

微血流成像联合剪切波弹性成像在肺癌术前颈部淋巴结转移中的诊断价值

罗南雁^{1,2}, 詹小林², 黄磊², 王佳佳¹, 陈林³, 姜凡¹
(安徽医科大学, 1. 第二附属医院超声医学科; 2. 第一附属医院北区·安徽省公共卫生临床中心超声医学科; 3. 第一附属医院北区·安徽省公共卫生临床中心感染科, 安徽 合肥 230000)

【摘要】目的: 探讨微血流成像(SMI)联合剪切波弹性成像(SWE)在肺癌术前颈部淋巴结转移中的诊断价值。**方法:** 选取 187 例疑似肺癌伴颈部淋巴结肿大患者(共 187 枚淋巴结)为研究对象。所有患者术前均接受常规超声、超声 SMI 及 SWE 检查。以颈部淋巴结穿刺/活检病理或肺癌根治术后病理分期为标准, 分别从患者层面(转移阳性组 114 例, 转移阴性组 73 例)及淋巴结层面(转移组 114 枚, 非转移组 73 枚)比较常规超声、SMI 血流参数及 SWE 弹性参数; 受试者工作特征曲线(ROC 曲线)评估不同检查方法及联合应用对肺癌术前颈部淋巴结转移的诊断价值。**结果:** 在患者层面, 转移阳性组低分化比例高于转移阴性组($P<0.05$)。在淋巴结层面, 转移组患者在常规超声上更多表现为纵横比 <2 、短径长、边界模糊、皮髓质分界消失、内部回声不均匀及微钙化($P<0.05$); SMI 显示转移组患者以周边型及混合型血流为主, 非转移组患者以淋巴门型血流为主($P<0.05$); 转移组患者 Adler 血流分级 II~III 级比例高于非转移组($P<0.05$); SWE 定量参数显示, 转移组患者杨氏模量最大值(E_{max})、平均值(E_{mean})、最小值(E_{min})及标准差(SD)高于非转移组($P<0.05$)。SMI 与 SWE 联合检查诊断的敏感度、特异度、准确率分别为 95.60%、90.40%、93.60%, AUC 为 0.938(95%CI: 0.892~0.973), 高于单一检查($P<0.05$)。**结论:** SMI 可精细显示淋巴结内部血管构型, SWE 能定量评估淋巴结硬度, 二者从不同维度反映转移性淋巴结的病理特征。两者联合应用能提高肺癌术前颈部淋巴结转移的诊断准确性。

【关键词】 肺癌; 淋巴结转移; 超声检查; 微血流成像; 剪切波弹性成像; 诊断价值
【中图分类号】 R734.2; R445.1 **【文献标志码】** A

Diagnostic value of superb microvascular imaging combined with shear wave elastography in preoperative assessment of cervical lymph node metastasis in lung cancer

LUO Nan-yan^{1,2}, ZHAN Xiao-lin², HUANG Lei², WANG Jia-jia¹, CHEN Lin³, JIANG Fan¹
(1. Department of Ultrasound Medicine, the Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University; 2. Department of Ultrasound Medicine; 3. Department of Infection, the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University North District, Anhui Public Health Clinical Center, Hefei 230000, Anhui, China)

【Abstract】Objective: To investigate the diagnostic efficacy of the combined application of Superb Microvascular Imaging (SMI) and Shear Wave Elastography (SWE) in the preoperative evaluation of cervical lymph node metastasis in patients with lung cancer. **Methods:** A total of 187 patients (with 187 lymph nodes) with suspected lung cancer and cervical lymph node enlargement were selected as the study subjects. All patients underwent conventional ultrasound, superb microvascular imaging (SMI), and shear wave elastography (SWE) before surgery. Using cervical lymph node aspiration/biopsy pathology or pathological staging after radical lung cancer surgery as the gold standard, differences in conventional ultrasound, SMI blood flow parameters, and SWE elastography parameters were compared between the two groups at both the patient level (114 cases in the metastatic positive group and 73 cases in the metastatic negative group) and the lymph node level (114 lymph nodes in the metastatic group and 73 lymph nodes in the non-metastatic group). Receiver operating characteristic (ROC) curves were plotted to evaluate the diagnostic efficacy of different examination methods and their combined application. **Results:** At the patient level, the proportion of poor differentiation was higher in the metastatic positive group than in the metastatic negative group ($P<0.05$). At the lymph node level, metastatic nodes more frequently exhibited features on conventional ultrasound

