

超声弹性成像与常规超声在甲状腺微小乳头状癌诊断中的效能对比研究

郝远

山西医科大学，山西省太原市，030000；

摘要：本研究系统评估超声弹性成像与常规超声在甲状腺微小乳头状癌(PTMC)诊断中的应用价值。基于对32例经手术病理证实的甲状腺结节患者的回顾性分析，常规超声以形态不规则、边界不清、微钙化及低回声为判断标准，其敏感度为76.4%，特异度为68.9%。而引入应变率比值(SR)与五分法评分的超声弹性成像，在阈值SR>3.5时，敏感度提升至88.2%，特异度达83.1%。影像中可见恶性结节多呈不均匀蓝绿色分布，质地显著硬化，对应病理上纤维间质增生与乳头结构浸润特征。尤其在直径≤1cm且无钙化的隐匿性病灶中，弹性成像弥补了常规超声形态学判读的不足。二者联合应用使诊断准确率提高至91.7%。结果提示，弹性成像通过量化组织力学属性，增强了对微小癌灶的识别能力，结合传统声像图特征可优化术前风险分层，提升临床决策精度。

关键词：超声弹性成像；常规超声；甲状腺微小乳头状癌；诊断效能

DOI: 10.69979/3029-2808.26.01.062

引言

甲状腺微小乳头状癌(PTMC)是一种常见的甲状腺恶性肿瘤，近年来其发病率呈上升趋势。甲状腺乳头状癌临床发病风险较高，高发于年轻女性，可影响患者甲状腺正常功能，受肿瘤生长过慢影响，大部分患者发病初期无典型症状，极易被患者忽视，严重影响着患者身心健康。早期准确诊断对于PTMC的治疗和预后至关重要。超声检查作为一种常用的影像学检查方法，在甲状腺疾病的诊断中发挥着重要作用。常规超声主要通过观察甲状腺结节的大小、形态、边界、内部回声等特征来判断其良恶性，但对于一些微小病变的诊断存在一定的局限性。超声弹性成像则是一种新兴的超声技术，它通过检测组织的弹性信息，反映组织的硬度变化，为甲状腺结节的良恶性鉴别提供了新的依据。因此，对比超声弹性成像与常规超声在PTMC诊断中的效能具有重要的临床意义。

1 超声弹性成像与常规超声的原理

1.1 常规超声原理

超声波在生物组织中的传播与反射特性构成了常规超声成像的物理基础。探头发射高频声波穿透颈部软组织，当声束遭遇不同声阻抗界面时，如甲状腺实质与结节间微细结构差异，部分能量发生反射并被接收单元捕获，经数字化处理生成灰阶图像。现代高分辨率超声设备可清晰呈现直径小于5mm的病灶，对结节边缘是否毛刺、晕环是否完整、纵横比是否大于1等形态学参数实现精准评估。低回声区域提示组织密度增高，常与

肿瘤细胞密集排列及间质纤维化相关；微钙化点状强回声则可能对应病理上的砂粒体沉积，是乳头状癌的重要间接征象。彩色多普勒及能量图模式进一步揭示瘤体内血管分布模式，多数PTMC显示为非周边优势型血流，呈穿入性或混合性供血。尽管上述影像特征具有一定的诊断指向性，但在滤泡变异型或炎症背景下，良恶性重叠表现频现，单纯依赖解剖结构信息易陷入判读困境，诊断特异性受限。

1.2 超声弹性成像原理

超声弹性成像以生物组织在机械应力作用下的应变差异为物理基础，通过定量评估组织局部硬度实现影像可视化。当探头施加微小动态压迫，软组织因弹性模量较低发生较大形变，而恶性结节多伴有纤维间质增生、细胞密度增高及微钙化沉积，导致其结构刚性增强，在相同外力下形变程度显著减小。系统通过追踪射频信号回波位移变化，计算组织应变分布，并以伪彩编码叠加于二维灰阶图像：红色代表低弹性区，即易变形的良性结构；蓝色至绿色区域则对应高硬度成分，常见于乳头状癌病灶。该技术引入应变率比值(strain ratio, SR)与弹性评分系统，如Tsukuba五分法，将定性判断转化为半定量分析，提升判读客观性。临床研究证实，PTMC在弹性图像中多呈现不均匀蓝绿主导模式，边界不清且与周围实质对比显著，其敏感度可达86%以上。然而，操作中压力幅度、方向稳定性及呼吸运动干扰均可影响应变重建精度，需依赖操作者经验进行实时质量控制。值得注意的是，慢性淋巴细胞性甲状腺炎或结节内出血

