

宫颈癌近距离放射治疗剂量学与临床疗效研究

王欣颖¹, 郭小青²

(1. 赣南医科大学第一临床医学院; 2. 赣南医科大学第一附属医院肿瘤科, 江西 赣州 341000)

摘要: 宫颈癌是全球女性中发病率和死亡率均居第四位的常见恶性肿瘤, 对女性健康构成重大威胁。近距离放射治疗在局部晚期宫颈癌(Locally advanced cervical cancer, LACC)的综合治疗中占据核心地位, 其施源方式的选择直接影响靶区剂量分布及危及器官(Organ at risk, OARs)的受照情况。本文综述了LACC近距离放射治疗相关技术的研究进展, 包括腔内近距离放射治疗(Intracavitary brachytherapy, ICBT)、组织间插植近距离放射治疗(Interstitial brachytherapy, ISBT)以及腔内联合组织间插植近距离放射治疗(Intracavitary/interstitial brachytherapy, IC/ISBT)的临床应用与剂量学特点, 通过综合分析多项临床研究, 比较不同施源方式在靶区覆盖、OARs剂量控制及临床疗效方面的差异。现有研究结果显示, IC/ISBT在优化靶区剂量覆盖、降低OARs受照剂量方面较单纯ICBT或ISBT具有一定优势, 尤其在肿瘤体积较大或形态不规则的LACC患者中表现更为显著。然而, 由于IC/ISBT为有创操作, 其潜在并发症风险及适应证仍需结合肿瘤特征和患者个体情况进行综合评估。综上, LACC近距离放射治疗的施源方式与施源器选择尚缺乏统一标准, 未来仍需通过前瞻性研究和剂量学优化策略, 进一步明确不同技术在个体化治疗中的应用价值, 为临床决策提供更高质量的证据。

关键词: 宫颈癌; 近距离放射治疗; 施源器; 临床疗效; 剂量学分析

中图分类号: R737.33 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-7174(2026)04-0316-07

DOI: 10.3969/j.issn.2097-7174.2026.04.004

Study on dosimetry and clinical efficacy of intensive cervical cancer radiotherapy

WANG Xinying¹, GUO Xiaoqing²

(1. The First Clinical Medical School of Gannan Medical University; 2. Oncology Department, The First Affiliated Hospital of Gannan Medical University, Ganzhou, Jiangxi 341000)

Abstract: Cervical cancer is one of the most common malignancies among women worldwide, ranking fourth in both incidence and mortality, and it poses a significant threat to women's health globally. Brachytherapy plays a pivotal role in the comprehensive management of locally advanced cervical cancer (LACC), and the choice of applicator technique directly influences dose distribution to the target volume as well as radiation exposure to organs at risk (OARs). This article systematically reviews recent advances in brachytherapy techniques for LACC, including intracavitary brachytherapy (ICBT), interstitial brachytherapy (ISBT), and combined intracavitary/interstitial brachytherapy (IC/ISBT). The clinical applications and dosimetric characteristics of these approaches are summarized. By synthesizing evidence from multiple clinical studies, differences among these techniques in terms of target coverage, OAR dose sparing, and clinical outcomes are comparatively analyzed. Current evidences indicates that IC/ISBT demonstrates certain advantages over ICBT or ISBT alone in improving target dose coverage and reducing radiation exposure to OARs, particularly in patients with large or irregularly shaped tumors. However, as an invasive procedure, IC/ISBT is associated with potential complications, and its indications should be carefully evaluated based on tumor characteristics and individual patient conditions. In summary, there is currently no unified standard for the selection of brachytherapy techniques and applicators in the treatment of LACC. Future prospective studies and further dosimetric optimization strategies are warranted to clarify the role of different techniques in individualized treatment and to provide higher-quality evidence for clinical decision-making.