such as a long-axis/short-axis ratio < 2 , larger short-axis diameter, indistinct margins, loss of corticomedullary differentiation, heterogeneous internal echogenicity, and microcalcifications ($P < 0.05$). SMI revealed that metastatic nodes predominantly showed peripheral or mixed vascular patterns, while non-metastatic nodes mainly showed hilar vascular patterns ($P < 0.05$). The proportion of nodes with Adler blood flow grade II~III was higher in the metastatic group than that in the non-metastatic group ($P < 0.05$). SWE quantitative parameters showed that the maximum Young's modulus (E_{max}), mean Young's modulus (E_{mean}), minimum Young's modulus (E_{min}), and standard deviation (SD) were higher in the metastatic group compared to the non-metastatic group ($P < 0.05$). The sensitivity, specificity, and accuracy of the combined SMI and SWE diagnosis were 95.60%, 90.40%, and 93.60%, respectively, with an AUC of 0.938 (95%CI: 0.892~0.973), which were higher than those of any single method ($P < 0.05$). **Conclusion:** SMI can finely depict the internal vascular architecture of lymph nodes, while SWE can quantitatively assess lymph node stiffness. Both techniques reflect the pathological characteristics of metastatic lymph nodes from different dimensions. Their combined application can improve the diagnostic accuracy for preoperative cervical lymph node metastasis in lung cancer.

【Key words】 Lung cancer; Lymph node metastasis; Ultrasonography; Superb microvascular Imaging; Shear wave elastography; Diagnostic value

原发性肺癌为高发病率、高死亡率的恶性肿瘤。其中恶性肿瘤的侵袭与转移能力是临床预后恶化的核心原因,也是治疗失败与死亡事件的主要驱动因素^[1]。颈部淋巴结是肺癌常见的胸外转移部位,一旦受累,通常意味着肿瘤细胞已具备系统性播散能力,疾病分期至少为ⅢB期(N2/N3),甚至已进入Ⅳ期,治疗难度及复杂性升高,患者生存率下降^[2-3]。因此,术前准确判断患者颈部淋巴结转移状态,直接关系到分期准确性、治疗决策合理性及远期生存获益。目前,颈部淋巴结的术前评估仍以影像学检查为主。常规超声凭借无创、实时、便捷的优势成为一线手段,但其诊断主要依赖形态学特征,良恶性淋巴结存在征象重叠,对早期转移及微小转移灶的识别能力有限^[4-5]。随着影像学技术的更新换代,微血流成像(SMI)与剪切波弹性成像(SWE)广泛应用于临床,其中 SMI 作为新型多普勒超声技术,可清晰显示直径 $< 0.1\text{ mm}$ 的微血管及迂曲穿支血管,精准揭示淋巴结血流分布模式^[6];而 SWE 通过测量剪切波传播速度,克服了传统应变弹性成像主观性强、半定量的局限,具有良好的可重复性和客观性^[7]。两者均已在甲状腺、乳腺及浅表淋巴结领域展现出较高的诊断价值^[8-9]。但目前关于 SMI 与 SWE 联合应用于肺癌术前颈部淋巴结转移诊断的研究鲜有报道,且多数研究仅从淋巴结层面进行单一参数分析,缺乏患者临床病理特征与超声多参数联合诊断的系统性评价。本研究旨在探讨 SMI 联合 SWE 对肺癌术前颈部淋巴结转移的诊断价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2021 年 10 月至 2025 年 7 月安徽医科大学第一附属医院北区诊治的 187 例疑似肺癌伴颈部淋巴结肿大患者(共 187 枚淋巴结)为研究对象。本

研究经医院医学伦理委员会审批,患者及其家属知情同意。纳入标准:(1)术前临床查体或影像学提示存在颈部淋巴结肿大(短径 $\geq 0.5\text{ cm}$),且计划行肺癌根治术或颈部淋巴结活切/活检者;(2)年龄 18~85 岁;(3)结合临床症状、影像学、病理活检等结果,首次确诊为原发性肺癌,未接受过任何抗癌治疗(手术、放化疗、靶向或免疫治疗);(4)术前 1 周内完成颈部超声 SMI 及 SWE 检查,临床相关资料完整。

