临床研究 DOI：10.13406/j.cnki.cyxb.004069

基于DVH和ICRU-89号报告评估宫颈癌放射治疗危及器官剂量的对比研究

王珊珊，宋延波
（重庆医科大学附属第一医院肿瘤科/重庆市卫生健康委员会免疫、炎症与肿瘤重点实验室，重庆 400016）

【摘 要】**目的：**探讨宫颈癌患者外照射联合近距离放射治疗时，基于外照射阶段剂量-体积直方图（dose-volume histogram，DVH）获取的危及器官（organs at risk，OARs）（比如膀胱、直肠等）的剂量与国际辐射单位与测量委员会（International Commission on Radiation Units and Measurements，ICRU）89号报告推荐方法计算的OARs剂量进行比较，分析两者间的差异。**方法：**回顾性纳入100例行外照射联合近距离放射治疗的宫颈癌患者，外照射剂量为45 Gy（1.8 Gy/次×25次，每日1次，每周5次）。从DVH上获取膀胱、直肠的D_{2cc}、$D_{0.1cc}$剂量并转换为2 Gy等效生物剂量（equivalent dose in 2 Gy fractions，EQD2），与ICRU剂量（ICRU-89号报告推荐方法计算OARs的EQD2剂量43.20 Gy）进行比较。**结果：**DVH上膀胱D_{2cc}、$D_{0.1cc}$平均EQD2剂量分别为（45.97±0.59）Gy、（46.67±0.55）Gy，较ICRU剂量分别高出6.4%（P<0.001）、8.0%（P<0.001）；直肠D_{2cc}、$D_{0.1cc}$平均EQD2剂量分别为（45.46±0.89）Gy、（46.34±0.73）Gy，比ICRU剂量分别高出5.2%（P<0.001）、7.3%（P<0.001）。**结论：**宫颈癌外照射联合近距离放射治疗时，采用ICRU-89号报告推荐方法计算外照射阶段OARs的受照射剂量明显低于从DVH上获取的实际受照射剂量，从而低估宫颈癌外照射联合近距离治疗时OARs的总受照射剂量，可能增加放射性膀胱炎、直肠炎的发生风险。建议在宫颈癌外照射联合近距离放射治疗时，根据DVH实际剂量评估OARs的受照剂量。

【关键词】宫颈癌；外照射放射治疗；近距离放射治疗；危及器官；剂量学
【中图分类号】R737.33 【文献标志码】A

Doses to organs at risk in radiotherapy for cervical cancer based on dose-volume histogram and International Commission on Radiation Units and Measurements Report 89: a comparative study

Wang Shanshan, *Song Yanbo*
(*Department of Oncology*, *Key Laboratory of Immunity*, *Inflammation & Cancer*, *Chongqing Municipal Health Commission*, *The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University*)

【**Abstract**】***Objective***: To investigate the differences in the doses to organs at risk (OARs) (bladder and rectum) derived from dose-volume histogram (DVH) during external beam radiotherapy versus those calculated by the method recommended in International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) Report 89 in patients with cervical cancer undergoing external beam radiotherapy combined with brachytherapy. ***Methods***: A retrospective analysis was performed for 100 patients with cervical cancer who received external beam radiotherapy combined with brachytherapy, with a dose of 45 Gy (25 fractions of 1.8 Gy, once daily, 5 times per week) for external beam radiotherapy. The D_{2cc} and $D_{0.1cc}$ doses of the bladder and the rectum were obtained from the DVH and were converted to equivalent dose in 2 Gy fractions (EQD2), which were then compared with the ICRU dose (i.e., the EQD2 dose of 43.20 Gy for OARs calculated by the method recommended in ICRU Report 89). ***Results***: The mean EQD2 doses of bladder D_{2cc} and $D_{0.1cc}$ obtained from the DVH were (45.97±0.59) Gy and (46.67±0.55) Gy, respectively, which were 6.4% (P<0.001) and 8.0% (P<0.001) higher than the ICRU dose; the mean EQD2 doses of rectum D_{2cc} and $D_{0.1cc}$ obtained from the DVH were (45.46±0.89) Gy and (46.34±0.73) Gy, respectively, which were 5.2% (P<0.001) and 7.3% (P<0.001) higher than the ICRU dose. ***Conclusion***: For patients with cervical cancer undergoing external beam radiotherapy combined with brachytherapy, the doses to OARs calculated using the method recommended in ICRU Report 89 during external beam radiotherapy are significantly lower than the actual doses derived from DVH, thereby underestimating the total doses to OARs, which may increase the incidence rates of radiation-induced cystitis and proctitis. It is recommended to evaluate the doses to OARs based on the actual doses obtained from the DVH during external beam radiotherapy combined with brachytherapy for cervical cancer.

