



· 论 著 ·

超声VTIQ技术联合MRI对乳腺癌腋窝淋巴结转移的诊断价值研究

刘艳超¹, 刘郭坤², 王佳², 李茹¹, 张宁¹, 张强¹, 岳志领²

1. 邯郸市中心医院东区超声医学科, 河北邯郸 056000;

2. 邯郸市中心医院CT/MRI室, 河北邯郸 056000

[摘要] 目的: 探讨超声声触诊组织量化成像 (virtual touch tissue imaging and quantification, VTIQ) 技术联合磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 对乳腺癌腋窝淋巴结转移 (axillary lymph node metastasis, ALNM) 的诊断价值。方法: 选取2025年1—5月在邯郸市中心医院接受手术, 且术前均完成常规超声、VTIQ及MRI检查的全部乳腺癌患者, 收集其影像学特征参数。比较转移组和未转移组一般资料和腋窝淋巴结剪切波速度最大值 (maximum shear wave velocity, SWV_{max})、 SWV_{min} 、 SWV_{mean} 、表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC)、淋巴结长短径及皮质厚度。采用logistic回归分析探讨各观察指标对乳腺癌ALNM的影响。采用受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线评价超声VTIQ技术联合MRI影像学特征参数对乳腺癌ALNM的诊断价值。结果: 共200例乳腺癌患者, 其中150例行腋窝淋巴结清扫并获取病理学检查结果, 另50例未行腋窝淋巴结清扫并获取病理学检查结果。依据腋窝淋巴结病理学检查结果将150例行腋窝淋巴结清扫并获取病理学检查结果的患者分为转移组67例和未转移组83例。转移组分子分型Luminal B、脉管侵犯阳性、肿块最大直径 SWV_{max} 、 SWV_{min} 、 SWV_{mean} 、淋巴结短径、淋巴结长径和环形强化占比高于未转移组 ($P<0.05$); ADC低于未转移组 ($P<0.05$); SWV_{mean} 增大、ADC值降低和环形强化模式是乳腺癌ALNM的独立危险因素 ($P<0.05$); 超声VTIQ技术联合MRI参数诊断乳腺癌ALNM的AUC为0.908, 灵敏度和特异度分别为85.07%和77.11%, 诊断效能良好 ($P<0.05$)。结论: 超声VTIQ技术联合MRI对乳腺癌ALNM具有较高的诊断价值, 可为临床精准制订腋窝处理策略提供可靠的影像学依据。

[关键词] 乳腺癌; 腋窝淋巴结转移; 声触诊组织量化成像; 磁共振成像; 诊断价值

中图分类号: R737.9; R445.1 文献标志码: A

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2026.01.009

基金项目: 河北省医学科学研究课题计划(20251337)。

利益冲突: 作者声明无利益冲突。

伦理批件: (2024) 伦审科研第(003)号。

知情同意: 有。

引用本文: 刘艳超, 刘郭坤, 王佳, 等. 超声VTIQ技术联合MRI对乳腺癌腋窝淋巴结转移的诊断价值研究[J]. 肿瘤影像学, 2026, 35(1): 64-71.

Funding: Hebei Province Medical Science Research Project Plan (20251337).**Conflicts of interest:** authors declare no conflict of interest.**Ethical approval:** (2024) Research Review No.003.**Informed consent:** All patients and their families are aware of the research content and sign the informed consent form.**Cite this article:** LIU Y C, LIU G K, WANG J, et al. Diagnostic value of ultrasonic VTIQ combined with MRI in axillary lymph node metastasis of breast cancer [J]. Oncoradiology, 2026, 35(1): 64-71.

Diagnostic value of ultrasonic VTIQ combined with MRI in axillary lymph node metastasis of breast cancer
LIU Yanchao¹, LIU Guokun², WANG Jia², LI Ru¹, ZHANG Ning¹, ZHANG Qiang¹, YUE Zhiling² (1. Department of Ultrasound Medicine, East District, Handan Central Hospital, Handan 056000, Hebei Province, China; 2. Department of CT/MRI Room, Handan Central Hospital, Handan 056000, Hebei Province, China)

Correspondence to: LIU Guokun E-mail: 283077612@qq.com

[Abstract] Objective: To explore the diagnostic value of ultrasonic virtual touch tissue imaging and quantification (VTIQ) combined with magnetic resonance imaging (MRI) in axillary lymph node metastasis (ALNM) of breast cancer. **Methods:** All breast cancer patients who underwent surgery at Handan Central Hospital between January and May 2025 and completed routine

