

# 原发性高血压患者血清可溶性生长刺激表达基因2蛋白与早期心脏重构的相关性研究

包飞翔, 王萌\*, 王晓晨, 高峰, 方玉, 杨蕾

安徽医科大学第二附属医院心血管内科, 安徽 合肥

收稿日期: 2026年3月8日; 录用日期: 2026年4月2日; 发布日期: 2026年4月9日

## 摘要

目的: 探讨原发性高血压患者血清可溶性生长刺激表达基因2蛋白(sST2)与早期心脏重构的相关性。方法: 选取2023年9月至2024年7月于心血管内科就诊的原发性高血压患者153例, 根据超声心动图将病例分为两组: 左心房正常组、左心房增大组; 收集其临床资料并用ELISA法检测患者血清sST2水平, 比较两组血清sST2水平, Spearman法分析血清sST2与心脏重构指标的相关性(左心房前后径、舒张末期室间隔厚度、左心室舒张末期径、左心室收缩末期径)。结果: 左心房正常组106例, 左心房增大组47例, 左心房增大组较左心房正常组sST2水平显著升高( $15.71 \pm 8.80$  ng/ml vs  $12.47 \pm 6.34$  ng/ml,  $P = 0.026$ ); sST2水平与左心房前后径( $r = 0.199$ ,  $P = 0.014$ )、室间隔厚度( $r = 0.165$ ,  $P = 0.042$ )呈正相关, sST2水平与左心室舒张末期径、左心室收缩末期径、左心室舒张末期容积、左心室收缩末期容积、射血分数无显著相关性( $P > 0.05$ )。结论: 原发性高血压患者血清sST2水平与左心房前后径及室间隔厚度存在微弱正相关, 但未发现与其他左心室重构指标相关, 提示sST2可能主要反映早期向心性重构而非左心室腔扩大。

## 关键词

原发性高血压, 可溶性生长刺激表达基因2蛋白, 心脏重构, 左心房增大

## Study on the Correlation between Serum Soluble ST2 and Early Cardiac Remodeling in Patients with Essential Hypertension

Feixiang Bao, Meng Wang\*, Xiaochen Wang, Feng Gao, Yu Fang, Lei Yang

Department of Cardiology, The Second Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui

Received: March 8, 2026; accepted: April 2, 2026; published: April 9, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 包飞翔, 王萌, 王晓晨, 高峰, 方玉, 杨蕾. 原发性高血压患者血清可溶性生长刺激表达基因2蛋白与早期心脏重构的相关性研究[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 1877-1883. DOI: 10.12677/acm.2026.1641428

## Abstract

**Objective:** To investigate the association between serum soluble ST2 (sST2) levels and early cardiac remodeling in patients with essential hypertension. **Methods:** A total of 153 patients with essential hypertension admitted to the Department of Cardiology between September 2023 and July 2024 were enrolled. Based on echocardiographic findings, they were categorized into two groups: normal left atrium group and enlarged left atrium group. Clinical data were collected, and serum sST2 levels were measured using Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA). The sST2 levels were compared between the two groups, and Spearman's correlation analysis was employed to evaluate the relationship between sST2 levels and cardiac remodeling parameters, including left atrial anterior-posterior diameter, end-diastolic interventricular septal thickness, left ventricular end-diastolic diameter, and left ventricular end-systolic diameter. **Results:** A total of 153 patients with essential hypertension were included and categorized into two groups based on echocardiographic findings: the normal Left Atrium (LA) group (n = 106) and the enlarged LA group (n = 47). Serum soluble ST2 (sST2) level was significantly higher in the enlarged LA group than in the normal LA group ( $15.71 \pm 8.80$  ng/mL vs  $12.47 \pm 6.34$  ng/mL,  $P = 0.026$ ). Spearman correlation analysis revealed that sST2 level was positively correlated with left atrial anterior-posterior diameter ( $r = 0.199$ ,  $P = 0.014$ ) and interventricular septal thickness at end-diastole ( $r = 0.165$ ,  $P = 0.042$ ). In contrast, no significant correlations were observed between sST2 level and the following left ventricular parameters: end-diastolic diameter, end-systolic diameter, end-diastolic volume, end-systolic volume, or ejection fraction (all  $P > 0.05$ ). **Conclusion:** Serum sST2 level is weakly positively correlated with left atrial diameter and interventricular septal thickness in patients with essential hypertension, but not with other left ventricular remodeling indices, suggesting that sST2 may primarily reflect early concentric remodeling rather than left ventricular cavity dilatation.

