



· 综述 ·

宫颈癌患者保留生育功能治疗的影像学研究新进展

温欣然¹, 艾 华², 蒋西然²

1. 中国医科大学第二临床学院医学影像技术系, 辽宁 沈阳 110004;

2. 中国医科大学智能医学院生物医学工程系, 辽宁 沈阳 110122

[摘要] 随着宫颈癌发病的年轻化趋势日益显著, 保留患者生育功能的需求在临床治疗中不断增加。满足年轻患者的生育需求, 不仅关乎疾病治疗本身, 更涉及患者长期生活质量和心理健康。严格把握治疗适应证、进行精准的术前影像学评估与分期、合理选择治疗方式是保障治疗成功的关键。近年来, 影像技术在宫颈癌诊疗全流程中的作用日益凸显, 影像学技术如超声、磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 和正电子发射断层成像 (positron emission tomography, PET) 等在宫颈癌局部侵犯深度、肿瘤体积、宫旁浸润、淋巴结转移等方面的评估中各具优势。上述影像学及其衍生成像技术为宫颈癌患者保留生育功能治疗中的适应证筛选提供了客观依据, 也为术式选择、疗效评估及随访中的复发监测提供了重要信息。本文系统综述宫颈癌患者保留生育功能治疗的现状与发展动态, 重点讨论适应证的最新标准 (如国际妇产科联盟分期、病理学类型、淋巴管间隙浸润、淋巴结转移等)、主要治疗方式 (包括宫颈锥切术、宫颈切除术及经腹或经阴道宫颈切除术、淋巴结切除术等) 的选择原则, 详细阐述超声、MRI、PET等影像学方法在术前适应证评估及复发监测中的最新应用进展。文中特别聚焦于功能MRI及影像组学在宫颈癌患者保留生育功能方面的研究动态, 旨在为临床医师选择合适的宫颈癌患者进行保留生育功能治疗提供依据, 优化治疗决策。

[关键词] 宫颈癌; 保留生育治疗; 影像学评估; 多模态影像

中图分类号: R737.33; R445 文献标志码: A

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2026.01.012

基金项目: 中国医科大学大学生创新创业训练计划(创新项目)。

利益冲突: 作者声明无利益冲突。

伦理批件: 不需要。

知情同意: 不需要。

引用本文: 温欣然, 艾 华, 蒋西然. 宫颈癌患者保留生育功能治疗的影像学研究新进展[J]. 肿瘤影像学, 2026, 35(1): 95-102.

Funding: College Students' Innovation and Entrepreneurship Training Program (Innovation Project) of China Medical University.

Conflicts of interest: authors declare no conflicts of interest.

Ethical approval: not required.

Informed consent: not required.

Cite this article: WEN X R, AI H, JIANG X R. Imaging research progress on fertility-preserving treatment for cervical cancer patients [J]. Oncoradiology, 2026, 35(1): 95-102.

Imaging research progress on fertility-preserving treatment for cervical cancer patients WEN Xinran¹, Ai Hua², JIANG Xiran² (1. Department of Medical Imaging Technology, China Medical University, Second Clinical College, Shenyang 110004, Liangning Province, China; 2. Department of Biomedical Engineering, China Medical University, School of Intelligent Medicine, Shenyang 110122, Liangning Province, China)

Correspondence to: JIANG Xiran E-mail: xrjiang@cmu.edu.cn

[Abstract] With the increasingly evident trend of younger onset in cervical cancer, the demand for preserving patients' reproductive function has grown significantly in clinical treatment. Meeting the fertility needs of young patients is not only crucial for disease management itself but also impacts their long-term quality of life and mental health. Strict adherence to treatment indications, precise preoperative imaging assessment and staging, and rational selection of treatment modalities are key to ensuring therapeutic success. In recent years, imaging technologies have played an increasingly prominent role throughout the entire cervical cancer diagnosis and treatment process. Techniques such as ultrasound, magnetic resonance imaging (MRI), and positron emission tomography (PET) each offer distinct advantages in assessing factors like the depth of local invasion, tumor volume, parametrial involvement, and lymph node metastasis. These imaging modalities and their derivative techniques provide objective criteria for selecting candidates for fertility-preserving treatments in cervical cancer. They also offer crucial information for surgical decision-making, efficacy assessment, and monitoring recurrence during follow-up. This article systematically reviewed the current status and

developments in fertility-preserving treatments for cervical cancer, focusing on the latest criteria for indications (such as International Federation of Gynecology and Obstetrics staging, histological type, lymphovascular space invasion, and lymph node metastasis), selection principles for primary treatment modalities (including cervical conization, cervical resection, transabdominal or transvaginal cervical resection, and lymphadenectomy), and details the latest applications of imaging methods such as ultrasound, MRI, and PET in preoperative indication assessment and recurrence monitoring. The article specifically focused on research developments in functional MRI and radiomics for fertility-preserving cervical cancer treatment. It aimed to provide evidence for clinicians to select suitable patients for fertility-preserving approaches, thereby optimizing treatment decisions.

