

# 应用无创方法评估心衰前期患者心室 - 动脉耦联的应用研究

锁晓荣<sup>1</sup>, 卢岷<sup>2\*</sup>, 王颖<sup>3</sup>

<sup>1</sup>重庆医科大学附属璧山医院全科医学科, 重庆

<sup>2</sup>重庆医科大学附属璧山医院超声科, 重庆

<sup>3</sup>重庆医科大学附属永川医院超声科, 重庆

收稿日期: 2026年5月9日; 录用日期: 2026年6月3日; 发布日期: 2026年6月12日

## 摘要

目的: 心室动脉耦联(VAC)描述的是心室和动脉系统之间的关系, 通常在心力衰竭前期(pre-HF)阶段就已经出现心室动脉解耦联。本研究旨在探讨用左心室整体长轴应变(LVGLS)与估计脉搏波速度(ePWV)的比值来无创评估pre-HF患者的VAC。方法: 本研究共招募了133例受试者, 将其分为对照组、pre-HF组、射血分数保留的心力衰竭(HFpEF)组和射血分数减低的心力衰竭(HFrEF)组。根据特定公式计算出ePWV, 通过二维斑点追踪超声心动图获取LVGLS, 用ePWV/LVGLS评估所有受试者的VAC, 并分析其与其他传统心功能指标的相关性。结果: pre-HF组的ePWV/LVGLS明显高于HFpEF组和HFrEF组(均 $P < 0.001$ ), 明显低于对照组( $P = 0.016$ ), 且HFpEF组和HFrEF组之间差异显著( $P < 0.001$ )。ePWV/LVGLS与传统心功能指标密切相关。结论: ePWV/LVGLS能够早期筛查pre-HF患者, 是无创评估心血管功能的重要临床指标。

## 关键词

心力衰竭, 心衰前期, 超声心动图, 整体长轴应变, 心室 - 动脉耦联

# Application of Noninvasive Methods to Assess Ventricular-Arterial Coupling in Patients with Pre-Heart Failure

Xiaorong Suo<sup>1</sup>, Min Lu<sup>2\*</sup>, Ying Wang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of General Medicine, Bishan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

<sup>2</sup>Department of Ultrasound Medicine, Bishan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

<sup>3</sup>Department of Ultrasound Medicine, The Affiliated Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

\*通讯作者。

文章引用: 锁晓荣, 卢岷, 王颖. 应用无创方法评估心衰前期患者心室-动脉耦联的应用研究[J]. 临床医学进展, 2026, 16(6): 781-790. DOI: 10.12677/acm.2026.1662277

## Abstract

**Objective:** Ventricular-arterial coupling (VAC) describes the relationship between the ventricular and arterial systems. Ventricular-arterial uncoupling typically occurs during the pre-heart failure (pre-HF) stage. This study aimed to investigate the use of the ratio of left ventricular global longitudinal strain (LVGLS) to estimated pulse wave velocity (ePWV) for the noninvasive assessment of VAC in patients with pre-HF. **Methods:** A total of 133 subjects were recruited and divided into a control group, a pre-HF group, a heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF) group, and a heart failure with reduced ejection fraction (HFrEF) group. The ePWV was calculated using a specific formula, LVGLS was obtained via two-dimensional speckle-tracking echocardiography, and VAC was assessed for all subjects using ePWV/LVGLS. The correlation between VAC and other traditional cardiac function indices was analyzed. **Results:** The ePWV/LVGLS ratio in the pre-HF group was significantly higher than that in the HFpEF and HFrEF groups (all  $P < 0.001$ ) and significantly lower than that in the control group ( $P = 0.016$ ). Moreover, there was a significant difference between the HFpEF and HFrEF groups ( $P < 0.001$ ). ePWV/LVGLS was closely correlated with traditional cardiac function indices. **Conclusion:** ePWV/LVGLS enables early screening of patients with pre-HF and serves as an important clinical indicator for the noninvasive assessment of cardiovascular function.

## Keywords

Heart Failure, Pre-Heart Failure, Echocardiography, Global Longitudinal Strain, Ventricular-Arterial Coupling

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

美国心脏协会(The American Heart Association, AHA)将存在危险因素或已有心脏结构和(或)功能异常但无症状阶段的患者,定义为心力衰竭风险期(Stage A 期)和心力衰竭前期(Stage B 期) [1],通常将二者统称为心衰前期。虽然对心衰前期的关注日益增长,但由于该阶段无症状且结构病变轻微,左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)等传统超声指标敏感性低,心衰前期的诊断仍具挑战性。