## Keywords

Essential Hypertension, Serum Soluble ST2, Cardiac Remodeling, Enlarged Left Atrium

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

原发性高血压可导致心脏重构引起左心室肥厚、左心房增大、心肌纤维化、心脏舒张/收缩功能障碍, 显著增加心力衰竭、恶性心律失常和心血管死亡风险[1]-[3]; 心脏重构是其核心病理生理机制, 准确评估心脏结构和功能变化对个性化管理意义重大[4]。左心房增大是高血压心脏重构早期敏感的结构改变, 发生早于左心室肥厚[5]。血清可溶性生长刺激表达基因 2 蛋白(sST2)是新型的心肌应激及纤维化标志物, 在心力衰竭、冠心病等心血管疾病中表现出良好的风险预测及预后评估价值。慢性心力衰竭患者的血清 sST2 水平随纽约心脏学会心功能分级升高而升高, 且与主要不良心血管事件风险密切相关[6]。血清 sST2 可协助判断冠状动脉粥样硬化斑块稳定性及复杂程度[7]。sST2 在高血压心脏重构中的作用研究仍较少, 本研究探讨原发性高血压患者血清可溶性 ST2 与早期心脏重构的相关性。

## 2. 资料和方法

### 2.1. 研究对象

选取安徽医科大学第二附属医院 2023 年 9 月至 2024 年 7 月于心血管内科就诊的原发性高血压患者

153 例, 均符合 2023 ESH 动脉性高血压管理指南的高血压诊断标准[8]。其中男性 106 例(占 69%), 女性 47 例(占 31%), 年龄  $48.2 \pm 13.5$  岁。排除标准: (1) 继发性高血压; (2) 有急性心力衰竭(射血分数(EF) < 50%)、急性冠状动脉综合征、既往心肌梗死者; (3) 存在心肌炎、心肌病、瓣膜性心脏病、先天性心脏病、心包疾病或肺动脉高压者; (4) 合并感染、慢性阻塞性肺疾病、严重肝功能减退、肾功能不全(肾小球滤过率(eGFR)估测 < 30 ml/min/1.73m<sup>2</sup>); (5) 存在免疫性疾病、恶性肿瘤、甲状腺疾病、贫血等。

## 2.2. sST2 检测

采上午空腹患者肘部静脉血 5 ml, 血样在 4℃ 条件下静置 1 小时, 随后 1000 g 离心 15 分钟, 分离血清, -80℃ 保存; 采用 ELISA 试剂盒检测 sST2 水平, 血 sST2 正常范围 < 35 ng/ml [9]。

## 2.3. 超声心动图检查

患者平卧位或左侧卧位, 使用西门子 SC2000 超声心动图仪, 探头频率为 2~4 MHz, 观察心脏各个切面, 用 M 型超声心动图测量心脏结构指标: 左心房前后径(LAD)、舒张末期室间隔厚度(IVSD)、左心室舒张末期内径(LVDD)、左心室收缩末期内径(LVDS)、左心室舒张末期容积(LVEDV)、左心室收缩末期容积(LVESD)、射血分数(LVEF)。

## 2.4. 实验分组

根据心脏超声检查测得左心房前后径大小, 并进行分组。(1) 左心房增大组: 男性 LAD  $\geq 40$  mm 或女性 LAD  $\geq 38$  mm; (2) 左心房正常组: 男性 LAD < 40 mm 或女性 LAD < 38 mm [10]。

## 2.5. 统计学方法

使用 SPSS27.0 软件进行统计学分析。计量资料采用正态性检验, 符合正态分布的计量数据以均数  $\pm$  标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示, 计数资料以 n(%)表示, 并进行 Shapiro-Wilk 检验(若  $P > 0.05$ , 使用独立样本 t 检验; 若  $P \leq 0.05$ , 使用 Mann-Whitney U 检验), 两因素之间相关性采用 Spearman 线性相关分析(非正态分布)。  $P < 0.05$ , 表示差异有统计学意义。