【**Key words**】cervical cancer; external beam radiotherapy; brachytherapy; organs at risk; dose-volume histogram

作者介绍：王珊珊，Email：wss2023410345@163.com，研究方向：肿瘤放射治疗物理与技术。
通信作者：宋延波，Email：songyanbo@cqmu.edu.cn。
优先出版：https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20260317.1347.002（2026-03-17）

宫颈癌是女性生殖系统最常见的恶性肿瘤，放射治疗是宫颈癌的主要治疗手段之一。外照射放射治疗联合近距离放射治疗，辅以顺铂为基础的化学治疗已成为宫颈癌标准的治疗模式[1-2]。宫颈癌患者通常先接受外照射放射治疗，在外照射剂量达40 Gy以上、肿瘤体积充分缩小以后开始穿插近距离放射治疗，1~2次/周，同1天仅进行一种方式的照射。放疗医师和物理师将外照射和近距离放射治疗2个阶段的处方剂量分别转换为2 Gy等效生物剂量（equivalent dose in 2 Gy fractions，EQD2），并进行叠加来评估肿瘤靶区和危及器官（organs at risk，OARs）（比如膀胱、直肠等）的受照剂量。剂量学评估标准：肿瘤靶区EQD2≥80 Gy，膀胱D_{2cc}（EQD2）≤90 Gy，直肠D_{2cc}（EQD2）≤70 Gy。膀胱、直肠的总耐受剂量是确定的，近距离治疗阶段可接受的照射剂量取决于外照射阶段已经接受的剂量。因此，准确评估外照射阶段膀胱、直肠等OARs的受照剂量，对于确定近距离治疗阶段膀胱、直肠的受照剂量至关重要。

宫颈毗邻膀胱、直肠和乙状结肠等器官，宫颈癌放射治疗时，膀胱、直肠等不可避免地会受到一定剂量的照射，从而导致不同程度的放射性膀胱炎、直肠炎。宫颈癌外照射放射治疗联合近距离放射治疗时，如何有效降低OARs的受照射剂量始终是放疗医师和物理师关注的焦点。准确评估和限制膀胱、直肠等OARs的受照射剂量对于确保宫颈癌放疗安全性具有重要的临床意义[3-4]。

目前，在宫颈癌外照射放射治疗联合近距离放射治疗的临床实践中，主要参照国际辐射单位与测量委员会（International Commission on Radiation Units and Measurements，ICRU）联合欧洲放射治疗学和肿瘤学协会（European Society for Radiotherapy and Oncology，ESTRO）出版的《宫颈癌近距离放射治疗的方案、记录和报告》（ICRU-89号报告）进行剂量学评估[5]。ICRU-89号报告采用的方法是根据外照射放射治疗阶段的处方剂量计算外照射阶段OARs（膀胱、直肠等）的吸收剂量。该报告以外照射处方剂量45 Gy（1.8 Gy/次×25次，每日1次，每周5次）为例，根据线性二次（linear quadratic，LQ）模型（α/β=3 Gy），计算出膀胱、直肠的EQD2剂量为43.20 Gy。这种基于外照射处方剂量计算OARs受照剂量的经验性方法，所评估的OARs剂量为固定值，未充分考虑不同患者肿瘤靶区与邻近的膀胱、直肠之间的实际解剖位置关系，无法准确反映不同宫颈癌患者OARs的实际受照射剂量[6-7]。

随着放射治疗技术的进步，调强放疗[如容积旋转调强放射治疗（volumetric modulated arc therapy，VMAT）、逆向调强放疗（intensity-modulated radiation therapy，IMRT）]已广泛应用于宫颈癌外照射放射治疗中，使得靶区剂量分布更趋均匀、OARs保护更加精细。与直线加速器配套的治疗计划系统（treatment planning system，TPS）生成的剂量-体积直方图（dose-volume histogram，DVH）能够实时精准评估靶区和OARs的受照剂量。通过多重剂量约束与剂量-体积优化算法准确平衡靶区与OARs剂量，在保证肿瘤控制率的同时最大程度降低正常组织损伤[8]。

