC一般发生于 IGRT 后 1~6 个月, 多数属于晚期放射性炎症。RC 同膀胱剂

作者简介: 刘庆啸 (1985—), 男, 河北张家口人, 学士, 主治医师, 从事医学影像学研究工作。E-mail: 1277473912@qq.com
通信作者: 朱月香, E-mail: zjkxhtl@126.com

量分布密切相关,放疗计划系统中剂量分布评价工具决定了 RC 预测准确度。传统上,放疗医师或物理师采用剂量体积直方图(dose and volume histogram, DVH)和剂量热点评价膀胱剂量分布并预测 RC,该方法已被证明具有一定的科学性和可行性^[8-9]。然而,膀胱属于薄壁组织(厚度为 5~10 mm),将其视为平面并行剂量分布评价极具研究价值。

国外于 2009 年首次提出将剂量表面积直方图(dose and surface histogram, DSH)作为一种新的放疗计划评价工具的设想^[10],并于 2019 年首次应用 DSH 对薄壁器官剂量分布进行了评价^[11]。目前,国内尚无 DSH 的概念和应用研究报道。为了填补国内相关领域的空白和深入量化 DSH 的临床应用价值,本研究以 DVH 为参考,评价了 DSH 对 RC 的预测价值。

1 资料与方法

1.1 患者和资料 收集 2013 年 5 月—2023 年 5 月河北北方学院附属第一医院 HIS 系统中宫颈癌患者及其资料用于回顾性研究。纳入标准:①年龄 ≥ 18 岁。②患有国际妇产科联盟(FIGO)分期标准判定的局部中晚期(II_b-III_a 期)宫颈癌。③接受化疗同步的根治性 IGRT。排除标准:①基线资料存在缺如。②存在远端转移。③存在盆腔手术或放疗史。④存在膀胱良性疾病史。经筛选后获得符合标准者 190 例。采用随机抽样法将患者分为试验组($n=100$)和对照组($n=90$)。本研究通过河北北方学院附属第一医院医学伦理委员会批准(20230426),患者均签署知情同意书。

患者基线资料包括:(1)一般资料:年龄、Karnofsky 功能状态(KPS)评分、体质量指数(body mass index, BMI)。(2)宫颈特征:宫颈体积、计划靶区(planning target volume, PTV)体积、PTV 最小剂量、PTV 最大剂量、PTV 平均剂量。(3)膀胱特征:膀胱体积、膀胱表面积。

1.2 模拟定位和计划设计 嘱患者于定位前 1 h 排空膀胱和直肠,饮含碘海醇造影剂 20 mL 的温开水 800 mL,憋尿 1 h。采用 Philips Big Bore CT 采集隔膜顶部到坐骨结节的下缘约 5 cm 的计划 CT 影像(层厚 3 mm)并上传至 Monaco 计划系统(外照射)和 On central 计划系统(内照射)用于计划设计。计划系统自带 DVH 功能,但需手动添加 DSH 功能和自行完成评价。完成内外照射计划设计后,将外照射计划从 Monaco 计划系统导出。在完成严格的图像配准后,

将外照射计划导入 On central 计划系统,完成内外照射剂量的叠加和计划的评价。根据美国肿瘤放疗协作组织(RTOG)宫颈癌靶区勾画指南勾画靶区和设置目标剂量,其中膀胱目标限量为接受 50 Gy 累积输出剂量的体积(V_{50} ,下同) $\leq 40\%$, $V_{55} \leq 20\%$, $V_{57} \leq 10\%$ (试验组和对照组均采用了 DVH 行常规计划评价并治疗,本研究分别采用了 DSH 和 DVH 行二次评价)。外照射:医科达 Infinity 加速器射线能量选择 6 MV,PTV 处方剂量为 50.4 Gy/28 次,每周 5 次。选择带均整器(FF)的容积旋转调强放疗模式,采用双弧设计,剂量率为 600 MU/min。内照射:医科达 FLEXitron 三维后装近距离治疗机(源:Ir¹⁹²),PTV 处方剂量为 30 Gy/6 次,每周 1 次。

