



· 论 著 ·

# C-TIRADS、剪切波弹性成像及人工智能在甲状腺结节大小分层诊断中的比较研究

周宇微, 李瑞芬, 郑薇薇, 王 泱, 刘兆光, 杨 静

唐山市人民医院超声科, 河北 唐山 063000

**[摘要]** 目的: 比较剪切波弹性成像 (shear wave elastography, SWE)、中国甲状腺影像报告和数据系统 (Chinese Thyroid Imaging Reporting and Data System, C-TIRADS) 及人工智能 (artificial intelligence, AI) 辅助诊断系统在不同大小甲状腺结节良恶性鉴别中的诊断效能。方法: 回顾并分析2024年7月—2025年3月于唐山市人民医院就诊的甲状腺结节患者的影像学资料, 根据最大径分为 $<10$  mm组和 $\geq 10$  mm组。每个结节均接受常规超声检查以获取C-TIRADS分级, 并进行SWE及AI分析。采用受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线评估SWE ( $E_{\max}$ 、 $E_{\text{mean}}$ 、 $E_{\text{med}}$ )、C-TIRADS、AI及其联合应用的诊断效能。结果: 共纳入90例甲状腺结节患者, 年龄16~73岁, 共计103枚病灶。依据结节最大径, 将病灶分为 $<10$  mm组 ( $n=47$ ) 和 $\geq 10$  mm组 ( $n=56$ )。在 $\geq 10$  mm组中, AI表现出较高的诊断效能 [曲线下面积 (area under curve, AUC) =0.875, 95% CI 0.775~0.976, 灵敏度为96.55%, 特异度为77.78%], 优于其在 $<10$  mm组中的表现 (AUC=0.654, 95% CI 0.381~0.928, 特异度为33.33%)。AI与C-TIRADS联合可提高灵敏度 (98.57%), 但特异度中等 (57.58%)。值得注意的是, 在 $<10$  mm组结节中, 该联合方式并未优于AI单独诊断, AUC甚至下降至0.488 (95% CI 0.242~0.733)。在SWE参数中,  $E_{\max}$ 在 $\geq 10$  mm组的AUC最高 (AUC: 0.895, 95% CI 0.811~0.979)。然而, 将 $E_{\max}$ 与AI+C-TIRADS联合后并未进一步提高诊断准确度。结论: AI辅助诊断及 $E_{\max}$ 在 $\geq 10$  mm结节中均表现出较高的诊断效能。对于 $\geq 1$  cm结节, AI结合C-TIRADS可进一步提升诊断准确度, 而SWE, 尤其是 $E_{\max}$ , 在反映结节组织硬度方面具有独特优势, 可作为AI与C-TIRADS诊断结果的重要参考。

**[关键词]** 甲状腺结节; 超声; 剪切波弹性成像; 中国甲状腺影像报告和数据系统; 人工智能辅助诊断系统

中图分类号: R736.1; R445.1 文献标志码: A

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2026.02.008

**基金项目:** 河北省医学科学研究重点课题(20251223)。

**利益冲突:** 作者声明无利益冲突。

**伦理批件:** RMY-LLKS-2025309。

**知情同意:** 豁免。

**引用本文:** 周宇微, 李瑞芬, 郑薇薇, 等. C-TIRADS、剪切波弹性成像及人工智能在甲状腺结节大小分层诊断中的比较研究[J]. 肿瘤影像学, 2026, 35(2): 282-290.

**Funding:** Medical Science Research Project of Hebei(20251223).

**Conflicts of interest:** author declares no conflict of interest.

**Ethical approval:** RMY-LLKS-2025309.

**Informed consent:**exemption.

**Cite this article:** ZHOU Y W, LI R F, ZHENG W W, et al. Comparative study of C-TIRADS, shear-wave elastography, and artificial intelligence in size-stratified diagnosis of thyroid nodules [J]. Oncoradiology, 2026, 35(2): 282-290.

## Comparative study of C-TIRADS, shear-wave elastography, and artificial intelligence in size-stratified diagnosis of thyroid nodules

ZHOU Yuwei, LI Ruifen, ZHENG Weiwei, WANG Yang, LIU Zhaoguang, YANG Jing

(Department of Ultrasound, Tangshan People's Hospital, Tangshan 063000, Hebei Province, China)

Correspondence to: ZHOU Yuwei E-mail: 398869487@qq.com

**[Abstract]** **Objective:** To compare the diagnostic performance of shear wave elastography (SWE), the Chinese Thyroid Imaging Reporting and Data System (C-TIRADS), and an artificial intelligence (AI)-assisted diagnostic system in differentiating benign and malignant thyroid nodules of different sizes. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on the imaging data of patients with thyroid nodules who visited Tangshan People's Hospital between July 2024 and March 2025 and categorized into two groups based on maximum diameter:  $<10$  mm and  $\geq 10$  mm. Each nodule underwent conventional ultrasound to obtain C-TIRADS scores, SWE assessment, an AI analysis. Receiver operating characteristic (ROC) curves were used to evaluate the diagnostic performance of SWE parameters ( $E_{\max}$ ,  $E_{\text{mean}}$ ,  $E_{\text{med}}$ ), C-TIRADS, AI, and their combinations. **Results:** A total of 90 patients with thyroid nodules,

aged 16 to 73 years, were included in the study, representing a total of 103 lesions. Based on the maximum diameter of the nodules, the lesions were divided into a <10 mm group ( $n=47$ ) and a  $\geq 10$  mm group ( $n=56$ ). In nodules  $\geq 10$  mm, AI exhibited superior diagnostic performance (AUC=0.875, 95% CI 0.775-0.976, sensitivity=96.55%, specificity=77.78%) compared to nodules <10 mm (AUC=0.654, 95% CI 0.381-0.928, specificity=33.33%). The combination of AI and C-TIRADS increased sensitivity to 98.57%, but specificity remained moderate (57.58%). Notably, in nodules <10 mm, this combination did not outperform AI alone, with a decreased AUC of 0.488 (95% CI 0.242-0.733). Among SWE parameters,  $E_{\max}$  achieved the highest AUC in the  $\geq 10$  mm group (AUC=0.895, 95% CI 0.811-0.979). However, adding  $E_{\max}$  to AI+C-TIRADS did not further improve diagnostic accuracy.