本研究回顾性分析100例宫颈癌患者外照射联合近距离放射治疗时外照射阶段膀胱、直肠等OARs的DVH参数（D_{2cc}、$D_{0.1cc}$），并将其与ICRU-89号报告推荐方法计算的膀胱、直肠剂量数值之间的差异，探讨宫颈癌外照射联合近距离放射治疗时精确评估OARs受照剂量的方法和策略。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性收集2023年1月至2025年10月重庆医科大学附属第一医院肿瘤科收治的外照射联合近距离放射治疗的宫颈癌患者100例，年龄31~71岁，临床分期[国际妇产科联盟（International Federation of Gynecology and Obstetrics，FIGO），2018版]ⅠB1~ⅡA2期。所有患者均为宫颈癌术后首次接受放疗者，存在术后病理危险因素（间质浸润、淋巴血管间隙浸润等）的患者辅以含铂方案同步化疗。外照射采用医用直线加速器（Varian Vitalbeam）产生的6 MV高能X射线，处方剂量为45.0~50.4 Gy，分25~28次照射。

1.2 宫颈癌外照射放射治疗

1.2.1 计算机断层扫描（computed tomography，CT）模拟定位 外照射放射治疗前，放疗医师向患者讲解放射治疗的整个治疗流程。患者在CT模拟定位扫描前1 h排空膀胱、直肠，之后饮用500~600 mL水使膀胱充盈。患者行CT模拟定位（GE Discovery CT，层厚5 mm，层间距5 mm）时仰卧位，双手上举抱头，使用体膜固定，以减少运动对照射精度的影响。扫描范围上界为髂嵴水平（第4~5腰椎），下界为耻骨联合下缘（盆底）[9]。

1.2.2 靶区及OARs勾画 将患者CT模拟定位图像导入

TPS（Varian Eclipse 15.6，美国）后，由至少2名经验丰富的放疗医师遵循欧洲放射治疗与肿瘤学会（Groupe Européen de Curiethérapie-European Society for Radiotherapy and Oncology，GEC-ESTRO）及放射治疗肿瘤组（Radiation Therapy Oncology Group，RTOG）指南勾画靶区和OARs。为确保一致性和可重复性，所有勾画结果均由双人重复审核。对于宫颈癌术后辅助放疗患者，无需勾画大体肿瘤临床靶区（gross tumor volume，GTV），只需勾画临床靶区（clinical target volume，CTV）和计划靶区（planning target volume，PTV）。CTV包括阴道残端、上段阴道、阴道旁组织及盆腔淋巴引流区（髂内、闭孔、髂总、髂外、骶前）；PTV为CTV外扩5 mm。OARs勾画规范：膀胱：从膀胱顶部至尿道连接处勾画，包括整个膀胱壁，不延伸至尿道；直肠：从乙状结肠下端至肛管上缘1 cm处勾画，确保覆盖直肠全壁[2]。

1.3 放疗计划设计及DVH参数获取

1.3.1 处方剂量与照射技术 处方剂量为45 Gy（1.8 Gy/次，共25次，每日1次，每周5次），采用6 MV X射线VMAT（2~3弧）或IMRT（7野固定机架角度）技术。放疗计划优化目标：处方剂量覆盖95%以上PTV，最大剂量（Dmax）≤107%；OARs剂量限制：膀胱$V45_{Gy}$<50%，直肠$V45_{Gy}$<50%，直肠$V30_{Gy}$<60%[2]。

1.3.2 DVH参数提取 所有DVH参数均从TPS（Varian Eclipse 15.6，TPS）中提取，原始放疗计划经瓦里安加速器Vitalbeam机载三维剂量验证系统（portal dosimetry，PD）验证，采用3%/3 mm评估标准，所有放疗计划的γ通过率均≥95%。为了与ICRU-89号报告的剂量方案保持一致，本研究对非45 Gy处方剂量进行统一归一化处理，提取照射剂量为45 Gy（1.8 Gy/次×25次，每日1次，每周5次）对应的膀胱、直肠DVH参数。

1.3.3 OARs剂量参数 在DVH上获取膀胱、直肠的D_{2cc}、$D_{0.1cc}$物理剂量，并采用线性二次模型（linear-quadratic model，LQ模型）将物理剂量转换为EQD2（等效于每日2 Gy的剂量），以便与ICRU-89号报告推荐方法计算的EQD2剂量进行比较，模型公式如下：

$$EQD2=\frac{nd(d+\alpha/\beta)}{2+\alpha/\beta}$$

式中n为治疗次数，d为分次剂量，在ICRU-89号报告中，计算肿瘤EQD2剂量时，取α/β=10 Gy，计算出肿瘤EQD2剂量为44.3 Gy；计算正常组织EQD2剂量时，取α/β=3 Gy，分别计算出膀胱、直肠的EQD2剂量[5]。

