

本文引用: 李玉双. 老年退行性心脏瓣膜病患者超声心动图参数变化与瓣膜钙化的相关性分析[J]. 中国动脉硬化杂志, 2026, 34(9): 870-878. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2026.09.007.

· 临床研究 ·

[文章编号] 1007-3949(2026)34-09-0870-09

老年退行性心脏瓣膜病患者超声心动图参数变化与瓣膜钙化的相关性分析

李玉双

东南大学附属中大医院江北院区超声诊断科, 江苏省南京市 210044

[摘要] **[目的]** 探究老年退行性心脏瓣膜病(SDHVD)患者超声心动图改变与瓣膜钙化的相关性。**[方法]** 选取2023年2月—2025年12月东南大学附属中大医院江北院区收治的327例SDHVD患者为研究对象,以临床综合诊断结果为金标准,根据患者是否发生瓣膜钙化分为瓣膜钙化组($n=254$)和非瓣膜钙化组($n=73$),比较两组患者的临床资料及超声心动图参数。多因素Logistic回归分析瓣膜钙化的影响因素以及超声心动图参数与瓣膜钙化的相关性,限制性立方样条模型分析超声心动图参数与瓣膜钙化的剂量-反应关系,ROC曲线分析超声心动图参数对瓣膜钙化的诊断效能。**[结果]** 经临床综合诊断,327例患者中,瓣膜钙化254例,非瓣膜钙化73例。超声心动图检出瓣膜钙化246例,灵敏度94.88%,准确率为94.50%,与临床诊断的一致性良好(Kappa值=0.658)。瓣膜钙化组左心室舒张期末容积(LVEDV)、左心室收缩期末容积(LVESV)、左心室收缩期末内径(LVESD)、左心室舒张期末内径(LVEDD)、左心房内径(LAD)、二尖瓣舒张晚期血流速度(A)大于非瓣膜钙化组,二尖瓣舒张早期血流速度(E)小于非瓣膜钙化组($P<0.05$);主动脉瓣及二尖瓣厚度大于非瓣膜钙化组,主动脉瓣强回声、主动脉瓣活动受限、二尖瓣强回声、二尖瓣增厚及腱索人数占比更高($P<0.05$)。多因素Logistic回归分析结果显示,高龄、高血压、高血脂及LVEDV、LVESV、LVEDD、LAD、A增大是患者发生瓣膜钙化的危险因素,E增大是保护因素。校正混杂因素后显示,LVEDV、LVESV、LVEDD、LAD及A增大与瓣膜钙化呈正相关,E增大与瓣膜钙化呈负相关。ROC曲线分析结果显示,LVEDV、LVESV、LVEDD、LAD、E、A联合检测对瓣膜钙化的诊断效能最高,ROC曲线下面积为0.954。**[结论]** SDHVD患者LVEDV、LVESV、LVEDD、LAD及A增大与瓣膜钙化呈正相关,E增大与瓣膜钙化呈负相关,上述超声心动图参数联合检测对瓣膜钙化具有较高的诊断效能,对临床诊断具有重要意义。

[关键词] 老年退行性心脏瓣膜病; 超声心动图参数; 瓣膜钙化

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

Correlation analysis of changes in echocardiographic parameters and valvular calcification in elderly patients with degenerative heart valvular disease

Li Yushuang

Department of Ultrasonography, Jiangbei Hospital, Zhongda Hospital Affiliated to Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210044, China

[ABSTRACT] **Aim** To investigate the correlation between echocardiographic changes and valvular calcification in elderly patients with senile degenerative heart valvular disease (SDHVD). **Methods** A total of 327 elderly patients with SDHVD admitted to Jiangbei Hospital, Zhongda Hospital Affiliated to Southeast University from February 2023 to December 2025 were enrolled in this study. With comprehensive clinical diagnosis as the gold standard, the patients were divided into valvular calcification group ($n=254$) and non-valvular calcification group ($n=73$) according to the presence or absence of valvular calcification. Clinical data and echocardiographic parameters were compared between the two groups. Multivariate Logistic regression analysis was performed to identify influencing factors of valvular calcification and to evaluate the correlation between echocardiographic parameters and valvular calcification. A restricted cubic spline model was employed to analyze the dose-response relationship between echocardiographic parameters and valvular calcifica-

[收稿日期] 2026-04-20

[修回日期] 2026-07-22

[基金项目] 江苏省卫生健康委科研项目(K2023077)

[作者简介] 李玉双, 硕士, 主治医师, 主要从事心脏疾病超声诊断, E-mail: lyshuang-0315@163.com。

tion. Receiver operating characteristic (ROC) curves were constructed to assess the diagnostic efficacy of echocardiographic parameters for valvular calcification. **Results** Among 327 patients, 254 were diagnosed with valvular calcification and 73 without, based on comprehensive clinical diagnosis. Echocardiography detected 246 cases of valvular calcification, with a sensitivity of 94.88%, accuracy of 94.50%, demonstrating good consistency with clinical diagnosis ($\text{Kappa}=0.658$). The valvular calcification group had greater left ventricular end diastolic volume (LVEDV), left ventricular end systolic volume (LVESV), left ventricular end systolic diameter (LVESD), left ventricular end diastolic diameter (LVEDD), left atrial diameter (LAD) and late diastolic mitral inflow velocity (A) than the non-valvular calcification group, while early diastolic mitral inflow velocity (E) was lower in the valvular calcification group ($P<0.05$). Aortic valve thickness and mitral valve thicknesses were greater in the valvular calcification group, and the proportions of patients with aortic valve hyperechogenicity, restricted aortic valve mobility, mitral valve hyperechogenicity, mitral valve thickening, and chordal involvement were higher in the valvular calcification group ($P<0.05$). Multivariate Logistic regression analysis showed that advanced age, hypertension, hyperlipidemia, and increased LVEDV, LVESV, LVEDD, LAD, and A were risk factors for valvular calcification, whereas increased E was a protective factor. After adjusting for confounding factors, increased LVEDV, LVESV, LVEDD, LAD, and A were positively correlated with valvular calcification, while increased E was negatively correlated with valvular calcification. ROC curve analysis demonstrated that the combined detection of LVEDV, LVESV, LVEDD, LAD, E, and A achieved the highest diagnostic efficacy for valvular calcification, with an area under the curve (AUC) of 0.954. **Conclusion** In patients with SDHVD, increased LVEDV, LVESV, LVEDD, LAD, and A are positively correlated with valvular calcification, while increased E is negatively correlated with valvular calcification. The combined detection of these echocardiographic parameters demonstrates high diagnostic efficacy for valvular calcification and is of great significance for clinical diagnosis.

