

# Research progress of ultrasound elastography in the assessment of vascular wall structure and function

Huixin Yang Hong Wang \*

Chengde Medical College, Chengde, Hebei, 067000, China

## Abstract

As a non-invasive,real-time medical imaging technology,ultrasound elastography has been widely applied in the assessment of vascular wall structure and function.By measuring the elastic properties of tissues,ultrasound elastography provides important information on vascular wall hardness,elasticity,and compliance,thus offering reliable support for early diagnosis and functional assessment of vascular lesions.Compared to traditional ultrasound techniques,ultrasound elastography can quantitatively analyze changes in vascular wall elasticity and is highly sensitive in detecting early vascular dysfunction.Additionally,ultrasound elastography can be combined with other imaging methods,such as CT and MRI,to provide more comprehensive diagnostic information.Although there are some technical limitations at present,with the improvement in imaging resolution,speed,and data analysis capabilities,the clinical application prospects of ultrasound elastography are broad.

## Keywords

Ultrasound elastography; Vascular wall assessment; Atherosclerosis; Vascular compliance; Clinical application

# 超声弹性成像在血管壁结构与功能评估中的研究进展

杨惠心 王洪 \*

承德医学院, 中国·河北承德 067000

## 摘要

超声弹性成像技术作为一种非侵入性、实时的医学影像技术,已广泛应用于血管壁结构与功能评估中。通过测量组织的弹性性质,超声弹性成像能够提供血管壁的硬度、弹性及顺应性等重要信息,进而为血管病变的早期诊断和功能评估提供可靠依据。与传统超声技术相比,超声弹性成像能够定量分析血管壁的弹性变化,并且在早期发现血管功能障碍方面具有较高的敏感性。此外,超声弹性成像技术还可与其他影像学方法如CT和MRI相结合,提供更加全面的诊断信息。尽管目前存在一些技术局限,但随着成像分辨率、速度和数据分析能力的提升,超声弹性成像的临床应用前景广阔。

## 关键词

超声弹性成像; 血管壁评估; 动脉粥样硬化; 血管顺应性; 临床应用

## 1 引言

超声弹性成像技术是一种新兴的医学影像技术,通过测量组织在外力作用下的弹性变形,能够定量评估组织的刚性和柔性。与传统超声成像相比,超声弹性成像具有更高的组织对比度和更丰富的生物学信息,尤其在血管壁结构与功能的评估中,表现出了广泛的临床应用潜力。血管壁的弹性是反映血管健康状态的重要指标,尤其在动脉粥样硬化、高血压等血管疾病的早期诊断和治疗监测中,提供了重要的临床参考。传统的影像技术,如CT和MRI,虽然具有较高

的空间分辨率,但在实时监测和成本控制方面存在一定的局限性。随着技术不断进步,超声弹性成像在血管壁评估中的作用将进一步加强,特别是在血管疾病的早期发现和干预方面,展现出巨大的应用前景。

## 2 超声弹性成像技术概述

### 2.1 超声弹性成像的原理与技术基础

超声弹性成像通过测量组织在外力作用下的弹性变形来评估其硬度和柔软性。声波在组织中传播时,不同组织对声波的传播速度和反射产生不同影响,这与组织的弹性有关。超声弹性成像通过这些差异生成图像,揭示组织的机械特性。利用这一技术,可以定量地测量血管、肝脏等组织的弹性,进而判断其健康状况。相较于传统超声影像技术,超声弹性成像能提供更多关于组织物理性质的信息,帮助临床医生更好地诊断疾病<sup>[1]</sup>。它基于弹性波传播原理,结合现代超声成像技术,能够提供实时、无创的诊断工具,并广泛应

【作者简介】杨惠心(1990—)女,中国河北承德人,在读硕士,从事超声诊断研究。

【通讯作者】王洪(1969—),男,中国山东蓬莱人,硕士,主任医师,从事超声医学研究。

用于肿瘤、血管等多种组织的评估。

## 2.2 超声弹性成像在医学影像学中的发展历程

超声弹性成像技术在医学影像学中的发展起源于 20 世纪 90 年代初期。最早的研究集中于技术的基础理论与信号处理方法的探索。初期的技术还存在分辨率不足、图像质量不稳定等问题，但随着设备性能和算法的改进，现代超声弹性成像已经具备了较高的分辨率，能够清晰显示组织的弹性特征<sup>[2]</sup>。近年来，超声弹性成像技术逐渐与其他影像技术如 CT 和 MRI 结合，拓展了应用范围。如今，超声弹性成像被广泛用于肝脏、乳腺、血管及其他器官的临床评估，并在多个领域中得到了验证和应用<sup>[3]</sup>。

