

二维斑点追踪技术评价 2 型糖尿病合并微血管病变患者心功能的研究进展

蔡 玲 马淑梅 (通讯作者)

青海大学附属医院 青海 西宁 810000

【摘 要】：在中国微循环学会的研究中指出，2 型糖尿病（T2DM）患者中约有 40%-70% 并发微血管病变。由此引发的心肌微循环障碍可导致糖尿病心肌病（Diabetic Cardiomyopathy, DbCM）。传统的超声心动图在评估左室射血分数（LVEF）时，常在该病早期阶段显示正常，出现“射血分数保留”现象，从而掩盖了亚临床心肌损伤。二维斑点追踪成像（2D-STE）通过量化心肌应变参数，成为突破这一诊断瓶颈的关键技术。2D-STE 不仅能够精确测量左心室的整体及局部应变，还能深入探究心肌在不同层面的应变表现，从而更全面地揭示心肌损伤的空间异质性。该技术的优势在于其高敏感性和特异性，能够在心肌功能出现轻微异常时即捕捉到变化，避免了传统超声心动图在疾病早期阶段的局限性。通过应用 2D-STE，我们可以更准确地评估 T2DM 合并微血管病变患者的心肌功能状态，为临床决策提供更加精准的影像学支持。本综述系统分析了 STE 技术在 T2DM 合并微血管病变患者心肌功能评估中的循证证据，旨在为早期干预提供影像学依据。

【关键词】：二维斑点追踪技术；2 型糖尿病；微血管病变

DOI:10.12417/2705-098X.25.22.021

糖尿病（Diabetes Mellitus, DM）患病率呈逐年升高，日益成为全球公共健康问题^[1]。我国 DM 发病类型以 2 型糖尿病（Type 2 Diabetes Mellitus, T2DM）为主，其病程进展常伴随心血管、肾脏、神经等多方面的并发症，其中糖尿病微血管疾病（DMiVD）是糖尿病常见的慢性并发症，对心肌功能造成了显著影响，它不仅增加了患者发生心血管并发症的风险，而且在很大程度上导致了心力衰竭甚至死亡的高风险^[2]。长期血糖增高、血脂增高及高血压，使心肌细胞增大，心肌纤维和细胞外间质增加，左心室、左心房腔扩大，进一步加重心肌缺血，致使收缩功能也发生异常改变^[3]，临床上常表现为不同程度的左心室收缩和舒张功能不全，其中舒张功能受损害常出现于收缩功能受损之前^{[4][5]}，由于心肌功能的早期损害往往难以通过常规诊断手段发现，因此，寻找更为敏感和具体的检测方法成为了临床研究的热点。

1 微血管病变与心肌损伤的病理桥梁

1.1 微血管病变的进展性损伤机制

糖尿病微血管病变以基底膜增厚和周细胞丢失为特征，导致心肌毛细血管密度降低（温娜团队^[8]通过心肌声学造影证实：微血管病变组心肌血流速度较对照组下降 28.7%）。这种微循环障碍通过以下三重路径损伤心肌：

（1）能量代谢紊乱：毛细血管稀疏化增加了氧弥散距离，导致线粒体氧化磷酸化解耦联，ATP 生成减少，心肌细胞能量供应不足（Hensel 等^[9]研究显示，糖尿病心肌病心肌细胞 ATP 含量较对照组降低 40%）。

（2）间质纤维化：慢性缺氧激活 TGF-β1/Smad3 信号通路，促进 I 型和 III 型胶原蛋白沉积。尸检研究显示，糖尿病心肌病

（DbCM）患者的胶原容积分数（CVF）较对照组高 3.1 倍。

（3）微梗死灶形成：终末小动脉闭塞导致心肌细胞点状坏死，形成非透壁性瘢痕，增加心律失常风险（李晓洲等^[10]发现，微血管病变组室性早搏发生率较无病变组高 2.8 倍）。

1.2 微血管损伤与心脏功能障碍的临床关联

微血管病变与心功能恶化之间存在剂量依赖性关系，孙晓莹等^[11]队列研究显示，合并视网膜病变的 T2DM 患者房颤风险增加 2.3 倍（HR=2.3, 95%CI 1.7-3.1），可能与心房纤维化及电生理重构相关。尿白蛋白/肌酐比值（UACR）>30mg/g 者的左房储器应变（LASr）较正常者降低 6.8%（P<0.01），提示微血管损伤程度与心房舒张功能负相关（朱冰玉团队^[12]研究显示）。

2 STE 评估左心室功能的循证证据

2.1 左室整体收缩功能：GLS 的核心地位

STE 检测的左室整体纵向应变（GLS）在识别亚临床收缩功能障碍方面，其敏感性显著优于左室射血分数（LVEF）。李晓洲等^[10]的研究发现，在 LVEF 正常（>50%）的 2 型糖尿病（T2DM）患者中，合并微血管病变组的 GLS 为 -15.3%±1.8%，显著低于无病变组的 -19.1%±1.6%（P<0.001）。诊断效能验证显示，当 GLS>-17.5% 时，预测微血管病变的受试者工作特征（ROC）曲线下面积达 0.89（敏感性 86.2%，特异性 91.4%），优于传统的二尖瓣环位移（MAPSE）和三尖瓣环收缩期位移（TAPSE）。