**Conclusion:** The AI-assisted diagnostic system and  $E_{\max}$  both demonstrated high diagnostic performance in nodules  $\geq 10$  mm. For nodules  $\geq 1$  cm, combining AI with C-TIRADS could further enhance diagnostic accuracy, while SWE, particularly  $E_{\max}$ , provides unique advantages in reflecting tissue stiffness and may serve as an important reference for interpreting AI and C-TIRADS findings.

[Key words] Thyroid nodule; Ultrasound; Shear wave elastography; Chinese Thyroid Imaging Reporting and Data System; Artificial intelligence-assisted diagnostic system

甲状腺结节是临床常见疾病，检出率逐年上升，其中部分结节具有恶性风险，对公共健康构成一定威胁<sup>[1-2]</sup>。目前，基于超声特征的中国甲状腺影像报告和数据系统（Chinese Thyroid Imaging Reporting and Data System, C-TIRADS）在临床得到广泛应用，用于评估甲状腺结节良恶性及指导临床决策<sup>[3-4]</sup>。然而，其诊断效能在很大程度上依赖于操作者的经验水平，导致结果存在一定主观性和差异性<sup>[5]</sup>。近年来，基于超声的新兴成像技术如剪切波弹性成像（shear wave elastography, SWE）辅助诊断系统为结节良恶性鉴别提供了新的方法<sup>[6-8]</sup>，既往研究<sup>[6]</sup>表明，通过测量剪切波速度或杨氏模量可以定量评估组织硬度，间接反映病变的病理学性质。

人工智能（artificial intelligence, AI）则通过深度学习算法对超声图像进行自动化分析深度学习实现图像分析标准化<sup>[9]</sup>，能够识别并量化结节特征，从而减少人工主观差异，提高诊断一致性<sup>[8]</sup>。然而，甲状腺结节的大小对上述技术的诊断效能的影响尚缺乏系统性研究。因此，本研究旨在比较SWE、C-TIRADS与AI在不同大小甲状腺结节诊断中的效能，为临床提供影像学依据，并为甲状腺结节个体化和精准化管理提供参考。

## 1 资料和方法

### 1.1 一般资料

回顾并分析2024年7月—2025年3月于唐山市人民医院就诊的甲状腺结节患者的临床与影像

学资料。纳入标准：①年龄16~73岁；②均表现为甲状腺结节，伴或不伴疼痛；③甲状腺结节经手术或细针抽吸细胞学检查（fine-needle aspiration cytology, FNAC）获得明确病理学诊断；④接受了常规超声、SWE及AI辅助检查，且影像学资料完整清晰。排除标准：①缺乏病理学结果；②有其他恶性肿瘤病史；③曾接受内分泌治疗或放疗；④全身状况差或检查时不能配合呼吸屏气；⑤影像学资料或临床数据不完整者。本研究遵循《赫尔辛基宣言》相关伦理规范，已获得所在机构伦理委员会的批准（RMYY-LLKS-2025309）

### 1.2 方法

#### 1.2.1 仪器与AI辅助诊断系统

本研究采用荷兰Philips公司的EPIQ7彩色多普勒超声诊断仪，配备线阵探头（eL18-4）及SWE软件。所用计算机辅助自动诊断系统为ITS100超声影像智能系统（V1.2），由中国四川脉得智能科技有限公司研发，包括主机及AI辅助显示屏。

#### 1.2.2 常规超声检查

患者取仰卧位。通过二维灰阶模式确定病灶位置，记录结节结构（实性、囊实性）、回声（低回声、混合回声）、边缘（光整、模糊）、钙化情况（有、无微钙化）、方位（纵横比>1、纵横比<1）、部位（左叶、右叶、峡部）、位置（上层、中层、下层、累及全层）及最大径。同时记录颈部淋巴结情况，观察有无淋巴结肿大、皮质增厚、门结构消失、短径/长径比>0.5、边缘血流

丰富等可疑转移表现, 并结合FNAC或术后病理学检查结果确认淋巴结转移情况。

采用彩色多普勒血流成像 (color Doppler flow imaging, CDFI) 评估肿瘤血流分级, 分级采用Adler半定量法。0级: 病灶内未见血流信号; I级: 病灶内见1~2条直径<1 mm的星点状血流信号; II级: 病灶内见3~4个点状血流信号, 或有1条主干血管穿过肿瘤; III级: 病灶内可见≥4条血管<sup>[10]</sup>。结果判读依据C-TIRADS标准。图像由2名具有5年以上经验的超声科医师独立评估, 若意见不一致, 则由1名具有20年经验的资深医师参与讨论达成最终诊断。所有医师在判读时均对结节最终病理学检查结果保持盲法。

### 1.2.3 实时SWE检查与分析

SWE采用同一超声设备完成。探头垂直、轻压于皮肤表面, 保证有足够耦合剂, 以获得良好的声学接触。在灰阶超声获得最佳切面后切换至ElastQ模式进行SWE评估。采样框尽量覆盖整个病灶及部分周围组织, 避开皮肤和颈动脉。为减

少呼吸运动影响, 嘱患者屏气。选择彩色充盈最佳图像用于分析。ROI Q-box置于病灶最硬处 (对非均质病灶, 避开囊性或钙化区), 另一ROI Q-box置于与病灶深度相近的正常甲状腺组织。记录组织杨氏模量的最大值 ( $E_{\max}$ )、平均值 ( $E_{\text{mean}}$ )、中位值 ( $E_{\text{med}}$ )<sup>[11]</sup>。每个病灶均由接受SWE培训的医师重复测量≥3次, 取平均值以保证一致性。

