· 论　　著 · Original Article ·

中国现代
普通外科进展
Chin J Curr Adv Gen Surg

2025年9月　第28卷　第9期　Sep. 2025 Vol. 28 No. 9

^{18}F-FDG PET/CT在预测乳腺癌前哨淋巴结转移中的价值

陈丹丹　楼云龙　林政

梅州市人民医院　核医学科　（广东　梅州　514003）

【摘要】目的：基于正电子发射断层成像（PET）相关代谢参数及临床病理特征建立前哨淋巴结转移的预测模型。**方法：**回顾性分析梅州市人民医院2016年1月—2023年3月经手术病理诊断为乳腺癌，且术前行全身PET/CT检查的患者211例，收集其临床、病理及PET相关代谢参数等特征。分析乳腺癌原发灶临床病理特征及PET代谢参数与前哨淋巴结转移的关联，构建Logistic回归预测模型。**结果：**乳腺癌病灶PET可疑腋窝淋巴结转移、脉管癌栓、雌激素受体（ER）及孕激素受体（PR）表达在前哨淋巴结阳性组与阴性组间差异有统计学意义（P<0.05），而肿瘤最大径、肿瘤位置、最大标准化摄取值（SUVmax）、代谢肿瘤体积（MTV）、糖酵解总量（TLG）、病灶数量、病理类型、组织分级、神经侵犯、人表皮生长因子受体-2（HER-2）及细胞核相关抗原（Ki-67）等在两组间差异无统计学意义（P>0.05）。将单因素分析中差异有统计学意义的变量进行多因素Logistic回归分析，使用Logistic回归建立回归模型为Logit（P）=-0.437×脉管癌栓+4.685×可疑腋窝淋巴结转移。预测模型AUC为0.738（P<0.001，95% CI：0.664~0.812），敏感度及特异度分别为63.4%和74.4%。**结论：**乳腺癌原发灶PET是否有可疑腋窝淋巴结转移、脉管癌栓、ER及PR与前哨淋巴结转移有关，基于乳腺癌原发灶PET可疑腋窝淋巴结转移及脉管癌栓建立的预测模型对前哨淋巴结转移的预测有一定的价值，可能为临床提供一种无创的检查模式。

【关键词】乳腺癌•前哨淋巴结•PET/CT显像•预测

【中图分类号】R737.9

【文献标识码】A　DOI: 10.3969/j.issn.1009-9905.2025.09.005

【文章编号】1009-9905（2025）09-0697-05

Value of ^{18}F-FDG PET/CT in predicting sentinel lymph node metastasis in breast cancer

CHEN Dan-dan, LOU Yun-long, LIN Zheng

Department of Nuclear Medicine, Meizhou People's Hospital (Meizhou 514003, China)

【ABSTRACT】*Objective:* A model for predicting sentinel lymph node metastasis was established based on positron emission tomography (PET)-related metabolic parameters and clinicopathological characteristics. ***Methods:*** A retrospective analysis was conducted on 211 patients diagnosed with breast cancer through surgical pathology from January 2016 to March 2023 in Meizhou People's Hospital, who underwent whole-body PET/CT examinations prior to surgery. Clinical, pathological, and PET-related metabolic parameters were collected. The study analyzed the association between clinicopathological characteristics of the primary breast cancer lesion, PET metabolic parameters, and sentinel lymph node metastasis. A logistic regression predictive model was constructed using Broussonetia papyrifera. ***Results:***