[Key words] Cervical cancer; Fertility-preserving treatment; Imaging assessment; Multimodal imaging

随着宫颈癌筛查技术和疫苗的广泛应用, 宫颈癌总体发病率呈现逐步下降的趋势, 但仍是全球女性第四大常见癌症^[1]。当前, 在45岁以下女性中, 宫颈癌为排名第二的高发恶性肿瘤, 且具年轻化趋势^[2]。早期宫颈癌患者的5年生存率可超过90%, 其中相当一部分患者处于育龄期并具有强烈的生育需求, 因此保留生育功能的治疗逐渐成为基础研究和临床实践的重点^[3]。然而, 保留生育功能手术 (fertility-sparing surgery, FSS) 治疗并非适用于所有患者, 实现肿瘤治疗效果与保留生育功能之间的平衡仍是当前面临的重大挑战^[3]。借助影像学技术对宫颈癌特征进行精准评估, 不仅有助于筛选适合FSS治疗的患者, 还能为患者个性化治疗方案的制订及疗效评估提供重要依据^[4-6]。本综述分析宫颈癌保留生育功能手术治疗的适应证、治疗方式和各种影像学评估技术的最新研究进展, 旨在为临床医师提供全面的宫颈癌患者保留生育功能的影像学评价依据, 优化治疗决策, 改善患者预后。

1 宫颈癌保留生育功能适应证和治疗方式

宫颈癌患者是否适合接受FSS治疗, 主要取决于病灶的大小、累及范围以及病理学类型等因素。根据2025年中国抗癌协会宫颈癌专委会发布的《早期子宫颈癌保留生育功能诊治指南》^[6], 行FSS的患者需满足以下条件: 年龄 ≤ 45 岁, 具有强烈的生育需求; 影像学评估病灶局限于宫颈, 未侵犯宫颈内口; 分期符合国际妇产科联盟 (International Federation of Gynecology and Obstetrics, FIGO) 2018分期 I A1~ I B2期; 无淋巴结转移; 病理学类型为宫颈鳞癌、普通型腺癌和腺鳞癌; 经过充分知情同意、严格筛选的部分早期宫颈透明细胞癌。

对于无淋巴血管间隙浸润 (lymphovascular space infiltration, LVSI) 的 IA1期患者选择宫颈锥切手术; 若 IA1~IA2期患者合并 LVSI, 建议进行根治性宫颈切除术 (radical trachelectomy, RT) 或宫颈锥切手术, 联合前哨淋巴结活检 (sentinel lymph node biopsy, SLNB) 或盆腔淋巴结清扫术; 而经锥切确诊的 I A2~ I B1期的患者, 满足 ConCerv 临床试验的入组标准, 推荐行 RT+盆腔淋巴结清扫术 (或 SLNB); 不符合 ConCerv 标准的 I B1期推荐行腹式或经阴道 RT+盆腔淋巴结切除术; 上述手术均需达到术中冰冻阴性切缘 ≥ 1 mm (最好 ≥ 3 mm), 若切缘阳性或阴性切缘 < 1 mm, 须再次行子宫颈锥切术或子宫颈切除术以达到标准^[6]。“复旦标准”推荐2~4 cm的 I B2期子宫颈癌可以接受经腹根治性子宫颈切除术, 或者考虑新辅助化疗以缩小病灶, 再行宫颈局部手术实现生育功能保留; 但对于病理学类型为腺鳞癌的 I B2期子宫颈癌实施FSS治疗需慎重^[7]。需要注意的是, 经阴道RT术式只适用于小于2 cm的 I B1期肿瘤且有手术条件, 而经腹RT可适用于 I B1~ I B2的患者。图1给出了宫颈癌患者保留生育治疗建议流程。

2 超声检查在宫颈癌患者保留生育功能中的价值

超声检查 (尤其是经阴道超声) 在评估宫颈癌病灶特征方面具有重要作用, 特别适用于因禁忌证而无法接受MRI检查的患者。经阴道超声可在矢状面上准确测量宫颈病灶距离宫颈内口的距离及整个宫颈长度, 同时评估深部间质浸润、宫旁受累, 以及膀胱、直肠受累等情况^[4]。Vidal等^[10]的研究指出, 经阴道超声在评估肿瘤大小时可能存在过高估计的情况, 而磁共振成像

