

超声波在心血管疾病早期诊断中的应用与进展

高 颖

涿州市清凉寺社区卫生服务中心 河北 涿州 072750

摘 要：超声波技术在心血管疾病早期诊断中应用广泛且进展显著。在冠心病、心肌病、心脏瓣膜病及先天性心脏病的早期诊断中，超声技术通过多模态成像、定量分析等手段，实现了从结构到功能的全面评估。技术进展方面，高分辨率超声、超声造影及负荷超声心动图不断突破，提升了图像清晰度、诊断敏感度及临床应用价值，为心血管疾病的精准诊断与治疗提供了重要支持。

关键词：超声波；心血管疾病；早期诊断

引言：心血管疾病早期诊断的精准性是制定有效治疗方案、改善患者预后的关键所在。在这一领域，超声技术凭借其无创、实时、可重复性强的优势，已成为心血管影像学诊断的基石。从基础二维成像到高分辨率三维重建，从单纯结构观察到功能评估，超声波技术不断突破，为心血管疾病的早期发现、精准诊断及风险分层提供了强有力的支持，引领着诊断模式的革新。

1 早期诊断在心血管疾病防治中的重要性

心血管疾病早期诊断的重要性贯穿于疾病防治的全链条，其价值体现在疾病防控、治疗效果与资源优化三大维度。从疾病进程看，心血管病变常在早期呈现隐匿性，如动脉粥样硬化斑块形成初期患者可能无明显症状，但通过早期超声心动图、血管内超声等诊断技术可精准捕捉血管壁增厚、斑块负荷等早期病变信号^[1]。此时采取生活方式干预（如地中海饮食、规律有氧运动）和危险因素控制（如他汀类药物降脂、降压治疗），可使斑块进展速度降低40%—60%，显著延缓疾病恶化进程。在治疗层面，早期诊断为精准医疗提供窗口期。冠心病患者在心肌梗死前6个月内接受超声负荷试验诊断并干预，可使主要心血管不良事件风险下降32%。从医疗经济学视角，早期筛查可使高危人群确诊率提升25%，同时减少30%的晚期重症患者医疗支出，实现医疗资源的靶向配置与效率提升。

2 超声波在心血管疾病早期诊断中的具体应用

2.1 冠心病的早期超声诊断

超声技术在冠心病的诊断与评估中发挥着多维度且关键的作用。超声心动图作为评估冠心病室壁运动异常的核心手段，借助17节段分析法，其对室壁运动异常的检出率超85%。静息时，正常心肌节段收缩期室壁增厚率为30%—50%，缺血心肌增厚率则低于10%甚至有矛盾运动。如对120例疑似患者研究显示，其诊断冠心病敏感性

78%、特异性82%，负荷超声心动图更将二者提升至90%和85%以上。多普勒超声技术通过测量冠状动脉血流储备分数（CFR）量化心肌微循环功能。正常CFR值在4—5间，狭窄时可降至2以下。50例患者研究表明，CFR < 2患者心血管事件风险是CFR > 2患者的3.2倍。同时，它还能检测二尖瓣反流程度，结合组织多普勒成像定量分析心肌运动速度。超声造影注射微泡造影剂显著提高心肌灌注检测敏感性，对心肌缺血检出率达90%以上，远高于传统超声心动图的60%—70%。80例临床试验显示其诊断敏感性92%、特异性88%。时间强度曲线可量化评估灌注参数，负荷超声造影时缺血心肌参数较正常降低30%—50%，还能鉴别存活与坏死心肌，为治疗提供重要参考依据。

2.2 心肌病的早期超声诊断

心肌病作为一类复杂的心脏疾病，早期诊断对其治疗和预后至关重要，而超声波在心肌病的早期诊断中发挥着关键作用。在扩张型心肌病的早期超声诊断中，超声心动图可显示心腔扩大，以左心室扩大最为显著，左心室舒张末期内径常大于60mm，部分患者可达80mm甚至更大，室壁运动普遍减弱，射血分数（EF）显著降低，多低于40%，甚至低于30%。对于肥厚型心肌病，超声可清晰显示心肌增厚，尤其是室间隔增厚更为明显，常超过15mm，室间隔与左心室后壁厚度之比大于1.3。部分患者可出现二尖瓣前叶收缩期前向运动（SAM征），约占50%~70%的患者可检测到这一特征^[2]。限制型心肌病相对少见，超声表现为心室腔正常或缩小，而心房显著扩大，左心房前后径常大于40mm，右心房横径大于45mm。心肌回声增强，舒张功能严重受损，二尖瓣血流频谱E峰与A峰比值（E/A）常小于1，甚至小于0.5。通过超声波对这些特征性表现的检测和分析，能够在心肌病的早期阶段及时发现病变，为临床治疗提供有力的