1.2 方法

1.2.1 影像学检查 (1)常规超声检查:术前 1 周内使用配备有 SWE 及 SMI 功能的高端彩色多普勒超声诊断仪(探头频率 4~15 MHz)完成颈部淋巴结超声检查。患者取仰卧位,充分暴露颈前及颈侧区。首先进行二维灰阶超声,自上而下、由中央至两侧系统扫查颈部淋巴结区域。记录目标淋巴结的以下特征:位置、大小(长径、短径)、纵横比(L/T)、形态(规则/不规则)、边界(清晰/模糊)、皮髓质分界(清晰/模糊/消失)、内部回声(均匀/不均匀)、有无钙化(微钙化/粗大钙化)及后方回声(增强/衰减/无改变)。(2)SMI 检查:在二维超声清晰显示淋巴结最大纵切面的基础上,切换至 SMI 模式,预设条件为低流速量程($\leq 2\text{ cm/s}$)、高帧频、适度壁滤波。调节增益至背景噪声刚好消失,嘱患者屏气,静待 3 s,动态观察淋巴结内部及周边血流信号的分布特征,包括血流分布模式[门型(血流沿淋巴门呈放射状)、中央型(血流集中于中央区)、混合型(中央+周边均有丰富血流)、周边型(血流仅位于边缘包膜下)]、Adler 半定量分级[0 级(无血流信号)、I 级(少量点状/短棒状血流,1~2 处)、II 级(中量血流,3~4 处或可见较长血管)、III 级(丰富血流, ≥ 5 处或网状融合)]^[10]。(3)SWE 检查:在相同切面下,切换至 SWE 模式。调节取样框(Q-Box)大小及位置,使其完整覆盖淋巴结实质区域,同时避开明显囊变、坏

死、粗大钙化及邻近大血管。嘱患者屏气 3~5 s,待弹性图像稳定后冻结。系统自动生成弹性模量定量参数,包括杨氏模量最大值(E_{max})、平均值(E_{mean})、最小值(E_{min})及标准差(SD)。于淋巴结不同切面重复测量 3 次,取均值作为最终记录值。所有检查由两名具有 5 年以上浅表器官超声诊断经验的医师独立完成,影像资料以 JPG 格式存储,由两名医师分别独立阅片,诊断有分歧时,以协商后的结果为准。

1.2.2 病理检查 所有患者均行肺癌根治术或行颈部淋巴结活切或活检术。术中采集的淋巴结按解剖分区标记,术后 10%中性福尔马林固定、石蜡包埋、切片、HE 染色,由两名高年资病理科医师独立阅片,以术后病理诊断为金标准,明确患者淋巴结转移状态。

1.2.3 分组 (1)患者层面:将术前经颈部淋巴结穿刺/活检病理证实为转移的患者纳入转移阳性组($n=114$);将经肺癌根治术后病理分期确认所有送检淋巴结均为良性、无任何转移征象的患者纳入转移阴性组($n=73$)。(2)淋巴结层面:以每一枚受检淋巴结为分析单位。术前经颈部淋巴结穿刺/活检病理证实存在癌细胞浸润的淋巴结为转移组($n=114$);来源于转移阴性组患者、依据术后病理分期(pN0)间接判定为良性的颈部淋巴结为非转移组($n=73$)。

1.3 观察指标

(1)一般资料:包括人口学特征(年龄、性别、体质质量指数(BMI)、吸烟史、饮酒史)、病理特征[病理类型(腺癌、鳞癌、腺鳞癌、大细胞癌等)、肿瘤位置(中央型/周围型)、肿瘤最大径、分化程度(高、中、低分化)]、淋巴结信息(颈部淋巴结分区、转移淋巴结病理报告等)。(2)淋巴结影像学参数:包括常规超声参数、SMI 参数及 SWE 定量参数。(3)SMI 及 SME 检查对肺癌术前颈部淋巴结转移的诊断价值。

1.4 统计学分析

采用 SPSS26.0 软件对数据进行处理与分析。计量资料符合正态分布且方差齐性,以($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较行独立样本 t 检验;计数资料以[n (%)]表示,组间比较行独立样本 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法检验;诊断价值采用受试者工作特征(ROC)曲线分析。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般资料比较