ultrasound, VTIQ, and MRI examinations prior to surgery were selected. Their imaging characteristic parameters were collected. The general data, maximum shear wave velocity (SWV_{max}), SWV_{min} , SWV_{mean} , apparent diffusion coefficient (ADC), long and short diameters of lymph nodes and cortical thickness were compared between the two groups. The effects of different observation indexes on ALNM of breast cancer were explored by logistic regression analysis. The diagnostic value of ultrasonic VTIQ combined with MRI imaging characteristic parameters in ALNM of breast cancer was evaluated by receiver operating characteristic (ROC) curves. **Results:** There were 200 breast cancer patients, among whom 150 underwent axillary lymph node dissection and obtained pathological examination results, while the other 50 did not undergo axillary lymph node dissection and did not obtain pathological examination results. Based on the pathological examination results of axillary lymph nodes, the 150 patients who underwent axillary lymph node dissection and obtained pathological examination results were divided into a metastasis group with 67 cases and a non-metastasis group with 83 cases. The molecular classification of Luminal B, positive vascular invasion, the maximum diameter of lump, SWV_{max} , SWV_{min} , SWV_{mean} , short and long diameters of lymph nodes, and proportion of circular enhancement in metastasis group were higher than those in non-metastasis group ($P<0.05$). While ADC was lower than that in non-metastasis group ($P<0.05$). Increased SWV_{mean} , decreased ADC and circular enhancement were independent risk factors of ALNM in breast cancer ($P<0.05$). AUC, sensitivity and specificity of ultrasonic VTIQ combined with MRI parameters in the diagnosis of ALNM were 0.908, 85.07% and 77.11%, showing good diagnostic efficiency ($P<0.05$). **Conclusion:** Ultrasonic VTIQ combined with MRI has higher diagnostic value in ALNM of breast cancer, which can provide reliable imaging evidence for precise formulation of axillary treatment strategies in clinical practice.

[**Key words**] Breast cancer; Axillary lymph node metastasis; Virtual touch tissue imaging and quantification; Magnetic resonance imaging; Diagnostic value

乳腺癌是起源于乳腺导管或小叶上皮细胞的全球女性最常见恶性肿瘤，病因涉及遗传、内分泌异常、生活方式及环境因素等多维度交互作用，其全球发病率持续攀升^[1]。乳腺淋巴液主要经淋巴管引流至腋窝淋巴结群，这一解剖特征使该区域成为乳腺癌细胞转移的首要靶器官^[2]。相关研究^[3]表明，腋窝淋巴结转移（axillary lymph node metastasis, ALNM）状态与乳腺癌患者预后密切相关，因此，准确评估乳腺癌 ALNM 对疾病分期、治疗决策及患者预后判断至关重要。当前乳腺癌 ALNM 临床评估主要依赖于临床触诊、影像学检查及有创活检，这些方法存在主观依赖性强、技术精度有限以及侵入性操作风险较高等问题，难以满足早期精准诊断的临床需求^[4]。超声声触诊组织量化成像（virtual touch tissue imaging and quantification, VTIQ）技术是基于超声弹性成像的新一代剪切波超声量化技术，可通过发射声脉冲产生剪切波并测量其在组织中的剪切波速度（shear wave velocity, SWV），实现对组织硬度的定量评估，为诊断提供更多客观信息^[5]。磁共振成像（magnetic resonance imaging, MRI）凭借高软组织分辨率及多平面成像能力，可从多层次多角度对淋巴结形态学特征

及信号异常进行精准评估，显著提升对 ALNM 的诊断效能^[6]。既往研究^[7-8]多聚焦于 VTIQ 或 MRI 单一技术的诊断效能，而关于两者联合对乳腺癌 ALNM 的诊断效能尚未明确。

本研究主要探讨超声 VTIQ 技术联合 MRI 对乳腺癌 ALNM 的诊断价值，期望为临床提供更精准的无创诊断策略。

1 资料和方法

1.1 一般资料

选取 2025 年 1—5 月邯郸市中心医院进行手术的乳腺癌患者。纳入标准：① 年龄 18~70 岁；② 单侧发病；③ 经术后病理学检查证实为乳腺癌^[9]；④ 行腋窝淋巴结清扫并获取病理学检查结果；⑤ 术前均接受 VTIQ 及多序列 MRI 检查；⑥ 患者及家属知情同意。排除标准：① 合并重要脏器功能障碍；② 存在远处转移或复发性乳腺癌；③ 腋窝淋巴结曾接受过手术、放疗或化疗；④ 存在 MRI 检查禁忌；⑤ 合并其他类型恶性肿瘤或精神、心理疾病。本研究经邯郸市中心医院伦理委员会审核通过。

1.2 方法

1.2.1 资料收集

按研究目的设计一般资料调查表, 收集患者年龄、体重指数 (body mass index, BMI)、疾病类型 (浸润性导管癌、原位癌、浸润性小叶癌、黏液癌、髓样癌或乳头状癌)、分子分型 [Luminal A、Luminal B、人表皮生长因子受体2 (human epidermal growth factor receptor 2, HER2) ⁺或三阴性型]、肿块最大直径、肿块象限、边缘、形态、钙化和血流分级等一般资料。