[通信作者]陈丹丹，E-mail: 15219163910@163.com

Breast cancer primary lesion PET-suspicious axillary lymph nodes, vascular tumor thrombus, estrogen receptor (ER), and progesterone receptor (PR) showed statistically significant differences between the two groups (all $P<0.05$), while maximum tumor diameter, SUVmax tumor location, maximum standardized uptake value (SUVmax), metabolic tumor volume (MTV), total lesion glycolysis (TLG), tumor location, number of lesions, pathological type, histological grade, neural invasion, Homo sapiens epidermal growth factor receptor 2 (HER-2), and nuclear-associated antigen Ki-67 (Ki-67) showed no statistically significant differences between the two groups (all $P>0.05$). Parameters with $P<0.05$ in the univariate analysis were subjected to multivariate logistic regression analysis, and the logistic regression model was established as Logit(P)=-0.437 × vascular tumor thrombus + 4.685 × suspicious axillary lymph node metastasis. The predictive model AUC was 0.738 ($P<0.001$, 95% *CI*: 0.664~0.812), with sensitivity and specificity of 63.4% and 74.4%, respectively. ***Conclusion:*** PET findings of the primary breast cancer lesion regarding suspicious axillary lymph node metastasis, vascular tumor thrombus, ER and PR are associated with sentinel lymph node metastasis. The predictive model established based on PET-detected suspicious axillary lymph node metastasis and vascular tumor thrombus in primary breast cancer lesions has certain value in predicting sentinel lymph node metastasis, potentially providing a non-invasive examination modality for clinical practice.

【KEY WORDS】Breast cancer•PET/CT imaging•Sentinel lymph node metastasis•Prediction

乳腺癌是女性常见的恶性肿瘤，严重威胁女性生命健康[1]，前哨淋巴结是否转移是乳腺癌患者预后的关键因素，并对临床治疗方案的选择产生影响[2]。目前在临床上主要通过前哨淋巴结穿刺来评估其是否转移，但是该手段有创，会产生淋巴水肿、肌力下降和感觉障碍等并发症[3-5]，造成患者生活质量下降，因此，临床上需要寻找一种无创评估前哨淋巴结是否转移的方式。正电子发射断层显像-计算机断层成像（positron emission tomography/computed tomography, PET/CT）作为一种功能影像学检查，综合代谢、形态来评价前哨淋巴结的转移状态，目前罕见利用氟-18标记氟代脱氧葡萄糖PET/CT（^{18}F-Fluorodeoxyglucose PET/CT, ^{18}F-FDG PET/CT）代谢参数来评估前哨淋巴结状态的研究。本研究基于乳腺癌的PET/CT相关代谢参数及临床病理特征来探索其与前哨淋巴结状态的关系。

1　资料与方法

1.1　一般资料　回顾性选取2016年1月—2023年3月梅州市人民医院确诊为乳腺癌的患者211例。纳入标准：术前规范PET/CT检查，临床病理资料完整。排除标准：PET/CT前放化疗，或检查后未行活检。本研究经医院伦理委员会审批（202305069）。211例乳腺癌患者均为女性，年龄31～88岁，平均（53.76±11.29）岁。患者均在PET/CT显像后2周内行前哨淋巴结活检术，最终经病理确诊为前哨淋巴结转移阳性82例（38.9%），另外129例（61.1%）为前哨淋巴结阴性。

1.2　^{18}F-FDG PET/CT显像　采用Siemens Biograph mCT（16排CT）和原子能科学研究院广州中心提供的95%纯度^{18}F-FDG。PET/CT前，患者需空腹4 h以上，血糖≤11 mmol/L，按5.55 MBq/kg体重注射^{18}F-FDG，静息50～60 min后扫描大腿中上至颅顶。CT设置：140 kV，110 mA，0.5 s/圈，3 mm层厚。PET扫描3 min/床位，用CT图像校正PET衰减。

1.3　图像分析　2名资深核医学科医师独立盲审^{18}F-FDG PET/CT图像，采用MEDEX软件和三维勾画界定乳腺癌感兴趣区（region of interest, ROI）于PET/CT融合图上。应用最大标准化摄取值（standardized uptake value max, SUVmax）的40%作为相对阈值，软件自动在三维方向上分割病灶，获取SUVmax、平均标准化摄取值（standardized uptake value avg, SUVavg）、代谢肿瘤体积（metabolic tumor volume, MTV）及糖酵解总量（total lesion glycolysis, TLG）值。PET/CT诊断腋窝淋巴结转移标准：淋巴结短径≥1 cm或短径<1 cm但放射性摄取异常增高。任一标准符合即视为可疑转移。肿瘤最大径和位置分别依据PET/CT融合图像的最大层面和主体所在象限确定。