两组患者年龄、性别、BMI、吸烟史、饮酒史、肺癌病理类型分布、肿瘤位置、肿瘤最大径比较,差异

无统计学意义($P>0.05$);转移阳性组患者低分化比例高于转移阴性组($P<0.05$)。见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较[$\bar{x} \pm s, n$ (%)]

资料	转移阳性组($n=114$)	转移阴性组($n=73$)	t/χ^2 值	P 值
年龄(岁)	65.52 $\pm$ 11.38	64.01 $\pm$ 7.80	1.203	0.230
性别			0.165	0.684
男	77(67.54)	41(56.16)		
女	37(32.46)	32(43.84)		
BMI(kg/m ²)	22.63 $\pm$ 2.96	23.17 $\pm$ 2.85	0.260	0.795
吸烟史	46(40.35)	34(46.58)	0.269	0.604
饮酒史	28(24.56)	20(27.40)	0.291	0.589
病理类型			0.078	0.999
腺癌	73(64.04)	58(79.45)		
鳞癌	10(8.77)	15(20.55)		
小细胞癌	29(25.44)	0		
大细胞癌	2(1.75)	0		
肿瘤位置			0.233	0.630
中央型	47(41.23)	16(21.92)		
周围型	67(58.77)	57(78.08)		
肿瘤最大径(cm)	4.83 $\pm$ 2.27	2.57 $\pm$ 1.24	1.769	0.078
分化程度			10.578	0.005
高分化	4(9.76)	5(6.85)		
中分化	41(59.42)	43(58.90)		
低分化	69(60.53)	25(34.25)		

2.2 两组患者淋巴结影像学参数比较

转移组患者淋巴结在常规超声上更多表现为形态饱满(纵横比 <2)、短径、边界模糊、皮髓质分界消失、内部回声不均匀及微钙化,与非转移组比较,差异有统计学意义($P<0.05$);两组患者淋巴结位置、长径、后方回声比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。SMI 血流分布模式显示,转移组患者以周边型和混合型为主;非转移组以淋巴门型为主,差异有统计学意义($P<0.05$);Adler 血流分级Ⅱ~Ⅲ级比例高于非转移组($P<0.05$)。SWE 定量参数显示,转移组患者 E_{max}、E_{mean}、E_{min} 及 SD 值均高于非转移组($P<0.05$)。见表 2 及图 1。

2.3 SMI 及 SME 检查对肺癌术前颈部淋巴结转移的诊断价值

ROC 曲线分析显示,SMI 检查及 SWE 检查对肺癌术前颈部淋巴结转移均有较高诊断价值($P<0.05$),且联合检查诊断的价值高于单一检查($P<0.05$)。见表 3 及图 2。

表 2 两组患者淋巴结影像学参数比较[n(％)]					续表 2				
参数	转移组(n=114)	非转移组(n=73)	t/χ ² 值	P 值	参数	转移组(n=114)	非转移组(n=73)	t/χ ² 值	P 值
常规超声参数					不均匀	105(92.11)	7(9.59)		
位置			0.617	0.961	钙化			14.095	<0.001
Ⅰ～Ⅱ区	3(2.63)	2(2.74)			无钙化	76(66.67)	73(100.00)		
Ⅲ区	24(21.05)	47(64.38)			微钙化	31(27.19)	0		
Ⅳ区	81(71.05)	22(30.14)			粗大钙化	7(6.14)	0		
Ⅴ～Ⅶ区	6(5.26)	2(2.74)			后方回声			0.555	0.758
长径(mm)	21.36±10.70	11.47±2.97	1.091	0.277	无改变	51(44.74)	69(94.52)		
短径(mm)	13.32±6.83	5.36±0.59	3.130	0.002	增强	3(2.63)	2(2.74)		
纵横比			15.537	<0.001	衰减	60(52.63)	2(2.74)		
≥2	19(16.67)	49(67.12)			SMI 参数				
<2	95(83.33)	24(32.88)			血流分布模式			77.735	<0.001
形态			13.118	<0.001	淋巴门型	0(0.00)	68(93.15)		
规则	15(13.16)	69(94.52)			中央型	4(3.51)	3(4.11)		
不规则	99(86.84)	4(5.48)			混合型	63(55.26)	2(2.74)		
边界			10.628	0.001	周边型	47(41.23)	0(0.00)		
清晰	15(13.16)	68(93.15)			Adler 血流分级			9.478	0.002
模糊	99(86.84)	5(6.85)			0～Ⅰ级	52(45.61)	63(86.30)		
皮髓质分界			43.347	<0.001	Ⅱ～Ⅲ级	62(54.39)	10(13.70)		
清晰	2(1.75)	58(79.45)			SWE 定量参数(kPa)				
模糊	6(5.26)	12(16.44)			Emax	42.47±8.06	22.01±3.18	12.500	<0.001
消失	106(92.98)	3(4.11)			Emean	26.28±4.66	13.98±3.56	11.871	<0.001
内部回声			10.288	0.001	Emin	12.70±2.21	6.49±2.19	7.375	<0.001
均匀	9(7.98)	66(90.41)			SD	7.30±2.47	3.45±1.00	7.724	<0.001