[**KEY WORDS**] senile degenerative heart valvular disease; echocardiographic parameters; valvular calcification

随着人口老龄化程度持续加剧,老年人群心血管疾病负担日益加重。其中,老年退行性心脏瓣膜病(senile degenerative heart valvular disease,SDHVD)作为常见的心血管病变,其对老年群体健康构成的威胁正愈发凸显,已成为不容忽视的临床问题^[1-2]。SDHVD 是一种以瓣膜结缔组织退行性变、纤维化及钙化为主要病理特征的慢性进展性疾病^[3],多数患者确诊时已出现瓣膜功能异常,严重时可引发心力衰竭、心律失常甚至猝死,给临床诊疗带来较大挑战。

瓣膜钙化是 SDHVD 发生发展的关键环节,其在 SDHVD 患者中发生率较高^[4]。相关研究显示^[5-6],60 岁以上人群瓣膜钙化发生率达 30%~40%,80 岁以上者更是超过 60%。目前,临床对 SDHVD 的诊断与病情评估高度依赖影像学检查,其中超声心动图因具有无创、便捷、可重复性强等优势,已广泛应用于 SDHVD 的筛查、诊断及病情评估^[7],可清晰显示瓣膜形态、结构、活动度及血流动力学改变^[8-9],为临床判断瓣膜病变程度提供可靠依据。

目前,临床对 SDHVD 的诊疗重点逐渐转向早期干预,而明确超声心动图改变与瓣膜钙化的相关性,可为疾病早期筛查、病情分级及预后判断提供重要理论支撑。既往研究虽已确认超声心动图在识别明显钙化瓣膜方面的价值^[7],但针对早期、细微的超声心动图功能性及结构性参数改变如何动

态反映瓣膜钙化进程,以及多参数联合应用对识别瓣膜钙化高危个体的预测效能,尚缺乏系统且基于较大样本的分析。基于此,本研究深入分析 SDHVD 患者心脏结构和功能的多维度超声心动图改变与瓣膜钙化之间的内在联系及其机制,并致力于建立一个基于常规超声心动图参数、高效且无创的诊断工具。

1 资料和方法

1.1 研究对象

纳入 2023 年 2 月—2025 年 12 月本院收治的 327 例 SDHVD 患者,以临床综合诊断为金标准,根据患者是否发生瓣膜钙化(主动脉瓣钙化/二尖瓣钙化)分为瓣膜钙化组($n=254$)和非瓣膜钙化组($n=73$)。

临床综合诊断由两名具有副主任医师及以上职称的心血管专科医师依据以下标准独立完成。(1)超声心动图显示主动脉瓣钙化(主动脉瓣回声出现显著增强,瓣叶呈现僵硬状态,且测量其瓣膜厚度达到或超过 3 mm)/二尖瓣钙化(二尖瓣瓣叶、前叶与主动脉后壁交界处,或后叶与房室交界处有斑块状回声增强,且厚度同样达到或超过 3 mm)^[10];(2)X 线检查可见瓣环或瓣膜钙化影;(3)心脏 CT 证实存在钙化;(4)手术所见或病理结果证实钙化。符

合上述两项及以上[其中必须包含(3)或(4)之一]即可确诊。

纳入标准:(1)符合 SDHVD 诊断标准^[11]:①超声心动图显示特征性钙化病变(主要累及瓣体、瓣环及基底,瓣叶交界及瓣尖较少累及);②X线检查有瓣环或瓣膜钙化影;③具备瓣膜功能障碍的临床表现或其他辅助检查证据;(2)年龄 ≥ 65 岁;(3)临床资料完整。排除标准:(1)心、肝、肾功能不全者;(2)合并其他恶性肿瘤患者;(3)近半年服用过抗凝血药物患者;(4)有心脏瓣膜置换术史。

本研究已通过东南大学附属中大医院伦理委员会审批(审批号:20260218),因研究为回顾性病历分析,不对患者进行干预,且对患者个人信息进行匿名化处理,伦理委员会批准豁免患者知情同意。

1.2 超声心动图参数测量

受检者取左侧卧位,应用飞利浦 EPIQ5 超声仪(探头频率调至 1~5 MHz)进行扫查。本研究所有测量均遵循美国超声心动图学会(ASE)指南推荐的标准切面和测量方法。首先采集胸骨旁左心室长轴、短轴及心尖四腔、五腔及二腔切面图,测定左心室舒张期末容积(left ventricular end diastolic volume, LVEDV)、左心室收缩期末容积(left ventricular end systolic volume, LVESV)、左心室收缩期末内径(left ventricular end systolic diameter, LVESD)、左心室舒张期末内径(left ventricular end diastolic diameter, LVEDD)、左心房内径(left atrial diameter, LAD)。随后切换至彩色多普勒模式,于心尖四腔心切面将脉冲多普勒取样容积置于二尖瓣瓣尖水平,测量二尖瓣舒张早期血流速度(early diastolic mitral inflow velocity, E)和二尖瓣舒张晚期血流速度(late diastolic mitral inflow velocity, A)。上述所有指标均测量 3 次后取平均值,3 次测量分别取自 3 个不同心动周期。