Key words: Uterine cervical neoplasms; Brachytherapy; Applicator; Clinical efficacy; Dosimetry

通信作者: 郭小青, 女, 本科, 主任医师, 研究方向: 妇科肿瘤放射治疗。E-mail: 13970795999@139.com

宫颈癌是全球女性中发病率和死亡率均居第四位的常见恶性肿瘤^[1],对女性健康构成严重威胁。研究表明,全球每年宫颈癌新发病例约66.1万例,死亡病例34.8万例,发展中国家发病率明显高于发达国家,且呈持续增高趋势^[2-3]。国际癌症研究机构发布的数据显示,中国每年新增宫颈癌约11.2万例,死亡6.2万例^[4]。上述数据表明,宫颈癌已成为威胁全球女性生命健康的重大公共卫生问题。

按国际妇产科联盟(International federation of gynecology and obstetrics, FIGO)分期标准, I B2 ~ IV A 期局部晚期宫颈癌(Locally advanced cervical cancer, LACC)患者通常首选同步放化疗^[5]。宫颈癌的根治性放疗通常包括以同步放化疗为基础的外照射放射治疗(External beam radiation therapy, EBRT)以及近距离放射治疗(Brachytherapy, BT)。EBRT与BT联合治疗在提高局部肿瘤控制率的同时,可降低治疗并发症发生风险^[6]。临床研究表明,EBRT联合BT的治疗效果优于EBRT^[7]。BT能够确保肿瘤组织接受较高剂量辐射的同时降低对周围危及器官(Organs at risk, OARs)的辐射剂量,从而显著提高局部控制率(Local control, LC)和总生存期(Overall survival, OS)^[8]。

宫颈癌根治性近距离放射治疗方案需根据患者临床特征进行个性化制定,这使得施源方式及施源器的选择往往具有较强的主观性,国内临床实践更倾向于腔内联合组织间插植近距离治疗(Intracavitary/interstitial brachytherapy, IC/ISBT)。然而,插植针的使用可导致肿瘤及周围组织损伤,如出血、穿孔、感染等,基于此,本文将从不同施源方式、施源器选择、剂量学及疗效等方面进行综述。

1 近距离治疗发展

宫颈癌近距离治疗始于MA Cleaves使用镭治疗宫颈癌的实践^[9],当时由操作者手动放置镭源至靶区以实现区域肿瘤照射,然而,该技术剂量分布存在显著不均匀性,导致治疗精准度与安全性受限。1938年Tod M C等^[10]提出了曼彻斯特系统经典剂量学体系,首次引入A点为剂量评估标准化基点,以确保剂量分布的可重复性,A点解剖位置定义为宫颈外口上方2 cm、宫腔中线旁开2 cm处,即通过X线平片定位:在正位片上,位于宫腔管平分双侧穹隆管顶端连线的交点,左右各旁开2 cm;侧位片上,位于宫腔管平分卵圆体、双侧穹隆管重叠处。因局

部晚期患者宫颈口常有变形,导致A点解剖定位困难,国际辐射单位与测量委员会(International commission on radiation units and measurements, ICRU)在后续报告中进一步规范了A点的定义,强调其作为剂量评估参考点的功能^[11]。由此,宫颈癌近距离治疗在二维影像技术引导下逐步建立起规范化的治疗框架。二维近距离治疗相对简单,对设备要求较低,但其主要弊端在于无法明确肿瘤靶区内剂量分布,可能导致部分患者的肿瘤组织受照不均,进而出现肿瘤剂量不足或危及器官剂量过高的情况^[12],该治疗方式也使操作者长期暴露于辐射环境下。为避免操作者辐射暴露,1966年Henschke U K等^[13]提出循环源远程后负荷腔内放射治疗,首先在被治疗处置入无源施源器,然后通过控制器将放射源推入体内。

随着影像学技术不断发展,在二维近距离治疗基础上逐渐发展出三维近距离治疗,三维近距离治疗在计算机断层扫描(Computed tomography, CT)/核磁共振图像(Magnetic resonance imaging, MRI)引导下进行,能够更精确给予各型瘤体足量照射剂量,并尽量降低OARs剂量,提高治疗的精确性,为患者提供个性化治疗^[14]。Wu N等^[15]研究显示三维腔内近距离治疗(3D intracavitary brachytherapy, 3D-ICBT)相较于二维腔内近距离治疗(2D intracavitary brachytherapy, 2D-ICBT)拥有更高的靶区目标剂量,优化肿瘤靶区覆盖率并减少OARs的剂量。图像引导的三维治疗计划提高了LC、肿瘤特异性生存率、总生存率并有效降低远期严重并发症的发生率^[16],然而,该技术对设备及勾画靶区的医师技术要求相对较高,导致其在某些地区及医院无法开展。