依据，有助于改善患者的预后，降低心血管事件的发生风险。

2.3 心脏瓣膜病的早期超声诊断

超声波技术凭借其实时成像、无创性及高分辨率优势，已成为心脏瓣膜病早期诊断的基石。通过多模态超声评估，可精准识别瓣膜结构异常、定量分析血流动力学改变，并为临床决策提供关键依据。（1）二尖瓣病变的形态与功能评估：经胸超声心动图（TTE）结合三维成像技术，可清晰显示二尖瓣叶增厚、脱垂或连枷样运动。例如，二尖瓣反流（MR）的严重程度通过反流束面积与左心房面积比值（ROA）分级， $ROA > 20\%$ 提示重度反流，与手术结果一致性达91%。（2）主动脉瓣狭窄的定量诊断：连续波多普勒超声通过测量跨瓣压差及瓣口面积，可精准分级主动脉瓣狭窄（AS）。当峰值流速 $> 4\text{m/s}$ 、平均压差 $> 40\text{mmHg}$ 或瓣口面积 $< 1.0\text{cm}^2$ 时，诊断为重度AS，其预测心血管事件风险的敏感度达89%。（3）三尖瓣反流的病因溯源：通过右心导管参数与超声参数的联合分析，可鉴别三尖瓣反流（TR）的继发性病因（如肺动脉高压）与原发瓣膜病变。例如，TR压差 $> 5\text{mmHg}$ 且伴有右心室扩大时，需警惕肺动脉高压相关性TR。（4）人工瓣膜功能的动态监测：经食管超声心动图（TEE）对人工瓣膜周漏、瓣叶运动障碍的检出率达95%，尤其适用于术后早期并发症的筛查。（5）多瓣膜病变的综合评估：负荷超声心动图可同步评估多瓣膜病变患者的血流动力学储备，为联合瓣膜手术提供术前规划依据。

2.4 先天性心脏病的早期超声诊断

超声波技术在先天性心脏病（先心病）的早期诊断中扮演着核心角色，凭借其无创性、实时成像以及多平面探测的突出优势，极大地提升了先心病的发现概率与诊断的精确程度。在胎儿时期，当孕妇怀孕至18到22周时，运用胎儿超声心动图，能够识别出超过95%的心脏结构畸形。以法洛四联症为例，在超声图像中，其具有右心室肥厚、主动脉骑跨以及室间隔缺损等典型特征，这种诊断方式的符合率高达98%。对于大动脉转位这类复杂的先心病，彩色多普勒血流显像可以直观且清晰地呈现出主动脉与肺动脉的异常起源状况，敏感度超过了90%，为早期准确诊断提供了有力支持。对于新生儿和儿童，经胸超声心动图（TTE）是先心病筛查的首要选择。研究数据表明，TTE对房间隔缺损（ASD）的检出率能达到92%，通过剑突下切面可清晰呈现缺损部位以及分流的具体方向。对于室间隔缺损（VSD），连续波多普勒技术可测量跨瓣压差，以此评估分流的严重程度。此外，三

维超声心动图可重建心脏的立体结构，在诊断右心室双出口等复杂畸形时作用显著，诊断符合率比二维超声提高了15%—20%。经食管超声心动图（TEE）在儿童先心病领域的应用越来越广泛，特别是在评估术后残余分流或瓣膜功能异常方面，如对人工血管或瓣膜周漏的检出率高达95%，为二次手术方案的制定提供了关键依据。超声波技术在先心病早期诊断中的应用如下表所示。

表1 超声波技术在先心病早期诊断中的应用表

诊断阶段	技术类型	应用场景	主要优势	典型病例	诊断符合率/检出率
胎儿期	胎儿超声心动图	孕妇怀孕18-22周	无创性、实时成像、多平面探测	法洛四联症	98%
				大动脉转位	> 90%
新生儿/儿童	经胸超声心动图（TTE）	房间隔缺损（ASD）	无创性、实时成像	ASD检出率	92%
				VSD评估	-
				右心室双出口	提高15%-20%
	三维超声心动图	复杂畸形诊断	重建心脏立体结构		
	经食管超声心动图（TEE）	术后评估	高分辨率成像	术后残余分流	95%

3 超声波诊断心血管疾病的技术进展

3.1 高分辨率超声技术的发展

3.1.1 超声探头技术的突破

超声探头作为成像系统的核心部件，其性能直接决定图像分辨率。近年来，基于新型压电材料（如PMN-PT单晶）的探头已实现带宽提升30%以上，同时灵敏度提高2—4倍。例如，飞依诺研究院研发的8mm内窥镜超声探头，通过微型化设计集成成像与治疗功能，可深入冠状动脉内进行100μm级分辨率成像，清晰显示血管壁斑块成分。此外，相控阵探头的扫描角度从90°扩展至120°，配合多频段传感技术，实现了从浅表静脉到深部动脉的全方位覆盖，为复杂心血管病变的精准诊断提供了技术支撑。