1.2.2 超声VTIQ技术检查

选择德国Siemens公司Acuson S3000型超声诊断仪, 9L4线阵探头, 频率4~9 MHz, 配备VTIQ成像软件。患者取平卧位, 双手保持上举姿势, 暴露乳房及腋下区域, 常规超声由乳头至腺体边缘呈放射状扫描乳腺肿块, 观察病灶部位、大小、形状、边缘、内部回声、钙化情况、血流情况。然后重点检查腋窝淋巴结, 观察其大小、形态、皮髓质结构和血流信号, 选取病灶最大清晰切面, 使用VTIQ技术对腋窝淋巴结进行成像。取样框避开坏死区、钙化及周边脂肪组织, 置于淋巴结实质内, 待图像稳定后冻结, 系统自动生成彩色弹性图及SWV值分布图。在图像呈均匀分布绿色质量最高时切换至速度模式, 最大量程10 m/s, 速度从低至高依次呈现为蓝、绿、黄、红色, 调节速度量程使病灶的周围组织呈淡绿或浅蓝色、病灶呈红或黄色, 以获得最终VTIQ速度模式图像。病灶设置为预设成像模式1, 避开钙化灶, 放置7组感兴趣区 (region of interest, ROI) 记录腋窝淋巴结剪切波速度 (shear wave velocity, SWV) 数据, 包含SWV最大值 (SWV_{max})、SWV最小值 (SWV_{min}) 及SWV平均值 (SWV_{mean})。由2名高年资超声科诊断医师共同阅片, 经协商取得一致意见, 以上测量值均为3次测量结果均值。

1.2.3 MRI检查

选择美国GE公司Signa 750 3.0 T MRI扫描仪, 配备乳腺专用阵列线圈。平扫: ①横断面T2加权成像 (T2-weighted imaging, T2WI) 脂肪抑制序列, 重复时间 (repetition time, TR)

4 500 ms, 回波时间 (echo time, TE) 85 ms, 层厚4 mm, 层间距0.5 mm; ②横断面T1加权成像 (T1-weighted imaging, T1WI) 非压脂序列, TR 650 ms, TE 10 ms, 层厚4 mm, 层间距0.5 mm; ③横断面弥散加权成像 (diffusion-weighted imaging, DWI), 次激发平面回波序列, *b*值取0和800 s/mm², TR 6 000 ms, TE 65 ms, 层厚4 mm, 层间距0.5 mm。自动生成表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC) 图, 获取腋窝淋巴结ADC值。

动态对比增强磁共振成像 (dynamic contrast-enhanced MRI, DCE-MRI) 经肘静脉团注钆对比剂钆喷酸葡胺 (Gd-DTPA) 0.1 mmol/kg, 流速2.5 mL/s, 注射后采用快速扰相梯度回波序列进行多期扫描 (注射前1期, 注射后连续扫描7~8期)。TR/TE 4.5/2.1 ms, 翻转角12°, 层厚1.5 mm, 矩阵320×224。扫描范围覆盖双侧乳腺及腋窝, 对所得影像进行三维重建, 观察淋巴结边缘、淋巴门以及淋巴周围脂肪间隙情况, 记录淋巴结长短径和皮质厚度。由2名具有多年经验的MRI主任医师对乳腺影像进行双盲诊断, 诊断意见不一致时, 则通过讨论达成共识。

1.3 腋窝淋巴结转移诊断标准

所有患者均接受手术治疗, 包括乳腺癌根治术或改良根治术等, 术中行腋窝淋巴结清扫, 将清扫获取的淋巴结标本移送病理科进行病理学检查, 病理学检查结果作为乳腺癌ALNM诊断依据^[10]。

1.4 统计学处理

采用SPSS 28.0软件分析数据。应用Shapiro-Wilk进行正态性检验, 符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用 t 检验; 非正态分布的计量资料以 $M (P_{25}, P_{75})$ 表示, 采用Mann-Whitney U 检验; 采用logistic回归分析探讨各观察指标对乳腺癌ALNM的影响; 采用受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线评价超声VTIQ技术联合MRI影像学特征参数对乳腺癌ALNM的诊断价值; 双侧检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 乳腺癌 ALNM 转移组与未转移组一般资料比较

纳入 2025 年 1—5 月手术的 200 例乳腺癌患者，其中 150 例行腋窝淋巴结清扫并获取病理学检查结果，另 50 例未行腋窝淋巴结清扫并获取病理学检查结果。依据腋窝淋巴结病理检查结果，将 150 例行腋窝淋巴结清扫并获取病理学检查结果的患者分为转移组 67 例和未转移组 83 例。具体入组流程图见图 1。