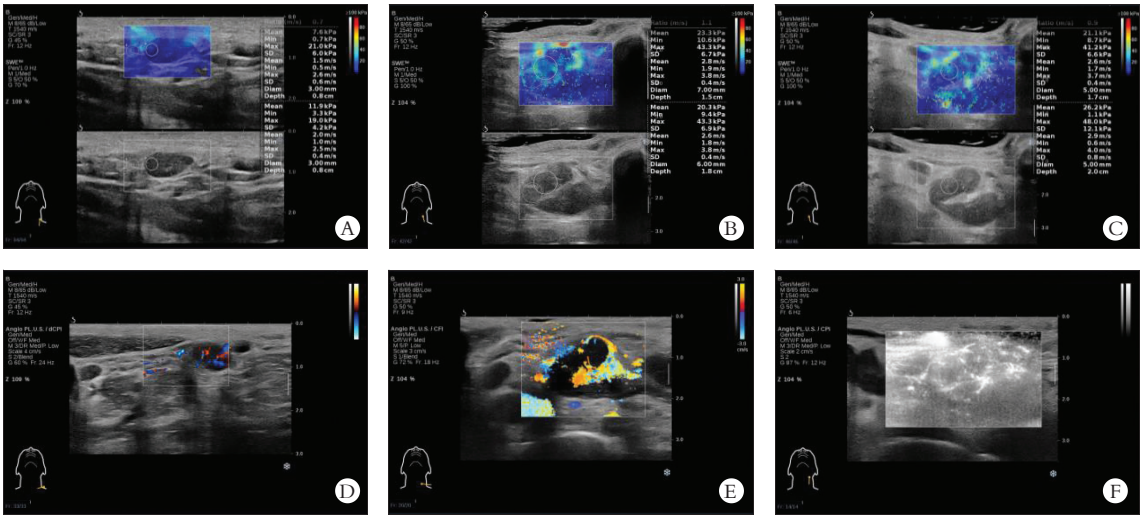


图 1 肺癌患者超声图

病例 1, 男性, 48 岁, 肺腺癌根治术后, pTNM 分期(AJCC, 8th Ed, 2017): pT1bN0。颈部Ⅲ区淋巴结, SWE 显示 Emean 为 7.6 kPa(图 1A), SMI 显示淋巴门型血流信号(图 1D); 病例 2, 女性, 59 岁, 肺腺癌, 颈部Ⅳ区淋巴结穿刺活检病理证实为转移性淋巴结, SWE 显示 Emean 为 23.3 kPa(图 1B、1C), SMI 显示混合型血流信号(图 1E、1F)。

表 3 SMI 及 SME 检查对肺癌术前颈部淋巴结转移的诊断价值

检查方法	敏感度(%)	特异度(%)	准确率(%)	阳性预测值	阴性预测值	AUC 值	95%CI
SMI	83.30	76.70	80.20	78.50	81.80	0.805	0.738~0.863
SWE	86.00	84.90	85.60	85.20	85.70	0.887	0.831~0.931
SMI+SME	95.60	90.40	93.60	91.60	95.00	0.938	0.892~0.973