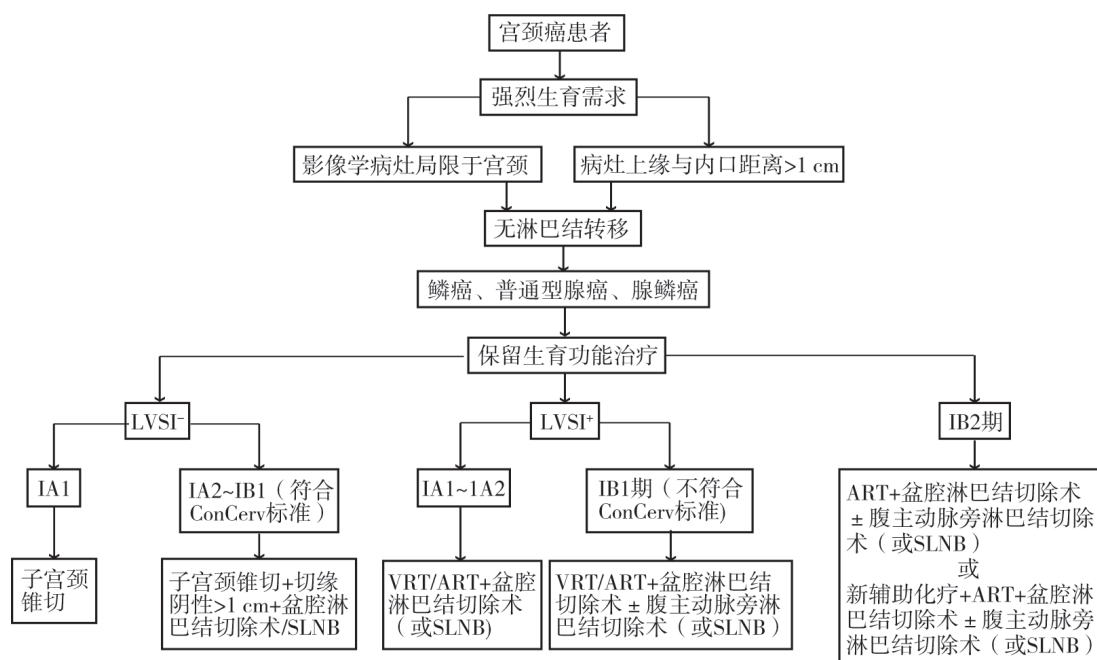


图1 宫颈癌患者保留生育治疗建议流程图

Fig.1 Flow chart for fertility-preserving surgery recommendations in cervical cancer patients

ConCerv 标准: LVSI 阴性; 切缘阴性; 鳞癌 (任何级别) 或普通类型腺癌 (G1~G2), 肿瘤直径 ≤ 2 cm; 浸润深度 ≤ 1 cm; 影像学检查无其他部位转移。LVSI: 淋巴血管间隙浸润 (lymphovascular space infiltration); VRT: 经阴道根治性宫颈切除术 (vaginal radical trachelectomy); ART: 经腹根治性宫颈切除术 (abdominal radical trachelectomy); SLNB: 前哨淋巴结活检 (sentinel lymph node biopsy)。

(magnetic resonance imaging, MRI) 则可能低估肿瘤大小, 但两者在与术后病理学报告肿瘤大小的一致性方面均表现良好。在深部间质浸润的评估中, 经阴道超声与组织学结果的一致性较高, 灵敏度和特异度均可达到 89%。除阴式超声外, 超声造影在病灶大小测量方面显示出与 MRI 良好的一致性, 其分期判定与术后病理学分期结果亦高度一致^[11]。超分辨率超声基于超声造影微泡显影, 能对淋巴系统内流动的造影微泡成像, 从而实现 10 微米级淋巴窦超分辨率成像, 可以精确定位前哨淋巴结, 并有助于转移淋巴结的诊断^[12]。

术中超声作为一种实时成像技术, 具有明确病变边缘及识别未受累卵巢结构的潜力, 可帮助临床医师在尽量减少对健康组织损伤的情况下实施完整的肿瘤切除^[13]。另外超声检查在保育手术后的孕期监测中也具有关键作用。有研究^[14]表明, 接受常规超声宫颈长度监测并及时接受预防性手术的孕妇, 其活产率几乎为 100%, 而未接受此类评估和治疗的活产率仅为 30.6%。

可见, 超声检查作为一种简单、经济的检查技术, 在保育术前评估、术中辅助和术后监测中都发挥着重要的作用。

3 MRI 检查在宫颈癌患者保留生育功能治疗中的价值

3.1 FSS 术前评估

3.1.1 评估肿瘤大小

肿瘤大小是保留生育功能治疗首要考虑的因素, MRI 是评价宫颈癌肿瘤大小和 FIGO 分期最优的检查方法^[15-16]。对于早期宫颈癌, MRI 测量病灶大小与术后病理学检查结果有高度一致性, 并且观察者间对于肿瘤大小的测量评价也具有高度一致性; 与宫颈鳞癌相比, 宫颈腺癌信号可能接近正常宫颈腺体 (均为高信号), 导致早期病灶对比度差, 易被漏诊; 黏液性腺癌因含黏液成分呈 T2 极高信号, 可能被误认为宫颈分泌物^[15-17]。研究^[18]发现, 在 2009 年 FIGO 分期 I B1 期患者中, 术前 MRI 可筛选出适合进行保留生育功能的根治性宫颈切除术的患者。Plante 等^[19]也发现, 基于 MRI 选择的肿瘤小于 2 cm 的

低风险早期宫颈癌患者, 可安全实施经阴道宫颈切除术或锥切术以达到保留生育功能的目的。Slama等^[20]的一项多中心研究证实, 宫颈癌肿瘤大于2 cm是FSS后肿瘤复发的最重要独立影响因素, 也间接证实了通过术前影像学精准评估、选择肿瘤小于2 cm的患者进行FSS更为合适。当需要判断患者是否适合进行经阴道宫颈根治性切除的保留生育功能治疗时, 弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)获得的表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值和动态对比增强MRI(dynamic contrast-enhanced MRI, DCE-MRI)获得的血浆体积分数可以作为标志物, 为临床医师的判断提供帮助^[21]。基于MRI的T2加权成像(T2-weighted imaging, T2WI)和增强T1加权成像(T1-weighted imaging, T1WI)的组学模型可以帮助识别常规MRI影像上不能显示的病灶, 有利于早期宫颈癌的诊断^[22]。另外, DCE-MRI可以在动脉期更好地显示肿物的范围及肿物与正常宫颈基质的对比, 以识别可能在T2WI上难以检测到的小病变, 并更好地评估间质浸润, 为保留生育功能治疗提供更有价值的信息^[23]。