基于二维斑点追踪成像技术获取的左室整体长轴应变(left ventricular global longitudinal strain, LVGLS)通过量化心肌纤维收缩期的形变幅度可早期识别亚临床收缩功能障碍[2]。在射血分数正常的情况下,高血压、糖尿病和心衰患者的心肌应变能力已经开始下降[3] [4]。心室-动脉耦联(ventricular-arterial coupling, VAC)描述的是心脏泵血功能与动脉系统之间的动态匹配关系,为评估心血管系统提供了新方法。传统VAC通常通过心室收缩末期弹性(end-systolic elastance, Ees)与动脉弹性(effective arterial elasticity, Ea)之比来评估[5] [6],但根据常用的简化公式  $Ea/Ees = 1/LVEF - 1$  可以看出,  $Ea/Ees$  变成了 LVEF 的衍生物,它评估整体心血管系统的优势被削弱。因此需寻找更敏感的替代 Ea 和 Ees 的指标来评估心衰前期患者的 VAC。

由于 LVGLS 能在 LVEF 正常时早期识别心肌收缩力的降低[2],因此可作为心肌收缩功能即 Ees 的

替代指标。而脉搏波速度(pulse wave velocity, PWV)作为描述动脉僵硬度的敏感指标之一,是心衰的独立风险因素[7],可以作为Ea的替代指标来描述动脉弹性。有研究表明用颈动脉-股动脉脉搏波速度(carotid femoral pulse wave velocity, cf-PWV)与LVGLS之比(cf-PWV/LVGLS)来评估高血压患者的VAC是可行的[8],但由于cf-PWV测量复杂故其临床应用受限。据Greve等[9]人提出的基于平均血压(mean blood pressure, MBP)和年龄的计算公式,估计脉搏波速度(estimated pulse wave velocity, ePWV)获取简单,且重复性好。因此,本研究旨在验证用ePWV/LVGLS来评估心衰前期患者的VAC的可行性。

## 2. 方法

### 2.1. 研究对象

共纳入133例自2024年1月至2025年10月在重庆医科大学附属璧山医院(以下简称本院)就诊的患者。根据美国心脏协会(AHA)心衰指南的分类分期系统,将受试者分为以下四组:1组,30名健康受试者作为对照组;2组,心衰前期组,即pre-HF组,包括36名心衰A期和B期患者;3组为35例射血分数保留的心力衰竭(heart failure with preserved ejection fraction, HFpEF)患者;4组是30名射血分数保留的心力衰竭(heart failure with reduced ejection fraction, HFrEF)患者。其中心衰前期组患者均符合欧洲高血压学会(ESH)指南[10]对高血压的诊断标准和美国糖尿病协会(ADA)指南[11]对糖尿病(DM)的诊断标准。

### 2.2. 临床指标和超声心动图

通过本院院内病历系统等收集研究对象一般资料数据,包括姓名、年龄、性别、基础病史(如高血压、糖尿病等)、血压(blood pressure, BP)及氨基末端利钠肽前体(N-terminal pro-brain natriuretic peptide, NT-proBNP)等实验室数据。为确保数据真实、准确,嘱受试者静息30分钟后采集血压。各组受试者的NT-proBNP浓度指标均通过采集静脉血获得。

采用飞利浦公司EPIQ CVx超声诊断仪连接心电图采集所有受试者的胸骨旁长轴切面、心尖两腔、三腔及四腔心切面。通过改良的Simpson's双平面法测定LVEF。为减少误差并保证数据的准确性和可重复性,所有图像均采集至少3个心动周期。整个操作过程严格遵循美国超声心动图协会的最新指南[12]及二维斑点追踪超声心动图心肌纵向应变规范化检查中国专家共识(2023版)[13]。用飞利浦QLAB图像分析系统处理图像,选取每位受试者的两腔心、三腔心和四腔心切面进行二维斑点追踪分析并获取LVGLS。

根据受试者的年龄(age)、MBP和心血管风险状态,用Greve等建立的公式[9]分层计算受试者ePWV。具体算法如下:无心血管危险因素的健康对照组:  $ePWV = 4.62 - 0.13 \times \text{age} + 0.0018 \times \text{age} \times \text{age} + 0.0006 \times \text{age} \times \text{MBP} + 0.0284 \times \text{MBP}$ ; 存在心血管危险因素的组:  $ePWV = 9.587 - 0.402 \times \text{age} + 4.560 \times 0.001 \times \text{age} \times \text{age} - 2.621 \times 0.00001 \times \text{age} \times \text{age} \times \text{MBP} + 3.176 \times 0.001 \times \text{age} \times \text{MBP} - 1.832 \times 0.01 \times \text{MBP}$ 。

根据简化公式  $Ea/Ees = ESV/SV$  [14]算取Ea/Ees,其中ESV代表左心室收缩末期容积(end-systolic volume),SV代表每搏输出量(stroke volume)。用ePWV与LVGLS的比值来评估受试者的VAC。