1.4　病理检查　所有患者术中采用美兰示踪法进行前哨淋巴结活检，阳性（≥1枚）定义为转移。阴性行乳腺切除术，阳性加行腋窝淋巴结清扫。

1.5　观察指标　比较前哨淋巴结转移阳性与阴性患者的PET可疑腋窝淋巴结、脉管癌栓、雌激素受体（estrogen receptor, ER）、孕激素受体（progesterone receptor, PR）、肿瘤最大径、SUVmax、肿瘤位置、SUVavg、MTV、TLG、肿瘤位置、病灶数量、病理类型、组织分级、神经侵犯、人表皮生长因子受体2（human epidermal growth factor receptor 2, HER-2）及细胞核相关抗原Ki-67。

1.6　统计学处理　采用SPSS21.0软件，计量资料以$\bar{x}\pm s$表示，计数资料以例数或百分比（%）表示，用t检

验和χ^2检验比较前哨淋巴结阳性与阴性组间参数差异。用多因素二分类Logistic回归确定建模的有效因素（P<0.05），并绘制ROC曲线评估模型预测效能。P<0.05表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 PET/CT参数及临床病理特征 前哨淋巴结转移阳性与阴性患者的PET/CT影像学特征见表1、图1。乳腺癌原发灶PET可疑腋窝淋巴结、脉管癌栓、ER、PR在两组间差异有统计学意义（P均<0.05），而肿瘤最大径、肿瘤位置、SUVmax、SUVavg、MTV、TLG、病灶数量、病理类型、组织分级、神经侵犯、HER-2及Ki-67在两组间差异无统计学意义（P均>0.05）。

2.2 前哨淋巴结转移状态的Logistic二元回归分析 将单因素分析中差异有统计学意义的变量进行多因素Logistic回归分析（表2），利用Bootstrap法对模型进行内验证，自抽样次数1000，模型的整体预测准确率为95.00%，模型拟合情况可以接受（表3）。使用Logistic回归建立回归模型方程：Logit(P)=-0.437×脉管癌栓+4.685×可疑腋窝淋巴结转移。预测模型的AUC为0.738（P<0.001，95% CI：0.664~0.812），敏感度及特异度分别为63.4%和74.4%（图2）。

表1 不同前哨淋巴结状态的乳腺癌患者PET/CT相关参数及临床病理特征比较

指标	前哨淋巴结状态		t/χ^2值	P值
	阳性（n=82）	阴性（n=129）		
肿瘤最大径（cm，$\bar{x}\pm s$）	2.1±1.3	2.3±1.3	1.024	0.307
SUVmax[$M(Q_1\sim Q_3)$]	6.2（1.7~28.8）	7.6（1.3~25.2）	1.142	0.254
SUVavg[$M(Q_1\sim Q_3)$]	4.0（1.0~18.4）	4.5（0.8~15.4）	1.069	0.285
MTV[$M(Q_1\sim Q_3)$]	3.2（0.6~23.9）	3.5（0.6~126.3）	0.319	0.750
TLG[$M(Q_1\sim Q_3)$]	14.3（1.4~140.0）	14.4（2.4~488.9）	0.738	0.461
PET可疑腋窝淋巴结（例）				
是	46	36	16.768	<0.001
否	36	93		
肿瘤位置（例）				
外上象限	29	47	7.922	0.161
内上象限	13	37		
外下象限	20	21		
内下象限	8	13		
中央区	12	11		
病灶数量（例）				
1	69	117	2.114	0.348
2	6	5		
3	7	7		
病理类型（例）				
浸润性导管癌	82	125	2.592	0.107
非浸润性导管癌	0	4		
组织分级（例）				
Ⅱ	55	92	0.427	0.513
Ⅲ	27	37		
脉管癌栓（例）				
有	27	30	3.378	0.034
无	55	99		
神经侵犯（例）				
有	73	122	2.203	0.138
无	9	7		
ER（例）				
阳性	15	42	5.174	0.023
阴性	67	87		
PR（例）				
阳性	20	52	5.652	0.017
阴性	62	77		
HER-2（例）				
阳性	54	90	0.821	0.365
阴性	28	39		
Ki-67（例）				
阳性	57	97	0.821	0.427
阴性	25	32		