1.3 计划评价和指标 分别采用 DSH 和 DVH 评价试验组和对照组患者膀胱区域剂量分布。试验组患者膀胱壁剂量分布评价共分 5 步:(1)影像导出。从计划系统中导出患者 CT 影像至 OpenCV 图像处理软件。(2)图像处理。通过下列步骤完成单层 CT 图像处理:①截取膀胱区域图像;②将图像转化为灰度图像,通过参考可明确判断为膀胱壁结构的灰度值,将背景和一切非膀胱壁结构灰度值设置为 0;③对图像进行二值化处理,输出膀胱壁外轮廓。(3)质心计算。使用主成分分析法计算膀胱壁外轮廓质心坐标,并将其输入计划系统中该层 CT 图像上。(4)图像切割。通过下列步骤完成单层 CT 图像切割:①以质心为原点对膀胱壁行 60 等分,每 6°一等分,记录每等分表面积长度(图 1);②以层厚 3 mm 为宽度,计算



注:单红色线为膀胱壁外轮廓;双蓝色线为某一等分,夹角为 6°,该等分长度(单红色线)为 4.12 mm,宽度为 3 mm,表面积为 12.36 mm²,中心点累积剂量为 46 Gy。

图 1 单层 CT 图像切割范例

Figure 1 Example of single-layer CT image segmentation

该层每等分表面积(图 1)。(5)剂量评价。记录每等分长度中心处点剂量,统计 DSH。对照组患者膀胱剂量分布评价采用 DVH,具体过程可参考既往研究^[4-6]。

试验组计划评价指标: S_{45} (接受 45 Gy 累积输出剂量的膀胱壁表面积,余同)、 S_{50} 、 S_{55} 、 S_{57} 。对照组计划评价指标: V_{45} (接受 45 Gy 累积输出剂量的膀胱体积,余同)、 V_{50} 、 V_{55} 、 V_{57} 。

1.4 IGRT 和随访 患者每周至少接受三分次放疗前基于锥形束 CT 的靶区位置校准,具体过程可参考既往研究^[4-6]。自 IGRT 开始,每周对患者进行随访。IGRT 结束后,每月对患者进行随访。根据 RTOG 急性不良反应评价标准和常见不良事件评价标准(CTCAE)5.0 对 RC 进行评价和分级(共分 3 级),全部患者随访时间截至 2023 年 5 月。

1.5 统计学分析 使用 SPSS 19.0 软件进行统计学分析。计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法;符合正态分布的计量资料以

$\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验;符合非正态分布的计量资料以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验;等级资料比较采用 Wilcoxon 秩和检验。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线和曲线下面积(area under curve, AUC)分析 DSH 和 DVH 对患者 RC 发生率的预测价值。AUC 取值 0~1,以 $AUC \leq 0.700$ 为低预测价值, $0.700 < AUC \leq 0.900$ 为中预测价值, $0.900 < AUC$ 为高预测价值。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料 试验组同对照组基线资料比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$, 表 1),患者基线资料对后续研究结果无影响。

2.2 计划评价 试验组同对照组计划评价指标差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$, 表 2)。

表 1 试验组同对照组基线资料比较

Table 1 Comparison of baseline information between the test and control groups

项目	试验组($n=100$)	对照组($n=90$)	$T/Z/\chi^2$	P 值
年龄(岁)	56.0(42.0, 75.0)	57.0(52.0, 77.0)	0.544	0.657
KPS(分)	68.34 \pm 3.15	67.98 \pm 4.22	1.590	0.133
BMI/(kg/m ²)	30.29(24.56, 39.01)	30.92(23.25, 38.93)	0.775	0.482
宫颈体积/cm ³	18.87 \pm 4.56	19.01 \pm 5.14	1.262	0.257
PTV体积/cm ³	9.13 \pm 2.51	8.92 \pm 2.47	1.025	0.422
PTV最小剂量/Gy	73.15 \pm 3.22	72.99 \pm 2.27	1.104	0.335
PTV最大剂量/Gy	87.34 \pm 2.17	86.93 \pm 2.51	0.794	0.631
PTV平均剂量/Gy	81.26 \pm 2.38	81.07 \pm 2.78	0.852	0.526
膀胱体积/cm ³	353.26 \pm 16.33	348.37 \pm 13.28	1.262	0.257
膀胱表面积/cm ²	245 \pm 11.26	237 \pm 13.98	1.114	0.330

注:KPS: Karnofsky 功能状态评分; BMI: 体质量指数; PTV: 计划靶区。

表 2 试验组同对照组计划评价指标比较

Table 2 Comparison of plan evaluation indicators between the test and control groups