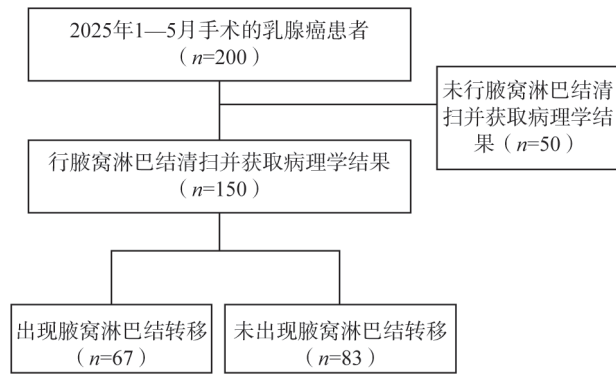


图1 患者入组流程图

Fig.1 Flow chart of patients enrollment

转移组分子分型 Luminal B、脉管侵犯阳性和肿块最大直径均显著高于未转移组 ($P<0.05$)；两组在年龄、BMI、疾病类型、肿块象限、形态、边缘、钙化和血流分级等方面差异均无统计学意义 ($P>0.05$ ，表1)。

2.2 乳腺癌 ALNM 转移组与未转移组超声 VTIQ 参数比较

转移组 SWV_{max} 、 SWV_{min} 和 SWV_{mean} 均显著高于未转移组 ($P<0.05$ ，表2)。

2.3 乳腺癌 ALNM 转移组与未转移组 MRI 影像学特征参数比较

转移组 ADC 显著低于未转移组，淋巴结短径、淋巴结长径和环形强化占比均显著高于未转移组 ($P<0.05$ ，表3)。

表1 乳腺癌 ALNM 转移组与未转移组一般资料比较

Tab.1 Comparison of general data between metastasis group and non-metastasis group

项目	转移组 (n=67)	未转移组 (n=83)	t/χ^2 值	P值
年龄/岁	52.39±4.71	51.78±5.64	0.708	0.480
BMI/(kg·m ⁻²)	23.15±0.98	22.96±1.07	1.122	0.264
病理学类型			0.683	0.984
浸润性导管癌	40 (59.70)	50 (60.24)		
原位癌	10 (14.93)	12 (14.46)		
浸润性小叶癌	8 (11.94)	10 (12.05)		
黏液癌	5 (7.46)	7 (8.43)		
髓样癌	1 (1.49)	2 (2.41)		
乳头状癌	3 (4.48)	2 (2.41)		
分子分型			9.032	0.029
Luminal A	17 (25.37)	41 (49.40)		
Luminal B	29 (43.28)	24 (28.92)		
HER2 ⁺	13 (19.40)	11 (13.25)		
三阴性型	8 (11.94)	7 (8.43)		
脉管侵犯阳性			30.012	<0.001
有	37 (55.22)	11 (13.25)		
无	30 (44.78)	72 (86.75)		
肿块最大直径/cm	3.82±0.69	2.75±0.81	8.586	<0.001
肿块象限				
外侧	40 (59.70)	49 (59.04)	0.250	0.883
乳晕	16 (23.88)	18 (21.69)		
内侧	11 (16.42)	16 (19.28)		
形态				
规则	25 (37.31)	30 (36.14)	0.022	0.883
不规则	42 (62.69)	53 (63.86)		
边缘				
光整	21 (31.34)	25 (30.12)	0.026	0.872
不光整	46 (68.66)	58 (69.88)		
血流分级				
0~I级	27 (40.30)	32 (38.55)	0.047	0.828
II~III级	40 (59.70)	51 (61.45)		
钙化				
有	29 (43.28)	37 (44.58)	0.025	0.874
无	38 (56.72)	46 (55.42)		

表2 乳腺癌 ALNM 转移组与未转移组超声 VTIQ 参数比较

Tab.2 Comparison of ultrasound VTIQ parameters between metastasis group and non-metastasis group

组别	例数	SWV_{max} / (m·s ⁻¹)	SWV_{min} / (m·s ⁻¹)	SWV_{mean} / (m·s ⁻¹)
转移组	67	5.81±0.69	2.67±0.25	4.96±0.35
未转移组	83	5.47±0.35	2.38±0.13	4.12±0.28
t值		3.911	9.151	16.332
P值		<0.001	<0.001	<0.001

表3 乳腺癌ALNM转移组与未转移组MRI影像学特征参数比较

Tab.3 Comparison of MRI imaging characteristic parameters between metastasis group and non-metastasis group

组别	例数	ADC×10 ⁻³ / (mm ² ·s ⁻¹)	淋巴结短径/cm	淋巴结长径/cm	强化模式	
					环形强化	均匀强化
转移组	67	0.85±0.12	1.25±0.32	2.04±0.60	50 (74.63)	17 (25.37)
未转移组	83	1.27±0.20	0.83±0.17	1.52±0.49	18 (21.69)	65 (78.31)
<i>t</i> 值		15.126	10.297	5.844	41.927	
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	