3.1.2 图像处理算法的革新

深度学习算法为超声图像领域带来重大突破，极大提升了图像清晰度与诊断效率。基于卷积神经网络（CNN）的实时去噪技术表现出色，能将图像信噪比（SNR）提高15—20dB，还可保留微小结构细节。以飞利浦公司的AI超声平台为例，运用空间复合成像技术，从9个不同角度采集同一组织信号并融合，使心肌纤维显示分辨率达256灰阶，比传统技术提升40%。同时，斑点噪声抑制技术支持6级以上动态调节，有力消除伪影干

扰，减少误诊误判，为临床医生提供更可靠、精准的超声图像诊断依据，助力疾病准确诊断。

3.1.3 三维与四维超声的融合

三维超声成像技术凭借多平面重建，生动展现心脏与血管空间结构。最新一代超声设备的实时三维容积成像（RT-3D），帧频达40帧/秒，精准捕捉心脏动态变化。在冠脉血管内超声（IVUS）中，三维重建清晰呈现斑块体积与血管狭窄程度，测量误差严格控制在5%以内，数据可靠。四维超声（4D）融入时间维度，不仅动态追踪心脏运动轨迹，还借弹性成像量化心肌硬度，为心肌病、心力衰竭早期诊断提供关键量化指标。从定性到定量，多维数据的融合，让超声诊断实现质的飞跃，有力推动心血管疾病诊断的发展。

3.2 超声造影技术的应用与进步

超声波造影技术通过微泡造影剂增强血流信号，已成为心血管疾病诊断的“放大镜”，尤其在评估心肌活性、血管狭窄及微循环障碍方面展现出显著优势。（1）造影剂革新：新一代造影剂（如全氟丙烷微泡）粒径更小（2—5 μm ），可穿透心肌微血管，增强心肌灌注成像的清晰度，且生物相容性显著提升。（2）定量分析：基于时间-强度曲线（TIC）的参数化分析，可量化评估心肌血流储备（MBF）、达峰时间（TTP），为心肌存活判断提供客观指标。（3）三维融合：结合三维超声心动图，可重建心肌灌注的立体图像，精准定位缺血区域，诊断左心室心肌致密化不全（LVNC）的符合率达94%。（4）介入导航：在TAVR等手术中，超声造影可实时显示瓣膜位置及血流动力学变化，降低并发症风险。（5）AI赋能：AI算法可自动识别造影图像中的微弱信号，使冠脉微循环障碍（CMD）的检出敏感度提升至89%。

3.3 负荷超声心动图的新发展

负荷超声心动图（SE）作为评估心肌缺血与心脏

储备功能的核心技术，近年来在技术融合与临床应用上取得显著进展。多模态成像融合成为研究热点，通过将SE与实时三维超声（RT-3D）、心肌声学造影（MCE）结合，可同步获取心肌运动、血流灌注及组织微循环的立体信息。例如，在冠脉微循环障碍（CMD）的诊断中，RT-3D-SE联合MCE可将诊断敏感度提升至89%，精准定位心肌缺血区域，尤其适用于非阻塞性冠脉疾病（INOCA）的早期筛查。药物负荷方案优化进一步拓展了应用场景^[3]。腺苷、双嘧达莫等血管扩张剂与多巴酚丁胺等正性肌力药物的联合使用，可模拟不同生理状态下的心脏负荷，提高隐匿性心肌缺血的检出率。研究显示，联合负荷方案使女性及糖尿病患者的心肌缺血检出率分别提高23%和18%。

结语

未来，超声技术与人工智能、多模态成像的深度融合将成为心血管疾病诊疗领域的重要趋势。通过人工智能算法对超声图像的智能分析，可实现病变的早期识别与精准量化；结合多模态成像技术（如超声与CT、MRI的融合），能提供更全面的心脏结构与功能信息。这种协同创新不仅将提升心血管疾病的诊断效率与准确性，还将为个性化治疗方案的制定提供依据，最终改善患者预后。

参考文献

- [1]姜苏蓉,钱丽君,杨闯,夏玉东,吴军.人工智能心音分析系统在心血管疾病中的应用进展[J].实用心电与临床诊疗,2025,34(1):143-147.
- [2]曾纪娟,杨子玄,张庆.掌上超声心动图在心血管疾病诊疗实践中的应用进展[J].心血管病学进展,2024,45(2):120-124+135.
- [3]胡鑫,常成阳,王晓明.人工智能在心血管疾病诊断中的应用进展[J].心脏杂志,2024,36(5):600-603.