·诊治分析·

纳米炭示踪剂在早期宫颈癌前哨淋巴结中的检出率与影响因素分析

陈海英，胡艳，胡盼盼，王芝英

【摘要】**目的**　探讨纳米炭在早期宫颈癌前哨淋巴结活检（SLNB）中的检出率及影响因素。**方法**　本研究为回顾性分析。纳入 2021 年 1 月至 2025 年 12 月在象山县第一人民医院接受手术治疗的早期宫颈癌患者 83 例，所有患者均行根治性子宫切除术+SLNB+系统盆腔淋巴结清扫术，SLNB 均采用纳米碳为示踪剂。评估纳米炭整体检出率、双侧检出率、敏感性、假阴性率、阴性预测值、准确性及安全性，并分析其影响因素。**结果**　共 73 例（87.95%）成功检出前哨淋巴结（SLN），双侧检出率为 49.4%。共检出 SLN 216 枚，主要分布于闭孔（45.4%）、髂外（33.3%）和髂内（14.4%）区域。SLNB 的敏感性、假阴性率、阴性预测值和准确性分别为 92.3%、7.7%、98.4%和 98.6%。多因素分析显示，肿瘤直径＞ 2 cm，体质量指数（BMI）＞ 25 kg/m^2 及腹部手术史是影响 SLN 检出率的独立危险因素（均 $P < 0.05$）。未见与纳米炭相关不良反应与并发症。**结论**　纳米炭作为 SLN 示踪剂在早期宫颈癌中具有良好的检出率和安全性，尤其适用于肿瘤直径小、无腹部手术史的非肥胖患者。

【关键词】　纳米炭；早期宫颈癌；前哨淋巴结活检；检出率；影响因素
DOI:10.3969/j.issn.1671-0800.2026.07.017
【中图分类号】　R737.33　【文献标志码】　A　【文章编号】　1671-0800(2026)07-0776-04

宫颈癌位居全球女性恶性肿瘤发病率第 4 位[1]，根治性子宫切除联合系统性盆腔淋巴结清扫术虽可有效控制原发灶及潜在转移，但常伴随淋巴液渗漏（8.2%～ 24.1%）、下肢淋巴水肿（20%～ 35%）及血管神经损伤（2%～ 10%）等并发症，严重影响患者生存质量[2]。前哨淋巴结（sentinel lymph node，SLN）是肿瘤细胞转移路径中最先受累淋巴结，由于宫颈癌淋巴结转移具有高度顺序性（跳跃转移率＜ 2%），因此 SLN 状态能够较好反应整个盆腔淋巴结受累情况[3]。前哨淋巴结活检术（sentinel lymph node biopsy，SLNB）通过精确识别 SLN，可以在保证肿瘤学安全的前提下，避免不必要的广泛淋巴结清扫[4]。SLNB 技术关键在于示踪剂的选择和应用。近年来，纳米炭作为一种新型示踪剂展现出独特优势，为宫颈癌 SLNB 提供了新的技术选择。因此，本研究探讨纳米炭在宫颈癌中的应用检出率和影响因素，现报道如下。

基金项目：　宁波市科技计划项目（2023S194）

作者单位：　315700 象山，象山县第一人民医院医疗健康集团（陈海英，胡艳，胡盼盼，王芝英）；象山县妇幼保健计划生育服务中心（陈海英）

通信作者：　王芝英，Email：medresrchg@126.com

1　资料与方法

1.1　一般资料　本研究为回顾性分析。收集 2021 年 1 月至 2025 年 12 月期间象山县第一人民医院收治的早期宫颈癌患者 83 例。纳入标准：（1）国际妇产科联盟分期（FIGO）2018 分期为 IA1 期（伴 LVSI）～ IIA1 期；（2）年龄 18 ～ 70 岁，体能状态良好[美国东部肿瘤协作组（ECOG）评分≤1 分]；（3）术前影像学（MRI/CT）评估无盆腔及远处淋巴结转移；（4）均行根治性子宫切除术联合 SLNB+系统性盆腔淋巴结清扫术。排除标准：（1）既往接受过盆腔或腹主动脉淋巴结清扫、放疗或化疗；（2）合并其他恶性肿瘤；（3）纳米炭或碘对比剂过敏史；（4）术中发现广泛盆腔粘连，无法完成标准手术；（5）临床资料不完整。本研究获得象山县第一人民医院医疗健康集团伦理委员会批准，所有患者均签署知情同意书。