### 1.2.4 动态AI辅助诊断系统

当检测到结节时, AI系统基于深度学习技术自动识别关键的影像学特征。该系统通过卷积神经网络 (convolutional neural network, CNN) 利用卷积核对输入图像进行采样, 提取结节区域的全局特征, 构建多层次特征空间。诊断模型对输入结节图像进行特征分析与计算后, 输出两个概率值, 分别表示该结节为良性或恶性的可能性。根据成像特征模式, 系统给出分类结果: “恶性” (红色“M”) 或 “良性” (绿色“B”)。该过程由经AI公司工程师培训过的资深超声科医师按标准化操作完成 (图1)。

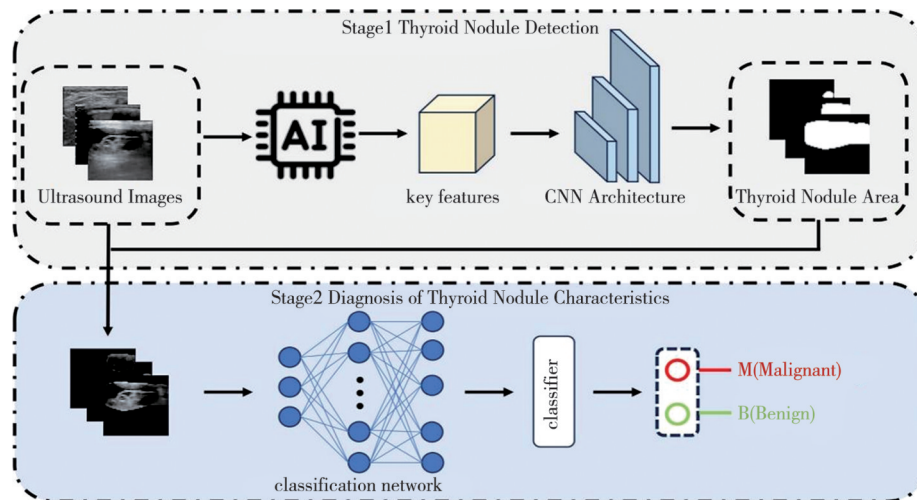


图1 AI辅助诊断系统工作流程

Fig.1 Workflow of the AI-assisted diagnostic system

阶段1: 利用基于CNN的模型从超声图像中检测甲状腺结节, 自动定位结节区域。阶段2: 通过神经网络和分类器对结节特征进行分类, 区分恶性与良性病变。

### 1.3 统计学处理

采用SPSS 26.0软件进行统计学分析, 检验水准 $\alpha=0.05$ 。计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示; 计数资料和等级资料以 $n$  (%)表示。正态分布的连续变量组间比较采用独立样本 $t$ 检验; 分类变量采用 $\chi^2$

检验; 等级资料采用秩和检验。通过受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线分析评估各指标的诊断价值, 确定最佳截断点并评价整体诊断效能。采用logistic回归分析影响因素, 结果以校正的OR及其95% CI表示。

## 2 结 果

### 2.1 不同大小结节组的病理学及临床资料比较

本研究共纳入90例甲状腺结节患者，年龄16~73岁，共计103枚病灶。依据结节最大径，将病灶分为<10 mm组 ( $n=47$ ) 和 $\geq 10$  mm组 ( $n=56$ )。<10 mm组患者的平均年龄为( $45.87 \pm 10.24$ )岁，而 $\geq 10$  mm组患者的平均年龄为( $47.86 \pm 12.49$ )岁，入组流程见图2。两组患者在年龄及性别分布方面差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ，表1)。病理学检查结果显示，<10 mm组中以甲状腺乳头状癌(87.23%)为主，此外包括结节性甲状腺肿(6.38%)、甲状腺滤泡性结节伴局灶纤维化(4.26%)及亚急性甲状腺炎(2.13%)。 $\geq 10$  mm组中甲状腺乳头状癌占50.00%，结节性甲状腺肿占44.64%，另有甲状腺滤泡性结节伴局灶纤维化(3.57%)和髓样癌(1.79%，表2)。总体而言，本研究中恶性结节70枚(67.96%)，其中乳头状癌69枚，髓样癌1枚；良性结节33枚(32.04%)。

### 2.2 不同大小结节组的常规超声特征比较

常规超声结果显示，<10 mm组与 $\geq 10$  mm组在结节结构、方位、边缘、回声、钙化、血流分级方面差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ，表1)。与

10 mm组相比，<10 mm组结节具有边缘模糊，纵横比 $>1$ ，低回声及微钙化发生率高的特点(均 $P < 0.05$ )。CDFI血流分级亦有差异， $\geq 10$  mm组以血流丰富(Ⅲ级)为主，而<10 mm组多表现为无血流信号(0级)。在结节位置上， $\geq 10$  mm组更易累及全层，而<10 mm组则多分布于甲状腺上层(均 $P < 0.05$ )。两组在结节分布部位及淋巴结转移方面的差异无统计学意义。

### 2.3 不同大小结节组的SWE参数比较

SWE参数在两组间差异显著 ( $P < 0.05$ ，表3)。 $\geq 10$  mm组结节的 $E_{\max}$ 、 $E_{\text{mean}}$ 和 $E_{\text{med}}$ 均高于<10 mm组，其中 $E_{\max}$ 差异最为显著 [ $\geq 10$  mm组( $74.50 \pm 44.02$ ) kPa，<10 mm组( $56.44 \pm 35.70$ ) kPa， $P = 0.026$ ]， $E_{\text{mean}}$ 及 $E_{\text{med}}$ 差异亦有统计学意义(图3、4)。

### 2.4 不同大小结节组的AI诊断与C-TIRADS分级比较

AI诊断结果显示，<10 mm组结节中93.62% (44/47) 被判定为恶性，显著高于 $\geq 10$  mm组的57.14% (32/56， $P < 0.001$ )。相反， $\geq 10$  mm组被判定为良性的比例更高(41.07%)。仅1枚 $\geq 10$  mm结节结果为“不确定”(表4)。C-TIRADS分级在两组间差异无统计学意义 ( $P = 0.075$ )，但总体趋势显示 $\geq 10$  mm组结节分布于更低的超声分级。