2.4 发生乳腺癌ALNM的危险因素的多因素logistic回归分析

以乳腺癌ALNM发生情况为因变量(转移=1;未转移=0),以表1和表2中有统计学意义的变量作为自变量进行logistic回归分析。自变量赋值如下:分子分型Luminal B=1(参比组),其他=0;脉管侵犯阳性=1(参比组),阴性=0;强化模式环形强化=1(参比组),均匀强化=0;肿块最大直径、SWV_{max}、SWV_{min}、SWV_{mean}、ADC、淋巴结短径和淋巴结长径等连续变量以原值代入方程,无明确参比组。Logistic回归结果显示,在校正年龄、BMI、疾病类型、肿块象限、形态、边缘、钙化和血流分级等混杂因素干扰后,结果显示SWV_{mean}增大(OR=3.133, *P*=0.014)、ADC值降低(OR=3.114, *P*=0.023)和环形强化

模式(OR=3.152, *P*=0.012)是乳腺癌ALNM的独立危险因素(表4)。

2.5 超声VTIQ技术联合MRI参数对乳腺癌ALNM的诊断价值

ROC曲线分析结果显示,SWV_{mean}、ADC值和环形强化模式诊断乳腺癌ALNM的曲线下面积(area under curve, AUC)为0.865、0.824和0.765,灵敏度为79.10%、76.12%和74.63%,特异度为89.16%、78.31%和96.39%。联合诊断Logit(*P*)=-12.749+1.142×SWV_{mean}-1.136×ADC值+1.148×环形强化模式,超声VTIQ技术联合MRI参数诊断乳腺癌ALNM的AUC为0.908,灵敏度和特异度分别为85.07%和77.11%,诊断效能良好(*P*<0.05,图2,表5)。

表4 发生乳腺癌ALNM的危险因素的多因素logistic回归分析

Tab.4 Multivariate logistic regression analysis on risk factors of ALNM in breast cancer

指标	β	SE	Wald χ ²	<i>P</i> 值	OR (95% CI)
分子分型	1.035	0.596	3.016	0.083	2.815 (0.875~9.054)
脉管侵犯	0.914	0.477	3.672	0.056	2.494 (0.979~6.353)
肿块最大直径	0.732	0.519	1.989	0.157	2.088 (0.755~5.773)
SWV _{max}	0.929	0.573	2.629	0.106	2.532 (0.824~7.784)
SWV _{min}	0.853	0.556	2.354	0.126	2.347 (0.789~6.978)
SWV _{mean}	1.142	0.461	3.137	0.074	3.133 (1.269~7.733)
ADC	-1.136	0.498	5.204	0.023	3.114 (1.173~8.265)
淋巴结短径	0.997	0.594	2.817	0.094	2.710 (0.846~8.682)
淋巴结长径	1.101	0.572	3.705	0.055	3.007 (0.980~9.227)
强化模式	1.148	0.456	6.338	0.012	3.152 (1.289~7.704)

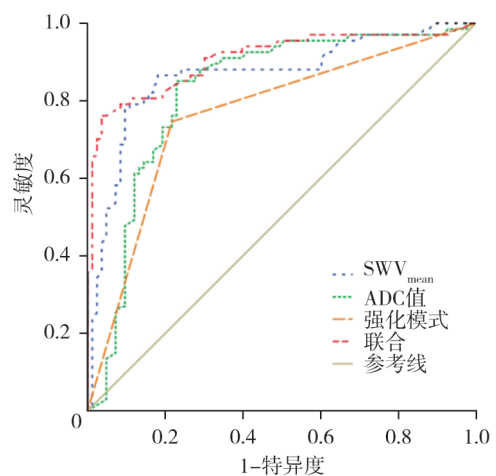


图2 超声VTIQ联合MRI参数诊断乳腺癌ALNM的ROC曲线

Fig.2 ROC curves of ultrasonic VTIQ combined with MRI parameters in the diagnosis of ALNM in breast cancer

表5 超声VTIQ联合MRI参数诊断乳腺癌ALNM的效能

Tab.5 Comparison of the diagnostic efficacy of ultrasound VTIQ combined with MRI parameters in the detection of ALNM in breast cancer

指标	AUC	AUC的95% CI	标准误	灵敏度/%	特异度/%	截断值	P值
SWV _{mean}	0.865	0.802~0.929	0.032	79.10	89.16	>4.54 m/s	<0.001
ADC	0.824	0.753~0.896	0.036	76.12	78.31	<0.95×10 ⁻³ mm ² /s	<0.001
强化模式	0.765	0.685~0.844	0.040	74.63	96.39	环形强化	<0.001
联合	0.908	0.856~0.959	0.026	85.07	77.11	—	<0.001