### 2.3. 统计学方法

本研究使用SPSS 26.0统计软件和GraphPad Prism 10软件进行数据分析。

符合正态分布的计量资料用平均值 $\pm$ 标准差(Mean $\pm$ SD)表示,非正态分布的计量资料用中位数和四分位距(IQR)描述。对正态分布的计量资料用ANOVA检验进行组间差异性检验或Welch检验(方差不齐时)进行组间差异性检验,用非参数秩检验(Kruskal-Wallis检验)分析偏态分布的计量资料组间差异。用Spearman相关性分析来评估各项指标之间的潜在联系。计数资料用频数(%)描述。计数资料组间比较采用卡方检验。通过受试者工作特征曲线(the receiver operating characteristic, ROC)来描述Ea/Ees比值和

ePWV/LVGLS 比值对 HF 的诊断效能, 通过计算曲线下面积(the area under the curve, AUC)评估各项指标诊断准确性, 用约登指数(敏感性 + 特异性 - 1)确定以上指标的最佳截断值。所有统计分析中  $P < 0.05$  时差异具有统计学意义, 所有 P 值均使用 Bonferroni 进行校正。采用 GraphPad Prism 10 软件绘制散点图和 ROC 曲线等。随机选取 40 例窦性心律的受试者使用组内相关系数(ICC)进行数据重复性分析。ICCs 是基于单一评分、一致性、双向混合效应模型进行可重复性验证的。

### 3. 结果

#### 3.1. 基线特征

**Table 1.** Baseline characteristics of each group of patients

**表 1.** 各组患者基线特征

	1 健康对照组(n = 30)	2 pre-HF 组(n = 38)	3 HFpEF 组(n = 35)	4 HFrEF 组(n = 30)
性别, 女(%)	19 (63.3)	15 (39.5)	19 (54.3)	13 (43.3)
年龄(岁)	67.50 (56.75, 73.00)	72.00 (66.00, 79.25)	78.00 (71.00, 84.00)	75.50 (69.00, 81.25)
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.99 (20.18, 23.73)	23.25 (20.60, 24.66)	22.58 (19.97, 26.00)	20.45 (18.40, 23.34)
MBP (mmHg)	94.23 ± 6.94	100.97 ± 13.48	99.22 ± 14.39	93.69 ± 15.75
NT-proBNP (pg/ml)	98 (66, 158)	355 (125, 947)	2464 (1485, 4617)	6923 (2183, 13452)
IVSTd (mm)	9.0 (8.8, 10.0)	10.0 (10.0, 11.0)	11.0 (10.0, 12.0)	9.5 (8.0, 11.0)
PWTd (mm)	9.0 (8.0, 9.0)	10.0 (9.0, 10.0)	10.0 (9.0, 10.0)	9.0 (8.0, 10.0)
LVDd (mm)	43.47 ± 4.01	44.68 ± 4.91	49.69 ± 7.64	60.40 ± 7.83
LVDs (mm)	26.00 (24.00, 28.00)	27.00 (24.00, 29.25)	32.00 (29.00, 38.00)	48.00 (41.00, 54.50)
LVEDV (mL)	64.95 (53.48, 80.20)	70.35 (54.85, 86.18)	88.41 (66.22, 114.38)	153.50 (112.00, 179.50)
LVESV (mL)	21.80 (16.40, 27.43)	28.37 (18.45, 39.63)	41.95 (32.10, 53.50)	95.59 (69.85, 133.00)
E/e'	7.90 (6.73, 9.40)	10.00 (8.00, 12.00)	14.00 (10.00, 16.00)	14.00 (11.00, 18.35)
SV (mL)	42.80 (34.98, 51.90)	42.14 (31.18, 50.10)	44.99 (33.95, 60.24)	51.35 (39.91, 57.73)
LVEF (%)	67.25 (61.73, 71.23)	62.40 (56.60, 67.65)	52.70 (51.40, 56.00)	33.50 (30.08, 40.00)
LVGLS (%)	-19.25 (-20.53, -18.18)	-17.95 (-18.53, -16.85)	-12.50 (-13.90, -11.40)	-8.05 (-9.98, -6.65)
ePWV (m/s)	10.23 (8.96, 11.70)	11.74 (10.67, 13.07)	13.09 (11.54, 14.14)	11.82 (10.89, 13.41)
Ea/Ees	0.53 (0.45, 0.62)	0.67 (0.50, 0.82)	0.90 (0.81, 0.95)	1.99 (1.52, 2.69)
ePWV/LVGLS	-0.53 ± 0.10	-0.70 ± 0.12	-1.00 ± 0.22	-1.51 ± 0.39

注: pre-HF, 心衰前期; HFpEF, 射血分数保留的心衰; HFrEF, 射血分数减低的心衰; BMI, 体重指数; MBP, 平均动脉压; NT-proBNP, 氨基末端利钠肽前体; IVSTd, 舒张末期室间隔厚度; PWTd, 舒张末期后壁厚度; LVDd, 左室舒张末期内径; LVDs, 左室收缩末期内径; LVEDV, 左室舒张末期容积; LVESV, 左室收缩末期容积; E/e', 舒张早期二尖瓣环间隔侧及侧壁侧平均速度的比值; SV, 每搏量; LVEF, 左室射血分数; LVGLS, 左室整体纵向长轴应变; ePWV, 估计脉搏波速度; Ea, 主动脉弹性; Ees, 心室收缩末期弹性。