本研究从TPS所提供的DVH上获取膀胱和直肠的D_{2cc}、$D_{0.1cc}$实际剂量，利用上述公式将其转换为EQD2剂量，再与ICRU-89号报告推荐方法计算的OARs EQD2剂量（43.20 Gy）进行比较（图1），计算差异百分比，计算公式如下：

$$\%_{Difference}=[(D_{measured}-D_{planned})/D_{planned}]\times 100\%$$

其中，$D_{measured}$是从DVH上获取膀胱、直肠D_{2cc}、$D_{0.1cc}$转化所得的EQD2剂量，$D_{planned}$为ICRU-89号报告推荐方法计算的EQD2剂量43.20 Gy。

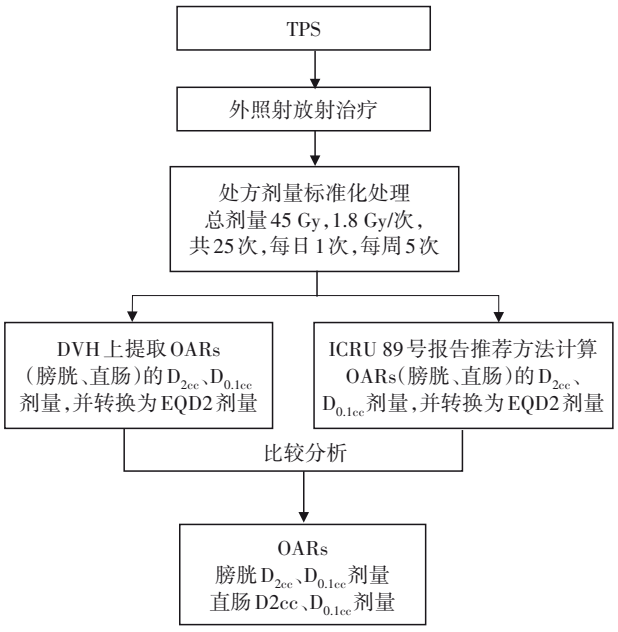


图1 剂量对比研究流程图

1.4 统计学方法

采用SPSS 21.0软件进行统计学分析，采用Shapiro-Wilk检验对数据进行正态性检验，符合正态分布的计量资料以均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，使用单样本t检验；非正态分布的计量资料用中位数（四分位间距）[$M_d(P_{25},P_{75})$]表示，使用单样本Wilcoxon符号秩检验。所有检验均为双侧检验，95%置信区间（confidence interval，CI），检验水准α=0.05。

2 结 果

DVH上获取的膀胱、直肠的D_{2cc}、$D_{0.1cc}$物理剂量及对应的EQD2剂量见表1。膀胱D_{2cc}、$D_{0.1cc}$平均剂量分别为EQD2剂量为（45.97±0.59）Gy、（46.67±0.55）Gy，较ICRU-89推荐值43.20 Gy（EQD2），高出6.4%（P<0.001）和8.0%（P<0.001）；直肠D_{2cc}、$D_{0.1cc}$平均剂量分别转换成EQD2剂量为（45.46±0.89）Gy、（46.34±0.73）Gy，相比较于ICRU-89推荐值43.20 Gy（EQD2），高出5.2%（P<0.001）和7.3%（P<0.001）。膀胱D_{2cc}、直肠D_{2cc}、直肠$D_{0.1cc}$的EQD2剂量符合正态分布，采用单样本t检验，结果见表2。膀胱D_{2cc}、直肠D_{2cc}、直肠$D_{0.1cc}$的EQD2剂量均高于ICRU-89号报告推荐值43.20 Gy（EQD2），差异有统计学意义（t=46.574、25.298、43.117，均P<0.001）。膀胱$D_{0.1cc}$的EQD2剂量呈非正态分布，为46.54（46.26，47.14）Gy，采用单样本Wilcoxon符号秩检验，与ICRU-89号报告推荐值43.20 Gy（EQD2）比较，差异有统计学意义（Z=8.682，P<0.001）。箱线图（图2、图3）表示ICRU-89号报告推荐值43.20 Gy（EQD2）与膀胱、gvf直肠D_{2cc}、$D_{0.1cc}$物理剂量及EQD2的中位数和四分位数范围。箱体上下边缘表示四分位数间距（interquartile range，IQR），箱

体中间线代表中位数。离群值用超出范围的小菱形表示。黑色短横线代表ICRU-89号报告计算值43.20 Gy（EQD2），彩色箱体分别代表膀胱、直肠的D_{2cc}、$D_{0.1cc}$物理剂量以及对应的EQD2剂量。