MRI引导下的适应性近距离放射治疗(MRI-guided adaptive brachytherapy, IGABT)是基于MRI的精准放疗技术,主要用于宫颈癌等盆腔肿瘤治疗。其优势在于结合实时或分次间的影像引导,动态调整治疗计划,即在传统三维近距离治疗中加入时间维度^[17]。MRI在软组织分辨上有极佳优越性,能更清楚区分正常组织与肿瘤组织,使靶区勾画达到更高精度^[18-19]。Viswanathan A N等^[19]比较了基于CT或MRI勾画的临床靶区体积轮廓,结果显示两者生成了95%的一致体积,但MRI在肿瘤边界界定、微小病灶检出及危及器官保护方面均更有优势。局部晚期宫颈癌MRI引导近距离放疗国际多中心

研究(European study on MRI-guided brachytherapy in locally advanced cervical cancer, EMBRACE)的一项前瞻性、观察性、多中心队列研究发现基于MRI的IGABT中5年LC为92%,证明放化疗和基于MRI的IGABT能有效、长期、稳定控制各期LACC^[17]。尽管IGABT优势明显,但MRI检查时间较长、金属植入物限制及治疗费用较高等均给患者带来较重负担。

2 施源方式与施源器

2.1 腔内近距离放射治疗 腔内近距离放射治疗(Intracavitary brachytherapy, ICBT)是通过阴道或宫颈等自然腔道,将放射源送入患者体内,置于肿瘤侵犯或可能侵犯的区域并停留一定时间,以微创方式实现治疗目的。ICBT包括单管施源器、串联卵形施源器、串联环形施源器以及圆柱状施源器等。单管施源器主体通常是由外径4~8 mm,长度为6~10 cm的中空圆柱管构成。管身具有一定弧度以适应宫颈宫腔曲度,末端为封闭钝头,材质通常为合金。单管施源器适用于因阴道狭窄或粘连而无法容纳多根施源器、无宫旁浸润的初治或局部复发的宫颈癌患者。但由于放射源强度随距离增加而快速衰弱导致宫腔外组织照射剂量不足,因此其临床应用范围较窄。串联卵形施源器是目前最常用的施源器类型之一,其主体通常由1根宫腔管及2根阴道穹窿管构成,穹窿管可为卵圆形或半球形,可根据患者阴道条件个性化选择,例如Fletcher施源器、Manchester施源器^[20]等。相较于单管施源器,穹窿管的使用可提升阴道穹窿及宫旁剂量,从而更好地覆盖宫颈口受侵及阴道穹窿侵犯的肿瘤。与串联卵形施源器相比,串联环形施源器和圆柱状施源器的临床应用相对较少。串联环形施源器由宫腔管及环或裂环组成,适应证与串联卵形施源器相似。但由于放射源可沿环形路径驻留,其剂量分布更为均匀。圆柱状施源器结构更为简单,适用于宫颈癌根治术后阴道残端照射。临床可根据个体情况选择不同直径的柱状施源器。但由于阴道黏膜受照剂量较高,该技术在宫颈癌后装治疗中应用较少。虽然ICBT具有无创、患者耐受性好及操作相对简便等优势,但其产生的对称梨形剂量分布对于体积较大或形态不规则的LACC患者,靶区覆盖可能不完全,进而导致肿瘤复发风险增加。