1.3 临床资料收集

查询医院电子病历收集所有患者的性别、年龄、体重指数(body mass index, BMI)、吸烟史、饮酒史、高血压史、高血脂史、冠心病和糖尿病。BMI = 体重(kg)/身高(m)²;吸烟史:平均每日吸烟 ≥ 1 支,且近 1 年内有吸烟者;饮酒史:近 1 年内有饮酒。高血压史、高血脂史、冠心病和糖尿病等病史采集自患者入组时既往确诊记录。高血压:收缩压 ≥ 140 mmHg 和/或舒张压 ≥ 90 mmHg,或正在服用降压药物^[12];糖尿病:空腹血糖 ≥ 7.0 mmol/L 或餐后 2 h 血糖 ≥ 11.1 mmol/L 或糖化血红蛋白 $\geq 6.5\%$,或正在使用降糖药物^[13];高血脂:总胆固醇

≥ 5.2 mmol/L 或低密度脂蛋白胆固醇 ≥ 3.4 mmol/L 或高密度脂蛋白胆固醇 ≤ 1.0 mmol/L 或甘油三酯 ≥ 1.7 mmol/L,或正在服用调脂药物^[14];冠心病:静息或负荷状态下心电图检查显示明确的心肌缺血改变^[15]。

1.4 统计学处理

采用 SPSS 22.0 进行数据分析,计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较行 t 检验;计数资料以频数表示,组间比较行 χ^2 检验。多因素 Logistic 回归分析瓣膜钙化的影响因素以及超声心动图参数与瓣膜钙化的相关性,限制性立方样条模型分析超声心动图参数与瓣膜钙化的剂量-反应关系,受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析超声心动图参数对瓣膜钙化的诊断效能。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 超声心动图特征及诊断结果

瓣膜钙化患者瓣膜厚度增厚(≥ 3 mm),瓣环、瓣膜基底回声增强,腱索、乳头肌回声增强,瓣叶开放受限或闭合不严(图 1)。

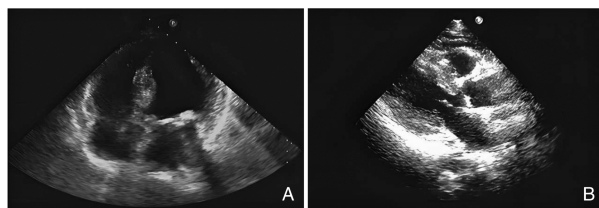


图 1. 瓣膜钙化患者超声心动图特征

A 为二尖瓣瓣膜钙化;B 为主动脉瓣瓣膜钙化。

Figure 1. Echocardiographic features of patients with valvular calcification

经临床综合诊断,327 例患者中,瓣膜钙化 254 例(77.68%),非瓣膜钙化 73 例。超声心动图检出瓣膜钙化患者 246 例,灵敏度 94.88% (241/254),准确率 94.50% (309/327),阳性预测值 97.97% (241/246),阴性预测值 83.95% (68/81),与临床诊断的一致性良好[一致性检验系数(cohen's kappa coefficient, Kappa) = 0.658],见表 1。临床与超声诊断不一致,主要因部分早期钙化在超声下表现不典型,而临床结合 CT/病史可明确;少数超声强回声为纤维化而非钙化,临床综合判定为阴性。本研究以临床综合诊断为金标准。

表 1. 患者超声心动图与临床综合诊断结果

Table 1. Echocardiographic findings and comprehensive clinical diagnosis of patients 单位:例

超声心动图	临床综合诊断		合计
	瓣膜钙化	非瓣膜钙化	
瓣膜钙化	241	5	246
非瓣膜钙化	13	68	81
合计	254	73	327

2.2 一般资料比较

瓣膜钙化组患者年龄 ≥ 70 岁、饮酒、高血压、高血脂占比高于非瓣膜钙化组(均 $P<0.05$;表2)。

表 2. 两组一般资料比较

Table 2. Comparison of general clinical data between the two groups 单位:例(%)

参数	非瓣膜钙化组($n=73$)	瓣膜钙化组($n=254$)	t/χ^2	P
男性	45(61.64)	176(69.29)	1.514	0.219
年龄			9.901	0.002
≥ 70 岁	39(53.42)	185(72.83)		
<70 岁	34(46.58)	69(27.17)		
BMI			0.138	0.710
$<22\text{ kg/m}^2$	25(34.25)	93(36.61)		
$\geq 22\text{ kg/m}^2$	48(65.75)	161(63.39)		
饮酒	27(36.99)	134(52.76)	5.642	0.018
吸烟	26(35.62)	123(48.43)	3.751	0.053
高血压	20(27.40)	115(45.28)	7.477	0.006
高血脂	9(12.33)	65(25.59)	5.696	0.017
糖尿病	26(35.62)	121(47.64)	3.311	0.069
冠心病	13(17.81)	62(24.41)	1.398	0.237

2.3 超声心动图参数比较

对两组患者超声心动图参数进行比较,结果显示瓣膜钙化组患者LVEDV、LVESV、LVESD、LVEDD、LAD、A较非瓣膜钙化组分别升高7.99%、17.92%、3.70%、10.70%、54.82%、3.71%,E较非瓣膜钙化组降低2.93%(均 $P<0.05$,表3)。

2.4 心脏瓣膜受累情况

瓣膜钙化组患者主动脉瓣厚度、二尖瓣厚度较非瓣膜钙化组分别增厚127.00%、102.43%;主动脉瓣强回声、主动脉瓣活动受限、二尖瓣强回声、二尖瓣增厚及腱索人数占比较非钙化组分别提升76.60%、73.43%、76.79%、68.71个百分点(均 $P<0.001$,表4)。