1.2　方法　使用 1 mL 注射器配 27G 针头，无菌纳米炭混悬注射液（25 mg∶0.5 mL，重庆莱美药业股份有限公司）使用 0.9%氯化钠注射液稀释至 1 mL，直视下于宫颈 3 点、9 点间质层（深度 3 ～ 5 mm）分两点注射，每点 0.5 mL，2 min 完成注射。拔针时维持负压减少渗漏，无菌纱布轻压穿刺点。待 5 ～ 10 min

示踪剂充分迁移后，沿淋巴引流路径精细解剖，识别并定位 SLN，所有肉眼可辨的黑染淋巴结均予切除并按解剖位置标记送快速冰冻病理检查。完成SLNB后，继续行系统盆腔淋巴结清扫术，清扫范围包括双侧闭孔、髂内、髂外、髂总等淋巴结。

1.3　观察指标　(1)总体检出率：成功识别至少 1 枚 SLN/总患者数×100%。(2)双侧检出率：双侧均检出 SLN/总患者数×100%。(3)假阴性率：假阴性/(真阳性+假阴性)×100%。(4) 敏感性：真阳性/(真阳性+假阴性)×100%。(5)阴性预测值：真阴性/(真阴性+假阴性)×100%。(6)准确性：(真阳性+真阴性)/总患者数×100%。

1.4　统计方法　使用 R 软件(版本 4.4.3)处理数据。连续性变量经正态性检验后，符合正态分布者以均值±标准差表示，组间比较采用独立样本 t 检验；分类变量以频数和百分比表示，组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。多因素分析采用 Logistic 回归分析。$P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2　结果

2.1　SLN 检出情况及解剖分布　83 例患者中，73 例(87.95%)成功检出 SLN，双侧检出 41 例(49.4%)。73 例患者共检出 SLN 216 枚，平均(2.96±1.24)枚，中位数 3 枚(1 ～ 6 枚)。检出的 SLN 主要分布在闭孔区域 98 枚(45.4%)，其次为髂外 72 枚(33.3%)，髂内 31 枚 (14.4%)，髂总 12 枚 (5.5%)，宫旁 2 枚(1.0%)，骶前 1 枚(0.4%)。

2.2　淋巴结转移情况　83 例患者共切除盆腔淋巴结 1 847 枚，平均每例(23.4±6.8)枚。病理证实淋巴结转移患者 14 例(17.7%)，转移淋巴结共 31 枚，其中 SLN 转移 19 枚，非 SLN 转移 12 枚。73 例成功检出 SLN 的患者中，13 例出现淋巴结阳性，其中 10 例 SLN 和非 SLN 均阳性，2 例 SLN 阳性非 SLN 阴性，1 例 SLN 阴性非 SLN 阳性(单侧显影病例)。10 例未检出 SLN 患者中，1 例淋巴结阳性。

2.3　SLNB 的诊断效能　SLNB 敏感性为 92.3%(12/13)，假阴性率 7.7%(1/13)，阴性预测值 98.4%(60/61)，准确率为 98.6%(72/73)。

2.4　SLN 检出率影响因素分析　单因素分析显示肿瘤直径、体质量指数(BMI)、腹部手术史及宫颈长度与 SLN 检出率相关 (均 $P < 0.05$)。将上述变量纳入多因素 Logistic 回归分析，结果显示肿瘤直径、BMI 及腹部手术史是影响 SLN 检出率的独立影响因素(均 $P < 0.05$)，见表 1。

2.5　并发症情况　所有患者均安全完成手术，无死亡病例，无示踪剂不良反应病例。术后并发症包括：轻度下肢淋巴水肿 5 例(6.02%)，经抬高患肢、弹力袜压迫及淋巴引流等保守治疗后症状改善。膀胱功能障碍 3 例(3.61%)，切口感染 1 例(1.20%)，均经保守治疗后好转，未发生严重并发症。

3　讨论

纳米炭示踪作为一种无放射性、显色明显且迁移持久的 SLN 示踪剂，不依赖放射性或荧光设备，可直观观察淋巴结染色情况，与传统的放射性同位素或蓝染法相比，适用性更广[5]。

研究显示，纳米炭在宫颈癌 SLNB 中的检出率通常在 85%～ 95% [3, 5-6]，本研究 SLN 整体检出率 (92.3%) 与既往文献基本一致，但是双侧检出率 (53.5%)低于文献报告的 70%～ 85%[3, 5-6]。推测原因可能技术熟练度相关，现有的学习曲线研究提示至少需完成 27 例方能达到稳定水平，30 ～ 40 例后关键指标(如双侧映射)进入平台期[7]，本次研究样本量较少，无法剔除学习阶段病例，这一定程度上影响了结果的准确性。安全性方面，并发症主要集中于淋巴结清扫相关的下肢淋巴水肿，膀胱功能障碍等，未观察到示踪剂相关过敏反应或其他严重不良事件，这与纳米炭独特的理化特性相关。纳米炭由平均直径 150 nm 的纳米颗粒组成，利用了淋巴管 (120 ～ 500 nm)与毛细血管(20 ～ 50 nm)直径差异，使其能够选择性地通过淋巴管而不进入血液循环，从而确保良好的生物安全性[8]。在乳腺癌[9]、结直肠癌[10]、甲状腺癌 [11] 等多种肿瘤类型中，相关研究均未报道与其使用相关的不良反应。