2.2 组织间插植近距离放射治疗 组织间插植

近距离放射治疗(Interstitial brachytherapy, ISBT)是通过会阴或阴道穹窿将插植针置入肿瘤组织内或可能侵犯的部位,直接将放射源精准送达,从而实现瘤体内高剂量照射的同时,周围组织剂量迅速衰减。该技术主要用于肿瘤侵犯宫旁组织、肿瘤体积较大或形态不规则,单纯ICBT难以获得充分靶区覆盖的情况。较为经典的ISBT包括Syed-Neblett模板、MUPIT模板等。Syed-Neblett模板为单部位单施源器,其主体通常由阴道闭孔器和呈蝶形分布的孔道的会阴板构成。会阴板可用于固定插植针位置,以确保治疗的可重复性^[21]。Syed-Neblett模板的出现为因解剖扭曲无法常规放置腔内施源器的患者提供了一种更为灵活、精准的个体化近距离放疗方案。与之不同,MUPIT模板为多部位单施源器,由2个丙烯酸圆柱体、1个多孔丙烯酸模板和盖板组成,圆柱体放置在阴道中并固定于模板上,模板上的一些导向孔向外成角度以得到较宽的横向剂量覆盖,这种设计适用于对称及非对称肿瘤,可覆盖几乎所有临床情况,提升了等剂量分布与肿瘤体积匹配的灵活性^[22]。ISBT虽可根据靶区形态进行适形插植,但单纯使用ISBT时,宫颈癌的中心区域可能无法达到理想剂量,从而导致宫腔受照剂量过低局部复发风险。近年来,随着3D打印技术发展,3D打印模板辅助插植针置入肿瘤有一定临床应用前景。该技术根据患者情况制作个体化轨轨模板,显著提高施源器空间定位精度,避免因插植针多次置入所致的组织损伤,从而降低患者出血风险。但该技术每次治疗时需根据患者肿瘤消退程度重新打印模板,延长了治疗时间并增加了患者的经济负担,目前尚未在临床广泛使用。

2.3 腔内联合组织间插植近距离放射治疗 IC/ISBT是结合ICBT与ISBT的治疗方法,即置入宫腔放射源的同时可以在肿瘤组织中插入细针状施源器。在面对较大或形态欠规则肿瘤、肿瘤位置远离宫颈口或宫腔管道、肿瘤呈偏向性分布等情况时,单纯ICBT或ISBT无法给予瘤体足够照射剂量,从而可能导致局部复发。相比之下IC/ISBT技术能够同时实现对宫腔、肿瘤及宫旁组织的有效覆盖,使靶区剂量分布更贴合瘤体形状,同时尽量减少对周围正常组织的损伤。目前临床常用的IC/ISBT施源方式包括Utrecht施源器、Ring施源器、Venezia施源器及徒手组织间插植等。Utrecht施源器由宫腔管、卵圆体、插植针及相关固定装置组成。其形状虽与

Fletcher 施源器相似,但卵圆体兼具载源和宫旁插植模板功能。卵圆体外侧设有 3 个插植孔,内侧设有 2 个插植孔,不同型号的孔位布局略有差异。Ring 施源器是在环形施源器基础上增加插植针,插植针通过引导管与环形结构固定,插植针的方向通常与宫腔管轴线平行。Venezia 施源器是一种新型施源器,主体由中心导管、2 个半月形椭圆体及带有 134 个针孔的会阴模板构成,椭圆体上设有平行和斜向针孔,其中,斜向针孔的设计允许插植针向外侧延伸至骨盆侧壁,从而用于治疗宫旁侵犯较广或累及骨盆侧壁的 III B 期患者。目前国内多数医疗中心以徒手插植技术为主要治疗方式,该技术仅需宫腔管及插植针即可实施,其核心优势在于可根据肿瘤大小、位置及宫旁受侵情况灵活调整插植针分布及深度。然而,该技术高度依赖操作者经验和水平,医师的临床判断与操作熟练度在很大程度上影响治疗效果。此外,其治疗一致性和可重复性存在一定局限,即使由同一医师对同一患者多次操作,也难以保证效果一致。

3 不同施源方式剂量学分析

众多临床研究显示在 LACC 患者中 IC/ISBT 较单纯 ICBT 或 ISBT 剂量分布更佳^[23-24]。为印证上述观点, Sarwar K A 等^[25]入组 40 例 LACC 患者并使用 Utrecht 施源器进行 693 次插植,同时生成了相应的 ICBT 计划,结果显示使用 IC/ISBT 的平均高危临床靶区 (High-risk clinical target volume, HR-CTV) 体积剂量 D90 及 D98 平均剂量增益分别为 6.0 Gy 和 5.9 Gy。而膀胱和乙状结肠受照剂量分别减少了 7 Gy 和 1.6 Gy,直肠受照剂量减少不显著。Benkhald S 等^[26]回顾性分析了 24 个连续的 IC/ISBT 治疗计划,并创建了对应的 ICBT 计划进行比较。结果同样显示,与 ICBT 相比,IC/ISBT 可实现更高的靶区覆盖率,同时降低 OARs 受照剂量。

