

Echocardiography for evaluating correlation between left atrial function and severity of coronary heart disease without regional wall motion abnormalities

LIN Tong¹, HU Qian¹, ZHOU Yu¹, WANG Wenxiu², YUE Qingxiong^{1*}

(1. Department of Ultrasound, Central Hospital of Dalian University of Technology [Dalian Municipal Central Hospital], Dalian 116000, China; 2. Department of Ultrasound, Dalian Public Health Clinical Center, Dalian 116000, China)

[Abstract] **Objective** To explore the correlation between left atrial (LA) function and severity of coronary heart disease (CHD) without regional wall motion abnormalities (RWMA) based on echocardiography. **Methods** Totally 105 patients with suspected CHD who would undergo coronary angiography (CAG) and without RWMA on echocardiography were prospectively enrolled and divided into CHD group (77 cases) and control group (28 cases) according to CAG. According to Gensini score (GS), patients in CHD group were further divided into mild ($GS \leq 27$, 31 cases), moderate ($27 < GS \leq 58$, 27 cases) and severe subgroups ($GS > 58$, 19 cases). Conventional echocardiographic parameters and LA function parameters were compared between groups and subgroups, and the correlation between LA function and severity of CHD without RWMA was analyzed. Receiver operating characteristic curve was used to evaluate the predictive performance of LA function parameters for predicting severe CHD without RWMA. **Results** Early diastolic motion velocity of the mitral annular horizontal left ventricular lateral wall (e'), LA passive ejection fraction (LApEF) and LA conduit phase strain (LAScd) in mild, moderate and severe subgroups were all lower than those in control group (all $P < 0.05$). The ratio of peak flow velocity of early diastolic mitral flow to e' (E/e'), LApEF, LA reservoir phase strain (LASr), LAScd and LA systolic phase strain (LASct) in severe subgroup were all lower than those in mild subgroup (all $P < 0.05$), while E/e' , LASr, LAScd and LASct in moderate subgroup were all lower than those in mild subgroup (all $P < 0.05$). E/e' , LA minimum volume index ($LAVI_{min}$), LAScd and LASct were all positively ($r = 0.454, 0.519, 0.642, 0.406$, all $P < 0.05$), whereas e' , LApEF and LASr were all negatively correlated with GS ($r = -0.482, -0.525, -0.612$, all $P < 0.05$). LAScd had the highest area under the curve (AUC) for predicting severe CHD without RWMA (0.780). Taken -13.35% as the cutoff value, the sensitivity (78.95%) and specificity (76.73%) of LAScd were both relatively high. **Conclusion** There were correlations between LA function and severity of CHD without RWMA. LAScd had good performance for predicting severe CHD without RWMA.

[Keywords] atrial function, left; coronary disease; echocardiography; strain; prospective studies

DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2026.01.012

[基金项目] 大连市生命健康领域指导计划(2023ZXYG03)、大连市中心医院重点专科“登峰计划”(2024ZZ064)。

[第一作者] 林桐(1996—),女,吉林白山人,硕士,医师。研究方向:心血管超声。E-mail: 1124661041@qq.com

[通信作者] 岳庆雄,大连理工大学附属中心医院(大连市中心医院)超声科,116000。E-mail: bji77@163.com

[收稿日期] 2025-06-02 [修回日期] 2025-10-22

超声心动图评估左心房功能与无节段性室壁运动异常 冠心病严重程度的相关性

林 桐¹, 胡 倩¹, 周 瑜¹, 王文秀², 岳庆雄^{1*}

[1. 大连理工大学附属中心医院(大连市中心医院)超声科, 辽宁 大连 116000;

2. 大连市公共卫生临床中心超声科, 辽宁 大连 116000]