3 讨 论

乳腺癌是全球女性高发的恶性肿瘤之一，其肿瘤细胞一旦突破乳腺导管或小叶基底膜，即可侵入周围淋巴管随淋巴液循环迁徙至腋窝淋巴结，定植并增殖形成ALNM病灶。既往研究^[11]证实，乳腺癌ALNM是肿瘤侵袭性的直接体现，并与患者预后密切相关。因此，选择可靠的检查手段对其进行准确诊断至关重要。超声VTIQ技术可通过测量组织SWV量化淋巴结硬度，在鉴别乳腺癌良恶性及评估ALNM方面具有潜在价值。MRI凭借其极高的软组织分辨率、多参数及多平面成像能力，在乳腺癌原发灶检出、范围评估及ALNM检测中具有独特优势^[12]。本研究主要探讨超声VTIQ技术联合MRI对乳腺癌ALNM的诊断价值，通过多模态影像学技术的联合应用有望实现优势互补，突破单一技术的诊断瓶颈。

本研究结果显示，转移组分子分型Luminal B、脉管侵犯阳性和肿块最大直径均显著高于未转移组，提示这3项指标可能是与乳腺癌ALNM相关的风险因素。分析认为，Luminal B型肿瘤增殖活性与侵袭性更强，脉管侵犯为癌细胞淋巴转移提供路径，而较大肿块可能伴随更活跃的淋巴生成。三者共同驱动乳腺癌ALNM进程，提示临床可整合这些指标优化风险评估与治疗策略^[13]。本研究结果显示，转移组SWV_{max}、SWV_{min}和SWV_{mean}均显著高于未转移组，表明乳腺癌ALNM患者普遍存在超声VTIQ技术SWV参数异常升高表现，提示该指标可作为诊断转移的独立影像学指标。乳腺癌ALNM组织硬度增大源于肿瘤生物学特性与组织力学性质的改变，其

核心机制涉及以下病理学过程：首先，转移性癌细胞可分泌转化生长因子-β等激活癌相关成纤维细胞致胶原过度沉积与交联，使组织刚度增高。其次，乳腺癌ALNM患者原发灶癌细胞增殖活性增强，细胞间黏附分子丢失使组织抵抗剪切力的能力上升。再次，淋巴管浸润区域伴随炎性细胞浸润及纤维蛋白原渗出，形成局部硬化微环境。上述病理级联反应协同增加组织机械应力，最终致使乳腺癌ALNM的组织硬度较良性淋巴结显著升高^[14]。超声VTIQ技术测得的SWV值可作为评估淋巴结转移的量化指标，其中SWV_{max}和SWV_{min}反映局部最硬区域和最小刚度，SWV_{mean}则表征整体硬度，三者协同升高本质是肿瘤机械异质性恶化的直接体现，为ALNM的无创诊断提供生物力学依据^[15]。

本研究结果显示，转移组ADC显著低于未转移组，淋巴结短径、淋巴结长径和环形强化占比均显著高于未转移组，提示MRI影像学参数可协同诊断乳腺癌ALNM。转移淋巴结内癌细胞密集浸润、核浆比增高及坏死区减少，细胞外间隙缩小且癌细胞膜水通道蛋白高表达限制水分子弥散，导致水分子弥散受限，表现为DWI序列中细胞密度与ADC值呈负相关，此为转移灶典型的功能成像特征^[16]。癌细胞在皮质窦克隆性增殖并破坏正常结构，引发淋巴结膨胀性生长导致淋巴结短径和长径增大。转移灶优先于淋巴结边缘增殖，边缘血管丰富但中心易坏死，破坏淋巴门血供并诱导包膜新生血管生成，使增强MRI表现为厚壁环形强化。这些影像学特征从细胞微环境、解剖形态及血供特点，反映乳腺癌ALNM的病理学改变^[17-18]。Logistic回归结果显示，SWV_{mean}增大、ADC值降低和环形强化模式是乳

腺癌 ALNM 的独立危险因素, 并证实这 3 项指标可构建多参数诊断模型, 为乳腺癌 ALNM 无创评估提供量化依据。ROC 曲线分析结果显示, SWV_{mean} 、ADC 值和强化模式诊断乳腺癌 ALNM 的 AUC 为 0.865、0.824 和 0.765, 灵敏度为 79.10%、76.12% 和 74.63%, 特异度为 89.16%、78.31% 和 96.39%。超声 VTIQ 技术联合 MRI 参数诊断乳腺癌 ALNM 发生的 AUC 为 0.908, 灵敏度和特异度分别为 85.07% 和 77.11%, 虽联合诊断的特异度有所降低, 但其灵敏度显著上升, 证实超声 VTIQ 技术联合 MRI 对乳腺癌 ALNM 具有更高的诊断效能。超声 VTIQ 与 MRI 在 ALNM 诊断中呈现显著的优势互补: 超声 VTIQ 以实时硬度量化和便捷性见长, 通过 SWV 定量评估转移淋巴结组织硬度, 可减少良性淋巴结误诊; MRI 的 ADC 值和环形强化模式从功能与血供角度切入, 可补充解剖细节及扩散/血流信息^[19]。联合应用时, VTIQ 可弥补 MRI 对基质硬度判断的不足, MRI 补充 VTIQ 对微转移和血供的评估盲区, 减少单一模态因炎症反应导致的假阳性^[20], 使诊断 AUC 提升至 0.908, 通过形态-硬度-功能三重维度显著提高 ALNM 诊断效能。