分组	$S_{45}(\%)/V_{45}(\%)$	$S_{50}(\%)/V_{50}(\%)$	$S_{55}(\%)/V_{55}(\%)$	$S_{57}(\%)/V_{57}(\%)$
试验组($n=100$)	35.38 \pm 2.30	24.34 \pm 4.28	13.48 \pm 1.26	4.90 \pm 1.83
对照组($n=90$)	30.81 \pm 1.92	20.55 \pm 3.22	10.32 \pm 0.93	2.78 \pm 1.57
t	5.334	6.221	5.234	4.386
P 值	<0.001	<0.001	0.008	0.014

2.3 RC 发生率 截止试验结束,无患者失访,RC 均发生于 IGRT 3 个月后,平均 4.8 个月,即晚期 RC。试验组同对照组的 RC 级别平均水平差异无统计学意

义($Z = 0.059$, $P = 0.953$, 表 3),整体级别较为接近;试验组同对照组的 I、II、III 级 RC 发生率比较均无统计学意义(均 $P > 0.05$, 表 3),患者 RC 发生率分布

较均匀。

2.4 预测价值 DSH 和 DVH 对 I、II、III 级 RC 发生率的预测价值结果显示(表 4~6): (1) S_{45} 和 V_{45} 对 I、II、III 级 RC 发生率的预测价值均为低等(均 $P < 0.05$)。 (2) S_{50} 和 V_{50} 对 I、II、III 级 RC 发生率的预测价值均为中等(均 $P < 0.05$)。 (3) $S_{55} \sim S_{57}$ 和 $V_{55} \sim V_{57}$ 对 I、II、III 级 RC 发生率的预测价值均为高等(均 $P < 0.05$), 且各参数差异较小。 S_{55} 评价 I、II、III 级 RC 发生率的截断值分别为 6.44%、7.82%、8.31%; S_{57} 评价 I、II、III 级 RC 发生率的截断值分别为 2.28%、2.84%、3.80%。 为了避免冗杂, 全部 ROC 曲线图, 以及中、低预测价值和 DVH 的截断值未展示。

表 3 试验组同对照组 RC 发生率比较

Table 3 Comparison of incidence of radiation cystitis between the test and control groups

分组	RC		
	I	II	III
试验组($n=100$)	9(8.00)	6(5.00)	3(2.00)
对照组($n=90$)	7(7.78)	6(6.67)	2(2.22)
χ^2	0.092	0.036	0.014
P 值	0.762	0.850	0.905
Z		0.059	
P 值		0.953	

表 4 DSH 和 DVH 对 I 级 RC 发生率的预测价值

Table 4 Predictive value of DSH and DVH for the incidence of grade-I radiation cystitis

评价指标	AUC	标准误	P 值	95%CI	敏感度(%)	特异性(%)
S_{45}	0.396	0.009	<0.001	0.305~0.498	63.24	67.54
V_{45}	0.521	0.032	<0.001	0.438~0.615	69.53	66.83
S_{50}	0.731	0.014	<0.001	0.685~0.787	81.51	76.48
V_{50}	0.792	0.031	<0.001	0.719~0.846	82.37	74.87
S_{55}	0.901	0.022	<0.001	0.846~0.935	90.36	73.56
V_{55}	0.924	0.053	<0.001	0.851~0.956	91.48	75.46
S_{57}	0.914	0.045	<0.001	0.892~0.923	91.38	76.38
V_{57}	0.933	0.038	<0.001	0.902~0.973	95.67	78.69

表 5 DSH 和 DVH 对 II 级 RC 发生率的预测价值

Table 5 Predictive value of DSH and DVH for the incidence of grade-II radiation cystitis

评价指标	AUC	标准误	P 值	95%CI	敏感度(%)	特异性(%)
S_{45}	0.474	0.009	<0.001	0.382~0.689	67.90	64.25
V_{45}	0.543	0.012	<0.001	0.331~0.657	69.37	68.26
S_{50}	0.731	0.021	<0.001	0.664~0.832	79.44	74.36
V_{50}	0.775	0.022	<0.001	0.690~0.891	83.29	79.26
S_{55}	0.911	0.054	<0.001	0.855~0.922	89.45	75.46
V_{55}	0.917	0.044	<0.001	0.876~0.934	90.26	78.36
S_{57}	0.922	0.057	<0.001	0.899~0.948	91.22	79.50
V_{57}	0.934	0.039	<0.001	0.911~0.977	93.57	82.45