[摘要] 目的 基于超声心动图评估左心房(LA)功能与无节段性室壁运动异常(RWMA)冠心病(CHD)严重程度的相关性。方法 前瞻性纳入 105 例将接受冠状动脉造影(CAG)且超声心动图未见 RWMA 的疑诊 CHD 患者, 根据 CAG 结果将其分为 CHD 组(77 例)与对照组(28 例), 并根据 Gensini 评分(GS)进一步于 CHD 组内划分轻度($GS \leq 27$, 31 例)、中度($27 < GS \leq 58$, 27 例)及重度亚组($GS > 58$, 19 例)。比较组/亚组间常规超声参数及 LA 功能参数, 分析 LA 功能与无 RWMA CHD 严重程度的相关性; 以受试者工作特征曲线评估 LA 功能参数预测无 RWMA 严重 CHD 的效能。结果 CHD 组内各亚组二尖瓣环水平左心室侧壁舒张早期运动速度(e')、LA 被动射血分数(LApEF)及 LA 管道期应变(LAScd)均低于对照组(P 均 < 0.05); 重度亚组二尖瓣口舒张早期血流峰值流速与 e' 比值(E/e')、LApEF、LA 储备期应变(LASr)、LAScd 及 LA 收缩期应变(LASct)均低于轻度亚组(P 均 < 0.05); 中度亚组 E/e' 、LASr、LAScd 和 LASct 均低于轻度亚组(P 均 < 0.05)。CHD 组 E/e' 、LA 最小容积指数(LAVI_{min})、LAScd 及 LASct 均与 GS 呈正相关($r=0.454, 0.519, 0.642, 0.406, P$ 均 < 0.05), 而 e' 、LApEF 及 LASr 均与 GS 呈负相关($r=-0.482, -0.525, -0.612, P$ 均 < 0.05)。LAScd 预测无 RWMA 严重 CHD 的曲线下面积最大(0.780); 以 -13.35% 为截断值时, 其敏感度(78.95%)和特异度(76.73%)均较高。结论 LA 功能与无 RWMA CHD 严重程度存在相关性; LAScd 预测无 RWMA 严重 CHD 效能较好。

[关键词] 心房功能, 左; 冠心病; 超声心动描记术; 应变; 前瞻性研究

[中图分类号] R541.4; R445.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2026)01-0060-06

冠心病(coronary heart disease, CHD)是目前全世界最主要的健康问题之一。超声心动图能通过识别节段性室壁运动异常(regional wall motion abnormalities, RWMA)而诊断 CHD, 但部分慢性心肌缺血或小范围梗死患者在静息态下可无典型 RWMA^[1]。心肌应变分析可能有助于早期识别心功能损害^[2]。左心房(left atrium, LA)与左心室(left ventricular, LV)功能密切相关, 可反映早期舒张功能变化^[3], 但对其在无 RWMA CHD 中的变化及其与病变严重程度的关系尚不明了。本研究基于超声心动图评估 LA 功能与无 RWMA CHD 严重程度的相关性。

1 资料与方法

1.1 研究对象 前瞻性纳入 2023 年 3 月—12 月大连市中心医院将接受冠状动脉造影(coronary angiography, CAG)的 105 例疑诊 CHD 患者, 男 61 例、女 44 例, 年龄 45~72 岁、平均(60.4 ± 6.7)岁; 根据 CAG 结果分为 CHD 组(77 例)与对照组(28 例), 基于 Gensini 评分(Gensini score, GS)^[4] 进一步于 CHD 组内划分轻度($GS \leq 27$, 31 例)、中度($27 < GS \leq 58$, 27 例)及重度亚组($GS > 58$, 19 例)。纳入标准: ①年龄 16~80 岁; ②因“胸闷, 胸痛”入院, 临床拟诊

CHD; ③于 CAG 前 24 h 内接受超声心动图检查且未见 RWMA。排除标准: 心肌病、先天性心脏病、明显瓣膜性心脏病、心律失常(特别是心房颤动), 既往急性心肌梗死史、冠状动脉旁路移植术或经皮冠状动脉介入治疗史, 罹患心力衰竭或心功能 III 级及以上(根据美国纽约心脏病学会心功能分级标准), 可能累及心血管系统的全身性疾病如肾衰竭、甲状腺功能亢进、系统性红斑狼疮等, 以及图像质量差者。诊断 CHD 标准^[5]: 心外膜下冠状动脉直径狭窄程度 $> 50\%$, 且有典型心绞痛症状, 或无创性检查提示心肌缺血。本研究经医院伦理委员会批准(伦审科研 2024-022-08)。