## 3. 结果

### 3.1. 一般临床资料的比较

与左心房正常组相比, 左心房增大组的年龄、收缩压比左心房正常组大, 差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ), 而两组患者的性别、身高、体重、BMI、心率、舒张压等无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表 1。

### 3.2. 心脏超声的比较

与左心房正常组相比, 左心房增大组 LAD、IVSD、LVDD、LVDS、LVEDV、LVESV 指标均显著增加( $P < 0.05$ ); 左心房增大组的 LVEF 偏低( $P < 0.05$ )。见表 2。

### 3.3. 血清 sST2 的比较

与左心房正常组相比, 左房增大组的 sST2 水平显著升高( $15.71 \pm 8.80$  ng/ml vs  $12.47 \pm 6.34$  ng/ml,  $P = 0.026$ )。见表 2。

### 3.4. 血清 sST2 与心脏重构指标的相关性分析

原发性高血压患者血清 sST2 水平与左心房前后径( $r = 0.199$ ,  $P = 0.014$ )、室间隔厚度( $r = 0.165$ ,  $P = 0.042$ )呈正相关, sST2 水平与 LVDD ( $r = 0.031$ ,  $P = 0.706$ )、LVDS ( $r = 0.004$ ,  $P = 0.957$ )、LVEDV ( $r = 0.022$ ,

$P = 0.788$ )、LVESV ( $r = 0.070$ ,  $P = 0.390$ )、LVEF ( $r = 0.011$ ,  $P = 0.891$ )无明显相关性。见表 3、图 1 和图 2。

**Table 1.** Comparison of general clinical data between the two groups

**表 1.** 两组一般临床资料的比较

组别	男性(n%)	身高(cm)	体重(kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	年龄(岁)	心率(次/分)	收缩压(mmHg)	舒张压(mmHg)
正常组	76 (71.7%)	169.8 ± 8.2	76.8 ± 11.0	26.5 ± 2.6	48.2 ± 13.5	79.1 ± 12.9	151.9 ± 19.1	98.5 ± 15.8
增大组	28 (59.6%)	167.1 ± 9.0	75.5 ± 13.4	26.9 ± 3.1	53.7 ± 16.0	76.4 ± 11.2	158.8 ± 15.2	96.8 ± 17.4
t/Z 值	-1.478	-1.792	-1.025	-0.332	2.033	-1.049	-2.103	-0.568
P 值	0.139	0.073	0.305	0.74	0.031	0.294	0.035	0.571

**Table 2.** Comparison of sST2 levels and echocardiographic parameters between the two groups

**表 2.** 两组患者 sST2 及心脏超声的比较

组别	例数	sST2 (ng/ml)	LAD (mm)	IVSD (mm)	LVDD (mm)	LVDS (mm)	LVEDV (ml)	LVESV (ml)	LVEF (%)
正常组	106	12.47 ± 6.34	33.54 ± 2.91	8.58 ± 0.96	45.93 ± 3.60	29.64 ± 2.52	98.37 ± 18.27	34.54 ± 7.47	63.15 ± 3.20
增大组	47	15.71 ± 8.80	41.30 ± 2.23	9.96 ± 1.04	48.13 ± 4.84	33.02 ± 8.17	107.68 ± 21.96	41.00 ± 8.34	64.81 ± 4.10
t/Z 值		2.577	-9.759	-6.858	-3.682	-4.42	-3.169	-4.819	-2.739
P 值		0.026	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.02	<0.001	0.006

注: sST2 为可溶性生长刺激表达基因 2 蛋白、LAD 为左心房前后径、IVSD 为舒张末期室间隔厚度、LVDD 为左心室舒张末期内径、LVDS 为左心室收缩末期内径、LVEDV 为左心室舒张末期容积、LVESV 为左心室收缩末期容积、LVEF 为射血分数。

**Table 3.** Spearman correlation analysis between serum sST2 levels and cardiac structure in patients with essential hypertension (n = 153)