表 3. 两组超声心动图参数比较

Table 3. Comparison of echocardiographic parameters between the two groups

参数	非瓣膜钙化组($n=73$)	瓣膜钙化组($n=254$)	t	P
LVEDV/mL	98.51 $\pm$ 10.14	106.38 $\pm$ 12.26	5.012	<0.001
LVESV/mL	41.36 $\pm$ 4.08	48.77 $\pm$ 6.59	9.112	<0.001
LVESD/mm	37.85 $\pm$ 3.17	39.25 $\pm$ 3.72	2.924	0.004
LVEDD/mm	46.16 $\pm$ 6.92	51.10 $\pm$ 6.28	5.788	<0.001
LAD/mm	37.89 $\pm$ 5.44	58.66 $\pm$ 5.20	29.681	<0.001
E/(cm/s)	71.72 $\pm$ 5.1	69.62 $\pm$ 5.99	2.717	0.007
A/(cm/s)	75.94 $\pm$ 4.27	78.76 $\pm$ 5.31	4.165	<0.001

表 4. 患者心脏瓣膜受累情况

Table 4. Involvement of cardiac valves in patients

参数	非瓣膜钙化组($n=73$)	瓣膜钙化组($n=254$)	t/χ^2	P
主动脉瓣厚度/mm	1.63 $\pm$ 0.35	3.70 $\pm$ 0.41	39.215	<0.001
主动脉瓣强回声/[例(%)]	3(4.11)	205(80.71)	143.728	<0.001
主动脉瓣活动受限/[例(%)]	1(1.37)	190(74.80)	125.869	<0.001
二尖瓣厚度/mm	2.06 $\pm$ 0.29	4.17 $\pm$ 0.55	31.519	<0.001
二尖瓣强回声/[例(%)]	2(2.74)	202(79.53)	142.480	<0.001
二尖瓣增厚及腱索/[例(%)]	1(1.37)	178(70.08)	108.048	<0.001

2.5 影响瓣膜钙化的多因素分析

将瓣膜钙化作为因变量,表2和表3中差异具有统计学意义的因素年龄、饮酒、高血压、高血脂、LVEDV、LVESV、LVESD、LVEDD、LAD、A、E作为自变量,纳入多因素Logistic回归分析模型中,结果显示,高龄、高血压、高血脂、LVEDV、LVESV、LVEDD、LAD、A增大是患者发生瓣膜钙化的危险因素,E增大是患者发生瓣膜钙化的保护因素(表5)。

表 5. 影响瓣膜钙化的多因素 Logistic 回归分析

Table 5. Multivariate Logistic regression analysis of factors affecting valvular calcification

变量	β	SE	Wald χ^2	OR(95% CI)	P
年龄	0.498	0.203	6.012	1.645(1.116~2.082)	<0.001
饮酒	0.450	0.256	3.087	1.568(0.868~2.145)	0.052
高血压	0.385	0.145	7.035	1.469(1.074~1.977)	<0.001
高血脂	0.511	0.226	5.113	1.667(1.298~3.190)	0.005
LVEDV	0.469	0.151	9.637	1.598(1.317~2.623)	<0.001
LVESV	0.526	0.208	6.393	1.692(1.142~2.055)	0.003

续表					
变量	β	SE	Wald χ^2	OR(95% CI)	P
LVESD	0.136	0.130	1.099	1.146(0.213 ~ 1.284)	0.064
LVEDD	0.572	0.177	10.427	1.771(1.260 ~ 2.150)	<0.001
LAD	0.527	0.235	5.020	1.693(1.105 ~ 1.994)	0.005
E	-0.514	0.211	5.938	0.598(0.210 ~ 0.858)	0.004
A	0.627	0.189	11.006	1.872(1.187 ~ 2.946)	<0.001

2.6 超声心动图参数与瓣膜钙化的相关性分析

将超声心动图参数纳入 Logistic 回归分析模型中,逐步排除混杂因素,模型 1 校正年龄,模型 2 在模型 1 基础上校正饮酒史,模型 3 在模型 2 基础上校正高血压和高血脂,模型 4 在模型 3 基础上进一步校正 LVESD,即为完全校正模型。结果显示,在未校正模型

中,超声心动图参数与瓣膜钙化显著相关,调整后(模型 4),超声心动图参数 LVEDV ($OR = 1.603, 95\% CI: 1.211 \sim 2.100$)、LVESV ($OR = 1.612, 95\% CI: 1.130 \sim 1.989$)、LVEDD ($OR = 1.715, 95\% CI: 1.081 \sim 1.972$)、LAD ($OR = 1.578, 95\% CI: 1.134 \sim 2.003$)、E ($OR = 0.710, 95\% CI: 0.282 \sim 0.895$)和 A ($OR = 1.799, 95\% CI: 1.327 \sim 2.418$)与瓣膜钙化的关系仍然存在(表 6)。

2.7 超声心动图参数与瓣膜钙化的剂量-反应关系

超声心动图参数与瓣膜钙化关联强度的剂量-反应分析结果显示,LVEDV、LVESV、LVEDD、LAD、A 和 E 与瓣膜钙化存在非线性关系,随着 LVEDV、LVESV、LVEDD、LAD 和 A 的增大,患者发生瓣膜钙化的风险越大;随着 E 的增大,患者发生瓣膜钙化的风险越小(图 2)。

表 6. 超声心动图参数与瓣膜钙化的相关性分析

Table 6. Correlation analysis between echocardiographic parameters and valvular calcification

参数	未校正模型	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
LVEDV	1.598(1.317 ~ 2.623)	1.610(1.139 ~ 1.835)	1.622(1.201 ~ 2.024)	1.596(1.171 ~ 1.992)	1.603(1.211 ~ 2.100)
LVESV	1.692(1.142 ~ 2.055)	1.611(1.053 ~ 1.924)	1.590(1.167 ~ 1.965)	1.589(1.252 ~ 2.097)	1.612(1.130 ~ 1.989)
LVEDD	1.771(1.260 ~ 2.150)	1.685(1.124 ~ 1.907)	1.677(1.050 ~ 1.842)	1.703(1.135 ~ 1.916)	1.715(1.081 ~ 1.972)
LAD	1.693(1.105 ~ 1.994)	1.621(1.220 ~ 1.946)	1.569(1.213 ~ 1.978)	1.556(1.069 ~ 1.897)	1.578(1.134 ~ 2.003)
E	0.598(0.210 ~ 0.858)	0.680(0.169 ~ 0.991)	0.682(0.176 ~ 0.963)	0.707(0.245 ~ 0.982)	0.710(0.282 ~ 0.895)
A	1.872(1.187 ~ 2.946)	1.822(1.213 ~ 2.181)	1.796(1.254 ~ 2.213)	1.803(1.150 ~ 1.926)	1.799(1.327 ~ 2.418)