1.2 基本资料 记录患者年龄、性别、身高、体质量、体质量指数, 糖尿病、高血压、高血脂史, 高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、甘油三酯、胆固醇等, 以及左回旋支(left circumflex, LCX)病变支数/病变总支数比值。

1.3 仪器与方法 由 1 名具有 5 年以上工作经验的超声医师(医师 A)采用 GE Vivid E95 超声诊断仪、频率 1.4~4.6 MHz 的 M5Sc 探头, 同步连接胸导联心电图、设帧频为 60 帧/秒以上进行扫查; 测量常规超声心动图参数, 包括 LA 前后径(LA anteroposterior dimension, LAD)、LV 舒张末期内径(LV end-diastolic dimension, LVEDD), 二尖瓣环水平 LV 侧壁

舒张早期运动速度(e')及舒张早期二尖瓣峰值流速(E)与 e' 比值(E/e');于标准心尖四腔心和两腔心切面连续采集 3~5 个心动周期的图像,以 DICOM 模式储存后将其导入 EchoPAC 204 工作站。采用双平面 Simpson 法测量 LA 容积,根据身高、体质量计算体表面积(body surface area, BSA): $BSA=0.006 1 \times \text{身高}(\text{cm})+0.012 8 \times \text{体质量}(\text{kg})-0.152 9$,获得 BSA 校正后 LA 最大容积指数(LA maximum volume index, $LAVI_{\text{max}}$)、LA 收缩前容积指数(LA presystolic volume index, $LAVI_{\text{pre}}$)及 LA 最小容积指数(LA minimum volume index, $LAVI_{\text{min}}$);测量 LV 射血分数(LV ejection fraction, LVEF)、LA 射血分数(LA ejection fraction, LAEF),计算 LA 主动射血分数(LA active ejection fraction, LAaEF)和 LA 被动射血分数(LA passive ejection fraction, LAPeEF): $LAaEF=(LAV_{\text{pre}}-LAV_{\text{min}})/LAV_{\text{pre}} \times 100\%$, $LAPeEF=(LAV_{\text{max}}-LAV_{\text{pre}})/LAV_{\text{max}} \times 100\%$;获取应变参数,包括 LA 储备期应变(LA strain during reservoir phase, LASr)、LA 管道期应变(LA strain during conduit phase, LAScd)及 LA 收缩期应变(LA strain during contraction phase, LASct)。软件自动

计算平均值,见图 1。将零应变参考点设于 LV 舒张末期(即心电图 QRS 起点)。由另 1 名具有 5 年以上工作经验的超声医师(医师 B)于每组随机选取 5 例进行测量;间隔 1 个月后再由医师 A 进行再次测量。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 27.0 及 GraphPad Prism 9.5 统计分析软件。以 $\bar{x} \pm s$ 表示呈正态分布的连续变量,以中位数(上下四分位数)表示非正态者;以例(%)表示分类变量。采

用 Student's t 检验或 Mann-Whitney U 检验进行 2 组间比较;以方差分析及 Bonferroni 校正分析进行 3 组及以上比较。采用 χ^2 检验及 Fisher 精确概率法比较分类变量。以 Spearman 秩相关分析评估超声参数与 GS 的相关性。以受试者工作特征(receiver operator characteristic, ROC)的曲线下面积(area under the curve, AUC)评估 LA 参数预测无 RWMA 的严重 CHD 的效能并以 DeLong 检验进行比较;以组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)分析观察者间和观察者内一致性,ICC>0.75 为一致性良好。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本资料 组间基本资料差异均无统计学意义(P 均>0.05)。见表 1。