与上述结果不同的是,朱雅迪等^[27]选取 16 例患者后分别制作了 25 个 ICBT 和 IC/ISBT 治疗计划,结果显示 2 组 D90 差异无统计学意义,且 ICBT 方案中 OARs 受照剂量更低。出现上述分歧原因可能在于两项研究未将肿瘤大小这一关键变量纳入比较,且样本数量存在较大差异。

将肿瘤大小这一关键变量纳入重要分层因素后,相关研究结果趋于一致。Serban M 等^[28]对来自 16 个 EMBRACE 中心的 902 例患者进行分析,结果

显示,针对中等/大体积 HR-CTV,与 ICBT 相比,IC/ISBT 可显著提升靶区剂量,同时减少或维持相似的等剂量表面体积。对于大体积如 60 cm³ 的 HR-CTV,采用卵圆形 IC/ISBT 中心的平均 HR-CTV D90 较卵圆形 ICBT 中心高 5.4 Gy;采用环形 IC/ISBT 中心较环形 ICBT 中心高 8.9 Gy。在常规应用 IC/ISBT 时,采用卵圆形的中心,在任何 HR-CTV 体积下 V85 Gy 均有减少,而采用环形中心的 V85 Gy 保持不变。与采用卵圆形 ICBT 中心相比,卵圆形 IC/ISBT 中心能显著降低平均膀胱、直肠及乙状结肠 2 cm³ 所受剂量。上述大样本量研究证明在需要包括较大靶区体积时,IC/ISBT 可显著提高靶区剂量和 OARs 剂量^[29]。

基于不同肿瘤体积对施源方式的需求差异, Yoshida K 等^[30]探索了不同肿瘤体积的近距离放射治疗,结果表明,当肿瘤体积 >36 cm³ 时,ISBT 和 IC/ISBT 的 HR-CTV 优于传统 ICBT,当肿瘤体积 >80 cm³ 时,则 ISBT 显著优于其他 2 种方案。由于局部晚期肿瘤体积大、不规则且可能存在远端宫旁组织侵犯,IC/ISBT 无法完全覆盖 HR-CTV。Fokdal L 等^[31]尝试通过虚拟添加游离针头结合 IC/ISBT 来尽可能多覆盖 HR-CTV。为了研究 IC/ISBT 结合游离针头插植是否比传统的 IC/ISBT 更具剂量学优势, Qu H D 等^[32]为 34 例 LACC 患者制定 77 个 IC/ISBT 结合游离针头插植的治疗计划并生成模拟计划,按宫旁扩展宽度分组后发现,当肿瘤宫旁侵犯宽度 >3 cm 时,结合游离针头插植组在 HR-CTV 的 D90、D98、V100 上显著高于 IC/ISBT 组,而 OARs 受照剂量更低,即此时结合游离针头插植组比 IC/ISBT 更具剂量学优势。

综上所述,IC/ISBT 在多数研究中较 ICBT 可提升靶区剂量、降低 OARs 剂量,尤其在大体积肿瘤中优势明显;当肿瘤宫旁侵犯较宽时,IC/ISBT 或无法完整覆盖靶区范围,而结合游离针头插植更具剂量学优势。

4 临床疗效及不良反应

在 LACC 患者中 IC/ISBT 较单纯 ICBT 或 ISBT 的剂量分布更具优势,是否可以转化为相应疗效提升和毒副反应下降的临床获益,目前仍存在一定争议。现有研究提示,采用 Utrecht 施源器实施 IC/ISBT 治疗可获得较高的近期疗效。Sarwar K A 等^[25]研究发现 IC/ISBT 治疗后 12 周客观缓解率 (Objective response rate, ORR) 和完全缓解 (Complete response, CR) 率

分别为92.5%和77.5%,提示该技术具备良好的短期肿瘤控制潜力。Murakami N等^[33]开展的前瞻性临床试验,选取由MRI测量的宫颈癌为FIGO I B2~IV A期且治疗前肿瘤宽度 ≥ 5 cm的52例患者进行IC/ISBT治疗及随访,中位随访37.3个月,结果显示,患者的盆腔无进展生存(Progression-free survival, PFS)、LC及OS均获得较为理想的中长期结果,这说明IC/ISBT在大体积肿瘤患者中可能具有稳定的局部控制优势。类似地,Jā'lia V等^[34]进行的小样本研究亦观察到较高的局部控制及盆腔控制水平,同时未出现4级晚期放射损伤,提示其毒性总体可控。针对肿瘤体积这一关键因素,Fokdal L等^[35]通过多中心研究进一步指出,当HR-CTV体积 >30 cm³时,IC/ISBT在局部控制方面可能较ICBT更具优势,其3年LC提高约10%,表明IC/ISBT的临床获益主要集中于中大体积靶区患者。