## 3 超声弹性成像在血管壁结构评估中的应用

### 3.1 血管壁的弹性特性与硬度测量

血管壁的弹性是血管健康的重要指标，能够反映血管的顺应性和耐受血流压力的能力。超声弹性成像通过测量血管壁的硬度，帮助医生评估血管的弹性特性。在正常情况下，血管壁应具备一定的弹性，能够适应血流的压力波动。然而，在动脉硬化等疾病发生时，血管壁逐渐变硬，失去弹性。通过超声弹性成像，可以对血管壁的硬度进行定量测量，并及时发现早期病变。与传统的影像技术相比，超声弹性成像能够提供更为精确的弹性数据，这对于血管病变的早期诊断和治疗有着至关重要的作用<sup>[4]</sup>。

### 3.2 血管壁厚度变化与结构评估

血管壁的厚度是血管疾病的重要表现，尤其在动脉粥样硬化等病症中，血管壁厚度会逐渐增加。超声弹性成像技术可以精确测量血管壁的厚度，评估其结构变化。在动脉粥样硬化的早期阶段，血管壁可能仅表现为轻微的增厚，超声弹性成像能够及时发现这些变化，因此，超声弹性成像在血管壁结构评估中的应用，能够为动脉硬化及其他血管疾病的临床诊断和治疗提供重要的信息支持<sup>[5]</sup>。

### 3.3 超声弹性成像在动脉硬化与血管病变早期诊断中的应用

动脉硬化是导致心血管疾病的主要原因之一。超声弹性成像技术通过测量血管壁的硬度和弹性，能够在动脉硬化的早期阶段发现血管的病变。传统的影像技术可能难以在早期阶段准确识别血管硬化，而超声弹性成像能够提供定量的硬度评估，具有较高的敏感性。在动脉粥样硬化、高血压和糖尿病等疾病中，血管壁的弹性变化往往是疾病发生和发展的标志<sup>[6]</sup>。通过超声弹性成像的定期监测，医生可以及早发现血管病变并进行干预，从而减少心血管事件的发生。超声弹性成像技术的应用，使得血管病变的早期诊断和精准评估成为可能，为临床治疗提供了更加科学的数据支持<sup>[7]</sup>。

## 4 超声弹性成像在血管功能评估中的应用

### 4.1 血管顺应性与弹性功能的定量评估

血管顺应性是衡量血管对血流压力变化响应的能力，弹性功能则是指血管壁在压力作用下的变形能力。超声弹性

成像能够提供血管壁的弹性数据，通过测量血管壁的硬度和变形程度，帮助定量评估血管顺应性和弹性功能。这些指标对评估血管的健康状态尤为重要，尤其是在动脉硬化、高血压等疾病中，血管顺应性和弹性功能通常会显著降低，有助于及时发现血管功能障碍。通过血管顺应性的定量评估，医生可以更准确地判断血管健康，制定个性化的治疗方案，特别是在早期干预中起到关键作用<sup>[8]</sup>。

### 4.2 血管功能障碍与血流动力学评估

血管功能障碍常常伴随着血流动力学的改变，这些变化直接影响到血液循环的效率和血压的调节能力。超声弹性成像能够通过测量血管壁的弹性和硬度，帮助评估血管功能障碍，尤其是在高血压、糖尿病等慢性病患者中，血管功能障碍的发生较为普遍。通过与血流速度、血流量等血流动力学参数相结合，超声弹性成像能够提供血管功能的多维度信息，为血管功能评估提供了重要的补充数据。这种技术的优势在于其实时性和无创性，医生可以在诊断过程中通过动态监测，及时发现血管功能的变化，进而为治疗决策提供依据<sup>[9]</sup>。