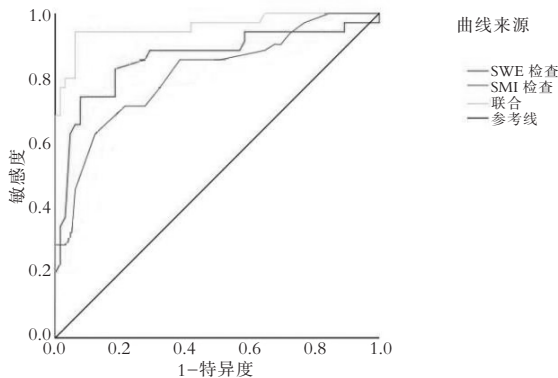


图 2 SMI 及 SME 检查对肺癌术前颈部淋巴结转移诊断价值的 ROC 曲线

3 讨论

本研究以术后病理为金标准,探讨了 SWE 联合 SMI 在肺癌患者术前颈部淋巴结转移中的诊断价值。结果显示,联合诊断的敏感度、特异度、准确率分别达 95.60%、90.40% 和 93.60%,AUC 为 0.938,优于单一检查,提示 SWE 与 SMI 分别从组织硬度与血流灌注两个维度捕捉转移性淋巴结病理生理改变的能力,二者联合具有明确的协同增效作用。

本研究结果显示,转移组患者原发肿瘤低分化比例高于非转移组($P<0.05$),提示低分化肿瘤细胞增殖活性更高、侵袭能力更强,更易于发生淋巴道播散。因此,对于原发灶为低分化肺癌的患者,即使颈部淋巴结在常规超声上无明显恶性征象,也应警惕转移可能。另外,常规超声显示,转移组更多表现为形态饱满、边界模糊、皮髓质分界消失、内部回声不均匀及微钙化,这些形态学异常为初步筛查提供了基础。研究中发现,转移组以周边型和混合型血流为主,而非转移组以淋巴门型居多,其病理基础在于,肿瘤细胞首先经输入淋巴管侵入边缘窦,诱导包膜下新生血管形成,导致血流信号向边缘聚集^[11-12];而反应性增生淋巴结仍保留正常的淋巴门血供^[13]。Wu 等^[14]研究亦提出,转移性淋巴结的病理改变涉及血管生成与组织硬度两个方面。SMI 技术凭借卓越的低速血流检测能力,可清晰显示直径 <0.1 mm 的微血管,精准捕捉这一早期改

变^[15-16]。本研究中,淋巴结转移的患者多以周边型和混合型血流为主,非转移组则以淋巴门型为主,提示转移性淋巴结的血供模式发生了根本性重构。转移组 Emean 值高于非转移组($P<0.05$),可能是因为肿瘤细胞浸润激活成纤维细胞,诱导胶原沉积及间质纤维化,导致淋巴结硬度增加^[17]。

本研究的核心发现为,SMI 与 SWE 联合应用可发挥显著的优势互补效应:(1)部分早期转移或微转移淋巴结尚未引起显著硬度改变,但已出现边缘型血流灌注异常,SMI 可在此类病例中发挥优势^[18];(2)部分反应性增生淋巴结虽血流模式保留淋巴门型,但因反复炎症刺激而硬度增高,SWE 可能造成假阳性,此时 SMI 正常的血流模式可提供重要的鉴别信息^[19];(3)二者联合实现了从血流灌注与生物力学两个维度的综合评估,在最大程度减少误诊与漏诊,这也解释了为何联合诊断的效能显著优于任一单独方法。因此,在临床实践中,可首先以常规超声筛查颈部淋巴结,对于形态可疑者进一步行 SMI 观察血流模式,对于仍难以定性者行 SWE 获取硬度参数,最终实现多参数综合判断。这种分层、联合的诊断策略能够最大程度地提高诊断信心,减少不必要的侵入性活检。

综上,SWE 与 SMI 从组织硬度与血流灌注两个维度客观反映了肺癌颈部淋巴结转移的病理改变,二者联合较单一技术提升了术前诊断效能。该联合策略有助于更精准地识别转移性淋巴结,为临床分期及治疗决策提供可靠的影像学依据。