在较大靶区范围情况下,Qu H D等^[32]研究显示IC/ISBT结合游离针头插植可取得较高的ORR,并在部分患者的中位随访期内获得较为理想的OS、PFS及LC结果,提示在宫旁侵犯较广或靶区范围较大的情况下,联合游离针头可能进一步提升疗效。然而,由于插植针使用可能带来出血及穿孔风险^[36-37],一项回顾研究选取了817例进行三维近距离治疗的LACC患者,结果显示隐匿性穿孔率为1.96%,提示穿孔发生率总体较低但客观存在,且其治疗结束时CR率为53.8%^[38]。这进一步反映不同研究疗效指标可能存在差异。

因上述研究多为单臂临床试验或缺乏与无创ICBT的直接对照,疗效提升是否源于施源方式本身仍难以完全明确。为弥补该不足,Murakami N等^[39]进行的多机构回顾性研究根据不同施源方式将469例患者分为ICBT和IC/ISBT组,中位随访51.3个月并通过倾向评分匹配调整混杂因素后分析发现,2组在LC、PFS及OS方面差异无统计学意义,且IC/ISBT组患者存在更多不良临床因素,提示在真实世界中IC/ISBT的预后获益可能受患者基线特征及肿瘤负荷的显著影响。

综上所述,虽然IC/ISBT在靶区覆盖上有较好分布,但其在长期预后改善及毒副反应降低方面的临床获益仍有待进一步验证,特别是对于出血风险较高或经治疗后肿块缩小至 36 cm³或更小的患者,是否可在后续治疗中转换为无创ICBT以及不同靶区体积与侵袭范围内施源方式的动态调整策略,仍

需更多高质量研究提供循证支持。

5 小结

本文综述了LACC近距离放射治疗常见的施源方式及施源器,并对不同施源方式从剂量学、疗效及不良反应方面进行分析。其中,ICBT为无创操作,但靶区覆盖可能欠佳,故适用于早期或经治疗肿瘤缩小的宫颈癌患者,对LACC患者的治疗较为有限;ISBT可根据瘤体形态进行适形插入,但宫颈中心区域可能无法达到理想剂量,存在局部复发风险;IC/ISBT虽具有明显的剂量学优势和疗效,但其植入技术复杂且具有侵入性,可能引发出血及穿孔等并发症。综上所述,各施源方式均存在一定优缺点,临床医师可根据肿瘤特点和患者自身状况选择更加个体化的治疗及施源方式。随着多模态影像融合技术不断发展,未来有望在其支持下实现基于患者个体差异及肿瘤动态变化的个体化近距离放射治疗策略,从而更加合理地选择施源器类型、施源位置及插植路径,进一步优化剂量分布,提高靶区覆盖的精准性,并最大限度降低周围正常组织的受照剂量与相关毒副反应。因此,积极推动多模态影像融合技术在LACC近距离放射治疗中的应用,对近距离放射治疗具有重要的临床意义和科研价值。

所有作者均声明不存在利益冲突关系。

参考文献:

- [1] Siegel R L, Giaquinto A N, Jemal A. Cancer statistics, 2024[J]. CA Cancer J Clin, 2024, 74(1): 12-49.
- [2] Bray F, Laversanne M, Sung H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. CA Cancer J Clin, 2024, 74(3): 229-263.
- [3] Singh D, Vignat J, Lorenzoni V, et al. Global estimates of incidence and mortality of cervical cancer in 2020: a baseline analysis of the WHO Global Cervical Cancer Elimination Initiative [J]. Lancet Glob Health, 2023, 11(2): e197-e206.
- [4] Xia C, Dong X, Li H, et al. Cancer statistics in China and United States, 2022: profiles, trends, and determinants [J]. Chin Med J, 2022, 135(5): 584-590.
- [5] Koh W J, Abu-Rustum N R, Bean S, et al. Cervical cancer, version 3. 2019, NCCN clinical practice guidelines in oncology [J]. J Natl Compr Canc Netw, 2019, 17(1):