2.2 超声心动图参数 观察者间及观察者内 ICC 分别为 0.798~0.845 及 0.818~0.865,一致性均良好。CHD 组内轻、中、重度亚组 e' 、LAPeEF 和 LAScd 均低于对照组(P 均<0.05),重度亚组 E/e' 、LAPeEF、LASr、LAScd 和 LASct 均低于轻度亚组(P 均<0.05),中度亚组 E/e' 、LASr、LAScd 和 LASct 均低于轻度亚组(P 均<0.05)。见表 2、3 及图 1。

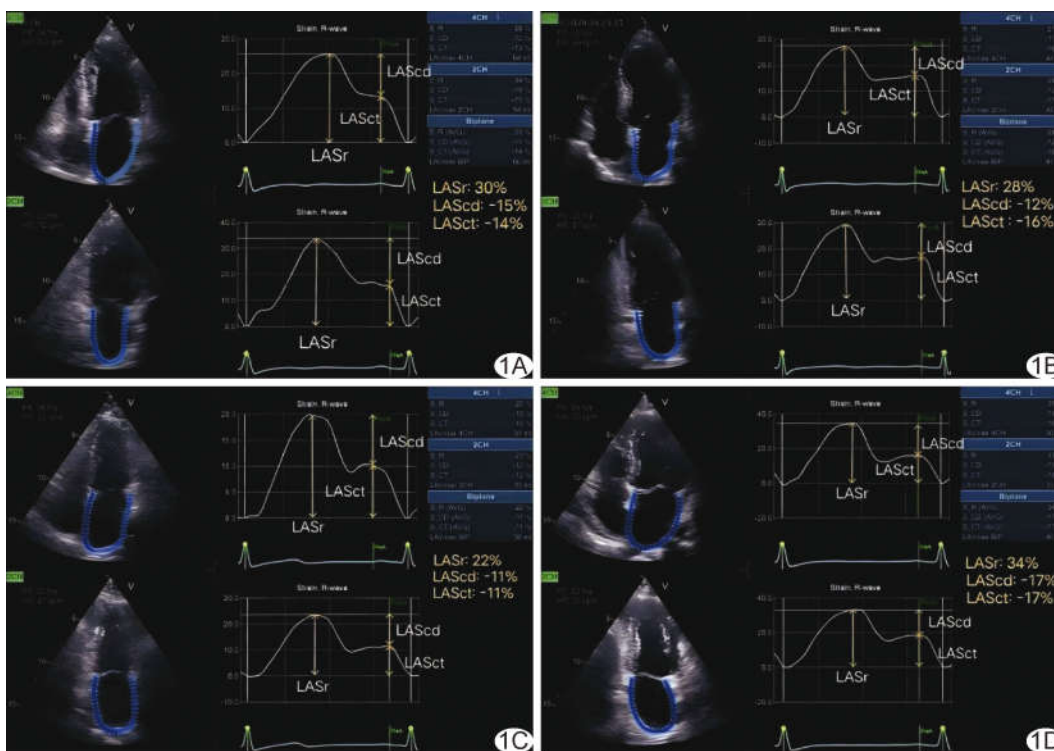


图 1 LA 二维斑点追踪图像及应变-时间曲线 A. 轻度 CHD 亚组患者,男,57 岁, LASr=30%, LAScd=-15%, LASct=-14%; B. 中度 CHD 亚组患者,男,55 岁, LASr=28%, LAScd=-12%, LASct=-16%; C. 重度 CHD 亚组患者,男,53 岁, LASr=22%, LAScd=-11%, LASct=-11%; D. 对照组患者,男,53 岁, LASr=34%, LAScd=-17%, LASct=-17%

