·临床研究·

# 超声极速脉搏波联合血流参数对急性缺血性脑卒中预后的评估价值

谭蜀川* 程沁茹 陈世惠

（重庆大学附属三峡医院超声科，万州 404000）

**【摘要】 目的** 探讨颈动脉超声极速脉搏波（ultrafast pulse wave velocity, ufPWV）联合血流参数在急性缺血性脑卒中（acute ischemic stroke, AIS）患者预后评估中的价值。**方法** 选取医院2023年8月至2025年8月收治的AIS患者65例为研究对象，应用ufPWV评估患者颈动脉收缩期早期（beginning of systole, BS）和收缩期末期（end of systole, ES）脉搏波传导速度，联合内中膜厚度（intima-media thickness, IMT）、收缩期峰值血流速度（peak systolic velocity, PSV）、舒张末期血流速度（end diastolic velocity, EDV）等血流参数进行评估，并收集临床基线资料。根据预后情况将患者分为预后良好组和预后不良组，分析各指标对AIS诊断和预后预测的价值。**结果** 预后不良组患者的IMT、BS、ES、PSV和EDV均显著高于预后良好组（$P<0.05$），预后不良组的年龄、空腹血糖和入院时美国国立卫生研究院卒中量表（National Institute of Health stroke scale, NIHSS）评分均明显高于预后良好组（$P<0.05$）。多因素Logistic回归分析显示，空腹血糖、BS、ES、PSV及NIHSS评分的升高为预后不良的危险因素。使用ROC曲线分析BS、ES及PSV对AIS患者预后不良的预测价值，AUC值分别为0.767、0.810、0.641。三者联合检测预后不良的AUC值为0.885。**结论** ufPWV参数BS、ES及血流参数PSV是AIS预后不良的危险因素，对AIS的预后评估有一定价值。

**【关键词】** 急性缺血性脑卒中；超声极速脉搏波；动脉粥样硬化；预后

**【中图分类号】** R445.1 **【文献标识码】** A **【DOI】** 10.11876/mimt202601012

# Assessment value of ultrafast pulse wave velocity combined with hemodynamic parameters in the prognosis of acute ischemic stroke

*Tan Shuchuan*, Cheng Qinru, Chen Shihui*

*(Department of Ultrasound, Chongqing University Three Gorges Hospital, Wanzhou 404000, China)*

**【Abstract】 Objective** To investigate the value of ultrafast pulse wave velocity (ufPWV) combined with hemodynamic parameters in the prognostic assessment of patients with acute ischemic stroke (AIS). **Methods** A total of 65 patients with AIS admitted to our institution from August 2023 to August 2025 were enrolled as study subjects. The ufPWV technique was employed to assess the carotid artery pulse wave velocity during the beginning of systole (BS) and end of systole (ES). These measurements were combined with evaluations of intima-media thickness (IMT) and hemodynamic parameters, including peak systolic velocity (PSV) and end diastolic velocity (EDV). Clinical baseline data were also collected. Based on prognosis, the patients were categorized into a favorable prognosis group and a poor prognosis group. The value of each indicator in the diagnosis and prognostic prediction of AIS was analyzed. **Results** The IMT, BS, ES, PSV and EDV were significantly higher in the unfavorable prognosis group compared to the favorable prognosis group ($P<0.05$). Age, fasting blood glucose and National Institute of Health stroke scale (NIHSS) score at admission were also significantly higher in the unfavorable prognosis group ($P<0.05$). Multivariate logistic regression analysis revealed that elevated levels of fasting blood glucose, BS, ES, PSV, and NIHSS score were risk factors for poor prognosis. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was used to evaluate the predictive value of BS, ES and PSV

**基金项目：**重庆市万州区科卫联合医学科研项目（wzstc-kw2023033）

**第一作者：**谭蜀川，女，硕士研究生，主治医师，研究方向：超声诊断及治疗

for an unfavorable prognosis in AIS patients, with AUC values of 0.767, 0.810 and 0.641, respectively. The combined detection of these three parameters yielded an AUC of 0.885 for predicting an unfavorable prognosis. **Conclusion** The ufPWV parameters BS and ES, along with the hemodynamic parameter PSV are risk factors for poor prognosis in AIS and hold certain value in prognostic assessment of AIS.

【**Key words**】 Acute ischemic stroke; Ultrafast pulse wave velocity; Atherosclerosis; Prognosis

急性缺血性脑卒中（acute ischemic stroke, AIS）是最常见的脑卒中类型，作为一种急性神经功能缺损综合征，是导致成人死亡和残疾的主要原因[1]。伴随着人口结构老龄化和城市化水平的不断提升，脑卒中相关危险因素日益突出，我国卒中死亡率和残疾率仍处于较高水平[2]。颈动脉作为大脑供血的主要通路，其粥样硬化改变、斑块形成与脱落、血栓生成以及继发血管狭窄和血流动力学变化等问题[3]，与缺血性脑卒中的发生密切相关。超声极速脉搏波（ultrafast pulse wave velocity, ufPWV）技术整合了血管超声成像与脉搏波传导速度（pulse wave velocity, PWV）测量功能[4]，能定量评估颈动脉的硬化程度，并辅助评估颈脑动脉血供情况，为临床AIS的诊断及随访提供重要信息。本文旨在分析ufPWV参数及血流参数与AIS患者预后的相关性，以期为临床判断AIS预后提供一项新的量化依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 临床资料