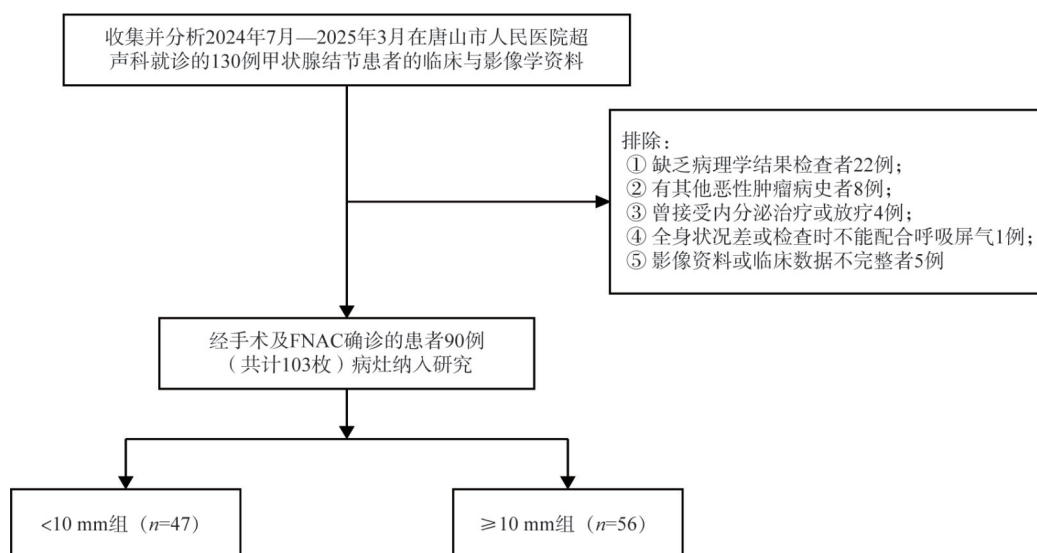


图2 研究对象纳入流程图

Fig.2 Flow chart of study participant enrollment and exclusion

表1 两组患者常规超声及基线数据比较

Tab.1 Comparison of baseline characteristics and conventional ultrasound features between the two groups

| 参数    | $\bar{x}\pm s$ 或 $n$ (%) |                      | 统计量             | P值     |
|-------|--------------------------|----------------------|-----------------|--------|
|       | <10 mm组 (n=47)           | $\geq 10$ mm组 (n=56) |                 |        |
| 年龄/岁  | 45.87 $\pm$ 10.24        | 47.86 $\pm$ 12.49    | $t=-0.870$      | 0.386  |
| 性别    |                          |                      | $\chi^2=0.058$  | 0.810  |
| 男性    | 11 (23.40)               | 12 (21.43)           |                 |        |
| 女性    | 36 (76.60)               | 44 (78.57)           |                 |        |
| 结构    |                          |                      | $\chi^2=19.035$ | <0.001 |
| 实性    | 46 (97.87)               | 35 (62.50)           |                 |        |
| 囊实性   | 1 (2.13)                 | 21 (37.50)           |                 |        |
| 方位    |                          |                      | $\chi^2=20.996$ | <0.001 |
| 纵横比<1 | 5 (10.64)                | 30 (53.57)           |                 |        |
| 纵横比>1 | 42 (89.36)               | 26 (46.43)           |                 |        |
| 边缘    |                          |                      | $\chi^2=16.020$ | <0.001 |
| 光整    | 6 (12.77)                | 28 (50.00)           |                 |        |
| 模糊    | 41 (87.23)               | 28 (50.00)           |                 |        |
| 回声    |                          |                      | $\chi^2=19.035$ | <0.001 |
| 低回声   | 46 (97.87)               | 35 (62.50)           |                 |        |
| 混合回声  | 1 (2.13)                 | 21 (37.50)           |                 |        |
| 钙化    |                          |                      | $\chi^2=4.871$  | 0.021  |
| 无钙化   | 15 (31.91)               | 30 (53.57)           |                 |        |
| 微钙化   | 32 (68.09)               | 26 (46.43)           |                 |        |
| 血流分级  |                          |                      | $W=1\ 845.000$  | <0.001 |
| 0     | 16 (34.04)               | 7 (12.50)            |                 |        |
| 1     | 20 (42.55)               | 15 (26.79)           |                 |        |
| 2     | 6 (12.77)                | 8 (14.29)            |                 |        |
| 3     | 5 (10.64)                | 26 (46.43)           |                 |        |
| 淋巴结转移 |                          |                      | $\chi^2=0.725$  | 0.394  |
| 无     | 40 (85.11)               | 44 (78.57)           |                 |        |
| 有     | 7 (14.89)                | 12 (21.43)           |                 |        |
| 结节部位  |                          |                      | $\chi^2=1.422$  | 0.491  |
| 左叶    | 16 (34.04)               | 22 (39.29)           |                 |        |
| 右叶    | 30 (63.83)               | 34 (60.71)           |                 |        |
| 峡部    | 1 (2.13)                 | 0 (0)                |                 |        |
| 结节位置  |                          |                      | $\chi^2=19.536$ | <0.001 |
| 全层    | 0 (0)                    | 9 (16.07)            |                 |        |
| 上层    | 23 (48.94)               | 12 (21.43)           |                 |        |
| 中层    | 12 (25.53)               | 28 (50.00)           |                 |        |
| 下层    | 12 (25.53)               | 7 (12.50)            |                 |        |

表2 <10 mm组与 $\geq 10$  mm组病理学检查结果分布

Tab.2 Distribution of pathological results between the <10 mm and  $\geq 10$  mm groups

| 病理学检查结果          | $n$ (%)        |                      |
|------------------|----------------|----------------------|
|                  | <10 mm组 (n=47) | $\geq 10$ mm组 (n=56) |
| 甲状腺滤泡结节性病变       | 3 (6.38)       | 25 (44.64)           |
| 甲状腺滤泡结节性病变伴灶状纤维化 | 2 (4.26)       | 2 (3.57)             |
| 甲状腺乳头状癌          | 41 (87.23)     | 28 (50.00)           |
| 甲状腺髓样癌           | 0 (0)          | 1 (1.79)             |
| 亚急性甲状腺炎          | 1 (2.13)       | 0 (0)                |