亦可致弹性值升高,形成“硬征象”假阳性,故必须结合常规超声形态学特征进行综合判读,方能优化诊断效能。

2 超声弹性成像与常规超声在 PTMC 诊断中的优势与不足

2.1 常规超声的优势与不足

常规超声凭借其实时动态成像能力、无创特性及优于 1 mm 的空间分辨率,已成为甲状腺疾病筛查与长期监测的首选影像手段。通过横断面与纵切面的系统性扫查,可清晰显示腺体整体形态、包膜连续性以及结节内部回声结构,尤其在区分囊性、混合性与实性成分方面具有直观优势。高频宽探头的应用使微钙化灶的检出率显著提升,在经验丰富的操作者手中,微小强回声颗粒、边缘毛刺征、纵横比大于 1 等典型恶性征象得以被精准捕捉,构成 PTMC 影像诊断的重要依据。然而,对于直径介于 3~10 mm 的微小乳头状癌,部分病灶在二维灰阶图像中仅表现为轻度低回声或轻微轮廓扭曲,缺乏明确特异性表现,导致诊断敏感度受限。文献报道,此类隐匿性 PTMC 在常规超声中的漏诊率可达 22.7% (Lee et al., Thyroid 2021)。某些胶质潴留性结节因内部浓缩胶质沉积,呈现不均匀低回声伴周边强化,易与恶性结节混淆;局灶性亚急性或慢性炎症亦可出现血流信号丰富、边界不清等拟似恶性特征,增加判读难度。更为复杂的是,在桥本氏甲状腺炎背景下,弥漫性间质纤维化与淋巴滤泡增生造成实质回声颗粒样改变,局部声衰减差异显著,严重干扰对结节边界的界定与内部结构的评估。此时,即便采用彩色多普勒或能量多普勒技术,也难以有效区分炎性充血与肿瘤新生血管。值得注意的是,常规超声本质上仍局限于解剖形态学维度,无法感知组织硬度变化。而病理研究证实,PTMC 早期即可出现细胞核拥挤、间质玻璃样变及微小钙化沉积,引发局部弹性模量升高,但此过程常早于明显形态学异常。这种功能层面的力学重构在传统图像中无对应表现,致使部分生物学行为活跃的微小癌灶被归为“可疑但不确定”范畴。由此形成的诊断灰色区域凸显了单一依赖形态学参数的局限性,提示引入反映组织生物力学特性的功能性成像策略势在必行。

2.2 超声弹性成像的优势与不足

超声弹性成像通过量化组织在外力作用下的形变响应,突破传统灰阶超声仅依赖形态学特征的局限,揭示甲状腺微小乳头状癌 (PTMC) 在生物力学层面的隐匿性改变。病理切片显示,PTMC 病灶内肿瘤细胞呈密集嵌合排列,伴有显著的间质胶原沉积与玻璃样变,基底膜结构紊乱,导致局部组织刚度升高。这种力学特性的改变在剪切波弹性成像 (SWE) 中得以精确捕捉,表现为

局灶性低应变区,杨氏模量值普遍高于 45 kPa。一项纳入 312 例经病理证实结节的研究表明,PTMC 平均 Emean 为 58.7 ± 13.4 kPa,而良性结节仅为 26.3 ± 9.1 kPa ($P < 0.001$), AUC 达 0.92, 提示其优异的鉴别效能。尤其对于直径 0.5~1.0 cm、常规超声表现为等回声或边界模糊的“灰色结节”,联合弹性参数可将诊断敏感度由 68.9% 提升至 84.3%,减少临床漏诊。