注:模型 1 校正年龄,模型 2 在模型 1 的基础上校正饮酒史,模型 3 在模型 2 的基础上校正高血压、高血脂,模型 4 在模型 3 的基础上校正 LVESD。

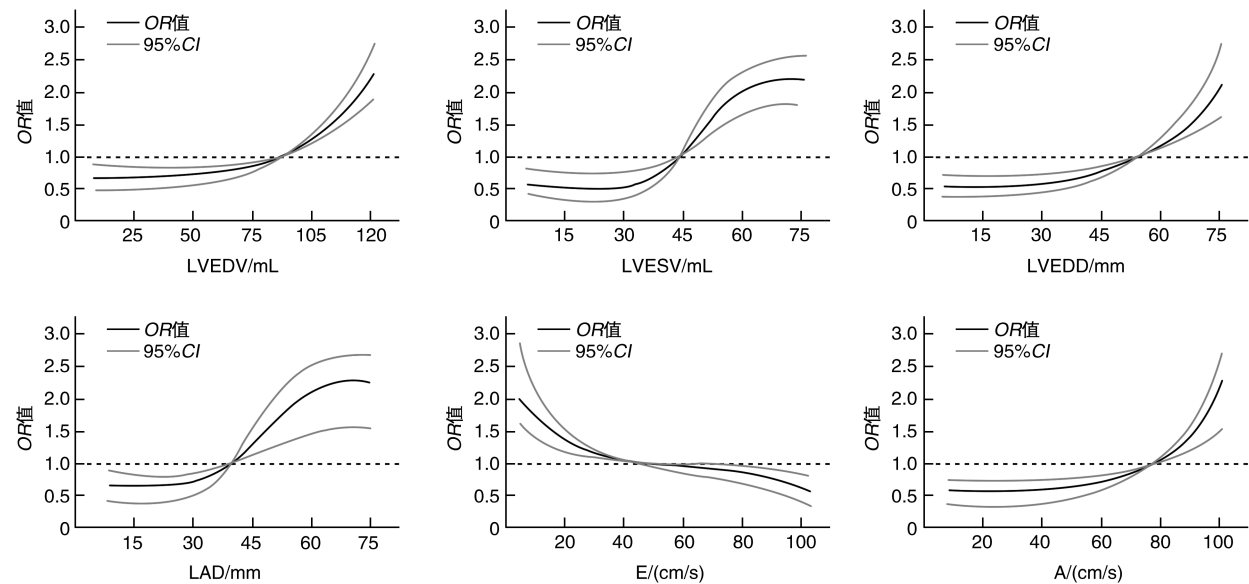


图 2. 超声心动图参数与瓣膜钙化的剂量-反应关系

Figure 2. Dose-response relationship between echocardiographic parameters and valvular calcification

2.8 ROC 曲线分析超声心动图参数对瓣膜钙化的诊断效能

采用 ROC 曲线分析超声心动图参数对瓣膜钙化的诊断效能,结果显示,LVEDV、LVESV、LVEDD、LAD、E、A 和联合检测的曲线下面积(area under the curve,AUC)分别为 0.863 (95% CI:0.711 ~ 0.898)、

0.857(95% CI:0.692 ~ 0.906)、0.878(95% CI:0.795 ~ 0.924)、0.769(95% CI:0.710 ~ 0.873)、0.820(95% CI:0.708 ~ 0.915)、0.911 (95% CI:0.863 ~ 0.960)、0.954(95% CI:0.891 ~ 0.982),其中联合检测对瓣膜钙化的诊断效能最高,AUC 值最大,灵敏度和特异度分别为 94.32% 和 91.21% (表 7 和图 3)。

表 7. ROC 曲线分析超声心动图参数对瓣膜钙化的诊断效能

Table 7. ROC curve analysis of echocardiographic parameters for the diagnostic efficacy of valvular calcification

参数	截断值	AUC	95% CI	P	约登指数	灵敏度/%	特异度/%
LVEDV	106.38 mL	0.863	0.711 ~ 0.898	<0.001	0.766	87.34	89.23
LVESV	48.77 mL	0.857	0.692 ~ 0.906	<0.001	0.765	86.47	90.06
LVEDD	51.10 mm	0.878	0.795 ~ 0.924	<0.001	0.797	91.18	88.52
LAD	58.66 mm	0.769	0.710 ~ 0.873	<0.001	0.750	88.59	86.37
E	69.62 cm/s	0.820	0.708 ~ 0.915	<0.001	0.754	89.25	86.10
A	78.76 cm/s	0.911	0.863 ~ 0.960	<0.001	0.830	92.56	90.43
联合检测	—	0.954	0.891 ~ 0.982	<0.001	0.855	94.32	91.21

注:“—”表示无法获取。

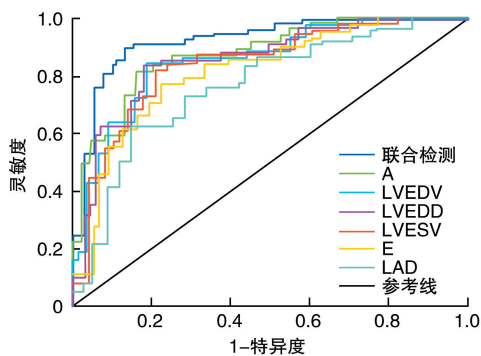


图 3. 超声心动图参数对瓣膜钙化诊断效能的 ROC 曲线
Figure 3. ROC curves of echocardiographic parameters for the diagnosis of valvular calcification