使用经阴道线圈可以获得比常规腹部线圈成像更优的信噪比、对比噪声比和对比度, 特别是在评估宫颈小肿瘤病灶大小方面更具优势^[24-26]。Downey等^[25]发现, 经阴道线圈MRI影像可以为精准评估亚厘米级宫颈癌患者是否可以进行FSS提供帮助, 2名观察者对于微小宫颈癌发现的灵敏度均达到86.7%, 特异度分别为80.0%和90.0%; 其另一研究^[26]发现, 经阴道线圈的MRI-T2WI影像比腹部线圈能更敏感地发现 $<2\text{ cm}^3$ 的小肿瘤, 结合DWI后发现小肿瘤的特异度显著提高到89.5%, 灵敏度略下降至78.2%。

3.1.2 评估肿瘤与宫颈内口的距离

MRI可以精准判定宫颈癌肿物与宫颈内口的距离, 进而帮助确定根治性宫颈切除术是否可以获得满意的切缘。宫颈内口被定义为子宫血管进入处(在横轴位或斜横轴位和冠状位行T2WI评估), 为子宫最狭窄的位置, 此处低信号的宫颈基质移行为中等信号的子宫肌层(在矢状位和斜

冠状位T2WI评估)^[27]。宫颈肿物距离内口距离大于10 mm的患者可接受保留生育功能的手术治疗; 而将该距离设置为大于5 mm时, 同样可获得满意的效果^[15-16]。有学者^[27]在MRI矢状位T2WI或增强T1WI上进行测量发现, 对于与内口间距离小于0.5 cm的肿瘤, 诊断灵敏度为0.73, 特异度为0.98, 准确度达到0.90, 可以为保留生育治疗评估提供参考。

3.1.3 评估肿瘤浸润深度

通过MRI评估肿瘤浸润深度可优化IB期患者的预后风险分层, 为筛选适合保留生育功能治疗的患者提供有价值的信息^[15, 27]。Lakhman等^[18]的研究发现, MRI评估浸润深度的特异度较高, 可以达到90%以上, 但灵敏度较低, 2名评估者分别为0.75和0.50, 观察者间评估一致性中等, Kappa值为0.63。一项meta分析^[28]显示, 基于MRI影像组学评估深间质浸润的曲线下面积(area under curve, AUC)为0.90, 灵敏度和特异度均为0.83。MRI影像组学特征联合临床因素的融合模型具有优秀的预测效能, 在测试组预测深间质浸润的AUC可以达到0.914, 明显优于临床模型(AUC=0.767)和单纯的组学模型(AUC=0.882)^[29]。Zhang等^[30]也发现, 基于体素内非相干运动成像(intravoxel incoherent motion, IVIM)-DWI影像特征和临床参数联合构建的列线图, 对深间质浸润的预测效能(AUC为0.896)优于单纯MRI(AUC为0.780)。然而, 对于阴道穹隆及上段受累的评估, MRI假阳性率较高, 可能与宫颈癌患者阴道穹隆局部积液、积血、感染和组织充血水肿等因素有关, 需与妇科检查结合以提高准确度^[31]。

3.1.4 评估LVSI

LVSI是提示可能存在肿瘤转移的重要病理学指标, 目前尚不能依据常规MRI影像特征诊断LVSI, 而DWI、IVIM氨基质子转移加权成像(amide proton transfer-weighted imaging, APTw)和DCE-MRI等功能性研究获得了一定的经验。Cheng等^[32]对宫颈癌全肿瘤ADC直方图分析发现, 在LVSI阳性组中肿瘤的ADC最大值、ADC范围、ADC₉₀更小, 上述参数可以较好地预测早

期宫颈癌 LVSI 情况。在另一项 MRI IVIM 的研究^[33]中发现, LVSI 阳性的宫颈鳞癌患者有更高的平均峰度。Song 等^[34]发现, APT_{mean} 和容积转移常数 (K^{trans}) 是宫颈癌 LVSI 的独立预测因子, 两者联合诊断的 AUC 达到 0.874, 灵敏度和特异度分别为 92.7% 和 75.0%。Yang 等^[35]的研究发现 LVSI 阳性组的 APT 值明显高于 LVSI 阴性组, 并且 ADC 值与 APT 值联合可以更好地预测 LVSI, AUC 可以达到 0.880。在一项基于 DCE-MRI 宫颈癌的研究^[36]中, LVSI 阳性组的细胞外容积和 K^{trans} 较 LVSI 阴性组显著升高。与来自整个肿瘤的影像组学模型相比, 基于肿瘤亚区域栖息地的影像组学模型对宫颈癌 LVSI 的预测性能更高, 在外部测试集 AUC 可以达到 0.780^[37]。一项 meta 分析^[38]发现对于 LVSI 预测, MRI 影像组学在训练组的灵敏度和特异度分别为 0.81 和 0.78, 在验证组中分别为 0.79 和 0.73; 而基于多序列 MRI 构建的模型, 预测效果优于单序列模型。然而, 基于人工智能技术的预测研究普遍存在样本量相对较小的问题, 同时缺少能够在临床广泛推广应用的统一标准, 因此, 迫切需要开展大样本的多中心深入研究, 从而获得更适合临床应用的模型。