综上所述, 乳腺癌 ALNM 患者普遍存在超声 VTIQ 检查 SWV 参数异常升高和 MRI ADC 值降低及淋巴结短径、淋巴结长径和环形强化占比增大表现, SWV_{mean} 增大、ADC 值降低和环形强化模式是乳腺癌 ALNM 的独立危险因素, 超声 VTIQ 技术联合 MRI 对乳腺癌 ALNM 具有较高的诊断价值。本研究的不足之处在于单中心回顾性研究可能导致样本量及地域代表性局限, 未分析联合诊断结果与患者术后复发、生存的相关性, 无法评估其对治疗决策的远期影响, 后续仍需通过大样本多中心联合前瞻性随访研究进行验证。

第一作者:

刘艳超 (ORCID: 0009-0002-5179-9804), 本科, 副主任医师。

通信作者:

刘郭坤 (ORCID: 0009-0004-2416-287X), 本科, 副主任医师, E-mail: 283077612@qq.com。

作者贡献声明:

刘艳超: 参与研究设计、数据收集与整理、论文撰写; 刘郭坤: 参与研究设计、影像学检查指导、论文审核与修改; 王佳:

参与 MRI 检查数据收集与分析; 李茹: 参与超声 VTIQ 技术检查数据收集; 张宁: 参与患者一般资料整理; 张强: 参与数据统计学分析; 岳志领: 参与研究方案优化与结果讨论。

[参考文献]

- [1] KATSURA C, OGUNMWONYI I, KANKAM H K, et al. Breast cancer: presentation, investigation and management [J]. *Br J Hosp Med*, 2022, 83(2): 1-7.
- [2] PARK M, KIM D, KO S, et al. Breast cancer metastasis: mechanisms and therapeutic implications [J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23(12): 6806.
- [3] 胡林巧, 王伟, 权毅, 等. 双侧原发性乳腺癌腋窝淋巴结转移特点及其与预后的相关性分析[J]. *四川医学*, 2023, 44(5): 492-500.
HU L Q, WANG W, QUAN Y, et al. Characteristics of axillary lymph node metastasis in bilateral primary breast cancer and its correlation with prognosis [J]. *Sichuan Med J*, 2023, 44(5): 492-500.
- [4] WANG Q, LIN Y Y, DING C, et al. Multi-modality radiomics model predicts axillary lymph node metastasis of breast cancer using MRI and mammography [J]. *Eur Radiol*, 2024, 34(9): 6121-6131.
- [5] 钟丽萍, 黄雪梅, 汪姝妤, 等. 超声弹性成像联合 UGCNB 对乳腺病灶的诊断价值[J]. *肿瘤影像学*, 2024, 33(1): 62-68.
ZHONG L P, HUANG X M, WANG S Y, et al. The value of ultrasound elastography combined with UGCNB in the diagnosis of breast lesions [J]. *Oncoradiology*, 2024, 33(1): 62-68.
- [6] NARONGRIT F W, RISPOLI J V. Editorial for "preoperative prediction of axillary lymph node metastasis in breast cancer using CNN based on multiparametric MRI" [J]. *J Magn Reson Imag*, 2022, 56(3): 710-711.
- [7] 陈庆庆, 傅晓红, 胡姣姣, 等. 声触诊组织量化成像联合超声造影预测 T1 期乳腺癌腋窝淋巴结转移负荷的临床价值[J]. *临床超声医学杂志*, 2024, 26(11): 913-920.
CHEN Q Q, FU X H, HU J J, et al. Clinical value of virtual touch tissue imaging quantification combined with contrast-enhanced ultrasound for predicting axillary lymph node metastasis load in T1 stage breast cancer [J]. *J Clin Ultrasound Med*, 2024, 26(11): 913-920.
- [8] LEE C F, LIN J, HUANG Y L, et al. Deep learning-based breast MRI for predicting axillary lymph node metastasis: a systematic review and meta-analysis [J]. *Cancer Imaging*, 2025, 25(1): 44.
- [9] 中国抗癌协会乳腺癌专业委员会, 中华医学会肿瘤学分会乳腺肿瘤学组, 邵志敏. 中国抗癌协会乳腺癌诊治指南与规范 (2024 年版) [J]. *中国癌症杂志*, 2023, 33(12): 1092-1186.
Breast Cancer Committee of Chinese Anti-Cancer Association, Breast Oncology Group of Chinese Society of Clinical Oncology, Chinese Medical Association, SHAO Z M. Guidelines for breast cancer diagnosis and treatment by China Anti-cancer Association (2024 edition) [J]. *China Oncol*, 2023, 33(12): 1092-1186.
- [10] 中国抗癌协会. 乳腺癌前哨淋巴结活检规范化操作指南