3 讨论

对于前哨淋巴结状态的预测，目前均为传统影像学MRI及超声方面的相关研究[6-9]。近年来，PET/CT在乳腺癌术前诊断、分期、随访及预后中成为重要无创技术[10-13]，减少过度治疗对生活质量的影响。研究显示，乳腺癌原发灶^{18}F-FDG PET/CT代谢参数反映临床病理特征[14-17]，但结合PET影像与临床病理因素预测前哨淋巴结状态的模型罕见报道。有研究发现SLN阳性组肿瘤最大径较阴性组大，推测肿瘤体积增大可能增加淋巴结转移风险[18]，但本研究未得出此结论，可能与病例选择有关，需更多大样本研究验证。苏春艳等[19]指出肿瘤位置影响前哨淋巴结转移，外象限更易转移，但本研究未发现此差异，可能与病例选择偏倚相关。

乳腺癌前哨淋巴结转移与临床特征、病理结果的关系存在争议。部分研究认为病理类型、ER、PR、HER-2与其相关[20-23]，但Okuno等[24]发现乳腺癌前哨淋巴结转移与ER、PR不相关，而与组织分级、HER-2、Ki-67相关。本研究显示ER、PR与其有相关性，但非独立危险因素。ER、PR和HER-2的表达水平与肿瘤的组织分化程度及细胞增殖活性存在关联。乳腺癌免疫组织化学分子与前哨淋巴结转移的关系需进一步证据[25]。