表 1 105 例疑诊 CHD 患者基本资料

| 组/亚组别 | 年龄(岁) | 性别(例) | | 体质量指数 (kg/m ²) | 糖尿病史 (例) | 高血压史 (例) | 高血脂史 (例) | LCX 病变支数/ 病变总支数 |
|---------------|----------|-------|----|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| | | 男 | 女 | | | | | |
| 轻度亚组(n=31) | 59.1±6.8 | 17 | 14 | 1.38±0.21 | 8 | 21 | 17 | 25/72 |
| 中度亚组(n=27) | 60.5±6.6 | 14 | 13 | 1.46±0.20 | 7 | 22 | 14 | 16/53 |
| 重度亚组(n=19) | 62.5±6.8 | 8 | 11 | 1.41±0.24 | 6 | 13 | 11 | 31/90 |
| 对照组(n=28) | 60.1±6.5 | 16 | 12 | 1.47±0.25 | 7 | 19 | 9 | — |
| F/ χ^2 值 | 1.007 | 1.307 | | 0.833 | 1.638 | 1.611 | 2.287 | 0.208 |
| P 值 | 0.393 | 0.727 | | 0.479 | 0.651 | 0.657 | 0.515 | 0.542 |

表 2 105 例疑诊 CHD 患者常规超声参数比较

| 组/亚组别 | LAD(mm) | LVEDD(mm) | LVEF(%) | e'(cm/s) | E/e' | LAVI _{max} (ml/m ²) | LAVI _{min} (ml/m ²) | LAVI _{pre} (ml/m ²) |
|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|---|---|---|
| 轻度亚组(n=31) | 36.20±3.64 | 47.52±4.58 | 62.40±4.12 | 8.33±1.15* | 9.75±1.40 | 26.96±3.53 | 14.87±4.37 | 25.27±7.02 |
| 中度亚组(n=27) | 36.95±4.34 | 48.25±4.83 | 60.67±5.20 | 8.14±1.22* | 11.02±1.87*# | 26.93±3.40 | 16.38±2.75* | 26.19±5.99 |
| 重度亚组(n=19) | 38.74±2.58 | 50.35±5.85 | 60.50±4.31 | 7.58±1.59* | 10.97±1.70*# | 28.67±4.17 | 16.92±3.27* | 27.19±6.78 |
| 对照组(n=28) | 35.61±2.94 | 45.30±3.25 | 62.47±6.28 | 9.83±1.74 | 9.13±1.71 | 25.95±2.74 | 13.07±3.14 | 24.91±5.37 |
| F 值 | 1.211 | 4.305 | 1.126 | 11.437 | 8.050 | 3.661 | 7.549 | 3.931 |
| P 值 | 0.150 | 0.672 | 0.342 | <0.001 | <0.001 | 0.181 | <0.001 | 0.078 |

注：*：与对照组比较 P<0.05；#：与轻度亚组比较 P<0.05

表 3 105 例疑诊 CHD 患者 LA 功能超声参数比较(%)

| 组/亚组别 | LAEF | LAaEF | LApEF | LASr | LAScd | LASct |
|------------|------------|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 轻度亚组(n=31) | 62.22±2.76 | 44.33±2.64 | 32.29±3.43* | 30.04±4.66 | -15.66±2.36* | -14.26±2.98 |
| 中度亚组(n=27) | 61.82±3.80 | 44.47±2.51 | 30.46±2.50* | 24.27±5.10*# | -13.06±2.89*# | -11.21±2.87*# |
| 重度亚组(n=19) | 59.84±5.14 | 43.22±3.16 | 29.68±2.21*# | 23.91±3.94*# | -12.14±3.16*# | -11.72±2.59*# |
| 对照组(n=28) | 62.11±4.49 | 44.80±2.79 | 35.09±3.09 | 32.73±4.41 | -17.99±2.71 | -15.09±2.05 |
| F 值 | 1.819 | 1.514 | 17.003 | 22.801 | 23.007 | 13.344 |
| P 值 | 0.149 | 0.216 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |

注：*：与对照组比较 P<0.05；#：与轻度亚组比较 P<0.05

2.3 相关性分析 CHD 组 E/e'、LAVI_{min}、LAScd 及 LASct 均与 GS 呈正相关(r=0.454、0.519、0.642、0.406, P 均<0.05), 而 e'、LApEF 及 LASr 均与 GS 呈负相关(r=-0.482、-0.525、-0.612, P 均<0.05)。见图 2。

2.4 诊断效能 针对相关性较强的参数 LAVI_{min}、LApEF、LASr 及 LAScd 分别绘制 ROC 曲线, 评估其预测无 RWMA 严重 CHD 的效能, 发现 LAVI_{min}、LApEF、LASr 及 LAScd 预测无 RWMA 严重 CHD 的 AUC 分别为 0.689、0.744、0.772 及 0.780, 其中 LAScd 的 AUC 最大(0.780)并高于 LAVI_{min} 和 LApEF(Z=2.305、2.017, P 均<0.05) 而与 LASr 差异无统计学意义(Z=0.176, P>0.05)。以 -13.35% 为截断值时, LAScd 的预测敏感度(78.95%)和特异度(76.73%)均较高。见图 3。

3 讨论

CHD 发病率和死亡率均较高。对于急性冠脉综

合征患者, 应尽早判断有无心肌缺血或心肌梗死; 而对慢性稳定性 CHD, 则应尽早检出心肌缺血和冠状动脉严重狭窄病变^[6]。LA 功能是 CHD 早期心室舒张功能变化的重要标志, 对预测心血管疾病预后和危险分层具有不可替代的作用^[7]。

本研究利用 GS 评估无 RWMA CHD 严重程度, 发现 LA 功能参数(如 LApEF、LAScd)在轻度亚组已出现受损, 而 LA 结构参数(如 LAVI_{min})于中、重度亚组方可见改变, 提示心肌缺血缺氧后, LA 功能障碍早于形态学变化, 与既往研究结果一致^[8]。LA 功能参数中, LApEF 和 LAScd 变化早于 LAEF、LAaEF、LASr 和 LASct。LAEF 和 LASr 代表 LA 存储功能, 主要受 LV 收缩功能影响, 反映 LA 松弛性和顺应性; LApEF 和 LAScd 代表 LA 管道功能, 主要受 LV 松弛性、顺应性和早期舒张压影响, 反映 LV 舒张功能; LAaEF 和 LASct 则代表 LA 泵功能, 主要受 LA 固有收缩力影响, 反映 LA 固有收缩功能^[9-10]。LV 舒张功能障碍(LV diastolic dysfunction, LVDD)