3.1.5 评估淋巴结转移

通过影像学检查判断是否存在淋巴结转移, 是指导早期宫颈癌保留生育治疗决策的重要参考依据; 若存在可疑淋巴结转移, 需对患者进行淋巴结活检或清扫术^[5-6]。在淋巴结转移的影像学诊断标准中, 短径大于 10 mm、形态不规则、信号不均匀和环形增强等模式被视作判断淋巴结转移的重要征象。基于上述征象可获得淋巴结报告数据系统 (Node Reporting and Data System, Node-RADS) 评分。该评分具有良好的评估者间一致性, 评分为 4 分和 5 分的淋巴结有着更高的转移概率; 然而, 即使评分为 1 分和 2 分, 淋巴结仍有 25% 的转移可能性, 因此, 基于 MRI 的淋巴结形态学分析, 特别是对于小淋巴结转移的评估, 仍具有一定局限性^[39-40]。Ninkova 等^[40]对于宫颈癌的研究发现, 将 Node-RADS 评分 ≥ 3 作为诊断淋巴结转移的截断值时, 诊断灵敏度和特异度可以达到 92.8% 和 72.5%; 此外, ADC 值可

进一步辅助评估 Node-RADS 评分 ≥ 3 的淋巴结转移的可能性, 诊断的 AUC 达到 0.82。在对 I B1 期患者的研究^[41-42]中, 更关注短径小于 10 mm 的淋巴结性质判断, DWI 和 DCE-MRI 等功能成像在这一判断中展现出一定的价值。Song 等^[41]的研究发现, 小转移淋巴结具有更低的 ADC 值, 使用 ADC 最小值联合淋巴结径线可以准确判断小于 10 mm 淋巴结的转移情况。基于 T2WI 淋巴结放射组学特征与临床形态特征联合构建列线图, 该联合模型预测宫颈癌正常大小盆腔淋巴结转移的准确度达到 0.78^[42]。Qian 等^[43]基于病灶 DWI 和 ADC 图像构建多通道卷积神经网络深度学习模型, 可以有效预测正常大小的盆腔淋巴结转移, 训练组和测试组 AUC 分别达到 0.848 和 0.767。可见, 无论是基于常规 MRI 特征, 还是运用影像组学和深度学习技术进行分析, 淋巴结转移始终是宫颈癌研究的热点问题。未来, 基于更大样本的多中心研究, 可能会获得诊断准确度更高、临床实用性更强的影像标志物, 从而在保留生育功能治疗中发挥更为关键的作用。

3.2 新辅助化疗后行 FSS 的评估

新辅助化疗通过减少肿瘤体积继而手术治疗达到保留生育能力的目的^[44-47], 已成为 I B2 期的年轻女性宫颈癌保留生育功能治疗的替代方案。Li 等^[46]的研究发现, 基于 MRI 评估的 I B2 期宫颈癌患者进行新辅助化疗联合根治性宫颈切除治疗, 可以有效地保留生育功能并且并发症更少, 患者 5 年复发率略高于经腹根治性宫颈切除术, 但差异无统计学意义。MRI 可以准确评估新辅助治疗后宫颈肿瘤退缩程度; 通过评价宫颈术后的形态和宫颈管的长度, 针对术后宫颈管长度小于 1 cm 的特殊患者, 适当考虑在受孕后给予环扎治疗干预, 可减少流产的发生^[47]。

3.3 MRI 的术后复发监测

MRI 是监控宫颈癌肿瘤局部复发和淋巴结转移的重要手段。复发的肿瘤会表现为局部 T2WI 高信号、DWI 相对高信号和增强后强化等特征; 特别是对于保留生育功能治疗的患者, 需要在多次复查中仔细对比观察; 在评估中也需要与术后的炎性改变进行区分^[48]。

4 正电子发射断层成像 (positron emission tomography, PET) /CT 和 PET/MRI 在宫颈癌患者保留生育功能治疗中的价值

PET/CT 和 PET/MRI 对于宫颈癌患者保留生育功能治疗的价值主要在于淋巴结转移和远处转移的判定, 特别是对于 CT 或 MRI 诊断有疑问的患者, PET 影像是淋巴结转移诊断的有效补充^[5-6]。Adam 等^[49]系统回顾 12 篇基于 PET/CT 评估宫颈癌淋巴结转移的文献, 共包含 778 例患者, 结果显示 PET/CT 对于盆腔淋巴结转移的灵敏度和特异度分别为 0.88 和 0.93, 对于腹主动脉旁淋巴结转移的灵敏度和特异度分别为 0.40 和 0.93, 可见, 相较于腹主动脉旁淋巴结, PET/CT 评估盆腔淋巴结转移的效能更优。而 Woo 等^[50]的一项 meta 分析中对比了多种影像学检查技术在评估宫颈癌淋巴结转移方面的价值, 发现 MRI 和 PET 诊断效能优于 CT, 而 MRI 和 PET 两者的诊断效能相当, 灵敏度均相对较低, 分别为 0.55 和 0.69, 但特异度都比较高, 均可以达到 0.90。在确定局部肿瘤扩散和远处转移方面, PET/MRI 比单独的 MRI 显示出更高的准确度^[51]。由此可见, PET/CT 和 PET/MRI 一直是晚期患者全身转移评估首选的检查方法, 对于保留生育功能治疗关键决策也有一定的价值。然而由于 PET 检查费用高昂, 设备普及性有限, 在经济实用性方面稍逊于 MRI。