Ran等[26]研究发现乳腺癌原发肿瘤的SUVmax在前哨淋巴结转移阳性与阴性间差异有统计学意义（P<0.05），并得出最佳诊断SUVmax阈值为2.15。然而

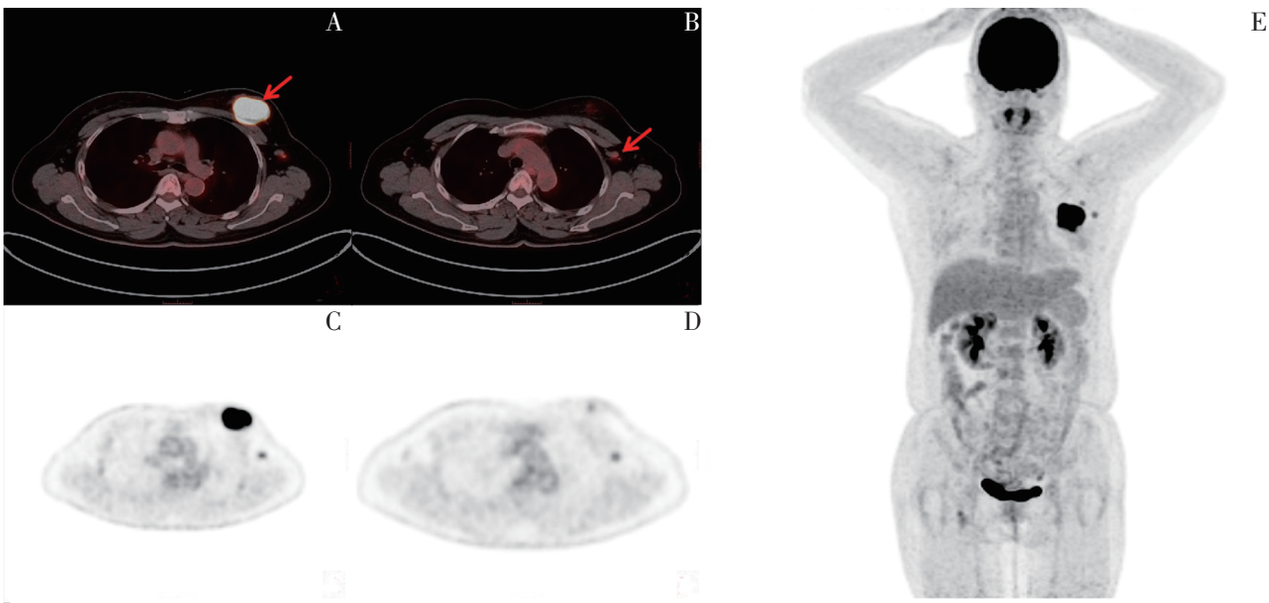


图 1　56 岁女性，左乳癌伴腋窝淋巴结转移 PET/CT 多模态影像图

A：PET/CT 融合横断位图像，箭示左乳上象限区肿块；B：PET/CT 融合横断位图像，箭示同侧腋窝肿大淋巴结；C：PET 横断位图像，显示左乳上象限区病灶代谢范围；D：PET 横断位图像，显示腋窝淋巴结代谢活性；E：PET/CT 最大密度投影图，肿瘤全身代谢分布，除左乳原发灶及腋窝转移灶外，未见其他部位异常高代谢病灶

表 2　前哨淋巴结转移状态的多因素二元 Logistic 回归

变量	*B*	*S.E.*	*Wald*	*P* 值	*OR* 值	95% *CI*	
						下限	上限
脉管癌栓	0.437	0.379	1.329	0.249	1.549	0.736	3.258
腋窝淋巴结病理	4.685	1.029	20.735	<0.001	108.302	14.417	813.544

表 3　前哨淋巴结转移状态的 Bootstrap 检验

变量	*B*	*β*	*S.E.*	*P* 值	95% *CI*	
					下限	上限
脉管癌栓	0.437	−0.007	0.412	0.269	−0.36	1.166
腋窝淋巴结病理	4.685	6.653	8.741	0.001	3.36	22.568
常量	−1.174	−0.011	0.216	0.001	−1.627	−0.778

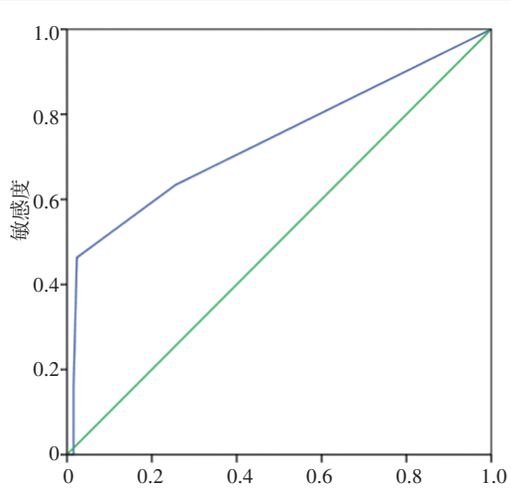


图 2　预测模型预测前哨淋巴结转移的 ROC 曲线

本研究中原发肿瘤 SUVmax 值在前哨淋巴结转移阳性与阴性患者中差异无统计学意义（*P*>0.05）。SUVmax 反映的是肿瘤内葡萄糖代谢最活跃区域的摄取值，但代谢活跃程度与转移潜能并非直接相关。部分高代谢肿瘤可能通过其他机制促进转移，而非单纯依赖代谢水平。SUVmax 在前哨淋巴结转移阳性与阴性组间差异不明显，可能是生物学复杂性及样本量过小造成的。

本研究也显示前哨淋巴结阳性组与阴性组间脉管癌栓的差异有统计学意义（*P*<0.05），原因可能为脉管癌栓是在肿瘤细胞通过淋巴管和（或）血管向淋巴结及远处转移过程中的关键环节，这与既往研究结果[23]相仿。Sheela 等[27]研究显示，原发肿瘤的 SUVmax、MTV 及 TLG 在前哨淋巴结转移阳性组与阴性组间差异有统计学意义（*P*<0.05），但不是独立的预测因素，仅有脉管癌栓为预测前哨淋巴结转移的独立预测因素。利用这些因素建模，AUC 达到 0.872，表明该模型在预测前哨淋巴结状态中具有较大的潜力。