3 讨论

随着全球人口老龄化,SDHVD 发病率逐年上升^[16],成为影响老年人健康的重要心血管疾病。该病因心脏瓣膜结缔组织退行性变、纤维化及钙化导致瓣膜功能障碍,早期症状不明显,临床诊断困难,易与其他心脏疾病混淆^[17]。超声心动图作为无创性影像学检查,在 SDHVD 诊断中至关重要,它能直观显示瓣膜形态、结构变化,评估血流动力学改变,为疾病诊断提供依据^[18-19]。

本研究临床综合诊断显示,瓣膜钙化发生率为 77.68%,与既往研究结果相一致。瓣膜钙化组年龄 ≥70 岁、饮酒、高血压、高血脂患者人数占比显著高

于非瓣膜钙化组,多因素 Logistic 回归分析进一步证实,高龄、高血压、高血脂是患者发生瓣膜钙化的独立危险因素。年龄作为 SDHVD 及瓣膜钙化发生的危险因素,主要与老年人人体内结缔组织代谢紊乱、胶原蛋白降解增加、弹性纤维减少相关,随着年龄增长,瓣膜组织的机械强度下降,更易受到血流动力学冲击而发生损伤,进而推动钙化进程^[20-21]。高血压作为心血管疾病的重要危险因素,其对瓣膜钙化的促进作用主要通过长期升高的血压增加瓣膜承受的血流剪切力,导致瓣膜内皮细胞损伤,内皮功能紊乱后,大量钙盐易沉积于瓣膜基质中,同时高血压可诱发血管紧张素Ⅱ升高,进一步加速瓣膜纤维化及钙化进程^[3]。高血脂对瓣膜钙化的影响主要是由于过量的低密度脂蛋白胆固醇易沉积于瓣膜组织,引发炎症反应,刺激瓣膜成纤维细胞增殖及胶原合成,进而促进钙盐沉积,形成钙化结节^[22]。此外,本研究中饮酒患者在瓣膜钙化组占比更高,推测饮酒可能通过加重血管内皮损伤、诱发炎症反应,从而间接参与瓣膜钙化的发生与发展^[23]。

本研究结果显示,SDHVD 患者的超声心动图参数与瓣膜钙化存在显著相关性,多因素 Logistic 回归分析进一步证实,LVEDV、LVESV、LVEDD、LAD、A 峰流速增大是患者发生瓣膜钙化的危险因素,E 峰流速增大是患者发生瓣膜钙化的保护因素,且上述超声心动图参数与瓣膜钙化存在明显的剂量-反应

关系。LVEDV、LVESV、LVEDD 和 LAD 的增大与瓣膜钙化的相关性,主要与左心结构重构密切相关。瓣膜钙化常伴随瓣膜狭窄或关闭不全,进而使左心室负荷增加,长期负荷过重可伴随左心室心肌肥厚、心室扩张^[24],表现为 LVEDV、LVESV 和 LVEDD 增大;同时,左心室舒张功能减退可导致左心房血液排出受阻,左心房压力升高,进而引起左心房扩大^[25],表现为 LAD 增大。主动脉瓣钙化导致的瓣膜僵硬和活动受限,可直接减少主动脉瓣口面积、降低瓣膜顺应性,从而显著增加左心室射血阻力^[26],加重左心室后负荷。左心室为克服增高的后负荷,首先通过向心性肥厚代偿,但随着钙化进一步加重,后负荷持续增加,最终导致左心室失代偿性扩张,表现为 LVEDV、LVESV 及 LVEDD 增大。同时,肥厚的心肌顺应性下降,舒张期松弛受阻,左心室舒张末压增高,并逆向传导至左心房^[27],引起左心房压力升高和 LAD 增大。此外,二尖瓣环钙化可直接限制瓣环运动,影响左心室充盈,进一步加重左心房压力负荷。由此可见,瓣膜钙化不仅是左心结构重构的伴随现象,更可能是直接驱动左心功能及结构改变的重要始动因素之一。本研究中,瓣膜钙化组患者左心结构参数均显著异常,且 LVEDV、LVESV、LVESD、LVEDD、LAD 均显著大于非瓣膜钙化组,与已有研究结果相一致^[28-29]。特别值得关注的是,瓣膜钙化组 LAD 较非瓣膜钙化组升高超过 50%,除瓣膜钙化导致舒张受限、左心室充盈压升高外,还提示瓣膜钙化组整体心脏负荷状态更重,远期不良事件风险更高。左心房显著扩大常合并心房纤维化、心房电重构,更易并发房颤、心力衰竭,在临床管理中,LAD 可作为评估 SDHVD 瓣膜钙化严重程度、预判不良心血管事件的重要辅助指标。E 峰流速主要反映左心室快速舒张期的血流速度,A 峰流速主要反映左心房收缩期的血流速度^[30],E 峰降低、A 峰升高,提示左心室舒张功能减退。本研究中,瓣膜钙化组患者 E 峰流速显著降低、A 峰流速显著升高,这与瓣膜钙化所致瓣膜活动受限及左心室舒张功能减退有关;左心室舒张功能减退又可能进一步加重瓣膜血流动力学异常,促使钙盐沉积增加^[31]。限制性立方样条模型分析显示,超声心动图参数与瓣膜钙化存在明显的剂量-反应关系,进一步明确了超声心动图参数与瓣膜钙化的关联强度,提示超声心动图参数可能有助于瓣膜钙化的风险分层。

此外,瓣膜钙化组患者的主动脉瓣厚度和二尖瓣厚度均显著大于非瓣膜钙化组。瓣膜钙化的发

生过程中,钙盐沉积于瓣膜基质,同时伴随瓣膜纤维化、胶原增生,导致瓣膜厚度增加,而瓣膜厚度的增加常伴随瓣膜僵硬程度增加,瓣膜活动功能受限,且与钙化进程相关。这一结果提示,瓣膜厚度可作为评估瓣膜钙化的重要超声指标,结合其他结构及血流动力学参数,可进一步提高对瓣膜钙化的评估准确性。