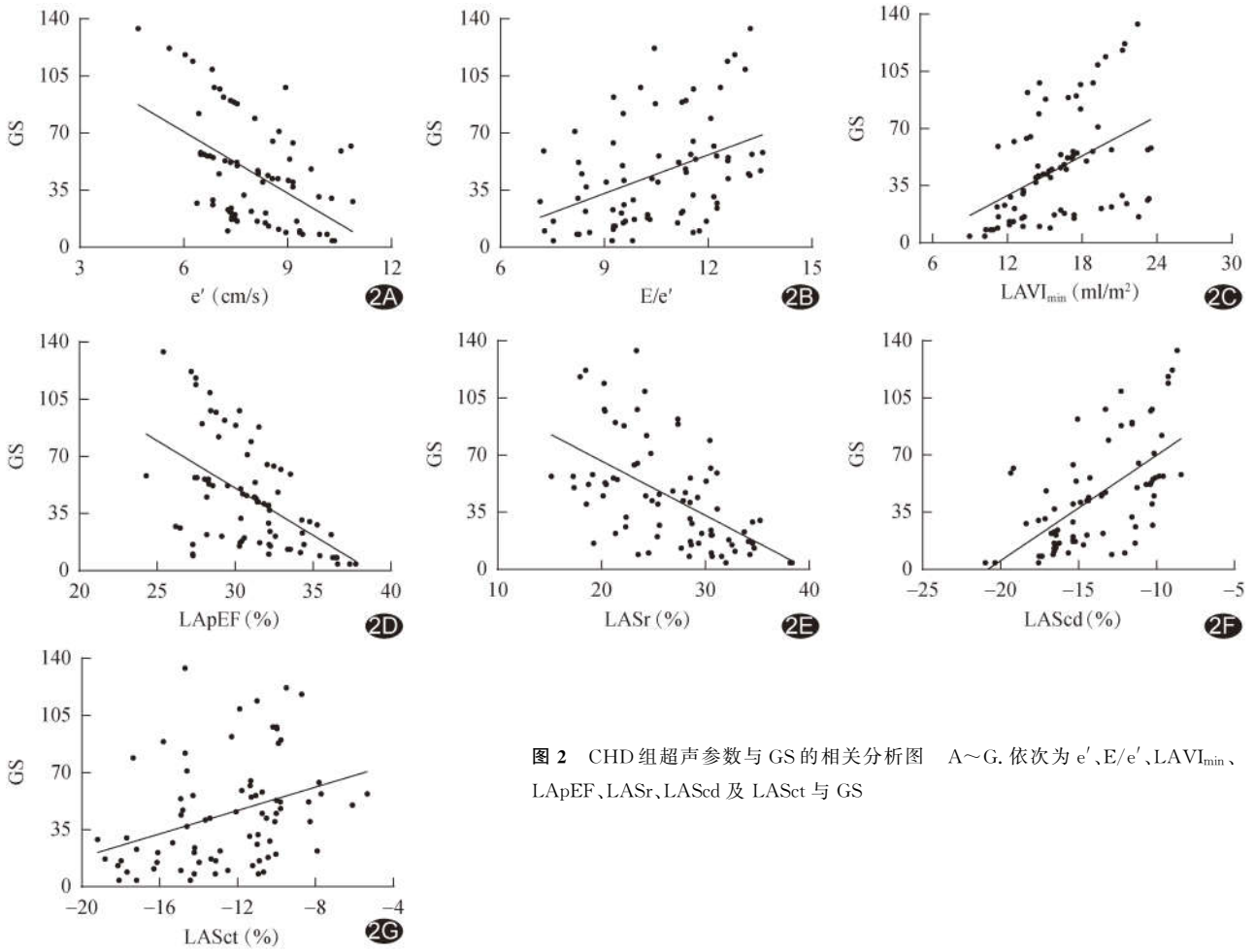


图 2 CHD 组超声参数与 GS 的相关分析图 A~G. 依次为 e' 、 E/e' 、 $LAVI_{min}$ 、 $LApEF$ 、 $LASr$ 、 $LAScd$ 及 $LASct$ 与 GS

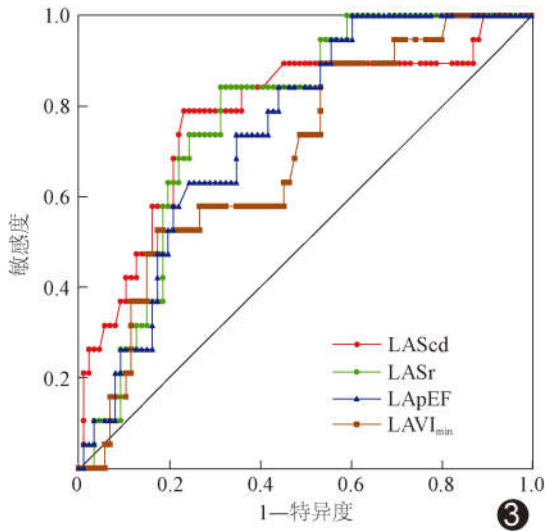


图 3 CHD 组超声参数预测无 RWMA 严重 CHD 的 ROC 曲线

致其于舒张早期无法完成对 LA 血液的抽吸回纳,使得 $LApEF$ 和 $LAScd$ 出现早期受损。既往研究^[11]显示,出现 LVDD 时,LA 心肌泵功能将代偿性增强,以