**表 3.** 原发性高血压患者血清 sST2 与心脏结构的 Spearman 相关性分析(n = 153)

统计值	LAD	IVSD	LVDD	LVDS	LVEDV	LVESV	LVEF
r 值	0.199	0.165	0.031	0.004	0.022	0.07	0.011
P 值	0.014	0.042	0.706	0.957	0.788	0.39	0.891

## 4. 讨论

左心房增大以及左心室肥厚属于高血压患者早期心脏重构的关键表现形式[3] [11]。左心房增大也与房性心律失常发生的风险存在着显著的关联[12]; 而室间隔增厚则是向心性左心室肥厚的重要标志[13]。左心房增大和左心室肥厚不单单是心脏功能下降的前兆, 可能是心力衰竭以及心房颤动等严重心血管事件发生过程当中极为重要的环节[5]。

sST2 属于白细胞介素-1 受体家族, 是 ST2 基因通过选择性剪接产生的分泌型蛋白异构体[14], 其特征是缺乏跨膜结构域和胞内结构域, 仅保留胞外免疫球蛋白样结构域, 可自由分泌至细胞外液(如血液)中[15], 在心肌受到机械牵张应力刺激时由心肌细胞和成纤维细胞释放[16]。Wei 等[9]研究表明, sST2 是左心室肥厚的独立危险因素, 其水平与左室质量指数呈正相关, 提示 sST2 与心脏重构密切相关。Farcaş