各组患者的基线特征详见表 1, 各指标组间差异详见表 2。四组间的性别、体重指数及平均动脉压均无显著差异, 年龄及 NT-proBNP 的差异则有统计学意义。四组间的舒张末期室间隔厚度、舒张末期后壁厚度、左心室舒张末期内径、左心室收缩末期内径、舒张早期二尖瓣环间隔侧及侧壁侧平均速度的比值(E/e')、左心室舒张末期容积、左心室收缩末期容积、左室射血分数(Left ventricular ejection fraction, LVEF)、LVGLS、ePWV、Ea/Ees 及 ePWV/LVGLS 均有显著统计学差异。

**Table 2.** Differences in patient parameters between groups  
**表 2.** 各患者指标组间差异

	P 值	1v2	1v3	1v4	2v3	2v4	3v4
性别, 女(%)	0.203						
年龄(岁)	<0.001	0.066	<0.001	<0.001	0.207	0.938	1
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	0.122						
MBP (mmHg)	0.058						
NT-proBNP (pg/ml)	<0.001	0.029	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.411
IVSTd (mm)	<0.001	<0.001	<0.001	0.661	0.568	0.167	<0.001
PWTd (mm)	<0.001	0.002	<0.001	0.113	1	1	1
LVDd (mm)	<0.001	1	<0.001	<0.001	0.006	<0.001	<0.001
LVDs (mm)	<0.001	1	<0.001	<0.001	0.005	<0.001	<0.001
LVEDV (mL)	<0.001	1	0.011	<0.001	0.135	<0.001	<0.001
LVESV (mL)	<0.001	0.493	<0.001	<0.001	0.049	<0.001	<0.001
E/e'	<0.001	0.079	<0.001	<0.001	0.008	<0.001	1
SV (mL)	0.061						
LVEF (%)	<0.001	0.485	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001
LVGLS (%)	<0.001	0.042	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.003
ePWV (m/s)	<0.001	0.006	<0.001	0.004	0.464	1	1
Ea/Ees	<0.001	0.232	<0.001	<0.001	0.027	<0.001	<0.001
ePWV/LVGLS	<0.001	0.016	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注: P 值是经过 Bonferroni 校正后的值。P 值 < 0.05 被认为差异具有统计学意义。P 值, 四组患者各指标组间差异性检验; 1v2, 对照组和 pre-HF 组组间差异; 1v3, 对照组和 HFpEF 组组间差异; 1v4, 对照组和 HFrEF 组组间差异; 2v3, pre-HF 组和 HFpEF 组组间差异; 2v4, pre-HF 组和 HFrEF 组组间差异; 3v4, pre-HF 组和 HFrEF 组组间差异。

### 3.2. ePWV/LVGLS: 与 LVEF 等传统指标的相关性及可重复性

通过 Spearman 相关性分析研究 ePWV/LVGLS 与 NT-proBNP、LVEF、LVGLS 和 Ea/Ees 之间的相关性(图 1)。结果表明 ePWV/LVGLS 与传统心功能指标均呈强线性相关。其中, Ea/Ees 与 ePWV/LVGLS 呈强负相关, Ea/Ees 越高 ePWV/LVGLS 越低, 无论是过高的 Ea/Ees 还是过低的 ePWV/LVGLS 都表明心室与动脉已处于解耦联状态。无创评估 VAC 的指标 ePWV/LVGLS 的最佳截断值为-0.645 (表 3), AUC = 0.953, 远高于 Ea/Ees (图 2), 同时具有高灵敏性和特异性。