参考文献

- [1] Hay SI, Ong KL, Santomauro DF, *et al.* Burden of 375 diseases and injuries, risk-attributable burden of 88 risk factors, and healthy life expectancy in 204 countries and territories, including 660 subnational locations, 1990—2023: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2023 [J]. The Lancet, 2025, 406(10513): 1873—1922.
- [2] Zhang Y, Qian B, Song Q, *et al.* Phase III study of mediastinal lymph node dissection for ground glass opacity-dominant lung adenocarcinoma [J]. Journal of Clinical Oncology, 2025, 43(28): 3081—3089.
- [3] 黄克敏, 冯彦林, 刘德军, 等. 飞行时间和点扩散函数对 18F-FDG PET/CT 肺癌纵隔淋巴结转移的增益价值 [J]. 中国医学影像学杂志, 2024, 32(7): 686—691.
- [4] 邹立君, 马建刚, 华菁. 超声成像参数联合血清 Ang-2、PLAC1 对非小细胞肺癌淋巴结转移的诊断价值 [J]. 临床肺科杂志, 2023, 28(10): 1479—1482.
- [5] Xiao L, Yu S, Xu W, *et al.* 99mTc-3PRGD2 SPECT/CT imaging for diagnosing lymph node metastasis of primary malignant lung tumors [J]. Korean Journal of Radiology, 2023, 24(11): 1142.

[6] Song P,Rubin JM,Lowerison MR. Super-resolution ultrasound microvascular imaging: Is it ready for clinical use? [J]. Zeitschrift für Medizinische Physik,2023,33(3):309—323.

[7] Ferraioli G,Barr RG,Farrokhi A,*et al.* How to perform shear wave elastography. Part I[J]. Medical Ultrasonography,2022,24(1):95.

[8] Zaniker EJ,Zhang M,Hughes L,*et al.* Shear wave elastography to assess stiffness of the human ovary and other reproductive tissues across the reproductive lifespan in health and disease[J]. Biology of Reproduction,2024,110(6):1100—1114.

[9] Mohindra N,Soni N. Ultrasound-based noncontrast microvascular imaging for evaluation of breast lesions; imaging techniques and review of diagnostic criteria[J]. Indian Journal of Radiology and Imaging,2024,34(4):702—713.

[10] Kuo YW,Chen YL,Chen YH,*et al.* Shear-wave elastography-guided transthoracic biopsy for lung lesions;a randomised controlled trial[J]. European Respiratory Journal,2026,67(3):2402370.

[11] 李悦,夏熙婷,周永. 非小细胞肺癌纵隔淋巴结转移的影像学评估[J]. 中华肿瘤防治杂志,2024,31(1):53—57.

[12] Zheng Y, Han N, Huang W, *et al.* Evaluating mediastinal lymph node metastasis of non-small cell lung cancer using mono-exponential, bi-exponential, and stretched-exponential models of diffusion-weighted imaging[J]. Journal of Thoracic Imaging,2024,39(5):285—292.

[13] 杨波,宗志恩,张强,等. 64排128层螺旋CT三期增强扫描对非小细胞肺癌患者淋巴结转移的诊断分析[J]. 实用癌症杂志,2025,40(7):1153—1156.

[14] Wu T,Gao C,Lou X,*et al.* Predictive value of radiomic features extracted from primary lung adenocarcinoma in forecasting thoracic lymph node metastasis;a systematic review and meta-analysis[J]. BMC Pulmonary Medicine,2024,24(1):246.

[15] Elmeliegy AM,Guddati MN. Correlation-based full-waveform shear wave elastography[J]. Physics in Medicine & Biology,2023,68(11):115001.

[16] Shi H,Qiu W,Yang P,*et al.* Diagnosis of pulmonary adenoid cystic carcinoma using multimodal ultrasound imaging technology;a case report[J]. Medicine,2025,104(1):e41212.

[17] Dong S,Miao X,Zhang K,*et al.* Elastic modulus-reflected liver lesion stiffness relates to worse prognosis in pancreatic cancer patients with liver metastasis[J]. World Journal of Surgical Oncology,2023,21(1):262.

[18] 王燕,徐春华,李丽,等. 应变弹性成像及声触诊组织成像定量技术对肺癌患者颈部淋巴结性质判定的价值[J]. 中国呼吸与危重监护杂志,2024,23(6):395—399.

[19] 韦季伶,李春莹,袁晗,等. 剪切波黏弹性成像鉴别肺周围型炎性肿块与恶性肿瘤[J]. 中国医学影像技术,2024,40(10):1524—1528.

(收稿日期:2026—01—24

修回日期:2026—04—05)