5 基于纳米粒子的新型成像技术

基于纳米粒子的成像工具可以对宫颈病变进行微创检测和治疗。纳米粒子依托优秀的造影能力、良好的生物相容性、较长的体内循环时间以及表面的可修饰性, 具有靶向成像和多模态成像等新功能。有研究^[52]设计了一种涂有二氧化锰的二硫化钼核心的纳米颗粒, 并进一步用甲氧基聚乙二醇修饰以提高其生物相容性, 从而形成二硫化钼@二氧化锰-聚乙二醇 (MoS₂@MnO₂-PEG); 这些纳米颗粒被证明具有重要的 MRI 和 CT 成像能力, 使其可用于宫颈肿瘤诊断。调节肿瘤微环境的新型纳米载体, 如 pH 响应性脂质体, 可以提供高强度聚焦超声在宫颈病变非手术治疗的效果, 为保留生育功能治疗提供了新的

思路^[53]。

6 总结与展望

随着宫颈癌年轻化趋势的加剧, 保留生育功能的治疗需求持续增长。如何在保障肿瘤治疗效果的同时, 最大限度地保留患者的生育能力, 是临床面临的重大挑战。本文系统梳理超声、MRI、PET/CT 及 PET/MRI 在宫颈癌患者保留生育功能治疗评估中的应用价值, 着重阐述这些技术在肿瘤浸润、淋巴结转移等关键指标上的贡献, 同时深入探讨人工智能在影像分析中的巨大潜力。多模态影像的整合有望显著提升术前评估及随访管理的精准性, 为治疗方案的制订提供科学依据。

未来, 通过大样本、多中心研究, 进一步验证这些技术的临床实用性, 并建立术前一术中一术后多阶段标准化评估体系, 必将进一步优化宫颈癌保留生育功能治疗策略, 大幅提升患者的治疗效果与生活质量。

第一作者:

温欣然 (ORCID: 0009-0003-8362-9866), 本科。

通信作者:

蒋西然 (ORCID: 0000-0002-9640-6368), 博士, 教授, 高校教师, E-mail: xrjiang@cmu.edu.cn。

作者贡献声明:

温欣然: 文献查阅、文章书写; 艾华: 修改润色; 蒋西然: 文章润色、审阅。

[参 考 文 献]

- [1] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. *CA Cancer J Clin*, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] ARBYN M, WEIDERPASS E, BRUNI L, et al. Estimates of incidence and mortality of cervical cancer in 2018: a worldwide analysis[J]. *Lancet Glob Health*, 2020, 8(2): e191-e203.
- [3] TALIENTO C, SCUTIERO G, BATTELLO G, et al. Reproductive, obstetrical and oncological outcomes of fertility-sparing treatment for cervical cancer according to the FIGO 2018 staging system: a systematic review [J]. *Eur J Surg Oncol*, 2025, 51(1): 109359.
- [4] MORO F, BONANNO G M, GUI B, et al. Imaging modalities in fertility preservation in patients with gynecologic cancers [J]. *Int J Gynecol Cancer*, 2021, 31(3): 323-331.
- [5] LEE M, ANDRIEU P I C, NOUGARET S, et al. Role of MRI in assessing the feasibility of fertility-sparing treatments for early-