SDHVD 患者瓣膜钙化的早期诊断及风险预测,是改善患者预后的关键。本研究结果显示,单一超声心动图参数对瓣膜钙化均有一定的诊断效能,而超声心动图参数联合检测的诊断效能最高,AUC 值最大,为 0.954,显著高于单一参数的预测效能。其原因主要在于,SDHVD 患者的瓣膜钙化是一个多因素、多机制共同作用的过程,单一超声心动图参数仅能反映疾病的某一方面特征,而联合多个超声心动图参数,有助于反映患者的左心结构、心功能状态及瓣膜病变情况,显示出更高的诊断效能。临床实践中,可通过检测 SDHVD 患者的超声心动图参数,结合患者的年龄、高血压、高血脂等危险因素,构建综合预测模型,进一步提高瓣膜钙化的诊断效能,为临床制定个体化的筛查及干预方案提供依据。

本文作为单中心回顾性研究,可能存在选择偏倚。其次,本研究仅探讨了超声心动图参数与瓣膜钙化的相关性,未深入分析其具体的分子机制,后续可通过基础实验与临床研究相结合的方式,进一步明确超声心动图参数异常与瓣膜钙化发生发展的内在关联;最后,本研究未随访患者的长期预后,未探讨超声心动图参数及瓣膜钙化对患者生存率、并发症发生率的影响,后续可开展长期随访研究,进一步明确超声心动图在 SDHVD 患者预后评估中的价值。

综上所述,本研究表明 SDHVD 患者超声心动图改变与瓣膜钙化显著相关,超声心动图参数联合检测对瓣膜钙化具有较高的诊断效能,对 SDHVD 的临床诊断与治疗具有重要意义。

[参考文献]

- [1] 李杰,徐杰杰,阎开丽. 超声心动图检查对老年钙化性心脏瓣膜病的临床诊断价值[J]. 影像研究与医学应用, 2024, 8(1): 57-59.
Li J, Xu J J, Yan K L. Clinical diagnosis value of calcified valvular heart disease in the elderly by echocardiography [J]. J Imaging Res Med Appl, 2024, 8(1): 57-59.
- [2] Huang H T, Sun Q P, Huang Y, et al. Clinical and experimental study of high mobility group box-2 and valvular cal-

- cification in elderly patients with degenerative heart valve disease[J]. *Cardiology*, 2023, 148(3): 271-277.
- [3] Chen J Q, Zeng X, Li K C, et al. Relationship between valvular structure and biochemical indices of non-valvular atrial fibrillation and senile degenerative valvular heart disease[J]. *J Thorac Dis*, 2023, 15(2): 611-619.
- [4] 林湘杰, 曾庆春. 先天性免疫在钙化性主动脉瓣疾病中的作用[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2024, 32(6): 461-465.
Lin X J, Zeng Q C. The role of innate immunity in calcific aortic valve disease[J]. *Chin J Arterioscler*, 2024, 32(6): 461-465.
- [5] 张群吉, 黄琼惠, 侯经远, 等. 钙化性主动脉瓣疾病中 m⁶A 甲基化谱及表观调控机制[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2026, 34(6): 553-562.
Zhang Q J, Huang Q H, Hou J Y, et al. The m⁶A methylation profile and epigenetic regulatory mechanism in calcific aortic valve disease[J]. *Chin J Arterioscler*, 2026, 34(6): 553-562.
- [6] El-Chouli M, Mizrak I, Mohr G H, et al. Valvular heart disease and out-of-hospital cardiac arrest[J]. *Eur Heart J*, 2024, 45(S1): ehae666.1804.
- [7] Cinq-Mars A, Carbonati T, Fiorina L, et al. Deep learning-enabled electrocardiogram assessment of valvular heart disease[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2025, 26(S1): jeae333.001.
- [8] 戴梦娇, 廖晓琴, 华山. 中国老年人退行性心脏瓣膜病临床危险因素的 Meta 分析[J]. *海军医学杂志*, 2024, 45(1): 31-40.
Dai M Q, Liao X Q, Hua S. Risk factors of senile degenerative heart valve disease in elderly people in China: a Meta-analysis[J]. *J Navy Med*, 2024, 45(1): 31-40.
- [9] 韦芳玲, 韦荣文, 黄慧琨. 彩色多普勒超声心动图在慢性风湿性心脏瓣膜病中的诊断价值[J]. *中外医药研究*, 2023, 2(5): 126-128.
Wei F L, Wei R W, Huang H K. Diagnostic value of color doppler echocardiography in chronic rheumatic valvular heart disease[J]. *J Chin Foreign Med Pharm Res*, 2023, 2(5): 126-128.
- [10] 中华医学会心血管病学分会心血管影像学组, 北京医学会心血管病学分会影像学组. 中国成人心脏瓣膜病超声心动图规范化检查专家共识[J]. *中国循环杂志*, 2021, 36(2): 109-125.
Division of Cardiovascular Imaging, Chinese Society of Cardiology, Chinese Medical Association, Imaging Group, Cardiovascular Department, Beijing Medical Association. Expert consensus for standard assessment by echocardiography in Chinese adults with valvular heart disease[J]. *Chin Circ J*, 2021, 36(2): 109-125.
- [11] 刘美贞, 王京生. 心脏瓣膜疾病诊断治疗学[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2001: 212-215.
- Liu M Z, Wang J S. *Diagnosis and treatment of valvular heart disease*[M]. Beijing: Peking Union Medical College Press, 2001: 212-215.
- [12] 《中国高血压防治指南》修订委员会. 中国高血压防治指南 2018 年修订版[J]. *心脑血管病防治*, 2019, 19(1): 1-44.
Writing Committee of Chinese Guidelines for the Management of Hypertension. 2018 Chinese guidelines for the management of hypertension[J]. *Prev Treat Cardio-Cereb-Vasc Dis*, 2019, 19(1): 1-44.
- [13] 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]. *中华糖尿病杂志*, 2021, 13(4): 315-409.
Chinese Diabetes Society. Guideline for the prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus in China (2020 edition)[J]. *Chin J Diabetes*, 2021, 13(4): 315-409.
- [14] 高秀芳, 李勇. 《中国成人血脂异常防治指南 2016 修订版》更新要点解析[J]. *中华高血压杂志*, 2017, 25(1): 15-18.
Gao X F, Li Y. Analysis of key updates in the 2016 revised Chinese guidelines on prevention and treatment of dyslipidemia in adults[J]. *Chin J Hypertens*, 2017, 25(1): 15-18.
- [15] 中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组, 中华医学会心血管病学分会动脉粥样硬化与冠心病学组, 中国医师协会心血管内科医师分会血栓防治专业委员会, 等. 稳定性冠心病诊断与治疗指南[J]. *中华心血管病杂志*, 2018, 46(9): 680-694.
Interventional Cardiology Group of Cardiovascular Branch of Chinese Medical Association, Atherosclerosis and Coronary Heart Disease Group of Cardiovascular Branch of Chinese Medical Association, Thrombosis Prevention Professional Committee of Cardiovascular Physicians Branch of Chinese Medical Association, et al. Guidelines for diagnosis and treatment of stable coronary heart disease[J]. *Chin J Cardiol*, 2018, 46(9): 680-694.
- [16] Yu Y L, Jiang Q. Advances in pathophysiological mechanisms of degenerative aortic valve disease[J]. *Cardiol Res*, 2025, 16(2): 86-101.
- [17] Praz F, Beyersdorf F, Haugaa K, et al. Valvular heart disease: from mechanisms to management[J]. *Lancet*, 2024, 403(10436): 1576-1589.
- [18] 张帅, 陆文远, 唐汉玮, 等. 中国合并心力衰竭的老年心脏瓣膜病患者的临床特征与外科治疗现状[J]. *中国循环杂志*, 2023, 38(5): 520-525.
Zhang S, Lu W Y, Tang H W, et al. Clinical characteristics and surgical treatment status of aged patients with valvular heart disease and heart failure in China[J]. *Chin*