**Table 3.** Diagnostic performance of VAC parameters for heart failure  
**表 3.** VAC 指标对心衰的诊断效能

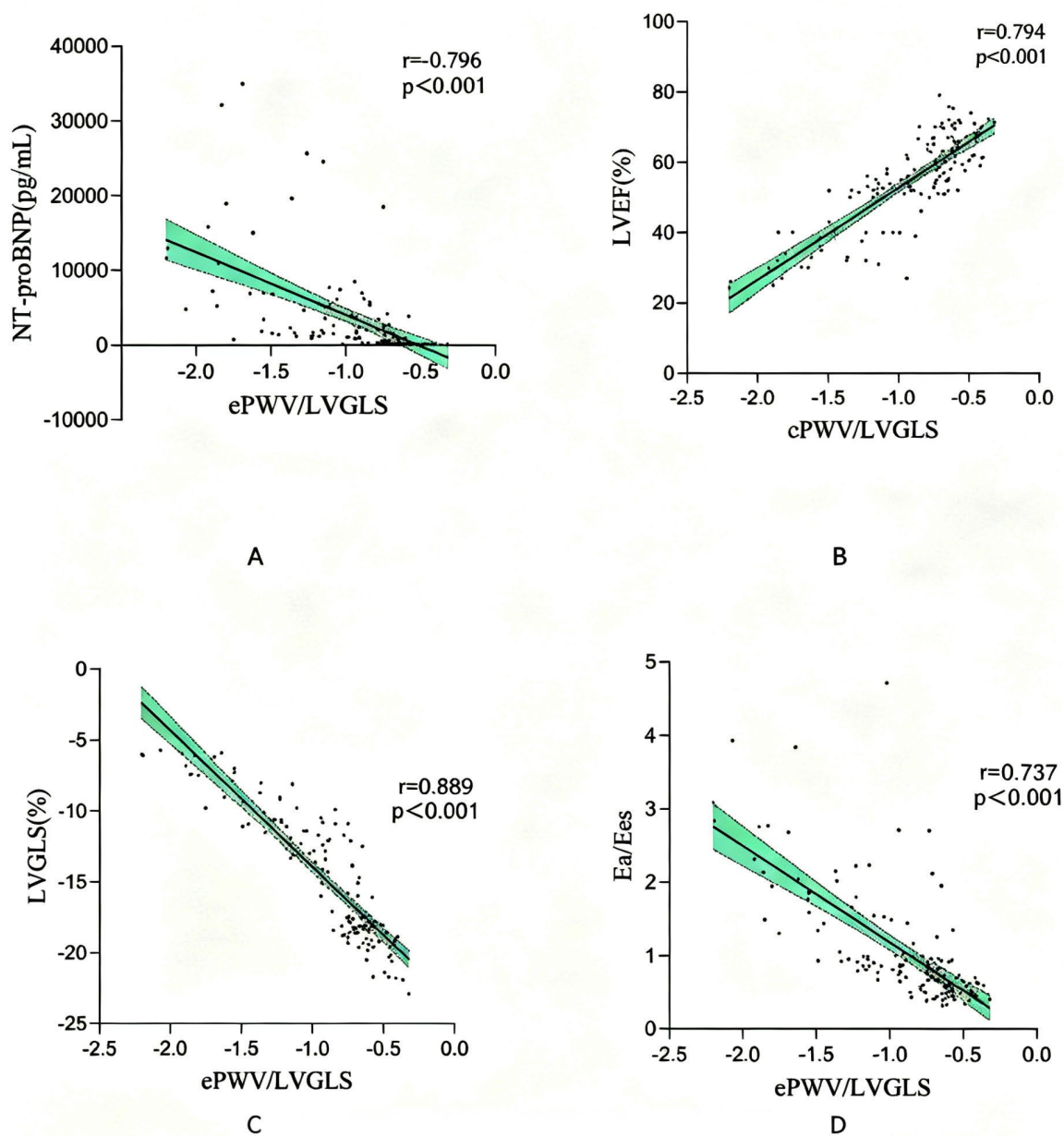
指标	AUC	95% CI	P 值	敏感性(%)	特异性(%)	最佳截断值
Ea/Ees	0.856	0.788-0.923	<0.001	0.728	0.967	0.735
ePWV/LVGLS	0.953	0.916-0.990	<0.001	0.893	0.933	-0.645

注: P 值均经过 Bonferroni 校正。Optimal threshold, 最佳截断值。

为进一步证实 ePWV/LVGLS 的临床应用价值, 通过双向混合模型的 ICCs 进行数据可重复性分析。

最终结果如表 4 显示，三种评价心功能指标的可重复性均较高，ePWV/LVGLS 的可重复性在三者之中最高。

### 4. 讨论



**Figure 1.** Scatter plots showing the correlation of the ePWV/LVGLS ratio with A) NT-proBNP, B) LVEF, C) LVGLS and D) Ea/Ees ratio

**图 1.** ePWV/LVGLS 与 A) NT-proBNP, B) LVEF, C) LVGLS 和 D) Ea/Ees 比值的相关性散点图

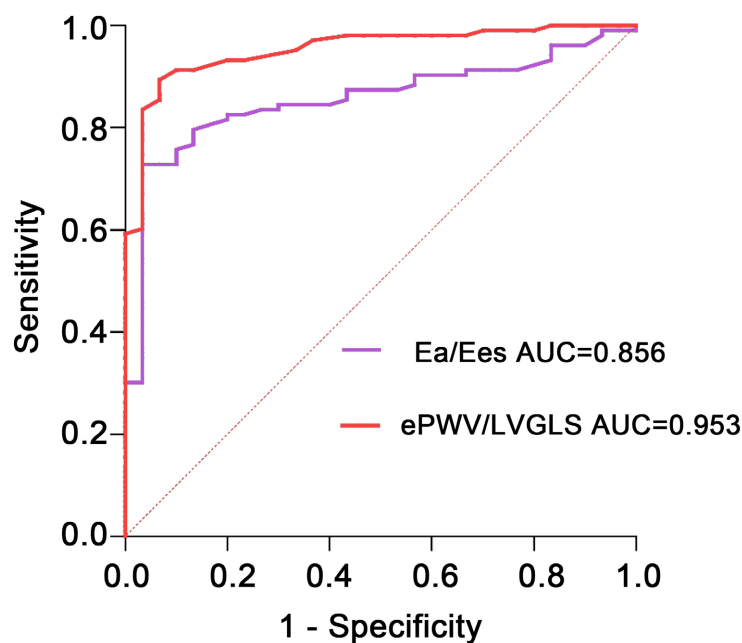
VAC 描述了心室和动脉之间的动态相互作用关系，常用 Ea/Ees 来描述，最佳范围为 0.3~1.3 [5]。由于 Ea/Ees 与 LVEF 密切相关，LVEF 保持正常的心衰前期患者的 Ea/Ees 也在正常范围内，故而无法通过