表1　膀胱、直肠物理剂量（D_{2cc}、$D_{0.1cc}$）与对应EQD2剂量（Gy；$\bar{x}\pm s$）

OARs	D_{2cc}	EQD2	$D_{0.1cc}$	EQD2
膀胱	47.07 ± 0.43	45.97 ± 0.59	47.59 ± 0.40	46.67 ± 0.55
直肠	46.69 ± 0.66	45.46 ± 0.89	47.33 ± 0.54	46.34 ± 0.73

表2　ICRU剂量与DVH剂量差异（Gy；$\bar{x}\pm s$）

OARs	ICRU剂量（EQD2）	DVH剂量（EQD2）	t值	P值
膀胱D_{2cc}	43.20 ± 0.00	45.97 ± 0.59	46.574	<0.001
直肠D_{2cc}	43.20 ± 0.00	45.46 ± 0.89	25.298	<0.001
直肠$D_{0.1cc}$	43.20 ± 0.00	46.34 ± 0.73	43.117	<0.001

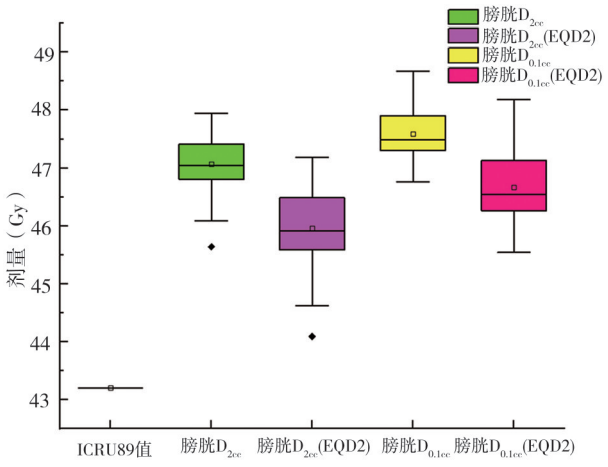


图2　膀胱ICRU剂量与DVH剂量差异箱线图

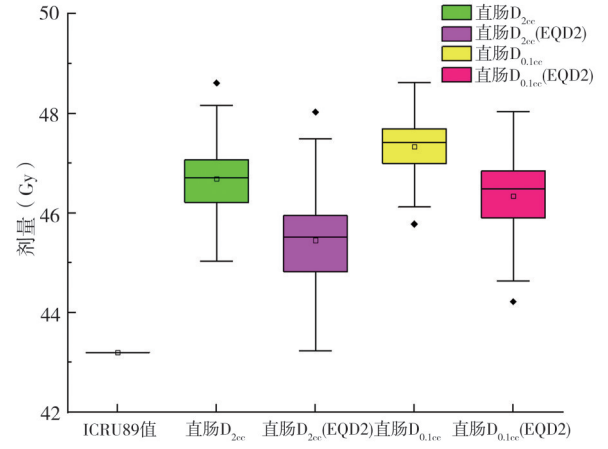


图3　直肠ICRU剂量与DVH剂量差异箱线图

3　讨　论

本研究发现宫颈癌外照射联合近距离放疗时，采用ICRU-89号报告推荐方法评估外照射阶段OARs（比如膀胱、直肠等）的受照剂量，明显低于基于DVH所获取的膀胱、直肠的实际剂量[5]。在ICRU-89号报告中，将外照射视为均匀照射野，OARs在外照射阶段的受照射剂量根据外照射处方剂量直接计算得出。例如，采用45 Gy/25次外照射放疗方案（α/β=3 Gy），膀胱、直肠$D_{2}cc$受照剂量为43.20 Gy（EQD2）。此计算剂量为固定值，取决于外照射处方剂量，未充分考虑到不同宫颈癌患者肿瘤靶区与邻近器官（膀胱、直肠等）间解剖位置差异所致的受照剂量变化。ICRU-89号报告发表于2013年，目前仍广泛应用于临床实践，但该报告主要基于二维近距离放射治疗时代的剂量计算。随着技术的发展，基于CT模拟定位的三维近距离放射治疗广泛应用于临床，ICRU-89号报告推荐的剂量计算方法的局限性日益凸显。本研究采用TPS所提供的DVH工具评估100例宫颈癌患者外照射联合近距离放射治疗时外照射阶段膀胱、直肠的实际受照剂量，结果显示，膀胱D_{2cc}平均EQD2剂量为45.97 Gy，直肠D_{2cc}平均EQD2剂量为45.46 Gy，均明显高于ICRU-89号报告基于外照射处方剂量推荐的膀胱、直肠受照剂量43.20 Gy（EQD2）。