本研究存在一些局限性，（1）成本与标准化问题：PET/CT 虽为有效预测工具，但高成本、长扫描时间及设备/操作差异限制其普及。未来需优化流程、降低成本，并制定标准化操作规范以提高普适性。（2）分子亚型研究不足：未深入分析不同乳腺癌分子亚型中 TLG、PET 参数及临床病理因素（如 HER-2、Ki-67）对前哨淋巴结转移预测的差异。后续研究可针对亚型细化模型，推动个体化诊疗。（3）单中心研究局限：当前为单中心回顾性分析，样本量及

条件有限，模型普适性待验证。建议开展多中心、大样本前瞻性研究以确认其临床应用价值。

总之，本研究基于乳腺PET/CT征象构建了高准确性预测模型，为评估前哨淋巴结转移风险提供简单可行方法，有望临床应用。未来工作中，PET检查若无可疑腋窝淋巴结转移，可考虑省略前哨淋巴结活检。低风险患者无需活检，高风险患者可直接清扫腋窝淋巴结。

参 考 文 献

[1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, 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. DOI: 10.3322/caac.21492.

[2] Kim MY. Breast cancer metastasis[J]. Adv Exp Med Biol, 2021, 0(1187): 183-204. DOI: 10.1007/978-981-32-9620-6_9.

[3] 江泽飞，李健斌.2021年St.Gallen国际乳腺癌会议早期乳腺癌诊疗专家共识热点问题解析[J].中国实用外科志，2021，41(11)：1209-1212. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2021.11.03.

[4] Wang X, Zhang G, Zuo Z, et al. Sentinel lymphnode positiverate predicts non-sentinel lymphnode metastasis in breast cancer[J]. J Surg Res, 2022, 3(271): 59- 66. DOI: 10.1016/j.jss.2021.09.039.

[5] Maimaitiaili A, Wu D, Liu Z, et al. Erratum to analysis of factors related to non-sentinel lymphnode metastasis in 296 sentinellymph node-positive chinese breast cancer patients[J]. Cancer Biol Med, 2018, 15(4):282-289. DOI: 10.20892/j.issn.2095-3941.2018.0438.

[6] 许华，陈士新，付伟，等.磁共振动态对比增强及弥散加权成像预测乳腺癌前哨淋巴结转移的价值[J].分子影像学杂志，2020，43(4):721-725. DOI: 10.12122/j.issn.1674-4500.2020.04.38.

[7] 张冬雪，李卓琳，李振辉，等.基于DCE-MRI及临床病理特征的模型预测乳腺癌前哨淋巴结状态[J].放射学实践，2022，37(9)：1104-1108. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.09.009.

[8] 左梦，张海宇，巴黎等.超声造影联合声触诊组织成像定量技术对乳腺癌前哨淋巴结转移的评估[J].中华医学超声杂志(电子版)，2021，18(2)：171-176. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1672-6448.2021.02.009.

[9] 陈红，徐婷婷，汤光宇.MRI评估乳腺癌新辅助化疗疗效价值的研究进展[J].同济大学学报(医学版)，2024，45(3):440-446. DOI: 10.12289/j.issn.2097-4345.23283.

[10] Marino MA, Avendano D, Zapata P, et al. Lymph node imaging in patients with primary breast cancer: concurrent diagnostic tools[J]. Oncologist, 2020, 25 (2): 231-242. DOI: 10.1634/theoncologist.2019-0427.

[11] Chang JM, Leung JWT, Moy L, et al. Axillary nodal evaluation in breast cancer: state of the art[J]. Radiology, 2020, 295(3): 500-515. DOI: 10.1148/radiol.2020192534.

[12] Diessner J, Anders L, Herbert S, et al. Evaluation of different imaging modalities for axillary lymph node staging in breast cancer patients to provide a personalized and optimized therapy algorithm[J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2023, 149(7): 3457 - 3467. DOI: 10.21203/rs.3.rs-710245/v1.