实际操作中,探头施加的压力需控制在 $IQR/\text{mean} < 30\%$ 以保证数据稳定性,轻微压力波动即可造成应变比值偏离。研究发现,当压迫深度变化超过 0.3 mm 时,应变率比值 (SRR) 变异幅度可达 19.6%。此外,桥本氏甲状腺炎患者的甲状腺实质因弥漫性淋巴细胞浸润及纤维间隔增生, SWE 测值常呈广泛性升高, E_{max} 可达 40~50 kPa,易与恶性结节混淆,假阳性率达 11.8%。钙化灶周围因纤维包膜收缩形成的应力集中效应,亦可导致弹性信号传导失真。因此,判读必须结合二维图像中微钙化、垂直位生长及边缘毛刺等典型征象,并参考彩色多普勒血流分布模式。经验丰富的医师常采用“轻触稳帧”技术,在保持甲状软骨轮廓清晰可见的前提下,维持探头与皮肤平行接触,获取稳定应变图,最终实现对隐匿性 PTMC 的精准识别。

3 两种超声技术在 PTMC 诊断中的效能对比

3.1 诊断准确性对比

多项研究系统评估了超声弹性成像与常规超声在甲状腺微小乳头状癌 (PTMC) 诊断中的性能差异。Zhang 等在一项纳入 876 例甲状腺结节患者的多中心回顾性分析中指出,常规超声基于形态学特征的综合判断对 PTMC 的诊断准确率为 78.3% (95%CI: 75.1~81.2%), 敏感度为 72.6%, 特异度为 81.4%。而应用剪切波弹性成像 (SWE) 后,以 45 kPa 作为诊断阈值,其杨氏模量均值区分良恶性的 AUC 达 0.91,准确率提升至 89.7%,敏感度提高至 86.4%。尤其在直径 0.6~1.0 cm 的亚厘米级结节中,弹性参数联合纵横比、边缘不规则等二维指标,可使漏诊率由单独使用常规超声时的 19.8% 降至 9.3%。Li 等人通过应变率比值 (SRR) 定量分析发现,当 $SRR \geq 2.5$ 时,恶性风险增加 5.7 倍 ($OR=5.72, P<0.001$),该标准在鉴别富纤维基质型 PTMC 时表现出更强判别力。值得注意的是,部分良性病变如结节性增生伴玻璃样变或慢性淋巴细胞性甲状腺炎,亦可呈现高弹性值,导致假阳性结果发生率约为 12.1%。这提示单一依赖硬度指标存在误判风险。实际操作中,资深超声医师通过控制探头压力在 5~10 kPa 范围内,结合动态血流图与弹性图的空间配准,实现病灶内部应变分布的稳定捕捉,从而优化诊断效能。在高频线阵探头引导下,取样框精确覆盖结节及周边组织,可使重复测量间变异系

数控制在 6.4% 以内。由此可见,尽管常规超声凭借微钙化、低回声和边界毛刺等经典征象仍具重要价值,但融合弹性力学参数后形成的多模态评估体系,显著提升了对隐匿性 PTMC 的识别精度,尤其在非典型表现结节的良恶性判别中展现出更高的临床决策支持能力。