宫颈的淋巴引流具有相对固定的解剖路径，主要经宫旁淋巴管汇入闭孔、髂外和髂内淋巴结群，这些区域构成了宫颈癌淋巴转移的第一站[12]。本研究结果显示，SLN 主要集中于闭孔、髂外和髂内区域，髂总区域检出率相对较低(5.5%)，宫旁和骶前区域更为少见(1.4%)，这与宫颈淋巴引流解剖路径高度

表 1　影响 SLN 检出率的单因素和多因素分析

变量	检出例数/总例数	*P* 值	*OR* 值（95%*CI*）	*P* 值
年龄（岁）				
＜ 60	45/50	＞ 0.05		
≥60	28/33			
体质量指数（kg/m²）				
＜ 25	50/52	＜ 0.05	19.25（2.350 ～ 463.790）	＜ 0.05
≥25	23/31			
肿瘤分期				
IA2 ～ IB1	44/47	＞ 0.05		
IB2 ～ IIA1	29/36			
组织学分型				
鳞癌	49/53	＞ 0.05		
腺癌	24/30			
分化程度				
高分化	58/64	＞ 0.05		
中/低分化	15/19			
肿瘤直径（cm）				
≤2	55/57	＜ 0.05	30.62（3.160 ～ 899.950）	＜ 0.05
＞ 2	18/26			
浸润深度				
＜ 1/2	40/45	＞ 0.05		
≥1/2	33/38			
腹部手术史				
有	18/25	＜ 0.05	0.036（0.001 ～ 0.320）	＜ 0.05
无	55/58			
糖尿病				
是	11/14	＞ 0.05		
否	62/69			
宫颈长度（cm）				
≥3	26/34	＜ 0.05	7.62（1.076 ～ 85.460）	＞ 0.05
＜ 3	47/49			
绝经状态				
绝经前	38/42	＞ 0.05		
绝经后	35/41			
术前锥切				
是	6/8	＞ 0.05		
否	67/75			
淋巴脉管浸润				
阳性	17/21	＞ 0.05		
阴性	56/62			

吻合，这一分布特点证实了示踪技术在解剖定位上的准确性。

本研究结果显示，肿瘤≤2 cm 是 SLN 检出独立危险因素（$P < 0.05$），这与多项研究和综述一致[6,13]。现有理论认为随着肿瘤体积增大，瘤内坏死和肿瘤细胞栓塞会阻断或改变原有淋巴路径，减弱示踪剂迁移并促进“假通路”形成。较大肿瘤还可能直接压迫或侵犯周围淋巴管结构，相比之下，肿瘤≤2 cm 时淋巴结构破坏较轻，示踪扩散更符合解剖学特征。这一结果为 NCCN /ESGO 等指南将小体积、早期宫颈癌作为 SLNB 优先适应症提供了有力证据[14-15]。

此外，本次研究显示 BMI≥25 kg/m² 患者的 SLN 检出率更低，这可能与肥胖患者盆腔脂肪组织增多、淋巴管解剖变异以及手术操作难度增加有关[16]。手术史方面，腹部、盆腔手术可能通过瘢痕与黏连改变淋巴通路与手术暴露，进而影响检出率。由于纳米

炭示踪基于直视下黑染淋巴结追踪，理论上更依赖清晰的盆壁暴露与连续淋巴通道呈现。在一项子宫内膜癌的大样本研究中，术中黏连松解被证实为 SLNB 失败独立危险因素[17]。因此，笔者认为需强调注射时机的重要性，建议在评估或处理黏连后再进行宫颈注射以提高显影成功率，并可考虑适当延长等待时间或补注以提升显影质量。

除此之外，最新的 Meta 分析显示高龄、分期较晚、新辅助治疗史也与检出率相关[5]。从病理生理角度分析，新辅助化疗导致组织细胞聚集、淋巴细胞耗竭、纤维化和透明变性；放疗则导致淋巴细胞耗竭和间质萎缩，被脂肪细胞替代，使得淋巴结在显微镜检查下难以区分。这些改变不同程度破坏正常引流模式，遗憾的是由于样本限制，本次研究未进行该方面的探讨。