宫颈癌放射治疗OARs的受照剂量包括外照射和近距离照射的叠加剂量。由于外照射和近距离照射剂量传递的生物效应不同，简单将二者剂量相加并无意义，需要分别评估外照射和近距离照射的剂量，并将其转换为生物等效剂量（biologically effective dose，BED）或相当于常规2 Gy分次放射的等效生物剂量（EQD2）才能进行剂量叠加。根据ICRU-89号报告，宫颈癌外照射联合近距离放射治疗时，膀胱和直肠的EQD2剂量限值分别为$D_{2cc}\leqslant$90 Gy和$D_{2cc}\leqslant$70 Gy。临床上，通常是在外照射的中后期穿插多次近距离照射，因此，在总耐受剂量限定的前提下，准确评估外照射阶段膀胱、直肠等OARs的受照剂量对于确定近距离治疗阶段OARs剩余耐受剂量至关重要。

本研究结果表明宫颈癌外照射联合近距离放射治疗时，采用基于DVH评估外照射阶段膀胱、直肠等OARs实际受照剂量的必要性。ICRU-89号报告对膀胱、直肠等OARs的受照剂量仅仅根据外照射处方剂量进行计算，对于不同的患者均为固定值，

比如，45 Gy/25 次外照射放疗方案（α/β=3 Gy），膀胱、直肠 D_{2cc} 受照剂量为 43.20 Gy（EQD2），固定剂量 43.20 Gy（EQD2）难以准确完整反映不同宫颈癌患者膀胱、直肠等器官在放疗过程中的实际受照剂量，容易低估膀胱、直肠的辐射损伤风险。基于 DVH 的剂量-体积参数（如 D_{2cc}、$D_{0.1cc}$）能够更加准确评估 OARs 暴露于高剂量区的辐射损伤风险，更加有效预测与放疗相关的急慢性毒性和并发症（如尿频、直肠出血、瘘管形成等）。相关研究表明[10-13]，在设计近距离照射放疗计划时，准确考虑外照射阶段 OARs 的实际剂量，而非仅依赖传统的 ICRU 剂量 43.20 Gy（EQD2），可以显著提升宫颈癌放射治疗的安全性和有效性。此外，与传统的 ICRU 剂量相比，基于 DVH 的评估有助于放疗医师、物理师制定出剂量约束条件更合理的放疗方案。

本研究结果显示，基于 DVH 的膀胱、直肠 D_{2cc} 剂量较 ICRU 剂量 43.20 Gy（EQD2）高出约 2 Gy，更加真实地反映了 OARs 的实际受照剂量，能够更加准确地评估正常组织器官受照剂量与并发症发生风险之间的关系。美国近距离治疗协会（American Brachytherapy Society，ABS）和 GEC-ESTRO 关于宫颈癌外照射联合近距离放疗指南建议将膀胱 D_{2cc} 累积 EQD2 剂量控制在 90 Gy 以下，直肠/乙状结肠 D_{2cc} 控制在 75 Gy 以下，可以显著降低放射性膀胱炎、直肠炎的发生率[14-15]。Pötter R 等[16]研究指出，将直肠 D_{2cc} 控制在≤65 Gy 可显著降低Ⅱ级及以上直肠炎的发生率，并建议将 75 Gy 作为上限阈值（对应直肠瘘管等严重事件）。Vinod SK 等[17]分析 20 例接受高剂量率近距离治疗（high-dose-rate brachytherapy，HDRBT）患者的资料发现，基于 DVH 获取的膀胱 D_{2cc} 平均剂量为 ICRU 剂量的 1.39 倍，即 ICRU 评估剂量仅为实际剂量的 72%，明显低估了正常组织器官的实际受照剂量。Mehta V 等[18]基于三维后装近距离剂量学对比研究也得出类似的结论，研究发现 22 例宫颈癌患者膀胱 D_{2cc} 剂量为 ICRU 剂量的 1.51 倍，直肠 D_{2cc} 剂量为 ICRU 剂量的 1.09 倍。上述研究结果表明，依赖传统的单一 ICRU 剂量评估膀胱、直肠等 OARs 的受照剂量低估了膀胱、直肠的实际受照剂量，可能会导致放射性膀胱炎、直肠炎的发生风险增加。