Ea/Ees 区分心衰前期患者和健康人群。本研究结果提示,心衰前期患者与对照组的 LVEF 和 Ea/Ees 的差异均无统计学意义,因此亟需更加敏感的指标来评估心衰前期患者的 VAC。

**Table 4.** Reproducibility analysis of left ventricular function parameters based on the intraclass correlation coefficient (ICC)  
**表 4.** 左室功能指标基于 ICC 的可重复性分析

Parameter	Intraobserver ICC	Interobserver ICC	P-Value
LVGLS	0.996	0.958	<0.001
ePWV/LVGLS	0.996	0.978	<0.001

GLS 由于角度依赖性小,可重复性好,敏感性高[15],评估亚临床收缩功能减低及诊断诸多心血管疾病时优于 LVEF [2],已被心衰指南纳入为诊断指标。本研究结果显示,心衰前期和 HFpEF、HFrEF 患者的 LVGLS 均较低,这提示,虽然心衰前期患者和 HFpEF 患者的 EF 正常,但他们的心肌收缩功能已经降低。这与既往研究一致,GLS 可以在没有心肌肥厚或左室重构的情况下早期识别左室功能障碍[2]。心肌收缩功能下降导致泵血能力降低,从而导致心力衰竭进展到晚期阶段[15] [16]。



**Figure 2.** ROC curves of Ea/Ees ratio and ePWV/LVGLS ratio for the detection of HF  
**图 2.** Ea/Ees 比值和 ePWV/LVGLS 比值检测 HF 的诊断性能 ROC 曲线

cf-PWV 是评估动脉僵硬度[17]的金标准,但因测量复杂而临床应用受限。ePWV 已被证实是评价动脉僵硬度的可靠指标,且与金标准 cf-PWV 高度相关[18]。Po-Chao 等人还证实了高 ePWV 与心血管及整体死亡率增加相关[18],此外, ePWV 还是心血管和总体死亡率的独立预测指标[9] [19]。在本研究中,健康人群的 ePWV 明显低于心衰前期患者和心衰患者,提示 HF 前期患者和 HF 患者血管僵硬度增加。但心衰前期患者与心衰患者间的 ePWV 并未观察到明显差异,这可能与样本量有限有关。

因此本研究采用 ePWV/GLS 无创评估心衰患者的 VAC,以期早期识别心衰患者尤其是心衰前期患者的心血管功能病变。研究结果显示,心衰前期患者的 ePWV/GLS 明显低于健康人群,明显高于心衰患者;且 HFpEF 患者与 HFrEF 患者间的 ePWV/GLS 存在显著差异。这提示 ePWV/GLS 不仅可以对不同心

衰亚型做出有效区分,还可以早期识别心衰前期患者的心室动脉解耦联。此外,研究还发现 ePWV/GLS 与 LVEF、LVGLS 及 Ea/Ees 等传统心功能指标密切相关。同时通过 ROC 曲线得知, ePWV/GLS 敏感性高于 Ea/Ees,特异性也较高,且诊断效能明显优于 Ea/Ees。这进一步证实了 ePWV/GLS 无创评估 VAC 和早期筛查出心衰前期患者的可行性。

虽然指南已经明确了对心衰前期患者的治疗方案,但仍需进一步研究其发病机制,从而实现于心衰前期患者的早期、全面管理。新诊断的高血压和糖尿病患者已经存在心肌功能障碍和血管僵硬增加,如果不及时治疗,最终就会进展为心衰晚期[14]。为了延缓心衰前期患者的疾病进展、改善预后,需在心衰前期就及时展开治疗。有研究证实,降压治疗可以改善高血压患者的 VAC、动脉僵硬度和左室功能,其中,血管紧张素转换酶(ACE)抑制剂(ACEI)、血管紧张素 II 受体阻滞剂(ARBs)和二氢吡啶类钙通道拮抗剂对 Ea/Ees 的改善效果最佳[20],且 Ea/Ees 的改善与左室功能和左室肥厚的改善有关[21]。对于 2 型糖尿病患者而言,经过胰高血糖素样肽-1 (GLP-1)治疗后 PWV 和 LVGLS 的改善程度优于二甲双胍治疗,且 PWV 的改善与 LVGLS 的改善息息相关[22]。因此 VAC 可以为 pre-HF 患者的诊断、治疗和预后提供靶点。