表 6 DSH 和 DVH 对 III 级 RC 发生率的预测价值

Table 6 Predictive value of DSH and DVH for the incidence of grade-III radiation cystitis

评价指标	AUC	标准误	P 值	95%CI	敏感度(%)	特异性(%)
S_{45}	0.522	0.014	<0.001	0.487~0.566	71.34	68.67
V_{45}	0.637	0.017	<0.001	0.572~0.754	73.56	69.38

续表

S_{50}	0.784	0.021	<0.001	0.711~0.832	77.52	70.38
V_{50}	0.821	0.035	<0.001	0.773~0.902	84.25	73.26
S_{55}	0.915	0.044	<0.001	0.864~0.945	89.26	80.14
V_{55}	0.937	0.037	<0.001	0.821~0.957	90.31	82.34
S_{57}	0.926	0.039	<0.001	0.874~0.951	91.45	83.57
V_{57}	0.951	0.041	<0.001	0.904~0.977	93.44	86.90

3 讨 论

近年来,已有多种新技术应用于宫颈癌 IGRT 中,这些新技术显著提高了靶区位置准确度和肿瘤局部控制率^[12-15]。同时,较高的靶区位置准确度也显著降低了大部分危及器官毒性。但是,由于膀胱靠近宫颈,因此 RC 的发生无法避免。降低 RC 发生率的有效方法之一为通过更严格和科学的计划设计和评价指标限制和预测其发生率,从而提前调整和优化放疗计划或采取有效措施进行防治。然而,宫颈癌 IGRT 计划设计中评价指标在近十几年来未发生显著变化,DVH 和剂量热点等始终作为主要的评价指标应用于其中。膀胱壁厚度在 5~10 mm,这提示基于表面积剂量分布评价工具可能会是更好的选择。Buettner 等^[10]于 2009 年首次提出了 DSH 的设想,Vanneste 等^[11]于 2019 年首次应用 DSH 对薄壁器官(直肠壁)剂量分布进行了评价并取得了较为理想的结果。本研究量化了 DSH,并以 DVH 为参考评价了 DSH 对宫颈癌 IGRT 致 RC 的预测价值,同样取得了较为理想的结果。

国内尚无 DSH 的概念以及应用研究报道,因此仅同国外类似研究比较。以 Vanneste 等^[11]为例,本研究同其存在以下异同。相似处:(1)研究方法:均采用了二值化等方法处理了图像,同时对图像进行了表面积切割(Vanneste 等为 100 等分,每等分 3.6°)。(2)研究结果:Vanneste 等采用 DSH 预测了薄壁器官毒性,输出了“正常组织合并症率”结果。Vanneste 等认为 DSH 对薄壁器官毒性具有一定的预测价值。相异处:(1)研究方法:Vanneste 等未采用主成分分析法确定薄壁器官外轮廓质心,而是采用具有一定偏心率的椭圆同外轮廓进行曲线拟合。通过拟合后的椭圆寻找质心并对图像进行分割。(2)研究结果:Vanneste 等研究缺少 DVH 参考,结果缺乏科学性和可靠性。综上,研究方法差异较小,结果差异较大。本研究以 DVH 作为参考,量化了 DSH 对 RC 的预测价值,结果更科学和全面。

本研究 DSH 各项指标均显著高于 DVH,造成该结果的原因可能来自两方面:(1)图像处理:由本研究方法中计划评价和指标可见,通过参考灰度值去除了全部非膀胱壁结构。然而,受 CT 软组织分辨率限制,该过程有可能存在误差,即错误的去除了膀胱壁或保留了非膀胱壁结构,最终导致膀胱壁外轮廓存在误差。(2)图像切割:由本研究方法中计划评价和指标可见,DSH 各项指标的生成过程包含了图像切割。图像切割中等分数量和 CT 扫描层厚分别决定了每等分的长度和宽度,最终决定了该等分的面积。等分面积越小,对膀胱壁剂量分布的描述越精确。由于目前尚未开发 DSH 自动算法程序和软件,上述工作均由人工手动完成。受裸眼和工作量的限制,目前国内外研究中最大等分数量为 Vanneste 等^[11]的 100 等分。本研究中 60 等分后获得的每等分面积仍较大。同时,受 CT 设备限制,层厚最小只能设置为 1 mm。因此,本研究方法中图像切割精确度仍有不足,在一定程度上影响了膀胱壁剂量分布准确度。未来计算机自动程序可将图像 180 等分甚至更高,同时高质量的 CT 设备可进一步减少层厚,届时将会获得更精确的结果。