本研究是对宫颈癌外照射联合近距离放射治疗个体化剂量评估的有益探索，为其实施路径提供了思路。靶区勾画的规范性是个体化剂量评估面临的重要挑战，GEC-ESTRO 与 ABS 联合共识[19]明确指出，遵循指南标准进行靶区勾画，才能确保剂量评估的解剖学基础一致性。目前，宫颈癌靶区勾画推荐采用计算机断层扫描-磁共振成像（computed tomography-magnetic resonance imaging，CT-MRI）融合技术提升软组织对比度[20]，从而精准识别宫颈原发灶与宫旁浸润范围，有利于实现个体化剂量评估。外照射和近距离照射生物等效剂量的精准转换和叠加是个体化剂量评估的核心环节，但生物剂量的精确转换一直是放射生物学领域的重要挑战。本研究基于 LQ 模型进行物理剂量与生物等效剂量的转换，保证了分次治疗间剂量评估的一致性。随着人工智能在个体化剂量评估中的应用，有望进一步提高剂量转换精度。Chino J 等[21]提出基于深度学习的自动剂量生成方法，可快速实现分次剂量向 EQD2 剂量的转换，进一步优化临床实施流程。Fu Q 等[22]研究证实，基于深度学习的剂量预测模型可显著提升全程累积剂量分布的评估精度，减少分次间施源器移位带来的剂量误差。自适应放疗是未来放疗技术的发展方向，个体化剂量评估是实现自适应放疗的前提。通过个体化剂量评估与自适应调整，避免因肿瘤退缩或施源器移位导致的剂量不足或超量，能够显著提升肿瘤控制率与总生存率；通过严格控制直肠、膀胱剂量，能够有效平衡肿瘤控制率与并发症风险[23]。

综上所述，本研究的结果强调了宫颈癌外照射联合近距离放射治疗时基于 DVH 剂量参数评估外照射阶段膀胱、直肠等 OARs 的实际受照剂量的重要性。在累积受照剂量限定的前提下，只有准确评估外照射阶段的剂量才能确定近距离治疗阶段 OARs 的剩余耐受剂量，从而确保宫颈癌放射治疗安全性。本研究结果为传统的 ICRU 剂量参考点评估方法提出了改进思路，特别是对于资源有限的放疗机构，能够进一步改善放疗精度、降低宫颈癌放射治疗不良反应。本研究为单中心研究，所提取的数据仅反映了本中心的临床实践特征，样本量有限，可能因未能完全覆盖所有治疗方案和患者解剖差异而存在一定偏倚，后续将进一步开展多中心研究，获取更多放疗中心的数据以减小上述偏倚。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 王珊珊：数据采集、整理、分析，论文撰写；宋延波：

课题设计、项目统筹、整体指导、论文撰写、审阅与修改，确认稿件最终版本

参 考 文 献

[1] 李晔雄. 肿瘤放射治疗学[M]. 5版. 北京：中国协和医科大学出版社，2018：1399-1403.

Li YX. Radiation oncology[M]. 5th ed. Beijing: Peking Union Medical College Press, 2018: 1399-1403.

[2] 中华医学会放射肿瘤治疗学分会，中国医师协会放射肿瘤治疗医师分会. 宫颈癌根治性放疗指南（2025版）[J]. 中华放射肿瘤学杂志，2025，34(10)：976-984.

Radiation Oncology Branch of Chinese Medical Association, Radiation Oncology Physicians Branch of Chinese Medical Doctor Association. Guideline for definitive radiotherapy of cervical cancer (2025 edition) [J]. Chin J Radiat Oncol, 2025, 34(10): 976-984.

[3] Nascimento NPG, Gally TB, Borges GF, et al. Systematic review of circulating MICRORNAS as biomarkers of cervical carcinogenesis[J]. BMC Cancer, 2022, 22(1): 862.

[4] Theophanous S, Samuel R, Lilley J, et al. Prognostic factors for patients with anal cancer treated with conformal radiotherapy-a systematic review[J]. BMC Cancer, 2022, 22(1): 607.

[5] Prescribing, Recording, and Reporting Brachytherapy for Cancer of the Cervix[J]. J ICRU, 2013, 13(1/2): 169-174.

[6] Grover S, Ning MS, Bale M, et al. Chemoradiation versus radiation alone in stage ⅢB cervical cancer patients with or without human immunodeficiency virus[J]. Int J Gynecol Cancer, 2021, 31(9): 1220-1227.