弥补舒张早期无法进入 LV 的血液、维持正常每搏量。但本研究组间 $LAAEF$ 并无明显差异,可能与长时间心肌缺血致胶原纤维在心肌细胞外沉积,造成心肌纤维化,影响心肌收缩功能,使心肌无法代偿性运动增强有关^[12]。

本研究发现 $LAScd$ 与无 RWMA CHD 严重程度的相关性最强 ($r=0.642$),其预测无 RWMA 严重 CHD 的 AUC 为 0.780,提示其可能是预测无 RWMA 严重 CHD 的敏感因子;以 -13.35% 为截断值时,其敏感度和特异度均较高,即患者可能存在严重冠状动脉病变并需进行 CAG 评估。既往研究^[2]表明,微血管功能障碍可致早期 LA 功能受损;冠状动脉微血管阻力越高,舒张功能障碍越严重,则 LA 应变值越低。

综上,LA 功能与无 RWMA CHD 严重程度存在相关性; $LAScd$ 预测无 RWMA 严重 CHD 的效能较好。但本研究为单中心、较小样本量观察,未能深入分析不同冠状动脉心室支对 LA 血供的影响,仅排除了 LCX 病变的差异,有待后续加以完善。

利益冲突:全体作者声明无利益冲突。

作者贡献:林桐查阅文献、研究实施、数据和统计分析、撰写和修改文章;胡倩和周瑜指导、图像处理和统计;王文秀查阅文献、统计分析;岳庆雄指导、研究设计、审阅文章、经费支持。

[参考文献]

- [1] FEI M, LI M, RAN H, et al. Four-dimensional quantification on left atrial volume-strain in coronary heart disease patients without regional wall motion abnormalities: Correlation with the severity of coronary stenosis [J]. *Echocardiography*, 2022, 39 (6): 758-767.
- [2] KEULARDS D C J, BOUWMEESTER S, de VOS A M J, et al. High microvascular resistance and reduced left atrial strain in patients with coronary microvascular dysfunction: The micro-strain study[J]. *Int J Cardiol*, 2021, 333:21-28.
- [3] MANDOLI G E, SISTI N, MONDILLO S, et al. Left atrial strain in left ventricular diastolic dysfunction: Have we finally found the missing piece of the puzzle? [J]. *Heart Fail Rev*, 2020, 25(3):409-417.
- [4] RAMPIDIS G P, BENETOS G, BENZ D C, et al. A guide for Gensini Score calculation [J]. *Atherosclerosis*, 2019, 287: 181-183.
- [5] 中华医学会, 中华医学会杂志社, 中华医学会全科医学分会, 等. 稳定性冠心病基层诊疗指南(2020年)[J]. *中华全科医师杂志*, 2021, 20(3):265-273.
- [6] KNUUTI J, WIJNS W, SARASTE A, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes[J]. *Eur Heart J*, 2020, 41(3):407-477.
- [7] THOMAS L, MURARU D, POPESCU B A, et al. Evaluation of left atrial size and function: Relevance for clinical practice[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33(8):934-952.
- [8] KIM J, YUM B, PALUMBO M C, et al. Left atrial strain impairment precedes geometric remodeling as a marker of post-myocardial infarction diastolic dysfunction[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(10):2099-2113.
- [9] MĂLĂESCU G G, MIREA O, CAPOTĂ R, et al. Left atrial strain determinants during the cardiac phases [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2022, 15(3):381-391.
- [10] INOUE K, KHAN F H, REMME E W, et al. Determinants of left atrial reservoir and pump strain and use of atrial strain for evaluation of left ventricular filling pressure [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021, 23(1):61-70.
- [11] YUDA S. Current clinical applications of speckle tracking echocardiography for assessment of left atrial function [J]. *J Echocardiogr*, 2021, 19(3):129-140.
- [12] THOMAS L, MARWICK T H, POPESCU B A, et al. Left atrial structure and function, and left ventricular diastolic dysfunction: JACC state-of-the-art review [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 73(15):1961-1977.