表3 <10 mm组与 $\geq 10$  mm组SWE参数比较

Tab.3 Comparison of SWE parameters between the two groups

| 参数         | $\bar{x}\pm s$    |                   | t值     | P值    |
|------------|-------------------|-------------------|--------|-------|
|            | <10 mm组           | $\geq 10$ mm组     |        |       |
| $E_{max}$  | 56.44 $\pm$ 35.70 | 74.50 $\pm$ 44.02 | -2.256 | 0.026 |
| $E_{med}$  | 41.53 $\pm$ 22.75 | 53.62 $\pm$ 28.94 | -2.323 | 0.022 |
| $E_{mean}$ | 41.92 $\pm$ 23.15 | 53.80 $\pm$ 29.79 | -2.227 | 0.028 |

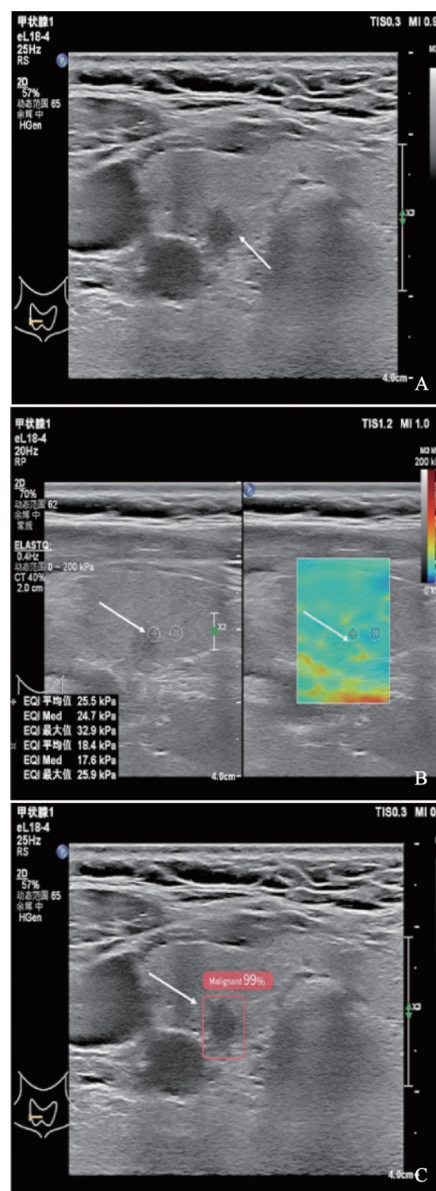


图3 <10 mm甲状腺结节灰阶超声、SWE及AI分析图像

Fig.3 Gray-scale ultrasound, SWE, and AI analysis of a <10 mm thyroid nodule

患者, 女性, 63岁, 病理学检查确诊为甲状腺乳头状癌。A: 灰阶超声示肿物呈低回声, 最大直径小于10 mm, 形态不规则, 纵横比>1, 边界不清, 未见微钙化; B: SWE图像示 $E_{max}=32.9$  kPa,  $E_{mean}=25.5$  kPa,  $E_{med}=24.7$  kPa; C: AI辅助诊断系统结果提示该结节为恶性。

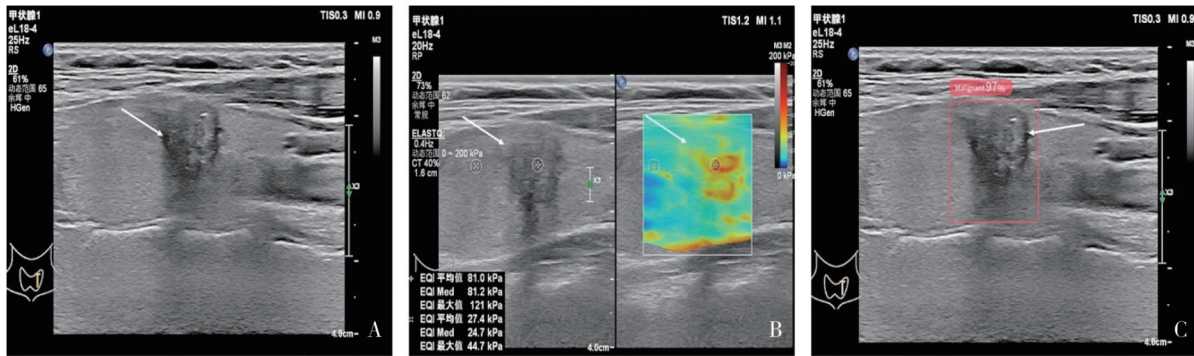


图4 ≥10 mm 甲状腺结节灰阶超声、SWE 及 AI 分析图像

Fig.4 Gray-scale ultrasound, SWE, and AI analysis of a ≥10 mm thyroid nodule

患者，女性，35岁，病理学检查确诊为甲状腺乳头状癌。A：灰阶超声示肿物呈低回声，最大直径>10 mm，形态不规则，纵横比>1，边界不清，可见微钙化；B：SWE图像显示 $E_{max}=121$  kPa， $E_{mean}=81$  kPa， $E_{med}=81.2$  kPa；C：AI辅助诊断系统结果提示结节为恶性。