- (2022精要版)[J]. 中国肿瘤临床, 2022, 49(22): 1135-1142.
- Chinese Anti-Cancer Association. Guidelines for standardized practice of sentinel lymph node biopsy in breast cancer(2022 abridged version)[J]. Chin J Clin Oncol, 2022, 49(22): 1135-1142.
- [11] TANG X F, ZHANG H Y, MAO R S, et al. Preoperative prediction of axillary lymph node metastasis in patients with breast cancer through multimodal deep learning based on ultrasound and magnetic resonance imaging images [J]. Acad Radiol, 2025, 32(1): 1-11.
- [12] WANG Z J, SUN H, LI J, et al. Preoperative prediction of axillary lymph node metastasis in breast cancer using CNN based on multiparametric MRI[J]. J Magn Reson Imaging, 2022, 56(3): 700-709.
- [13] 金 炫, 王 帅, 王金花. 脉管瘤栓对乳腺癌患者淋巴结转移的相关性及生存影响分析[J]. 内蒙古医科大学学报, 2024, 46(5): 495-499.
- JIN X, WANG S, WANG J H. Correlation and survival effect of vascular tumor thrombus on lymph node metastasis in breast cancer patients[J]. J Inn Mong Med Univ, 2024, 46(5): 495-499.
- [14] 陈思思, 于粒粒, 黄薪儒, 等. 剪切波弹性成像预测乳腺癌前哨淋巴结转移的临床价值[J]. 临床超声医学杂志, 2021, 23(10): 747-750.
- CHEN S S, YU L L, HUANG X R, et al. Clinical value of shear wave elastography in predicting sentinel lymph node metastasis in breast cancer [J]. J Clin Ultrasound Med, 2021, 23(10): 747-750.
- [15] 邓雅倩, 曹春莉, 马金梅, 等. S-Detect 联合声触诊组织成像定量技术对乳腺癌腋窝淋巴结转移的预测价值研究[J]. 中国全科医学, 2025, 28(17): 2149-2155.
- DENG Y Q, CAO C L, MA J M, et al. Predictive value of S-detect combined with virtual touch tissue imaging quantification in axillary lymph node metastasis of breast cancer[J]. Chin Gen Pract, 2025, 28(17): 2149-2155.
- [16] 王浩宇, 石文达, 赵晓彬, 等. 乳腺X线征象、ADC值联合血清CA125、CEA水平预测乳腺癌新辅助化疗后腋窝淋巴结病理状态的价值[J]. 放射学实践, 2024, 39(9): 1178-1183.
- WANG H Y, SHI W D, ZHAO X B, et al. Value of mammographic features, ADC value and serum CA125, CEA levels in predicting the pathological status of axillary lymph nodes after neoadjuvant chemotherapy in breast cancer [J]. Radiol Pract, 2024, 39(9): 1178-1183.
- [17] 薛 梅, 李 静, 车树楠, 等. 乳腺癌多模态磁共振影像特征与腋窝淋巴结转移的相关性研究[J]. 磁共振成像, 2020, 11(7): 540-545.
- XUE M, LI J, CHE S N, et al. The correlation between multiparametric MR imaging characteristics of breast cancer and axillary lymph node metastasis [J]. Chin J Magn Reson Imag, 2020, 11(7): 540-545.
- [18] 季 娟, 盛美红, 汤卫霞, 等. 多参数MRI与细胞周期蛋白D1在乳腺癌腋窝淋巴结转移预测中的应用[J]. 磁共振成像, 2021, 12(10): 1-5.
- JI J, SHENG M H, TANG W X, et al. Application of multi-parameter MRI and Cyclin D1 in predicting axillary lymph node metastasis of breast cancer [J]. Chin J Magn Reson Imag, 2021, 12(10): 1-5.
- [19] 成 静, 李文肖, 吴 芳, 等. 多模态超声预测乳腺癌腋窝淋巴结转移的价值[J]. 放射学实践, 2023, 38(11): 1447-1451.
- CHENG J, LI W X, WU F, et al. Value of multimodal ultrasound for predicting axillary lymph node metastasis of breast cancer [J]. Radiol Pract, 2023, 38(11): 1447-1451.
- [20] 王美晨, 史丽群, 李照喜. 基于ABVS联合VTIQ技术构建乳腺癌腋窝淋巴结高转移负荷预测模型的研究[J]. 中国超声医学杂志, 2022, 38(12): 1354-1357.
- WANG M C, SHI L Q, LI Z X. A research of model construction based on ABVS combined with VTIQ to predict high transfer burden of axillary lymph nodes in breast cancer [J]. Chin J Ultrasound Med, 2022, 38(12): 1354-1357.

(收稿日期: 2025-07-17 修回日期: 2025-08-18)