2.2 心肌分层应变：揭示损伤的空间异质性

STE 分层应变技术能够特异性识别心内膜下心肌损伤（该区域对缺血最为敏感）。温娜^{[8][9]}团队的研究发现，微循环缺

损区局部 GLS 降低 27.3% ($P<0.01$)。结合心肌声学造影 (MCE) 显示, 灌注缺损区的应变值与心肌血流量 ($A\beta$) 呈正相关 ($r=0.72$, $P<0.001$)。Choi 等^[13]采用 2D-STI 中的自动功能成像技术测量左室壁纵向收缩峰值应变, 证实 2D-STI 技术在发现缺血性心脏病方面, 较目测局部室壁运动异常更为敏感, 对非 ST 段抬高型心肌梗死的早期诊断具有重要价值。跨壁应变阶差 (基底段-心尖段) $<1.5\%$ 提示透壁性心肌缺血。

2.3 左心室舒张功能: 早期异常的关键窗口

STE 衍生的舒张早期应变率 (SR_e) 在检测早期舒张功能异常方面, 较传统二尖瓣血流频谱更为敏感。韩红生团队^[14]报道, SR_e $<0.98s^{-1}$ 预测微血管病变的敏感性达 93.6%, 较 E/e' 高 23.4%。特征性改变模式显示, 当 E/A 比出现假性正常化时, SR_e 已显著下降 (提示心肌松弛功能受损早于舒张充盈受限), 该现象在糖尿病肾病 (UACR $>300mg/g$) 患者中尤为突出。

3 左心房功能及机电同步性评估

3.1 左房应变参数: 舒张功能障碍的“放大器”

左房功能的变化早于左室结构的改变 (左房应变较 LVEF 提前 12-18 个月出现异常)。朱冰玉^[12]等报道, 微血管病变组左房功能全面减退: 储器应变 (LASr) 下降 23.1% ($P<0.01$), 管道应变 (LAScd) 降低 18.7% ($P=0.002$), 收缩期应变 (LASct) 减少 15.9% ($P=0.008$)。

3.2 机电同步性: 心律失常的预警指标

左房内同步性指数 (SD-Tmsv) 显示, 微血管病变组为 $38.7 \pm 6.2ms$, 对照组为 $21.4 \pm 4.8ms$ ($P<0.001$), 提示心房电-机械耦联延迟。房室耦联不同步 (LAPE 延长 32ms) 预示新发房颤风险增加 3.1 倍 ($HR=3.1, 95\%CI 1.9-5.1$), 其预测价值优于 P 波离散度 (PDI) 和 QT 间期离散度 (QTd)。

3.3 肥胖因素的调节效应

梁丽媚^[15]等证实: 高 BMI ($>28kg/m^2$) 进一步加剧左房-左室解耦联: 肥胖 T2DM 患者的左房储能效率 (LASr/LVEDV) 较非肥胖患者低 29.7% ($P=0.004$)。机制解释: 内脏脂肪不仅作为能量储存器官, 还活跃地分泌多种炎性因子, 其中 IL-6 (白细胞介素-6) 尤为重要 (Xu^[16]等)。研究显示, IL-6 水平升高与心肌纤维化进程密切相关, 它通过激活心肌成纤维细胞, 促进胶原纤维的生成与沉积, 从而导致心肌僵硬增加。这一病理过程进一步加剧了心腔间的解耦联现象, 特别是在左房与左室之间, 使得心脏的整体协调性受损, 心功能下降。

参考文献:

- [1] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南 (2020 年版) [J]. 中华内分泌代谢杂志, 2021, 37(4): 311-398.
- [2] 中国医师协会心血管内科医师分会. 2 型糖尿病患者泛血管疾病风险评估与管理中国专家共识 (2022 版) [J]. 中华健康管理学杂志,

4 STE 技术临床整合与挑战

4.1 联合应用策略提升诊断效能

STE+实时三维超声 (RT-3DE): 李秀云团队^[17]的研究表明, 联合应用该技术使左室收缩不同步的检出率提高了 31.5%, 显著优于单一技术, 尤其在评估非缺血性左室重构方面更具优势。

STE+心肌声学造影 (MCE): 温娜团队^[19]的研究发现, 微循环缺损区域的应变值降低了 27.3%, 与 MCE 灌注缺损区高度一致 ($\kappa=0.76$, $P<0.001$), 从而实现了“结构-功能-灌注”三位一体的综合评估。

STE+组织多普勒 (TDI): 欧阳晓光团队^[18]通过应变梯度逆转 (基底段应变绝对值大于心尖段) 的方法, 有效鉴别微血管性与心外膜血管病变, 特异性高达 92.3%。

4.2 现存挑战与解决方案

厂商间参数差异: 据李梦^[19]研究显示, GE 设备的 GLS 均值较 Philips 低 1.8%, 建议采用同一厂商设备进行纵向随访。

合并症干扰: 对于高血压患者, 需特别关注圆周应变 (GCS), 以避免微血管损伤评估的偏倚^[20]。

4.3 基层落地实践路径

根据《基层糖尿病微血管疾病筛查与防治专家共识 (2024)》的建议:

- (1) 对于筛查对象: T2DM 病程超过 5 年且合并任一微血管并发症的患者。
- (2) 针对检查频率: 首次确诊微血管病变时进行基线 STE 评估, 之后每年进行复查。
- (3) 预警阈值: 当 GLS 大于 -17% 或 LASr 小于 23% 时, 启动心衰预防管理。

5 结论与展望

二维斑点追踪成像通过多维度参数 (GLS、分层应变、左房应变及同步性指数), 为 T2DM 合并微血管病变的亚临床心肌损伤提供了敏感的诊断工具。当前关键任务包括:

- (1) 建立针对中国人群的心肌应变参考值阈值, 涵盖 BMI 分层并进行年龄校正。
- (2) 推动多中心研究, 验证 STE 指导早期干预的临床效益, 例如探讨 SGLT2 抑制剂对心肌应变的改善效果。
- (3) 开发人工智能辅助的跨平台分析系统, 消除不同厂商间的差异, 实现跨平台的标准化分析。

2022,16(10):673-689.

- [3] 马海丽.HbA1c 检测对糖尿病微血管病变评估的价值[J/OL].中国现代药物应用,2016,10(10):89-90.
- [4] ERNANDE L,THIBAUT H,BERGEROT C,等.Systolic Myocardial Dysfunction in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus: Identification at MR Imaging with Cine Displacement Encoding with Stimulated Echoes[J/OL].Radiology,2012,265(2):402-409.
- [5] 陈艳艳,周洁,卢作维,等.糖尿病心肌病发病机制及治疗研究进展[J].解放军医学杂志,2023,48(8):957-964.
- [6] 杨勇,吕秀花,王臻,等.二维斑点追踪技术在评价糖尿病患者左心室整体与节段长轴收缩功能[J].中国超声医学杂志,2015,31(3):218-220.
- [7] 刘江燕,芦芳.斑点追踪显像技术评价糖尿病心肌病患者左心室功能研究进展[J].中华医学超声杂志(电子版),2016,13(10):797-800.
- [8] 温娜,郑敏娟,刘璐,等.二维斑点追踪技术联合心声学造影评价 2 型糖尿病患者心肌微血管病变的研究[J].中国糖尿病杂志,2024,32(03):187-191.
- [9] Hensel KO,Jenke A,Leischik R.Speckle-tracking and tissue-Doppler stress echocardiography in arterial hypertension:a sensitive tool for detection of subclinical LV impairment[J].BiomedRes Int,2014,2014:472562.
- [10] 李晓洲,温德惠,李卫天.三维斑点追踪技术评价 2 型糖尿病合并微血管病变患者左心室收缩功能的应用价值[J].影像研究与医学应用,2025,9(07):53-55.
- [11] 孙晓莹,沈知行,方飞.2 型糖尿病相关微血管疾病与心房颤动的关系[J].中国现代医生,2023,61(31):51-55+59.
- [12] 朱冰玉,王彤,罗玉君,等.二维斑点追踪技术评价 2 型糖尿病合并微血管病变患者左心房功能和同步性变化[J].中国超声医学杂志,2024,40(02):171-174.
- [13] Choi JO,Cho SW,Song YB,et al.Longitudinal 2D strain at rest predicts the presence of left main and three vessel coronary artery disease in patients without regional wall motion abnormality[J].Eur J Echocardiogr,2009,10(5):695-701.
- [14] 韩红生,郑哲岚,王群苹,等.二维斑点追踪技术评价 2 型糖尿病合并微血管病变患者左心室收缩功能的价值[J].中华医学超声杂志(电子版),2018,15(03):178-183.
- [15] 梁丽媚,何鑫,赵世光,等.二维斑点追踪成像评价体质量指数对 2 型糖尿病患者左房应变功能及左房-左室耦联关系的影响[J].中国中西医结合影像学杂志,2023,21(05):508-513.
- [16] Xu TY,Sun JP,Lee AP,et al.Left atrial function as assessed by speckle-tracking echocardiography in hypertension[J].Medicine (Baltimore),2015,94(6):526.
- [17] 李秀云,吴道珠,刘咏芳,等.超声二维斑点追踪联合实时三维超声心动图评价 2 型糖尿病患者左心功能[J].中国现代医生,2023,61(33):31-34+40.
- [18] 欧阳晓光,丁玉琼.二维斑点追踪成像技术对单纯及合并冠心病或高血压的 2 型糖尿病患者左心室功能的评估价值[J].中国实用医药,2023,18(13):68-71.
- [19] 李梦.二维斑点追踪成像技术评估 2 型糖尿病患者心脏损伤的应用价值[D].河北医科大学,2023.
- [20] 李颖,孙丹丹,秦智妍,等.二维斑点追踪自动功能成像收缩后缩短对缺血伴非阻塞性冠状动脉疾病的诊断价值[J].中国医学影像学杂志,2024,32(10):1000-1004+1006.