表4 两组间AI与C-TIRADS诊断性能比较

Tab.4 Comparison of diagnosis between AI and C-TIRADS of different sizes in the thyroid

| 诊断方法       | <10 mm组 (n=47) | ≥10 mm组 (n=56) | $\chi^2/t$ 值 | P值     |
|------------|----------------|----------------|--------------|--------|
| AI分级       |                |                | 2 430.500    | <0.001 |
| 恶性         | 44 (93.62)     | 32 (57.14)     |              |        |
| 不确定        | 0 (0)          | 1 (1.79)       |              |        |
| 良性         | 3 (6.38)       | 23 (41.07)     |              |        |
| C-TIRADS分级 |                |                | 2 658.000    | 0.075  |
| 1          | 0 (0)          | 0 (0)          |              |        |
| 2          | 0 (0)          | 1 (1.79)       |              |        |
| 3          | 2 (4.26)       | 19 (33.93)     |              |        |
| 4A         | 17 (36.17)     | 9 (16.07)      |              |        |
| 4B         | 25 (53.19)     | 20 (35.71)     |              |        |
| 4C         | 3 (6.38)       | 7 (12.5)       |              |        |
| 5          | 0 (0)          | 0 (0)          |              |        |
| 6          | 0 (0)          | 0 (0)          |              |        |

### 2.5 ROC 曲线分析

ROC 分析结果显示，所有诊断方法在≥10 mm组的诊断效能均优于<10 mm组（表5）。≥10 mm组中，AI、C-TIRADS及SWE的曲线下面积（area under curve, AUC）分别为 0.875、

0.835和0.895（其中 $E_{max}$ 表现最佳）。联合诊断分析提示，对于≥10 mm 结节，AI+C-TIRADS联合应用的灵敏度和特异度与三者联合（AI+C-TIRADS+ $E_{max}$ ）相当，提示在该组合下SWE未进一步提升诊断效能。

表5 &lt;10 mm组与≥10 mm组ROC分析结果

Tab.5 ROC analysis results in the&lt;10 mm and≥10 mm groups

| 指标          | AUC (95% CI)        | P值     | 截断值   | 灵敏度/%  | 特异度/%  | 阳性预测值/% | 阴性预测值/% | 约登指数  | 诊断准确度/% |
|-------------|---------------------|--------|-------|--------|--------|---------|---------|-------|---------|
| AI          | 0.836 (0.738~0.934) | <0.001 | 2     | 97.10  | 69.70  | 87.18   | 91.89   | 0.67  | 88.32   |
| <10 mm      | 0.654 (0.381~0.928) | 0.226  | 2     | 97.56  | 33.33  | 90.91   | 66.67   | 0.31  | 89.36   |
| ≥10 mm      | 0.875 (0.775~0.976) | <0.001 | 2     | 96.55  | 77.78  | 82.35   | 95.45   | 0.74  | 87.50   |
| C-TIRADS    | 0.766 (0.655~0.878) | <0.001 | 2     | 95.70  | 57.60  | 84.04   | 85.17   | 0.53  | 84.27   |
| <10 mm      | 0.476 (0.235~0.717) | 0.848  | 3     | 0.00   | 100.00 | 0.00    | 12.77   | 0.00  | 82.98   |
| ≥10 mm      | 0.835 (0.720~0.949) | <0.001 | 2     | 96.60  | 70.40  | 77.80   | 95.07   | 0.67  | 83.97   |
| $E_{max}$   | 0.747 (0.647~0.847) | <0.001 | 54.90 | 65.70  | 78.80  | 86.80   | 51.99   | 0.45  | 69.90   |
| <10 mm      | 0.659 (0.442~0.875) | 0.214  | 53.15 | 48.80  | 83.30  | 86.11   | 43.41   | 0.32  | 59.85   |
| ≥10 mm      | 0.895 (0.811~0.979) | <0.001 | 60.58 | 89.70  | 81.50  | 83.89   | 88.05   | 0.71  | 85.75   |
| $E_{med}$   | 0.731 (0.627~0.835) | <0.001 | 42.53 | 62.90  | 81.80  | 88.00   | 50.97   | 0.45  | 68.96   |
| <10 mm      | 0.652 (0.447~0.858) | 0.232  | 44.12 | 48.80  | 83.30  | 95.23   | 19.23   | 0.32  | 53.20   |
| ≥10 mm      | 0.874 (0.776~0.972) | <0.001 | 42.53 | 96.60  | 77.80  | 82.37   | 95.52   | 0.74  | 87.54   |
| $E_{mean}$  | 0.743 (0.687~0.885) | <0.001 | 37.25 | 72.90  | 75.80  | 86.47   | 56.87   | 0.49  | 73.83   |
| <10 mm      | 0.821 (0.687~0.885) | 0.012  | 14.60 | 92.70  | 33.30  | 90.47   | 40.03   | 0.26  | 85.12   |
| ≥10 mm      | 0.885 (0.790~0.980) | <0.001 | 28.45 | 96.60  | 81.50  | 84.87   | 95.71   | 0.78  | 89.32   |
| AI+C-TIRADS | 0.781 (0.670~0.891) | <0.001 |       | 98.57  | 57.58  | 83.13   | 95.00   | 0.56  | 85.44   |
| <10 mm      | 0.488 (0.242~0.733) | 0.924  |       | 97.56  | 0.00   | 86.96   | 0.00    | -0.02 | 85.11   |
| ≥10 mm      | 0.852 (0.742~0.962) | <0.001 |       | 100.00 | 70.37  | 78.38   | 100.00  | 0.70  | 85.71   |

### 3 讨 论

甲状腺结节是临床常见疾病,其良恶性鉴别对诊疗决策具有重要意义。随着影像学技术的发展,SWE和AI等新兴工具为结节风险评估提供了新的手段。然而,结节大小对诊断工具的效能影响尚未充分明确<sup>[12-14]</sup>。本研究系统分析了SWE、C-TIRADS及AI在不同大小甲状腺结节中的诊断性能,以期为临床诊疗提供循证医学依据。

本研究结果显示,亚厘米结节(<10 mm)较≥10 mm结节更常表现典型恶性超声征象,包括边缘模糊、纵横比大于1、低回声及微钙化等。这些特征与最新版C-TIRADS指南<sup>[15]</sup>所强调的恶性超声征象高度一致,可能部分解释了亚厘米结节恶性比例较高(87.23%与50.00%)。此外,既往研究<sup>[16-17]</sup>报道结节大小与恶性风险成反比关系,小结节更易表现为恶性行为,这亦与我们的研究结果一致。这一流行病学趋势提示,在存在可疑超声征象时,应对亚厘米结节进行更加谨慎的评估。