- stage endometrial and cervical cancers [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2025, 224(3): e2432157.
- [6] 卢淮武, 李 璉, 刘昀昀, 等. 早期宫颈癌保留生育功能诊治指南(2025年版)[J]. *中国实用妇科与产科杂志*, 2025, 41(1): 66-75.
- LU H W, LI J, LIU Y Y, et al. Guidelines for the diagnosis and treatment of early cervical cancer with fertility preservation (2025 edition) [J]. *Chin J Pract Gynecol Obstet*, 2025, 41(1): 66-75.
- [7] 李晓琦, 吴小华. I B2期宫颈癌保留生育功能手术治疗的“复旦标准”决策经验[J]. *实用妇产科杂志*, 2022, 38(7): 488-491.
- LI X Q, WU X H. Decision-making experience of “Fudan standard” for fertility-preserving surgical treatment of stage I B2 cervical cancer [J]. *J Pract Obstet Gynecol*, 2022, 38(7): 488-491.
- [8] ABU-RUSTUM N R, YASHAR C M, AREND R, et al. NCCN guidelines[®] insights: cervical cancer, version 1.2024 [J]. *J Natl Compr Canc Netw*, 2023, 21(12): 1224-1233.
- [9] SALMAN L, COVENS A. Fertility preservation in cervical cancer-treatment strategies and indications [J]. *Curr Oncol*, 2024, 31(1): 296-306.
- [10] VIDAL URBINATI A M, PINO I, IACOBONE A D, et al. Vaginosonography versus MRI in pre-treatment evaluation of early-stage cervical cancer: An old tool for a new precision approach? [J]. *Diagnostics*, 2022, 12(12): 2904.
- [11] WU M L, WU J W, HUANG L C, et al. Comparison of contrast-enhanced ultrasonography and magnetic resonance imaging in the evaluation of tumor size and local invasion of surgically treated cervical cancer [J]. *Abdom Radiol*, 2022, 47(8): 2928-2936.
- [12] XIA S J, HUA Q, SONG Y Y, et al. Super-resolution ultrasound imaging of intranodal lymphatic sinuses for predicting sentinel lymph node metastasis in breast cancer: a preliminary study [J]. *Eur Radiol*, 2025, 35(10): 6079-6088.
- [13] GALAZIS N, SASO S, SORBI F, et al. Intraoperative ultrasound during fertility-sparing surgery: a systematic review and practical applications [J]. *Gynecol Obstet Invest*, 2020, 85(2): 127-148.
- [14] FRICOVÁ L, KOMMOSS S, SCAMBIA G, et al. Reproductive outcomes after fertility-sparing surgery for cervical cancer - results of the multicenter FERTISS study [J]. *Gynecol Oncol*, 2024, 190: 179-185.
- [15] SALIB M Y, RUSSELL J H B, STEWART V R, et al. 2018 FIGO staging classification for cervical cancer: added benefits of imaging [J]. *Radiographics*, 2020, 40(6): 1807-1822.
- [16] SALVO G, ODETTO D, SAEZ PERROTTA M C, et al. Measurement of tumor size in early cervical cancer: an ever-evolving paradigm [J]. *Int J Gynecol Cancer*, 2020, 30(8): 1215-1223.
- [17] SAIDA T, SAKATA A, TANAKA Y O, et al. Clinical and MRI characteristics of uterine cervical adenocarcinoma: its variants and mimics [J]. *Korean J Radiol*, 2019, 20(3): 364-377.
- [18] LAKHMAN Y, AKIN O, PARK K J, et al. Stage IB1 cervical cancer: role of preoperative MR imaging in selection of patients for fertility-sparing radical trachelectomy [J]. *Radiology*, 2013, 269(1): 149-158.
- [19] PLANTE M, RENAUD M C, SEBASTIANELLI A, et al. Simple vaginal trachelectomy in women with early-stage low-risk cervical cancer who wish to preserve fertility: the new standard of care? [J]. *Int J Gynecol Cancer*, 2020, 30(7): 981-986.
- [20] SLAMA J, RUNNEBAUM I B, SCAMBIA G, et al. Analysis of risk factors for recurrence in cervical cancer patients after fertility-sparing treatment: the fertility sparing surgery retrospective multicenter study [J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2023, 228(4): 443.e1-443.e10.
- [21] BAI Z Q, SHI J, WANG J, et al. ADC and kinetic parameter of primary tumor: surrogate imaging markers for fertility-sparing vaginal radical trachelectomy in patients with stage I B cervical cancer [J]. *Eur J Radiol*, 2022, 155: 110467.
- [22] HU Q M, SHI J M, ZHANG A N, et al. Added value of radiomics analysis in MRI invisible early-stage cervical cancers [J]. *Br J Radiol*, 2022, 95(1133): 20210986.
- [23] BHARDWAJ R, BORUAH D K, GOGOI B B, et al. Added-value of diffusion-weighted imaging (DWI) and dynamic contrast-enhanced (DCE-MRI) magnetic resonance imaging in the preoperative assessment of cervical cancer [J]. *J Obstet Gynaecol India*, 2022, 72(4): 330-340.
- [24] ZHANG K, YU B, TANG M M, et al. Endovaginal coil for pelvic high-resolution magnetic resonance imaging of cervical cancer: a preliminary parameter optimization study [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2024, 14(6): 3851-3862.
- [25] DOWNEY K, SHEPHERD J H, ATTYGALLE A D, et al. Preoperative imaging in patients undergoing trachelectomy for cervical cancer: validation of a combined T2- and diffusion-weighted endovaginal MRI technique at 3.0 T [J]. *Gynecol Oncol*, 2014, 133(2): 326-332.
- [26] DOWNEY K, ATTYGALLE A D, MORGAN V A, et al. Comparison of optimised endovaginal vs external array coil T2-weighted and diffusion-weighted imaging techniques for detecting suspected early stage (I A / I B1) uterine cervical cancer [J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(4): 941-950.
- [27] BHOSALE P R, IYER R B, RAMALINGAM P, et al. Is MRI helpful in assessing the distance of the tumour from the internal os in patients with cervical cancer below FIGO Stage I B2? [J]. *Clin Radiol*, 2016, 71(6): 515-522.
- [28] WU L Y, LI S H, LI S F, et al. Preoperative magnetic resonance imaging-radiomics in cervical cancer: a systematic review and meta-analysis [J]. *Front Oncol*, 2024, 14: 1416378.
- [29] YAN H W, HUANG G T, YANG Z H, et al. Machine learning-based multiparametric magnetic resonance imaging radiomics model for preoperative predicting the deep stromal invasion in patients with early cervical cancer [J]. *J Imaging Inform Med*, 2024, 37(1): 230-246.
- [30] ZHANG Y, QIN Z H, LI L R, et al. Machine learning-based