[13] Fowler AM, Cho SY. PET imaging for breast cancer[J]. Radiol Clin North Am, 2021, 59(5): 725-735. DOI: 10.1016/j.rcl.2021.05.004.

[14] 徐鑫，李继会，周夜夜等.^{18}F-FDG PET/CT半定量参数与乳腺癌病理特征的相关性研究[J].标记免疫分析与临 床，2021，28(5)：756-761. DOI: 10.11748/bjmy.issn.1006-1703.2021.05.009.

[15] 李晶，侯海峰，孙达等.乳腺癌^{18}F-FDG PET/CT代谢参数与TNM分期及Ki-67表达的关系[J].实用肿瘤杂志，2019，34(5)：424-429. DOI: 10.13267/j.cnki.syzlzz.2019.05.007.

[16] 牛增志.乳腺癌原发灶^{18}F-FDG PET-CT代谢参数与患者临床病理特征的关系研究[J].中国CT和MRI杂志，2019，17(4)：79-82. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2019.04.025.

[17] 张江华，王海峰，张克俭，等.血清hMAM、HER2、UBE2C联合检测对乳腺癌腋窝淋巴结转移的诊断价值[J].中国现代普通外科进展，2024，27(11)：856-860. DOI: 10.3969/j.issn.1009-9905.2024.11.004.

[18] 张华茂，杨向.OSR1与乳腺癌切除术后患者预后和淋巴结转移的相关性[J].中国现代普通外科进展，2023，26(9)：727-730. DOI: 10.3969/j.issn.1009-9905.2023.09.015.

[19] 苏春艳，杨智，付兵，等.乳腺癌多模态MRI表现与前哨淋巴结是否转移的临床价值研究[J].实用放射学杂志，2020，36(4)：579-582.DOI:10.3969/j.issn.1002-1671.2020.04.018.

[20] Ishizuka Y, Horimoto Y, Nakamura M, et al. Predictive factors for non-sentinel nodal metastasis in patients with sentinel lymph node-positive breast cancer[J]. Anticancer Res, 2020, 40(8): 4405-4412. DOI: 10.21873/anticanres.14445.

[21] 张璐，白俊文.不同分子分型1～2枚前哨淋巴结阳性乳腺癌免行腋窝淋巴结清扫的多因素分析[J].中国肿瘤临床，2021，48(19)：1001-1004. DOI: 10.12354/j.issn.1000-8179.2021.20211113.

[22] 蔡李芬，朱晓萍，唐婕等.早期浸润性乳腺癌前哨淋巴结、非前哨淋巴结转移的危险因素分析[J].浙江医学，2021，43(6)：582-588. DOI: 10.12056/j.issn.1006-2785.2021.43.6.2020-256.

[23] 郭日昌，梅林，陈凤如等.HER-2基因表达对乳腺癌前哨淋巴结转移性质的影响分析[J].吉林医学，2021，42(2)：362-365.

[24] Okuno J, Miyake T, Sota Y, et al. Development of prediction model including microRNA expression for sentinel lymph node metastasis in ER- positive and HER2- negative breast cancer[J]. Ann Surg Oncol, 2021, 28(1): 310-319. DOI: 10.1245/s10434-020-08735-9.

[25] 刘方超，李建军.乳腺癌前哨淋巴结转移的危险因素[J].济宁医学院学报，2021，44(2)：89-93. DOI: 10.3969/j.issn.1000-9760.2021.02.004.

[26] Ran S, Seong UK, Dae SY, et al. Efficacy of sentinel lymph node biopsy with radioisotope alone and the prediction of sentinel node status using PET-CT in breast cancer[J]. Korean J Clin Oncol, 2021, 17(1): 23-30. DOI: 10.14216/kjco.21004.

[27] Sheela C, Piyush C, Senthil Kr, et al. Prediction of sentinel lymph node biopsy status in breast cancers with PET/CT negative axilla[J]. World J Nuclear Med, 2022, 21(2): 120-126. DOI: 10.1055/s-0042-1750333.

（收稿日期：2025-03-14）