- 64-84.
- [6] Bhatla N, Aoki D, Sharma D N, et al. Cancer of the cervix uteri: 2021 update [J]. *Int J Gynaecol Obstet*, 2021, 155 (Suppl 1):28-44.
- [7] Yang K, Ma Y, Chen G, et al. Comparative analysis of the prognosis of external beam radiation therapy (EBRT) and EBRT plus brachytherapy for glioblastoma multiforme: a SEER population-based study [J]. *Radiat Oncol*, 2022, 17 (1):174.
- [8] Kumar R, Sherwani Z, Lopez M, et al. Disparities in brachytherapy utilization in cervical cancer in the United States: a comprehensive literature review [J]. *Gynecol Oncol*, 2023, 179:79-84.
- [9] MA Cleaves. Radium: with a preliminary note on radium rays in the treatment of cancer [J]. *Med Rec*, 1903(64), 601-606.
- [10] Tod M C, Meredith W J. A dosage system for use in the treatment of cancer of the uterine cervix [J]. *Br J Radiol*, 1938, 11(132):809-824.
- [11] Tod M, Meredith W J. Treatment of cancer of the cervix uteri, a revised Manchester method [J]. *Br J Radiol*, 1953, 26(305):252-257.
- [12] 中华医学会放射肿瘤治疗分会近距离治疗学组, 中国医师协会放射肿瘤分会妇科肿瘤学组, 中国抗癌协会近距离治疗专委会. 宫颈癌近距离腔内放疗二维治疗技术规范中国专家共识 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2020, 29(9):718-720.
- [13] Henschke U K, Hilaris B S, Mahan G D. Intracavitary radiation therapy of cancer of the uterine cervix by remote afterloading with cycling sources [J]. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med*, 1966, 96(1):45-51.
- [14] Haie-Meder C, Pötter R, van Limbergen E, et al. Recommendations from Gynaecological (GYN) GEC-ESTRO Working Group (I): concepts and terms in 3D image based 3D treatment planning in cervix cancer brachytherapy with emphasis on MRI assessment of GTV and CTV [J]. *Radiother Oncol*, 2005, 74(3):235-245.
- [15] Wu N, Zhao Z, Han D, et al. Dosimetric research into target regions and organs at risk in three-dimensional intracavitary brachytherapy techniques for Chinese patients with cervical carcinoma [J]. *J Radiat Res*, 2019, 60(1):124-133.
- [16] 中华医学会放射肿瘤治疗分会近距离治疗学组, 中国医师协会放射肿瘤分会妇科肿瘤学组, 中国抗癌协会近距离治疗专委会. 宫颈癌图像引导三维近距离后装治疗中国专家共识 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2020, 29(9):712-717.
- [17] Pötter R, Tanderup K, Schmid M P, 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.
- [18] Wang K, Wang J, Jiang P. High-dose-rate three-dimensional image-guided adaptive brachytherapy (3D IGABT) for locally advanced cervical cancer (LACC): a narrative review on imaging modality and clinical evidence [J]. *Curr Oncol*, 2023, 31(1):50-65.
- [19] Viswanathan A N, Erickson B, Gaffney D K, et al. Comparison and consensus guidelines for delineation of clinical target volume for CT- and MR-based brachytherapy in locally advanced cervical cancer [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2014, 90(2):320-328.
- [20] Haas J S, Dean R D, Mansfield C M. Dosimetric comparison of the Fletcher family of gynecologic colpostats 1950-1980 [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1985, 11(7):1317-1321.
- [21] Feder B H, Syed A M, Neblett D. Treatment of extensive carcinoma of the cervix with the "transperineal parametrial butterfly": a preliminary report on the revival of Waterman's approach [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1978, 4(7/8):735-742.
- [22] Martinez A, Cox R S, Edmundson G K. A multiple-site perineal applicator (MUPIT) for treatment of prostatic, anorectal, and gynecologic malignancies [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1984, 10(2):297-305.
- [23] Jamadagni S, Ponniraj A, Revathy P. Dosimetric comparison of intra-cavitary brachytherapy technique with free-hand (intra-cavitary + interstitial) technique in cervical cancer [J]. *J Contemp Brachytherapy*, 2024, 16(1):28-34.
- [24] Murakami N, Kobayashi K, Shima S, et al. A hybrid technique of intracavitary and interstitial brachytherapy for locally advanced cervical cancer: initial outcomes of a single-institute experience [J]. *BMC Cancer*, 2019, 19(1):221.
- [25] Sarwar K A, Hussain S, Syed A S, et al. Outcomes and comparison of dosimetric parameters between intracavitary (Fletcher) and combined intracavitary/interstitial (Utrecht) brachytherapy in locally advanced cervical cancer [J]. *Brachytherapy*, 2024, 23(1):10-17.
- [26] Benkhaled S, Diakité K, Jullian N, et al. Boost modalities in cervical cancer: dosimetric comparison between intracavitary BT vs. intracavitary + interstitial BT vs. SBRT [J]. *Radiat Oncol*, 2023, 18(1):105.
- [27] 朱雅迪, 吴爱林, 刘云琴, 等. 三种局部补量技术在晚期宫颈癌放疗中的应用研究 [J]. *中华放射医学与防*