- Circ J, 2023, 38(5): 520-525.
- [19] Chambers J, Shah B N, Garbi M, et al. Management of echocardiography requests for the detection and follow-up of heart valve disease: a consensus statement from the British heart valve society[J]. *Clini Cardiol*, 2025, 48(2): e70099.
- [20] Khalil A M, Albadarin F, Khalil M E. Prevalence and gender distribution of mitral annular calcification and associated mitral valve dysfunction across age groups: a retrospective analysis[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2025, 26(S1): jeae333.161.
- [21] Craig N, Geers J, Loganath K, et al. Molecular imaging of valvular fibroblast activation and established fibrosis in aortic stenosis: analysis from the SALTIRE programme[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2024, 25(S1): jeae142.089.
- [22] Batista R, Benfari G, Essayagh B, et al. Degenerative mitral stenosis by echocardiography: presentation and outcome[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2025, 26(1): 118-125.
- [23] 周雪亮, 窦盼, 柴淑辉. 老年退行性心脏瓣膜病患者超声心动图显像特征及相关危险因素分析[J]. *贵州医药*, 2024, 48(3): 445-447.
- Zhou X L, Dou P, Chai S H. Echocardiographic features and related risk factors in elderly patients with degenerative heart valvular disease[J]. *Guizhou Med J*, 2024, 48(3): 445-447.
- [24] 谢桢晖, 陈长源. 老年退行性心脏瓣膜病的流行病学现状及诊疗进展[J]. *国际心血管病杂志*, 2023, 50(2): 65-68.
- Xie Z H, Chen C Y. Epidemiological status and advances in diagnosis and treatment of senile degenerative heart valvular disease[J]. *Int J Cardiovasc Dis*, 2023, 50(2): 65-68.
- [25] Canciello G, Pate S, Sannino A, et al. Pitfalls and tips in the assessment of aortic stenosis by transthoracic echocardiography[J]. *Diagnostics*, 2023, 13(14): 2414.
- [26] Petrovic O, Paunovic I, Jovanovic I, et al. Maladaptive remodeling reduces survival in patients with moderate aortic stenosis and preserved ejection fraction[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2025, 26(S1): jeae333.099.
- [27] Mantha Y, Futami S, Moriyama S, et al. Valvulo-arterial impedance and dimensionless index for risk stratifying patients with severe aortic stenosis[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2021, 8: 742297.
- [28] 李博, 舒瑶. 退行性心脏瓣膜病患者的超声心动图诊断价值[J]. *影像研究与医学应用*, 2024, 8(21): 131-133.
- Li B, Shu Y. Diagnostic value of echocardiography in patients with degenerative heart valvular disease[J]. *J Imaging Res Med Appl*, 2024, 8(21): 131-133.
- [29] 张飞. 超声心动图多项参数综合评价在老年钙化性心脏瓣膜病诊断中的临床价值研究[J]. *影像研究与医学应用*, 2024, 8(21): 103-105.
- Zhang F. Clinical value of comprehensive evaluation of multiple echocardiographic parameters in the diagnosis of senile calcified heart valvular disease[J]. *J Imaging Res Med Appl*, 2024, 8(21): 103-105.
- [30] Loewenstein I, Zornitzki L, Freund O, et al. Threshold values for diastolic dysfunction parameters indicative of increased mortality risk in a real-world patient cohort[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Pharmacother*, 2025, 46(S1): ehaf784.018.
- [31] 杨暖, 邹果秋, 蒙绪标, 等. 超声评价糖尿病肾病合并非酒精性脂肪肝及其与心脏瓣膜钙化的关系研究[J]. *中国医学装备*, 2023, 20(11): 94-99.
- Yang N, Zou G Q, Meng X B, et al. Study on the ultrasound evaluation of DN with NAFLD and the relationship between that and HVC[J]. *China Med Equip*, 2023, 20(11): 94-99.
- (此文编辑 许雪梅)