目前, ePWV 获取简便, GLS 已成为常规超声心动图参数,无需额外的设备或复杂的程序,即可通过 ePWV/GLS 评估对受试者的 VAC。因此,通过无创评估 VAC 方法筛查心衰前期患者在临床实践中是完全可行的。

本研究局限性:首先,本研究纳入的 pre-HF 组患者局限于高血压、糖尿病人群,研究对象具有一定局限性,且样本量过小,可能影响 ePWV/GLS 的分布特征和诊断阈值,作为单中心研究,可能会限制结论的外推。此外,对于房颤(AF)患者,在超声心动图检查时仅取三搏平均,因此房颤对数据质量的影响难以评估。仅研究整体心肌应变,未进一步研究区域性心肌应变,而区域性应变可用于识别具体病变血管。未对心衰前期患者和心衰患者的人口学及临床特征如降压药、降糖药等药物使用情况进行详细描述及研究,难以明确其对研究结果的潜在影响;未进一步探讨心衰前期患者的危险因素如高血压、高血糖等与 VAC 之间的关系,未来需展开多中心研究,扩大样本量,进一步探讨血压、血糖以及药物治疗等因素对 VAC 的影响,以便对心衰前期患者予以个体化治疗方案。

## 5. 结论

ePWV/GLS 作为无创评估心血管功能的新方法,与 LVEF 等传统指标密切相关,且敏感性更高,不仅可以根据心室-动脉解耦联程度区分不同心衰亚型,还可以早期筛查出心衰前期患者。

## 声明

本研究已获得重庆璧山区人民医院伦理委员会的批准(批号: cqbykyll-20240918-11),所有受试者均签署了知情同意书。

## 基金项目

本项目得到基于无创评价心室-动脉耦联技术识别社区慢性病患者心衰前期的应用研究(BYKY-DS2024011)科研项目的支持。

## 参考文献

- [1] Heidenreich, P.A., Bozkurt, B., Aguilar, D., Allen, L.A., Byun, J.J., Colvin, M.M., *et al.* (2022) 2022 AHA/ACC/HFSA Guideline for the Management of Heart Failure: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, **145**, e895-e1032. <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000001063>