- 护杂志, 2020, 40(4): 296-301.
- [28] Serban M, Kirisits C, de Leeuw A, et al. Ring versus ovoids and intracavitary versus intracavitary-interstitial applicators in cervical cancer brachytherapy: results from the EMBRACE I study [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2020, 106(5): 1052-1062.
- [29] Otani Y, Ohno T, Ando K, et al. Dosimetric feasibility of computed tomography-based image-guided brachytherapy in locally advanced cervical cancer: a Japanese prospective multi-institutional study [J]. *J Radiat Res*, 2021, 62(3): 502-510.
- [30] Yoshida K, Yamazaki H, Kotsuma T, et al. Simulation analysis of optimized brachytherapy for uterine cervical cancer: can we select the best brachytherapy modality depending on tumor size? [J]. *Brachytherapy*, 2016, 15(1): 57-64.
- [31] Fokdal L, Tanderup K, Hokland S B, et al. Clinical feasibility of combined intracavitary/interstitial brachytherapy in locally advanced cervical cancer employing MRI with a tandem/ring applicator *in situ* and virtual preplanning of the interstitial component [J]. *Radiother Oncol*, 2013, 107(1): 63-68.
- [32] Qu H D, Han D M, Zhang N, et al. Intracavitary/interstitial applicator plus distal parametrial free needle interstitial brachytherapy in locally advanced cervical cancer: a dosimetric study [J]. *Front Oncol*, 2020, 10: 621347.
- [33] Murakami N, Watanabe M, Uno T, et al. Phase I/II prospective clinical trial for the hybrid of intracavitary and interstitial brachytherapy for locally advanced uterine cervical cancer [J]. *J Gynecol Oncol*, 2023, 34(3): e24.
- [34] JÁ'lia V, Georgina F, Anhhong N N, et al. Clinical results of combined intracavitary-interstitial image-guided adaptive brachytherapy in locally advanced cervical cancer [J]. *Magy Onkologia*, 2018, 62(4): 249-257.
- [35] Fokdal L, Sturdza A, Mazon R, et al. Image guided adaptive brachytherapy with combined intracavitary and interstitial technique improves the therapeutic ratio in locally advanced cervical cancer: Analysis from the retro-EMBRACE study [J]. *Radiother Oncol*, 2016, 120(3): 434-440.
- [36] Murakami N, Ohno T, Toita T, et al. Japanese Society for Radiation Oncology Consensus Guidelines of combined intracavitary and interstitial brachytherapy for gynecological cancers [J]. *J Radiat Res*, 2022, 63(3): 402-411.
- [37] Masui K, Yamazaki H, Suzuki G, et al. Small bowel perforation caused by applicator implantation in high-dose-rate interstitial brachytherapy for recurrent pelvic tumor: a case report [J]. *J Contemp Brachytherapy*, 2020, 12(2): 188-192.
- [38] 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.
- [39] Murakami N, Ando K, Murata M, et al. An Asian multi-national multi-institutional retrospective study comparing intracavitary versus the hybrid of intracavitary and interstitial brachytherapy for locally advanced uterine cervical carcinoma [J]. *J Radiat Res*, 2022, 63(3): 412-427.

(收稿: 2025-03-08) (修回: 2026-02-09)

(责任编辑: 何明)