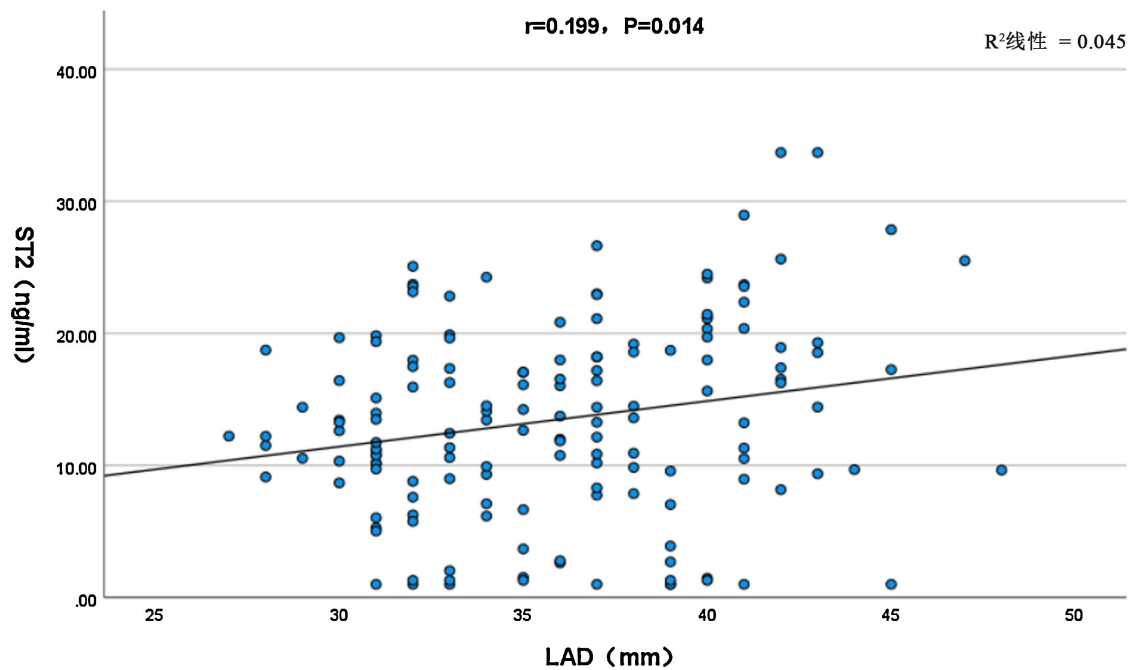


Figure 1. Scatter plot of the correlation between sST2 and LAD in the two groups

图 1. sST2 与两组患者 LAD 的相关性散点图

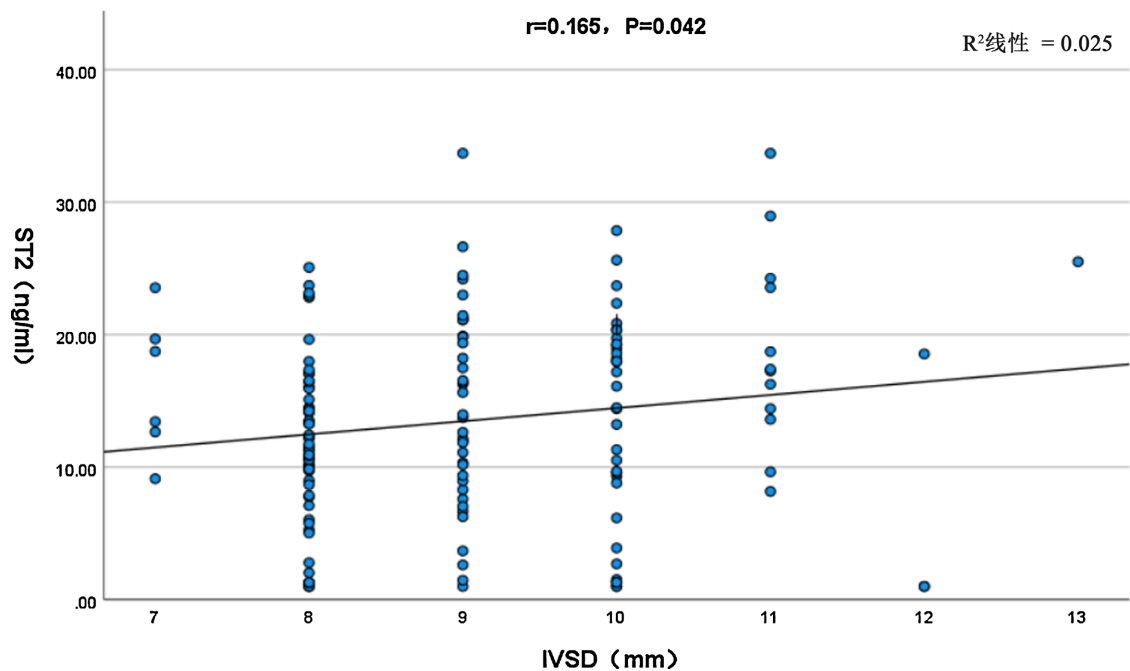


Figure 2. Scatter plot of the correlation between sST2 and IVSD in the two groups

图 2. sST2 与两组患者 IVSD 的相关性散点图

等[17]研究亦发现 sST2 能够反映高血压所驱动的心脏形态和功能的恶化过程。血 sST2 水平较高的患者，在随访期内发生主要心血管不良事件的风险显著增加[18]。

本研究结果表明，左心房增大组患者 sST2 水平显著高于左心房正常组，且 sST2 水平与左心房前后径及室间隔厚度存在微弱的正相关( $r$  值分别为 0.199 和 0.165)。然而，sST2 与左心室舒张末期内径、收

缩末期内径、容积及射血分数均无显著相关性。这一结果提示,在原发性高血压早期,sST2可能主要反映左心房增大和室间隔增厚这类向心性重构改变,而与左心室腔扩大的离心性重构无明显关联。这种选择性关联的可能机制如下:首先,左心房和室间隔对压力负荷更为敏感。高血压时左心室压力负荷增加,左心房为克服后负荷而代偿性扩张,同时室间隔作为左心室与右心室的分隔,也承受较大的室壁应力,这些区域心肌细胞和成纤维细胞在机械牵张下可能更早、更多地释放sST2 [19]。其次,sST2作为IL-33的诱饵受体,通过竞争性抑制IL-33/ST2L信号通路,削弱其抗纤维化和心肌保护作用,从而促进心肌纤维化和间质重塑[20]-[22]。左心房和室间隔的纤维化改变可能早于左心室腔的明显扩大,因此sST2与这些早期结构改变的相关性更为显著。第三,左心室腔扩大更多与容量负荷及神经体液激活(如肾素-血管紧张素-醛固酮系统)相关,而sST2可能并不直接参与心室腔扩大的病理过程。本研究对象为早期高血压患者,左心室腔尚未出现显著扩大,这也可能解释了sST2与左心室腔径无相关性的原因。阴性结果本身具有重要科学价值。它提示心脏重构的不同维度(如心房扩张、向心性肥厚、离心性肥厚)可能由不同的分子机制驱动,sST2作为心肌应力和纤维化标志物,更特异性地反映向心性重构和间质纤维化,而非心室腔扩大。这一发现有助于深化对sST2生物学意义的理解,并为未来研究sST2在不同类型心脏重构中的作用提供线索。此外,本研究中相关性虽显著但较弱( $r < 0.2$ ),表明sST2仅是影响心脏重构的众多因素之一,尚不能单独作为诊断指标,需结合其他临床信息综合评估。