[7] Murofushi KN, Tanaka R, Ohkawa A, et al. Re-irradiation with interstitial brachytherapy in uterine cancer patients with vaginal recurrence after post-operative pelvic irradiation[J]. J Contemp Brachytherapy, 2022, 14(1): 60-65.

[8] Wang Y, Wang G, Wei LH, et al. Neoadjuvant chemotherapy for locally advanced cervical cancer reduces surgical risks and lymph-vascular space involvement[J]. Chin J Cancer, 2011, 30(9): 645-654.

[9] You X, Hou FY. Clinical efficacy of image-guided radiation therapy for cervical cancer and its impact on patients' serum tumor markers and KPS scores[J]. J Oncol, 2022, 2022: 8536554.

[10] Gelover E, Katherine C, Mart C, et al. Patient's specific integration of OAR doses (D2 cc) from EBRT and 3D image-guided brachytherapy for cervical cancer[J]. J Appl Clin Med Phys, 2018, 19(2): 83-92.

[11] Kim H, Huq MS, Houser C, et al. Mapping of dose distribution from IMRT onto MRI-guided high dose rate brachytherapy using deformable image registration for cervical cancer treatments: preliminary study with commercially available software[J]. J Contemp Brachytherapy, 2014, 6(2): 178-184.

[12] Kim H, Lee YC, Benedict SH, et al. Dose summation strategies for external beam radiation therapy and brachytherapy in gynecologic malignancy: a review from the NRG oncology and NCTN medical physics subcommittees[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2021, 111(4): 999-1010.

[13] Hande V, Chopra S, Kalra B, et al. Point-a *vs.* volume-based brachytherapy for the treatment of cervix cancer: a meta-analysis[J]. Radiother Oncol, 2022, 170: 70-78.

[14] Romano KD, Hill C, Trifiletti DM, et al. High dose-rate tandem and ovoid brachytherapy in cervical cancer: dosimetric predictors of adverse events[J]. Radiat Oncol, 2018, 13(1): 129.

[15] Douvara A, Kollaros N, Patatoukas G, et al. Single- versus multi-computed tomography simulation for high-dose-rate postoperative gynecological intracavitary brachytherapy[J]. J Med Phys, 2024, 49(1): 6-11.

[16] Pötter R, Tanderup K, Kirisits C, et al. The embrace ii study: The outcome and prospect of two decades of evolution within the gec-estro gyn working group and the embrace studies[J]. Clin Transl Radiat Oncol, 2018, 9: 48-60.

[17] Vinod SK, Caldwell K, Lau A, et al. A comparison of ICRU point doses and volumetric doses of organs at risk (OARs) in brachytherapy for cervical cancer[J]. J Med Imaging Radiat Oncol, 2011, 55(3): 304-310.

[18] Mehta V, Gupta P, Gothwal RS, et al. Comparative study of dose volume parameters in 2-dimensional radiography and 3-dimensional computed tomography based high dose rate intracavitary brachytherapy in cervical cancer: a prospective study[J]. Asian Pac J Cancer Care, 2022, 7(3): 509-514.

[19] Kamrava M, Leung E, Bachand F, et al. GEC-ESTRO (ACROP) -ABS-CBG consensus brachytherapy target definition guidelines for recurrent endometrial and cervical tumors in the vagina[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2023, 115(3): 654-663.

[20] Mahantshetty U, Poetter R, Beriwal S, et al. IBS-GEC ESTRO-ABS recommendations for CT based contouring in image guided adaptive brachytherapy for cervical cancer[J]. Radiother Oncol, 2021, 160: 273-284.

[21] Chino J, Erickson B, Gaffney D, et al. The American Brachytherapy Society (ABS) consensus guidance for hybrid intracavitary interstitial brachytherapy for locally advanced cervical cancer[J]. Brachytherapy, 2025, 24(4): 463-478.

[22] Fu Q, Chen XY, Liu YX, et al. Improvement of accumulated dose distribution in combined cervical cancer radiotherapy with deep learning-based dose prediction[J]. Front Oncol, 2024, 14: 1407016.

[23] Pötter R, Tanderup K, Schmid MP, et al. MRI-guided adaptive brachytherapy in locally advanced cervical cancer (EMBRACE-I): a multicentre prospective cohort study[J]. Lancet Oncol, 2021, 22(4): 538-547.

（收稿：2025-11-27；修回：2026-02-08；录用：2026-02-24）

（责任编辑：曾 玲）

本文引用格式：

王珊珊，宋延波. 基于DVH和ICRU-89号报告评估宫颈癌放射治疗危及器官剂量的对比研究[J]. 重庆医科大学学报，2026，51(6)：876-881.