值得一提的是，淋巴脉管浸润理论上也可能阻塞淋巴引流从而影响检出率，但是本次研究未确定淋巴脉管浸润为危险因素，可能是因为淋巴脉管浸润主要侵犯局部的淋巴血管间隙，其对整体淋巴引流系统的影响相对局限，不足以完全阻断示踪剂迁移。

本次研究存在一定局限性：首先，作为单中心回顾性研究，样本量相对有限；其次，缺乏其他示踪剂的对比，无法全面评估纳米炭的优势与不足。

综上所述，纳米炭作为 SLN 示踪剂在早期宫颈癌中具有较高的检出率和安全性，检出的 SLN 分布符合淋巴引流解剖特征，肿瘤直径、BMI 和腹部手术史是影响检出率的重要因素。随着技术的不断完善和标准化程度的提高，SLNB 有望成为早期宫颈癌淋巴结评估的标准方法，从而避免不必要的淋巴术式。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　陈海英：研究实施，论文撰写；胡艳：数据整理，统计学分析；胡盼盼：研究指导，论文修改；王芝英：研究指导，论文修改，经费支持

参　考　文　献

[1] 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.

[2] Huang J, Wu X H, Yu Y, et al. Complications of radical hysterectomy with pelvic lymph node dissection for cervical cancer: A 10-year single-centre clinical observational study[J]. BMC Cancer, 2022, 22(1): 1286.

[3] Margioula-Siarkou C, Almperis A, Gullo G, et al. Sentinel lymph node staging in early-stage cervical cancer: A comprehensive review [J]. J Clin Med, 2023, 13(1): 27.

[4] Favre G, Guani B, Balaya V, et al. Sentinel lymph-node biopsy in early-stage cervical cancer: The 4-year follow-up results of the senticol 2 trial[J]. Front Oncol, 2020, 10: 621518.

[5] Qu T, Zeng G F, Yang J M, et al. Sentinel lymph node biopsy mapped with carbon nanoparticle suspensions in patients with cervical cancer: A systematic review and meta-analysis[J]. Jpn J Clin Oncol, 2025, 55(8): 889-900.

[6] Sponholtz S E, Mogensen O, Hildebrandt M G, et al. Sentinel lymph node mapping in early-stage cervical cancer-A national prospective multicenter study (SENTIREC trial)[J]. Gynecol Oncol, 2021, 162(3): 546-554.

[7] Bizzarri N, Obermair A, Hsu H C, et al. Consensus on surgical technique for sentinel lymph node dissection in cervical cancer[J]. Int J Gynecol Cancer, 2024, 34(4): 504-509.

[8] Rossi E C. An evolution in sentinel node mapping for cervical cancer[J]. BJOG, 2021, 128(5): 899.

[9] Li X N, Fu H M, Li P P, et al. Nano carbon tracing-based treatment of breast cancer lymphadenectomy and nursing intervention of postoperative lymphedema[J]. Cell Mol Biol (Noisy-le-grand), 2022, 68(3): 304-313.

[10] Liu P C, Tan J, Tan Q W, et al. Application of carbon nanoparticles in tracing lymph nodes and locating tumors in colorectal cancer: A concise review[J]. Int J Nanomedicine, 2020, 15: 9671-9681.

[11] He J X, Sun P F, Lin J H, et al. Application of carbon nanoparticles in endoscopic thyroid cancer surgery: A systematic review and meta-analysis[J]. Front Surg, 2023, 10: 1283573.

[12] Dheur A, Kakkos A, Danthine D, et al. Lymph node assessment in cervical cancer: Current approaches[J]. Front Oncol, 2024, 14: 1435532.

[13] Balaya V, Guani B, Pache B, et al. Sentinel lymph node in cervical cancer: Time to move forward[J]. Chin Clin Oncol, 2021, 10(2): 18.

[14] Cibula D, Raspollini M R, Planchamp F, et al. ESGO/ESTRO/ESP Guidelines for the management of patients with cervical cancer-Update 2023[J]. Int J Gynecol Cancer, 2023, 33(5): 649-666.

[15] Wang T Y, Xu Y, Shao W Y, et al. Sentinel lymph node mapping: Current applications and future perspectives in gynecology malignant tumors[J]. Front Med, 2022, 9: 922585.

[16] Balaya V, Bresset A, Guani B, et al. Risk factors for failure of bilateral sentinel lymph node mapping in early-stage cervical cancer [J]. Gynecol Oncol, 2020, 156(1): 93-99.

[17] Garrett A A, Wield A, Mumford B, et al. Clinical factors associated with failed sentinel lymph node mapping in endometrial cancer[J]. Gynecol Oncol Rep, 2022, 44: 101080.

收稿日期：2026-04-09

（本文编辑：吴迪汉）