综上所述,同 DVH 相比,DSH 对宫颈癌 IGRT 致 RC 发生率的预测价值同其基本一致,且均较为理想,未来有望联合 DVH 作为其补充和优化,甚至单独列为一种新的计划评价工具。本研究仍存在一定局限,即样本容量较小,未来仍需扩大样本容量。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,排名无争议。文章不涉及任何利益冲突

作者贡献声明 刘庆啸负责论文撰写;朱月香、田龙负责试验设计;杨松林、王磊负责病例收集;赵御森、任志英、常茂叶负责试验实施和统计学分析

参考文献

- [1] 蒋舟,姚杰,高林峰,等.上海市医用电子直线加速器质量控制

- 和防护水平检测结果分析[J]. *中国辐射卫生*, 2023, 32 (1) : 10-14. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2023.01.003](#).
- Jiang Z, Yao J, Gao LF, et al. Analysis of quality control and protection level test results of medical electron linear accelerators in Shanghai, China[J]. *Chin J Radiol Health*, 2023, 32 (1) : 10-14. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2023.01.003](#).
- [2] 杨娟, 梁惠, 袁源, 等. 基于PERMA模式的行为干预对宫颈癌放疗患者希望水平、癌因性疲乏及生活质量的影响[J]. *贵州医科大学学报*, 2023, 48 (2) : 212-216. DOI: [10.19367/j.cnki.2096-8388.2023.02.015](#).
- Yang J, Liang H, Yuan Y, et al. Effect of behavioral intervention based on PERMA theory on hope level, cancer-related fatigue, and quality of life of patients with cervical cancer undergoing radiotherapy[J]. *J Guizhou Med Univ*, 2023, 48 (2) : 212-216. DOI: [10.19367/j.cnki.2096-8388.2023.02.015](#).
- [3] 闫宸, 周立庆. 不同放疗模式治疗局部晚期宫颈癌的临床疗效、急性不良反应及剂量学研究[J]. *徐州医科大学学报*, 2023, 43 (7) : 523-528. DOI: [10.3969/j.issn.2096-3882.2023.07.010](#).
- Yan C, Zhou LQ. Comparative study of clinical efficacy, acute adverse effects and dosimetry of different radiotherapy modalities for locally advanced cervical cancer[J]. *Acta Acad Med Xuzhou*, 2023, 43 (7) : 523-528. DOI: [10.3969/j.issn.2096-3882.2023.07.010](#).
- [4] 赵凤菊, 陶发利, 郭晴, 等. 宫颈癌IGRT + ICBT治疗中器官体积对剂量分布的影响研究[J]. *肿瘤预防与治疗*, 2021, 34 (9) : 831-837. DOI: [10.3969/j.issn.1674-0904.2021.09.008](#).
- Zhao FJ, Tao FL, Guo Q, et al. Effects of organ volume on dosage distribution in IGRT and ICBT for cervical cancer[J]. *J Cancer Control Treat*, 2021, 34 (9) : 831-837. DOI: [10.3969/j.issn.1674-0904.2021.09.008](#).
- [5] 薛艳青, 王枫, 郑庆增, 等. 基于IGRT的宫颈癌调强放射治疗摆位误差对剂量学影响的探讨[J]. *医疗卫生装备*, 2019, 40 (2) : 52-55. DOI: [10.19745/j.1003-8868.2019038](#).
- Xue YQ, Wang F, Zheng QZ, et al. Effect of setup error on dosimetry of intensity-modulated radiation therapy for cervical cancer based on IGRT[J]. *Chin Med Equip J*, 2019, 40 (2) : 52-55. DOI: [10.19745/j.1003-8868.2019038](#).
- [6] 陈真云, 薛莉, 盛修贵, 等. 纠正中晚期宫颈癌IGRT摆位误差的CBCT应用价值[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2021, 28 (18) : 1423-1427. DOI: [10.16073/j.cnki.cjcpt.2021.18.11](#).
- Chen ZY, Xue L, Sheng XG, et al. Value of correction of setup errors in image guided radiation therapy with cone beam computer tomography for advanced cervical carcinoma[J]. *Chin J Cancer Prev Treat*, 2021, 28 (18) : 1423-1427. DOI: [10.16073/j.cnki.cjcpt.2021.18.11](#).
- [7] 陈姝宁, 罗丹, 孔为民, 等. 宫颈癌患者放疗后放射性膀胱炎发生状况调查及相关因素分析[J]. *医学综述*, 2021, 27 (15) : 3107-3110. DOI: [10.3969/j.issn.1006-2084.2021.15.036](#).