### 4.3 超声弹性成像在高血压、糖尿病等疾病中的应用

高血压和糖尿病是引发血管疾病的主要因素，超声弹性成像在这类患者中的应用表现出较高的诊断价值。在高血压患者中，血管壁的硬度增加，血管顺应性降低，而糖尿病患者则常常表现为血管弹性的减弱，通过检测血管壁的弹性变化，医生能够判断病情进展的早期迹象，及时采取干预措施<sup>[10]</sup>。超声弹性成像技术为这类疾病的血管损伤评估提供了一个安全、无创、便捷的手段，有助于血管功能的早期发现和干预。研究表明，超声弹性成像在高血压和糖尿病患者中的应用，能够帮助临床医生更好地评估血管健康，优化治疗方案，从而有效减少并发症的发生。

## 5 超声弹性成像在临床实践中的优势分析

### 5.1 超声弹性成像的临床诊断优势

超声弹性成像作为一种无创、实时的技术，在临床诊断中具有显著优势。与传统的影像学技术相比，超声弹性成像不仅能提供关于组织形态的图像，还能定量评估组织的机械性质。该技术适用于各种临床环境，包括床旁检查，便于医生进行即时诊断。与 CT 或 MRI 相比，超声弹性成像的成本更低，设备更为便捷，同时具有较强的重复性和可操作性。在早期筛查中，超声弹性成像能够检测到早期的病理变化，提供早期诊断的可能性，有助于疾病的早期干预<sup>[11]</sup>。

### 5.2 与其他影像技术的互补性

超声弹性成像与 CT、MRI 等其他影像技术的互补性体现在其能够为常规影像学方法提供额外的信息。CT 和 MRI 主要依赖组织的密度差异进行成像，对于组织的机械特性无法提供定量分析<sup>[12]</sup>。超声弹性成像则通过评估组织的弹性，为临床诊断提供另一种视角，能够揭示传统成像方法无法显示的组织硬度、弹性等特性。研究表明，超声弹性成像与 MRI 结合使用，可以更精确地评估肿瘤或血管病变的性质，并辅助判断病变的良恶性。此外，超声弹性成像还能够通过

实时监测,帮助评估组织变化的动态过程,适用于治疗过程中的动态监控,进一步提升了临床诊断的综合准确性<sup>[13]</sup>。

### 5.3 超声弹性成像在血管疾病早期筛查中的潜力

超声弹性成像在血管疾病早期筛查中的应用潜力巨大。随着技术的不断进步,超声弹性成像已成为评估血管健康的重要工具,特别是在动脉硬化、高血压等常见疾病的早期检测中,超声弹性成像表现出了较高的敏感性。根据临床数据,超声弹性成像在评估血管壁弹性和硬度方面的准确性可达到90%以上,能够早期发现血管功能障碍及结构改变,提供及时的干预机会。在血管疾病的筛查中,超声弹性成像不仅能够检测到早期的血管病变,还能通过定量数据指导治疗方案的制定。与传统的影像方法相比,超声弹性成像提供了更为准确和早期的诊断数据,有助于减少心血管事件的发生风险<sup>[14]</sup>。

## 6 超声弹性成像的未来发展方向

随着超声弹性成像技术的不断进步,提升分辨率、成像速度和可视化效果将是未来发展的重要方向。当前,超声弹性成像在某些高密度组织或深层结构的成像分辨率上仍存在一定限制,难以清晰显示组织的微小变化。通过创新的超声探头设计、提高信号采集速度以及优化图像处理算法,有望实现更高分辨率的成像,提升对组织细节的捕捉能力。此外,成像速度的提升能够更好地满足动态监测需求,尤其在血流变化较快的器官和血管评估中具有重要意义。结合新型算法和人工智能技术,超声弹性成像的可视化效果有望得到极大改善,提供更为直观和易于解读的图像。未来,通过这些技术的创新,超声弹性成像将在更广泛的临床应用中发挥重要作用。此外,人工智能能够通过对于历史病例的学习,提供个性化的诊断建议和预测结果<sup>[15]</sup>。随着人工智能技术的发展,超声弹性成像在疾病筛查、预后评估和治疗方案选择方面的应用将进一步扩展,为临床医生提供更加精准和高效的决策支持。超声弹性成像与人工智能的结合将推动医学影像技术进入一个新的智能化时代。