- models for assessing postoperative risk factors in patients with cervical cancer[J]. *Acad Radiol*, 2024, 31(4): 1410–1418.
- [31] 熊光武. 早期宫颈癌保留生育功能手术的术前评估[J]. *中国微创外科杂志*, 2021, 21(4): 289–292.
- XIONG G W. Preoperative evaluation of fertility-preserving surgery for early cervical cancer [J]. *Chin J Minim Invasive Surg*, 2021, 21(4): 289–292.
- [32] CHENG J M, LUO W X, TAN B G, et al. Whole-tumor histogram analysis of apparent diffusion coefficients for predicting lymphovascular space invasion in stage I B– II A cervical cancer[J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1206659.
- [33] LI S J, LIU J, ZHANG W H, et al. T1 mapping and multimodel diffusion-weighted imaging in the assessment of cervical cancer: a preliminary study[J]. *Br J Radiol*, 2023, 96(1148): 20220952.
- [34] SONG Q L, TIAN S F, MA C J, et al. Amide proton transfer weighted imaging combined with dynamic contrast-enhanced MRI in predicting lymphovascular space invasion and deep stromal invasion of I B1– II A1 cervical cancer[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 916846.
- [35] YANG C S, ABU HASSAN H, OMAR N F, et al. The value of amide proton transfer imaging in predicting parametrial invasion and lymph-vascular space invasion of cervical cancer[J]. *Magn Reson Imaging*, 2025, 116: 110282.
- [36] WANG W, FAN X F, YANG J, et al. Preliminary MRI study of extracellular volume fraction for identification of lymphovascular space invasion of cervical cancer [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2023, 57(2): 587–597.
- [37] WANG S X, LIU X W, WU Y, et al. Habitat-based radiomics enhances the ability to predict lymphovascular space invasion in cervical cancer: a multi-center study[J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1252074.
- [38] ZHANG H, TENG C, YAO Y, et al. MRI-based radiomics models for noninvasive evaluation of lymphovascular space invasion in cervical cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Radiol*, 2024, 79(11): e1372–e1382.
- [39] WU Q X, LOU J H, LIU J J, et al. Performance of node reporting and data system (node-RADS): a preliminary study in cervical cancer[J]. *BMC Med Imaging*, 2024, 24(1): 28.
- [40] NINKOVA R V, CALABRESE A, CURTI F, et al. The performance of the node reporting and data system 1.0 (Node-RADS) and DWI-MRI in staging patients with cervical carcinoma according to the new FIGO classification (2018)[J]. *Radiol Med*, 2024, 129(7): 1062–1075.
- [41] SONG Q L, YU Y Y, ZHANG X M, et al. Value of MRI and diffusion-weighted imaging in diagnosing normal-sized pelvic lymph nodes metastases in patients with cervical cancer[J]. *Br J Radiol*, 2022, 95(1138): 20200203.
- [42] SONG J C, HU Q M, MA Z L, et al. Feasibility of T2WI-MRI-based radiomics nomogram for predicting normal-sized pelvic lymph node metastasis in cervical cancer patients [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(9): 6938–6948.
- [43] QIAN W L, LI Z S, CHEN W D, et al. RESOLVE-DWI-based deep learning nomogram for prediction of normal-sized lymph node metastasis in cervical cancer: a preliminary study[J]. *BMC Med Imaging*, 2022, 22(1): 221.
- [44] 王亚东, 郑莹. 新辅助化疗在早期宫颈癌保留生育功能治疗中的应用价值[J]. *实用妇产科杂志*, 2022, 38(7): 500–504.
- WANG Y D, ZHENG Y. Application value of neoadjuvant chemotherapy in fertility-preserving treatment of early cervical cancer[J]. *J Pract Obstet Gynecol*, 2022, 38(7): 500–504.
- [45] RUSSO L, GUI B, MICCÒ M, et al. The role of MRI in cervical cancer > 2 cm (FIGO stage IB2– II A1) conservatively treated with neoadjuvant chemotherapy followed by conization: a pilot study[J]. *Radiol Med*, 2021, 126(8): 1055–1063.
- [46] LI X Q, JIANG Z X, LU J, et al. Neoadjuvant chemotherapy followed by radical trachelectomy versus upfront abdominal radical trachelectomy for patients with FIGO 2018 stage IB2 cervical cancer[J]. *Gynecol Oncol*, 2023, 169: 106–112.
- [47] GWACHAM N I, MCKENZIE N D, FITZGERALD E R, et al. Neoadjuvant chemotherapy followed by fertility sparing surgery in cervical cancers size 2–4 cm; emerging data and future perspectives[J]. *Gynecol Oncol*, 2021, 162(3): 809–815.
- [48] MANGANARO L, LAKHMAN Y, BHARWANI N, et al. Staging, recurrence and follow-up of uterine cervical cancer using MRI: updated guidelines of the European Society of Urogenital Radiology after revised FIGO staging 2018 [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(10): 7802–7816.
- [49] ADAM J A, VAN DIEPEN P R, MOM C H, et al. ¹⁸F FDG-PET or PET/CT in the evaluation of pelvic and para-aortic lymph nodes in patients with locally advanced cervical cancer: a systematic review of the literature[J]. *Gynecol Oncol*, 2020, 159(2): 588–596.
- [50] WOO S, ATUN R, WARD Z J, et al. Diagnostic performance of conventional and advanced imaging modalities for assessing newly diagnosed cervical cancer: systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(10): 5560–5577.
- [51] EBRAHIMI S, LUNDSTRÖM E, BATASIN S J, et al. Application of PET/MRI in gynecologic malignancies [J]. *Cancers*, 2024, 16(8): 1478.
- [52] SHAO R R, QIAO X F, CAO L L, et al. Multimodal imaging and photothermal/chemodynamic therapy of cervical cancer using GSH-responsive MoS₂@MnO₂ theranostic nanoparticles [J]. *Discov Nano*, 2023, 18(1): 122.
- [53] ZHANG L, GAO X Y, YUAN J J, et al. pH-responsive and therapeutic liposomes for enhanced high-intensity focused ultrasound imaging and therapy in gynecologic malignancies [J]. *Adv Funct Mater*, 2025, 35(5): 2413914.

(收稿日期: 2025-10-10 修回日期: 2025-12-29)