本研究亦存在一定局限性。首先,单中心设计可能导致选择偏倚。其次,样本量不够大,可能增加II型错误风险。再次,本研究仅聚焦sST2与基础心脏结构参数的关联,有可能影响机制的全面阐释。

综上所述,原发性高血压患者血清sST2水平与左心房前后径及室间隔厚度呈微弱正相关,但与左心室腔大小及收缩功能无关,提示sST2可能主要参与早期向心性重构过程,而非离心性重构。sST2有望作为高血压患者早期心脏重构的辅助预测标志物,但需更多研究证实。

## 声 明

本研究经安徽医科大学第二附属医院伦理委员会审核批准(编号:YX2025-286)。

## 参考文献

- [1] Maeda, D., Dotare, T., Matsue, Y., Teramoto, K., Sunayama, T., Tromp, J., *et al.* (2023) Blood Pressure in Heart Failure Management and Prevention. *Hypertension Research*, **46**, 817-833. <https://doi.org/10.1038/s41440-022-01158-x>
- [2] Garg, P., Assadi, H., Jones, R., Chan, W.B., Metherall, P., Thomas, R., *et al.* (2021) Left Ventricular Fibrosis and Hypertrophy Are Associated with Mortality in Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 617. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79729-6>
- [3] Han, Y., Li, Y., Wu, Z., Pei, Y., Lu, S., Yu, H., *et al.* (2024) Progress in Diagnosis and Treatment of Hypertension Combined with Left Ventricular Hypertrophy. *Annals of Medicine*, **56**, Article ID: 2405080. <https://doi.org/10.1080/07853890.2024.2405080>
- [4] 王嘉怡, 曲艺, 张增磊, 等. 高血压性心脏病的诊断及治疗研究进展[J]. 中国分子心脏病学杂志, 2025, 25(2): 6753-6764.
- [5] Nemptsova, V., Burkard, T. and Vischer, A.S. (2023) Hypertensive Heart Disease: A Narrative Review Series—Part 2: Macrostructural and Functional Abnormalities. *Journal of Clinical Medicine*, **12**, Article 5723. <https://doi.org/10.3390/jcm12175723>
- [6] Aimo, A., Januzzi, J.L., Vergaro, G., Richards, A.M., Lam, C.S.P., Latini, R., *et al.* (2020) Circulating Levels and Prognostic Value of Soluble ST2 in Heart Failure Are Less Influenced by Age than N-Terminal Pro-B-Type Natriuretic Peptide and High-Sensitivity Troponin T. *European Journal of Heart Failure*, **22**, 2078-2088. <https://doi.org/10.1002/ejhf.1701>
- [7] Zhang, Y., Fan, Z., Liu, H., Ma, J. and Zhang, M. (2020) Correlation of Plasma Soluble Suppression of Tumorigenicity-2 Level with the Severity and Stability of Coronary Atherosclerosis. *Coronary Artery Disease*, **31**, 628-635. <https://doi.org/10.1097/mca.0000000000000851>
- [8] Paker, M., Pichkhadze, E., Miron, D., *et al.* (2023) Acute Otitis Media Bacteriology in Children Younger Than Three