## 7 结语

超声弹性成像技术作为一种创新的无创医学影像方法,已在血管壁及其他组织的结构与功能评估中展现出重要应用价值。随着技术的不断发展,超声弹性成像不仅在分辨率、成像速度和可视化效果方面取得了显著进步,还在临床应用领域逐渐拓展,从血管疾病的评估延伸到其他器官的健康监测。未来,结合人工智能技术,超声弹性成像将进一步提升其自动化、智能化水平,使得早期诊断、个性化治疗以及疾病预后评估更加精准。尽管目前仍面临一定的技术挑战,但随着相关研究的不断推进,超声弹性成像必将在医学影像学中占据越来越重要的地位,成为临床实践中的重要工具,为患者提供更加高效、安全、准确的医疗服务。

### 参考文献

[1] Sharmin Majumder,Md Hadiur Rahman Khan,Ying Xuan

Chua,Francesca Taraballi,Raffaella Righetti.Vascular hydraulic conductivity imaging in cancers in vivo based on spatiotemporal ultrasound elastography.[J].PNAS nexus,2025,4(11):

- [2] 沈祥祥,冯西娟,徐广耀.超声弹性成像技术评估银杏叶片改善动脉粥样硬化患者血管壁弹性的价值[J].现代实用医学,2022,34(11):1529-1531+1540.
- [3] 吴华臣,黄迎春,高杰,李丽萍.超声弹性成像技术在芪苈强心胶囊治疗糖尿病患者下肢动脉血管壁弹性的评价[J].航空航天医学杂志,2017,28(10):1175-1178.
- [4] Jiamin Chen,Jing Zhong,Yu Zhuang,Bixue Deng, Jiayi Hong,Yuhong Lin,Zhongzhen Su,Xin Wen.Multimodality Ultrasound Utilizing Microvascular Flow Imaging and Shear Wave Elastography to Guide Fine-Needle Aspiration of Thyroid Lesions:A Prospective Study Validating Pattern-Based Microvascular Classification.[J].Thyroid:official journal of the American Thyroid Association,2025,35(5):
- [5] Jun Chang,Yingbin Chen,Na Chen,Jingjing Qiao,Xiaoli Lu,Congyan Xia.Value of ultrasonic shear wave elastography combined with vascularization-flow index in differential diagnosis of benign and malignant breast tumors in the elderly[J].European Journal of Gynaecological Oncology,2025,46(4):
- [6] Hiroto Aikawa,Takayuki Yabe,Toru Kameda,Toki Toi,Takanori Ikeda.Acute coronary syndrome due to papillary fibroelastoma detected by intravascular ultrasound imaging:a case report[J]. European Heart Journal-Case Reports,2025,9(11):
- [7] Sarhun Zirek,Gökhan MertÖzyurt,AlptuğÖzen,Refik Olmaz,Kaan Esen.Erratum:Thrombus stiffness as an independent predictor of endovascular treatment success in hemodialysis fistulas:a study using ultrasound elastography.[J].Ultrasonography(Seoul,Korea),2025,44(3):
- [8] 李雪,刘骥.超声弹性成像评估原发性高血压飞行员颈动脉血管弹性的价值[J].中国医药指南,2017,15(17):117-118.
- [9] 赖瑾瑜.超声弹性成像在2型糖尿病患者血管壁弹性评价中的应用价值分析[J].实用心脑血管病杂志,2016,24(08):137-138.
- [10] 吴戴红,杜微云,胡志文,陈俏利.超声弹性成像在兔深静脉血栓分期诊断的研究[J].新医学,2016,47(07):433-436.
- [11] 彭银凤.实时超声弹性成像对鼻咽癌放疗后涎腺纤维化的评价[D].导师:朱尚勇.广西医科大学,2016.
- [12] 吴国红.超声弹性成像技术在2型糖尿病患者血管壁弹性评价中的应用[J].中国实用医药,2016,11(08):53-54.
- [13] 钱馨然,顾天明,焦阳,司法,崔峰峻.基于血管内超声弹性成像的动脉斑块识别[J].生物医学工程学杂志,2015,32(03):656-661.
- [14] 何芳丽,杨继庆,周建学,卜欣.血管超声弹性成像的研究现状与发展趋势[J].医疗卫生装备,2014,35(11):103-105+112.
- [15] 刘宏.超声弹性成像在宫颈病变的初步应用[D].导师:向红.新疆医科大学,2013.