- Chen SN, Luo D, Kong WM, et al. Investigation of radiation cystitis status after radiotherapy of cervical cancer and analysis of related factors[J]. *Med Recapitul*, 2021, 27 (15) : 3107-3110. DOI: [10.3969/j.issn.1006-2084.2021.15.036](#).
- [8] 李斌. 局部晚期宫颈癌调强放疗中膀胱体积对正常组织剂量的观察[D]. 长春: 吉林大学, 2021. DOI: [10.27162/d.cnki.gjlin.2021.002347](#).
- Li B. Impact of bladder volume on OARs dose in intensity-modulated radiotherapy for locally advanced cervical cancer[D]. Changchun: Jilin University, 2021. DOI: [10.27162/d.cnki.gjlin.2021.002347](#).
- [9] 唐韩妃. CT引导宫颈癌三维后装放疗肿瘤靶区和危及器官体积与受照剂量的关系探讨[D]. 广州: 广州医科大学, 2018.
- Tang HF. Relationship between volume and dose of tumor target and organs at risk in CT image-based cervical cancer brachytherapy[D]. Guangzhou: Guangzhou Medical University, 2018.
- [10] Buettner F, Gulliford SL, Webb S, et al. Assessing correlations between the spatial distribution of the dose to the rectal wall and late rectal toxicity after prostate radiotherapy: an analysis of data from the MRC RT01 trial (ISRCTN 47772397)[J]. *Phys Med Biol*, 2009, 54 (21) : 6535-6548. DOI: [10.1088/0031-9155/54/21/006](#).
- [11] Vanneste BGL, Buettner F, Pinkawa M, et al. Ano-rectal wall dose-surface maps localize the dosimetric benefit of hydrogel rectum spacers in prostate cancer radiotherapy[J]. *Clin Transl Radiat Oncol*, 2019, 14: 17-24. DOI: [10.1016/j.ctro.2018.10.006](#).
- [12] 田龙, 范学武, 宋晓, 等. 多次采集计划CT评价前列腺癌靶区运动与直肠形变的相关性[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2021, 18 (8) : 493-496. DOI: [10.13929/j.issn.1672-8475.2021.08.010](#).
- Tian L, Fan XW, Song X, et al. Multiple acquisition planning CT for evaluation on correlation of prostate cancer target movement and rectum distortion[J]. *Chin J Intervent Imaging Ther*, 2021, 18 (8) : 493-496. DOI: [10.13929/j.issn.1672-8475.2021.08.010](#).
- [13] 陈彩霞. 三维超声图像引导在宫颈癌放疗摆位中的应用研究[D]. 福州: 福建医科大学, 2021. DOI: [10.27020/d.cnki.gfjyu.2021.000851](#).
- Chen CX. Application of 3D ultrasound image guidance in cervical cancer radiotherapy positioning[D]. Fuzhou: Fujian Medical University, 2021. DOI: [10.27020/d.cnki.gfjyu.2021.000851](#).
- [14] 杨天岳, 许鹏, 郭飞, 等. 旋转摆位误差在宫颈癌放疗中的剂量学影响和相关性分析[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2023, 30 (10) : 612-618. DOI: [10.16073/j.cnki.cjcpt.2023.10.07](#).
- Yang TY, Xu P, Guo F, et al. Dosimetric effect and correlation analysis of rotation error in radiotherapy for cervical cancer[J]. *Chin J Cancer Prev Treat*, 2023, 30 (10) : 612-618. DOI: [10.16073/j.cnki.cjcpt.2023.10.07](#).
- [15] 刘德静. 基于ICBCT引导盆腔肿瘤容积旋转调强放疗的临床应用研究[D]. 新乡: 新乡医学院, 2022. DOI: [10.27434/d.cnki.gxxy.2022.000009](#).
- Liu DJ. Study on clinical application of ICBCT-guided volumetric modulated arc therapy for pelvic tumor[D]. Xinxiang: Xinxiang Medical University, 2022. DOI: [10.27434/d.cnki.gxxy.2022.000009](#).