在SWE诊断性能方面,本研究显示,≥10 mm组结节的 $E_{mean}$ 、 $E_{max}$ 等弹性参数明显高于亚厘米结节,且诊断效能更佳,这与Li等<sup>[13]</sup>的研究结果一致。较大结节内部常伴有纤维化、胶原沉积及基质重塑等组织学改变,这些因素与组织硬度呈正相关<sup>[18]</sup>。而亚厘米恶性结节尚未出现明显的间质反应,加之肿物内部及肿物与周围组织的声速差异会导致剪切波易受反射、折射及伪影干扰影响,使SWE在小结节中的灵敏度下降<sup>[19-20]</sup>。

本研究还发现, $E_{max}$ 在≥10 mm组中特异度及AUC表现突出,这与部分学者<sup>[17, 21]</sup>认为 $E_{max}$ 在区分良恶性结节方面具有更高的诊断性能和可重复性的观点相一致。可能原因包括本研究恶性结节以乳头状癌为主,其病理学特征通常表现局灶性或边缘区硬度显著增高, $E_{max}$ 能更敏感地反映结节最硬区域的生物力学特征;同时,≥10 mm组良恶性结节分布较为均衡,减少了极端值对统计结果的影响,使 $E_{max}$ 的诊断结果更具稳定性和可靠性。

AI在甲状腺结节诊断中展现出较高准确度和一致性。本研究显示,AI在≥10 mm结节中的

AUC为0.875, 明显优于亚厘米组的0.654, 提示AI在识别较大结节方面表现更佳。进一步分析发现, AI联合C-TIRADS与AI+C-TIRADS+ $E_{\max}$ 在灵敏度和特异度上几乎相当, 提示多模态联合可能存在“诊断饱和效应”, 即在大结节中加入SWE参数未显著提升诊断效能。这一结果提示, 在 $\geq 10$  mm结节诊断决策中, AI与C-TIRADS联合应用可提供高准确度, 同时降低对设备和操作条件的依赖, 这与董明华等<sup>[22]</sup>的研究结果一致。对于亚厘米结节, AI与C-TIRADS的联合能够提高灵敏度, 但特异度有所下降, 表明不同诊断方法在亚厘米结节中具有互补作用, 需结合影像学特征及临床信息进行综合判断。

本研究仍存在一定局限性。首先, 本研究为单中心研究, 受试者均来自具有肿瘤诊疗特色的三级甲等综合医院, 恶性结节比例偏高, 加之样本量有限, 可能导致选择偏倚, 结果的稳定性亦有待大规模多中心研究进一步验证; 其次, 本研究采用FNAC作为重要的参照标准, 但FNAC本身亦存在一定局限性。对于 $< 10$  mm的小结节, 穿刺过程中更易出现取材不足或细胞量有限等情况, 从而增加非诊断性结果或假阴性的风险; 最后, 本研究所用AI系统为特定平台, 其诊断效能不同算法或平台上的一致性尚需进一步评估。

综上所述, 本研究结果对临床实践具有重要参考价值。首先, 对于 $\geq 10$  mm结节, AI与C-TIRADS的联合模式能够在保证较高准确度的同时减少对操作者经验及设备条件的依赖, 适用于基层及高工作量环境, 可作为优先推荐的诊断策略。其次, 对于 $< 10$  mm的亚厘米结节, 由于SWE和AI均受到结节体积小、组织学改变不显著等因素影响, 建议在临床上更加强调超声典型恶性征象及患者危险因素的综合评估, 而不应依赖某种单一的诊断工具。最后, 本研究提示SWE的 $E_{\max}$ 指标在 $\geq 10$  mm结节中具备较高特异度, 可在影像学诊断结果不一致或AI输出置信度较低时作为补充性参数, 提高诊断的稳健性。总体来看, 根据结节大小采用差异化的多参数评估策略, 有助于提升诊断效率, 避免不必要的穿刺或

过度检查, 从而优化患者管理路径。

#### 第一作者:

周宇微 (ORCID: 0000-0002-9786-8441), 硕士, 副主任医师。

#### 通信作者:

周宇微 (ORCID: 0000-0002-9786-8441), 硕士, 副主任医师, E-mail: 398869487@qq.com。

#### 作者贡献声明:

周宇微: 人工智能及超声图像分析, 提出、设计论文基本框架, 撰写论文, 获得项目支持; 李瑞芬: 负责全文知识性内容的审核与修正论文; 郑薇薇: 超声图像分析, 整理数据资料; 王洪: 超声图像分析, 整理数据资料; 刘兆光: 参与数据采集及分析; 杨静: 文章撰写过程中提供意见和建议, 整理参考文献。

#### [参 考 文 献]

- [1] 何惠珍, 叶洁仪, 黄伟俊. 多模态超声检查对甲状腺乳头状癌颈部中央区淋巴结转移的预测价值[J]. 肿瘤影像学, 2024, 33(6): 609-614.  
HE H Z, YE J Y, HUANG W J. The predictive value of multimodal ultrasound in central lymph node metastasis of papillary carcinoma of the thyroid[J]. *Oncoradiology*, 2024, 33(6): 609-614.
- [2] 孙鑫, 张巍, 程令刚, 等. 甲状腺乳头状癌临床、多模态超声及病理学特征与*BRAF V600E*突变的相关性[J]. 中国医学影像技术, 2024, 40(5): 730-734.  
SUN X, ZHANG W, CHENG L G, et al. Correlations of clinical, multi-modal ultrasonic and pathological features of papillary thyroid carcinoma with *BRAF V600E* mutation[J]. *Chin J Med Imag Technol*, 2024, 40(5): 730-734.
- [3] 周建桥, 詹维伟. 2020年中国超声甲状腺影像报告和数据系统(C-TIRADS)指南解读[J]. 诊断学理论与实践, 2020, 19(4): 350-353.  
ZHOU J Q, ZHAN W W. Interpretation of 2020 Chinese guidelines for thyroid imaging reporting and data system (C-TIRADS) for ultrasound[J]. *J Diagn Concepts Pract*, 2020, 19(4): 350-353.
- [4] HA E J, CHUNG S R, NA D G, et al. 2021 Korean thyroid imaging reporting and data system and imaging-based management of thyroid nodules: Korean Society of Thyroid Radiology consensus statement and recommendations [J]. *Korean J Radiol*, 2021, 22(12): 2094-2123.
- [5] JEONG E Y, KIM H L, HA E J, et al. Computer-aided diagnosis system for thyroid nodules on ultrasonography: diagnostic performance and reproducibility based on the experience level of operators[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(4): 1978-1985.
- [6] BORA MAKAL G, ASLAN A. The diagnostic value of the American College of Radiology Thyroid Imaging Reporting and Data System classification and shear-wave elastography for the differentiation of thyroid nodules [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2021, 47(5): 1227-1234.
- [7] FILHO R H C, PEREIRA F L, IARED W. Diagnostic accuracy evaluation of two-dimensional shear wave elastography in the