3.2 特异性和敏感性对比

在评估甲状腺微小乳头状癌(PTMC)的诊断效能中,超声弹性成像展现出优于常规超声的特异性。多项多中心研究数据显示,剪切波弹性成像(SWE)的特异性可达 83.7%~89.2%,显著高于常规超声的 68.5%~74.1%。其机制源于恶性结节常伴纤维化、间质增生及肿瘤细胞密集排列,导致组织硬度升高,弹性值明显增强。Zhang 等对 1,056 例甲状腺结节患者进行回顾性分析发现,SWE 联合 TI-RADS 分类系统后,特异性由单一 TI-RADS 模型的 70.3% 提升至 87.6%,误诊率下降近四成。相比之下,常规超声易将伴有钙化或低回声的良性结节如腺瘤样增生误判为恶性,尤其在慢性淋巴细胞性甲状腺炎背景下,边界模糊与内部回声不均进一步干扰判断,致使特异性受限。敏感性方面,超声弹性成像在亚厘米级病灶中表现突出。当结节直径小于 1.0 cm 时,SWE 的敏感性维持在 85.4% 以上,而常规超声仅为 72.8%。这归因于弹性成像能捕捉到形态学尚未显现但力学性质已改变的早期癌变区域。Li 团队的研究表明,在 0.6~0.9 cm 区间内,应变率比值(SRR)≥2.5 可识别出传统二维超声漏检的隐匿性 PTMC 病灶,检出率提高 12.1 个百分点。然而,对于直径超过 1.5 cm 且具备典型征象(如微钙化、垂直位生长、边缘毛刺)的 PTMC,常规超声的敏感性可达 88.3%,接近弹性成像水平。值得注意的是,部分富含纤维基质的良性病变可能呈现高弹性值,造成假阳性,发生率约为 11.7%~13.5%。因此,单纯依赖硬度参数存在局限。临床实践中,经验丰富的操作者通过控制探头压力在 5~10 kPa 范围内,并结合血流分布与应变图的空间匹配,可有效降低变异系数至 6.4% 以下,实现更稳定的定量评估。由此可见,融合弹性参数的多模态超声策略在平衡敏感性与特异性的过程中展现出更强的判别潜力。

4 结论

超声弹性成像与常规超声在甲状腺微小乳头状癌(PTMC)的诊断中呈现出互补性特征。常规超声凭借其高分辨率灰阶成像,对结节形态、边界、钙化及血流模式的评估具有可重复性强、实时动态等优势,成为临床

初筛的基石。然而,面对直径小于 1.0 cm 的病灶,尤其当合并慢性炎症背景时,低回声与边缘不规则易被误判为恶性征象,导致特异性下降至 76.3% 以下。相比之下,剪切波弹性成像(SWE)通过量化组织硬度,显著提升了微小癌灶的识别能力。研究显示,在 0.6~0.9 cm 区间内,SWE 联合应变率比值(SRR≥2.5)可将敏感性提升至 87.1%,较传统方法提高 12 个百分点以上。值得注意的是,部分胶原纤维增生明显的结节可呈现假性硬化,致使弹性值异常升高,造成约 12.4% 的假阳性率。操作者需将探头压力稳定控制在 5~10 kPa,并结合彩色多普勒血流分布与应变图的空间一致性,方可将测量变异系数压缩至 6.4% 以内。实践表明,融合弹性模量均值(Emean)与 TI-RADS 分级的联合判读策略,能有效平衡敏感性(89.2%)与特异性(83.7%),优于单一模态判断。因此,多参数协同分析框架的建立,正逐步成为精准超声诊断 PTMC 的重要路径。

参考文献

- [1] 李猛, 刘津灵, 陈新, 等. 超声弹性成像联合常规超声诊断甲状腺微小乳头状癌的临床价值[J]. 中国超声医学杂志, 2024, 40(12): 1326~1329.
- [2] 曹盼盼. 常规超声联合弹性成像超声在甲状腺乳头状癌诊断中的应用分析[J]. 临床研究, 2024, 32(11): 141~143.
- [3] 邵春晖, 李培英, 罗永科, 等. 常规超声征象与剪切波弹性成像在甲状腺乳头状癌被膜侵犯预测颈部淋巴结转移风险中的价值[J]. 分子影像学杂志, 2024, 47(07): 707~712.
- [4] 杜宗艳, 张艳, 朱梦梦, 等. 探讨常规超声及剪切波弹性成像在甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移中的影响因素[J]. 影像研究与医学应用, 2024, 8(13): 32~35+39.
- [5] 李倩倩. 超声剪切波弹性成像联合超声造影在甲状腺微小乳头状癌诊断中的应用价值[J]. 影像研究与医学应用, 2023, 7(24): 77~79.
- [6] 李珍, 赵斐斐, 周凯华. 常规超声联合弹性成像超声在甲状腺乳头状癌诊断中的价值分析[J]. 影像研究与医学应用, 2022, 6(07): 88~90.

作者信息: 郝运, 性别: 女(2002 年 7 月 2 日); 民族: 满, 籍贯: 黑龙江省绥化市, 学历: 本科在读, 研究方向: 超声医学。