- [2] Voigt, J.U. and Cvijic, M. (2019) 2- and 3-Dimensional Myocardial Strain in Cardiac Health and Disease. *JACC: Cardiovascular Imaging*, **12**, 1849-1863. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.01.044>
- [3] Chirinos, J.A., Phan, T.S., Syed, A.A., Hashmath, Z., Oldland, H.G., Koppula, M.R., *et al.* (2017) Late Systolic Myocardial Loading Is Associated with Left Atrial Dysfunction in Hypertension. *Circulation: Cardiovascular Imaging*, **10**, e006023. <https://doi.org/10.1161/circimaging.116.006023>
- [4] DeVore, A.D., McNulty, S., Alenezi, F., Ersboll, M., Vader, J.M., Oh, J.K., *et al.* (2017) Impaired Left Ventricular Global Longitudinal Strain in Patients with Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: Insights from the RELAX Trial. *European Journal of Heart Failure*, **19**, 893-900. <https://doi.org/10.1002/ejhf.754>
- [5] Chirinos, J.A. (2013) Ventricular-Arterial Coupling: Invasive and Non-Invasive Assessment. *Artery Research*, **7**, Article 2. <https://doi.org/10.1016/j.artres.2012.12.002>
- [6] Monge García, M.I. and Santos, A. (2020) Understanding Ventriculo-Arterial Coupling. *Annals of Translational Medicine*, **8**, Article 795. <https://doi.org/10.21037/atm.2020.04.10>
- [7] Chen, C., Fetics, B., Nevo, E., Rochitte, C.E., Chiou, K., Ding, P., *et al.* (2001) Noninvasive Single-Beat Determination of Left Ventricular End-Systolic Elastance in Humans. *Journal of the American College of Cardiology*, **38**, 2028-2034. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(01\)01651-5](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(01)01651-5)
- [8] Ikonomidis, I., Katsanos, S., Triantafyllidi, H., Parissis, J., Tzortzis, S., Pavlidis, G., *et al.* (2019) Pulse Wave Velocity to Global Longitudinal Strain Ratio in Hypertension. *European Journal of Clinical Investigation*, **49**, e13049. <https://doi.org/10.1111/eci.13049>
- [9] Greve, S.V., Blicher, M.K., Kruger, R., Sehestedt, T., Gram-Kampmann, E., Rasmussen, S., *et al.* (2016) Estimated Carotid-Femoral Pulse Wave Velocity Has Similar Predictive Value as Measured Carotid-Femoral Pulse Wave Velocity. *Journal of Hypertension*, **34**, 1279-1289. <https://doi.org/10.1097/hjh.0000000000000935>
- [10] Mancia, G., Kreutz, R., Brunström, M., Burnier, M., Grassi, G., Januszewicz, A., *et al.* (2023) 2023 ESH Guidelines for the Management of Arterial Hypertension the Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension: Endorsed by the International Society of Hypertension (ISH) and the European Renal Association (ERA). *Journal of Hypertension*, **41**, 1874-2071. <https://doi.org/10.1097/hjh.0000000000003480>
- [11] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2024) Introduction and Methodology: Standards of Care in Diabetes-2024. *Diabetes Care*, **47**, S1-S4.
- [12] Lang, R.M., Badano, L.P., Avi, V.M., *et al.* (2015) Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *European Heart Journal—Cardiovascular Imaging*, **17**, 1-53.
- [13] 中国医师协会超声医师分会心脏超声专业委员会, 舒先红. 二维斑点追踪超声心动图心肌纵向应变规范化检查中国专家共识(2023版) [J]. *中华超声影像学杂志*, 2023, 32(4): 277-287.
- [14] Ikonomidis, I., Aboyans, V., Blacher, J., Brodmann, M., Brutsaert, D.L., Chirinos, J.A., *et al.* (2019) The Role of Ventricular-Arterial Coupling in Cardiac Disease and Heart Failure: Assessment, Clinical Implications and Therapeutic Interventions. A Consensus Document of the European Society of Cardiology Working Group on Aorta & Peripheral Vascular Diseases, European Association of Cardiovascular Imaging, and Heart Failure Association. *European Journal of Heart Failure*, **21**, 402-424. <https://doi.org/10.1002/ejhf.1436>
- [15] Singh, R.B., Sozzi, F.B., Fedacko, J., Hristova, K., Fatima, G., Pella, D., *et al.* (2022) Pre-Heart Failure at 2D- and 3D-Speckle Tracking Echocardiography: A Comprehensive Review. *Echocardiography*, **39**, 302-309. <https://doi.org/10.1111/echo.15284>
- [16] Muraru, D., Niero, A., Rodriguez-Zanella, H., Cherata, D. and Badano, L. (2018) Three-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography: Benefits and Limitations of Integrating Myocardial Mechanics with Three-Dimensional Imaging. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, **8**, 101-117. <https://doi.org/10.21037/cdt.2017.06.01>
- [17] Vlachopoulos, C., Xaplanteris, P., Aboyans, V., Brodmann, M., Cifková, R., Cosentino, F., *et al.* (2015) The Role of Vascular Biomarkers for Primary and Secondary Prevention. A Position Paper from the European Society of Cardiology Working Group on Peripheral Circulation: Endorsed by the Association for Research into Arterial Structure and Physiology (ARTERY) Society. *Atherosclerosis*, **241**, 507-532. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2015.05.007>
- [18] Hsu, P.C., Lee, W.H., Tsai, W.C., *et al.* (2021) Comparison between Estimated and Brachial-ankle Pulse Wave Velocity for Cardiovascular and Overall Mortality Prediction. *The Journal of Clinical Hypertension*, **23**, 106-113. <https://doi.org/10.1111/jch.14124>
- [19] Xue, R., Zhang, J., Zhen, Z., Liang, W., Li, Y., Zhang, L., *et al.* (2025) Estimated Pulse Wave Velocity Predicts Mortality in Patients with Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *Hellenic Journal of Cardiology*, **86**, 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.hjc.2024.05.013>
- [20] Lam, C.S.P., Shah, A.M., Borlaug, B.A., Cheng, S., Verma, A., Izzo, J., *et al.* (2013) Effect of Antihypertensive Therapy on Ventricular-Arterial Mechanics, Coupling, and Efficiency. *European Heart Journal*, **34**, 676-683.

<https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehs299>

- [21] Iakovou, I., Karpanou, E.A., Vyssoulis, G.P., Toutouzas, P.K. and Cokkinos, D.V. (2004) Assessment of Arterial Ventricular Coupling Changes in Patients under Therapy with Various Antihypertensive Agents by a Non-Invasive Echocardiographic Method. *International Journal of Cardiology*, **96**, 355-360. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2003.07.022>
- [22] Lambadiari, V., Pavlidis, G., Kousathana, F., Varoudi, M., Vlastos, D., Maratou, E., *et al.* (2018) Effects of 6-Month Treatment with the Glucagon Like Peptide-1 Analogue Liraglutide on Arterial Stiffness, Left Ventricular Myocardial Deformation and Oxidative Stress in Subjects with Newly Diagnosed Type 2 Diabetes. *Cardiovascular Diabetology*, **17**, Article No. 8. <https://doi.org/10.1186/s12933-017-0646-z>