- differentiation between benign and malignant thyroid nodules: systematic review and meta-analysis [J]. *J Ultrasound Med*, 2020, 39(9): 1729–1741.
- [8] TUO J M, SI X J, SONG H Q. Artificial intelligence technology enhances the performance of shear wave elastography in thyroid nodule diagnosis [J]. *Am J Transl Res*, 2023, 15(10): 6226–6233.
- [9] CHUNG S R, BAEK J H, LEE M K, et al. Computer-aided diagnosis system for the evaluation of thyroid nodules on ultrasonography: prospective non-inferiority study according to the experience level of radiologists [J]. *Korean J Radiol*, 2020, 21(3): 369–376.
- [10] ADLER D D, CARSON P L, RUBIN J M, et al. Doppler ultrasound color flow imaging in the study of breast cancer: preliminary findings [J]. *Ultrasound Med Biol*, 1990, 16(6): 553–559.
- [11] TAN R, LIU J, TANG Q, et al. Clinical diagnostic value of shear-wave elastography in detecting malignant nipple retraction [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2025, 49(1): 73–79.
- [12] 中华医学会内分泌学会, 中华医学会外科学分会甲状腺及代谢外科学组, 中国抗癌协会头颈肿瘤专业委员会, 等. 甲状腺结节和分化型甲状腺癌诊治指南(第二版). *中华内分泌代谢杂志*, 2023, 39(3): 181–226.  
Chinese Society of Endocrinology, Thyroid and Metabolic Surgery Group of the Chinese Society of Surgery, Head and Neck Tumor Committee of the Chinese Anti-Cancer Association, et al. Guidelines for the diagnosis and treatment of thyroid nodules and differentiated thyroid carcinoma (2nd edition) [J]. *Chin Int J Endocrinol Metab*, 2023, 39(3): 181–226.
- [13] LIH, KANGC, XUEJ, et al. Influence of lesion size on shear elastography in the diagnosis of benign and malignant thyroid nodules [J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 21616.
- [14] WANG B, WAN Z, ZHANG M B, et al. Diagnostic value of a dynamic artificial intelligence ultrasonic intelligent auxiliary diagnosis system for benign and malignant thyroid nodules in patients with Hashimoto thyroiditis [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2023, 13(6): 3618–3629.
- [15] ZHOU J Q, YIN L X, WEI X, et al. 2020 Chinese guidelines for ultrasound malignancy risk stratification of thyroid nodules: the C-TIRADS [J]. *Endocrine*, 2020, 70(2): 256–279.
- [16] CAVALLO A, JOHNSON D N, WHITE M G, et al. Thyroid nodule size at ultrasound as a predictor of malignancy and final pathologic size [J]. *Thyroid*, 2017, 27(5): 641–650.
- [17] 花霞, 赵艳红, 鹿丹丹, 等. 甲状腺结节大小对细针穿刺细胞学及多模态超声诊断准确度的影响 [J]. *河北医科大学学报*, 2022, 43(10): 1178–1182.  
HUA X, ZHAO Y H, LU D D, et al. The influence of thyroid nodule size on the accuracy of fine needle aspiration cytology and multimodal ultrasound diagnosis [J]. *J Hebei Med Univ*, 2022, 43(10): 1178–1182.
- [18] CHAMBARA N, LO X, CHOW T C M, et al. Combined shear wave elastography and EU TI-RADS in differentiating malignant and benign thyroid nodules [J]. *Cancers*, 2022, 14(22): 5521.
- [19] XUE J P, KANG X Y, MIAO J W, et al. Analysis of the influence of thyroid nodule characteristics on the results of shear wave elastography [J]. *Front Endocrinol*, 2022, 13: 858565.
- [20] FUKUHARA T, MATSUDA E, ENDO Y, et al. Correlation between quantitative shear wave elastography and pathologic structures of thyroid lesions [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2015, 41(9): 2326–2332.
- [21] 何珂, 周兴华, 何炼图, 等. C-TIRADS分类联合剪切波弹性成像鉴别诊断不同大小甲状腺结节的临床价值 [J]. *临床超声医学杂志*, 2024, 26(1): 54–58.  
HE K, ZHOU X H, HE L T, et al. Clinical value of C-TIRADS category combined with shear wave elastography in the differential diagnosis of thyroid nodules with different sizes [J]. *J Clin Ultrasound Med*, 2024, 26(1): 54–58.
- [22] 董明华, 孟芳. 超声AI联合C-TIRADS在甲状腺结节良性鉴别中的效果分析 [J]. *中国实验诊断学*, 2025, 29(8): 910–915.  
DONG M H, MENG F. Effect analysis of ultrasonic AI combined with C-TIRADS in differential diagnosis of benign and malignant thyroid nodules [J]. *Chin J Lab Diagn*, 2025, 29(8): 910–915.

(收稿日期: 2025-11-17 修回日期: 2026-02-06)