- Months in the Last 16 Years. *Harefuah*, **162**, 598-604.
- [9] Wei, P., Liu, L., Wang, X., Zong, B., Liu, X., Zhang, M., *et al.* (2023) Expression of Soluble ST2 in Patients with Essential Hypertension and Its Relationship with Left Ventricular Hypertrophy. *ESC Heart Failure*, **10**, 303-310. <https://doi.org/10.1002/ehf2.14147>
- [10] 靳文英, 史歆然, 于超, 等. 依国人最新超声心动图数据判定左心房大小的方法学比较[J]. 中华超声影像学杂志, 2019, 28(1): 7-11.
- [11] Kockskämper, J. and Pluteanu, F. (2022) Left Atrial Myocardium in Arterial Hypertension. *Cells*, **11**, Article 3157. <https://doi.org/10.3390/cells11193157>
- [12] 贾慧敏, 关丽娜. 室间隔基底段心肌肥厚作为高血压早期重构影像学标志物的研究进展[J]. 影像研究与医学应用, 2025, 9(7): 17-19.
- [13] Huang, X., Hu, L., Long, Z., Wang, X., Wu, J. and Cai, J. (2024) Hypertensive Heart Disease: Mechanisms, Diagnosis and Treatment. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, **25**, Article No. 93. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2503093>
- [14] Chen, J., Xiao, P., Song, D., Song, D., Chen, Z. and Li, H. (2022) Growth Stimulation Expressed Gene 2 (ST2): Clinical Research and Application in the Cardiovascular Related Diseases. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **9**, Article 1007450. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.1007450>
- [15] Arnaldos-Carrillo, M., Noguera-Velasco, J.A., Martínez-Ardil, I.M., Riquelme-Pérez, A., Cebreiros-López, I., Hernández-Vicente, Á., *et al.* (2023) Value of Increased Soluble Suppressor Tumorigenicity Biomarker 2 (sST2) on Admission as an Indicator of Severity in Patients with Covid-19. *Medicina Clínica*, **161**, 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2023.04.005>
- [16] Chatterjee, A., Azevedo-Martins, J.M. and Stachler, M.D. (2023) Interleukin-33 as a Potential Therapeutic Target in Gastric Cancer Patients: Current Insights. *Oncotargets and Therapy*, **16**, 675-687. <https://doi.org/10.2147/ott.s389120>
- [17] Farçaş, A.D., Mocan, M., Anton, F.P., Diana, M.L., Chiorescu, R.M., Stoia, M.A., *et al.* (2020) Short-Term Prognosis Value of sST2 for an Unfavorable Outcome in Hypertensive Patients. *Disease Markers*, **2020**, Article ID: 8143737. <https://doi.org/10.1155/2020/8143737>
- [18] Gizatulina, T.P., Mamarina, A.V., Martyanova, L.U., Belonogov, D.V., Kolunin, G.V., Petelina, T.I., *et al.* (2024) The Soluble ST2 Level Predicts Risk of Atrial Fibrillation Recurrences in Long-Term Period after Radiofrequency Ablation. *BMC Cardiovascular Disorders*, **24**, Article No. 460. <https://doi.org/10.1186/s12872-024-04119-z>
- [19] Sciatti, E., Merlo, A., Scangiuzzi, C., Limonta, R., Gori, M., D'Elia, E., *et al.* (2023) Prognostic Value of sST2 in Heart Failure. *Journal of Clinical Medicine*, **12**, Article 3970. <https://doi.org/10.3390/jcm12123970>
- [20] Huang, Y., Lin, Y., Fu, M. and Zhang, W. (2025) Diagnostic Efficacy of Soluble ST2 in Pediatric Fulminant Myocarditis. *Frontiers in Pediatrics*, **13**, Article 1417341. <https://doi.org/10.3389/fped.2025.1417341>
- [21] Riccardi, M., Myhre, P.L., Zelniker, T.A., Metra, M., Januzzi, J.L. and Inciardi, R.M. (2023) Soluble ST2 in Heart Failure: A Clinical Role Beyond B-Type Natriuretic Peptide. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, **10**, Article 468. <https://doi.org/10.3390/jcdd10110468>
- [22] Zhu, Y., Pei, L., Li, N. and Zhu, Y. (2024) Preoperative sST2 Levels Relate to Myocardial Remodeling and Cardiac Function Improvement after Cardiac Valve Surgery. *ESC Heart Failure*, **11**, 91-98. <https://doi.org/10.1002/ehf2.14541>