选取重庆大学附属三峡医院2023年8月至2025年8月收治的AIS患者65例，其中预后良好34例，预后不良31例。纳入标准：①符合《中国急性缺血性卒中诊治指南2023》中AIS的诊断标准[1]；②年龄30～80岁；③经头颅MRI或CT确诊；④发病时间72 h内。排除标准：①合并心功能异常或风湿性心脏病等导致脉压增大疾病者；②心律失常；③合并感染；④危重患者；⑤ufPWV测量失败；⑥依从性差或随访失败。研究通过重庆大学附属三峡医院伦理委员会审批［2023年科研第（90）号］，患者和家属对本研究内容知情同意。

### 1.2 仪器与方法

颈动脉ufPWV检查使用法国声科Supersonic Imagine Aixplorer彩色多普勒超声诊断仪，使用SL15–4探头，由两位工作10年以上的主治医师进行检查。受试者平卧，充分暴露颈部，首先进行二维图像检查，沿长、短轴方向扫查双侧颈总动脉、颈内动脉、颈外动脉，同时观察有无粥样硬化斑块及管腔狭窄。于颈总动脉分叉下方1.0～1.5 cm处短轴切面测量后壁内中膜厚度（intima–media thickness, IMT）。应用彩色多普勒技术评估血流情况，同时测量颈内动脉收缩期峰值血流速度（peak systolic velocity, PSV）、舒张末期血流速度（end diastolic velocity, EDV）。于颈总动脉长轴进行僵硬度参数检测，嘱患者屏气5 s，图像稳定后系统自动测量收缩期早期（beginning of systole, BS）和收缩期末期（end of systole, ES）脉搏波传导速度，测量偏差范围（△ ± 值）由系统直接显示，小于相对应BS和ES的20%时有效，测量3次取平均值。

### 1.3 基线资料收集

通过查阅电子病历的方式收集临床资料，包括年龄、性别、体重指数（body mass index, BMI）、血压、血糖、血脂等。收集患者入院时美国国立卫生研究院卒中量表（National Institute of Health stroke scale, NIHSS）评分，评分越高，则病情越重。所有入组患者均采用抗血小板治疗，25例进行了静脉溶栓治疗，其中预后良好组16例，预后不良组9例。在患者治疗3个月后随访时使用改良Rankin量表（modified Rankin scale, mRS）评估预后：无症状记0分，可完成所有日常活动且症状轻微记1分，轻度残疾记2分，中重度残疾记3～5分，死亡记6分。评分>2分定义为预后不良，≤2分为预后良好[5]。

### 1.4 统计学方法

采用SPSS 27.0统计软件分析数据。对于计量资料，若符合正态分布，用$\bar{x} \pm s$表示，组间比较采用独立样本$t$检验；若不符合正态分布，用$M$（$Q_1$, $Q_3$）表示，组间比较采用Mann–Whitney $U$检验。计

数资料以$n$（%）表示，组间比较采用$\chi^2$检验。使用多因素Logistic回归分析探讨预后不良的危险因素。绘制受试者工作特征（receiver operating characteristic, ROC）曲线并计算曲线下面积（area under curve, AUC）分析各诊断指标的预测效能。以$P$<0.05为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 不同预后的ufPWV参数和血流参数比较

除IMT外，BS、ES、PSV和EDV均符合正态分布。预后不良组患者的IMT、BS、ES、PSV和EDV均显著高于预后良好组，差异均有统计学意义（$P$<0. 05），见表1。

**表1** 不同预后的ufPWV参数和血流参数比较

| 指标 | 预后良好组（$n$=34） | 预后不良组（$n$=31） | $Z/t$值 | $P$值 |
|---|---|---|---|---|
| IMT［mm, $M$（$Q_1$, $Q_3$）］ | 0.8（0.7, 1.1） | 1.0（0.8, 1.1） | –2.001[a] | 0.045 |
| BS（m/s, $\bar{x} \pm s$） | 7.88 ± 1.54 | 9.27 ± 1.26 | –3.947[b] | <0.001 |
| ES（m/s, $\bar{x} \pm s$） | 8.99 ± 1.05 | 10.54 ± 1.44 | –5.000[b] | <0.001 |
| PSV（cm/s, $\bar{x} \pm s$） | 97.09 ± 28.98 | 116.03 ± 37.59 | –2.263[b] | 0.027 |
| EDV（cm/s, $\bar{x} \pm s$） | 27.06 ± 9.48 | 35.00 ± 13.99 | –2.652[b] | 0.011 |

注：ufPWV为超声极速脉搏波；IMT为内中膜厚度；BS为收缩期早期脉搏波传导速度；ES为收缩期末期脉搏波传导速度；PSV为收缩期峰值血流速度；EDV为舒张末期血流速度；[a]为$Z$值；[b]为$t$值。

### 2.2 不同预后基线资料比较

对于基线资料中的计量资料，除空腹血糖和NIHSS评分不符合正态分布外，其余各参数均符合正态分布。预后不良组的年龄、空腹血糖和入院时NIHSS评分均明显高于预后良好组，差异有统计学意义（$P$<0.05），两组在抽烟史、饮酒史、粥样硬化斑块形成、BMI、血压和血脂等方面差异无统计学意义（$P$>0.05），见表2。

**表2** 不同预后基线资料比较

| 指标 | 预后良好组（$n$=34） | 预后不良组（$n$=31） | $t/\chi^2/Z$值 | $P$值 |
|---|---|---|---|---|
| 年龄（岁, $\bar{x} \pm s$） | 55.29 ± 12.34 | 65.29 ± 10.14 | –3.547[a] | <0.001 |
| 性别［$n$（%）］ | | | 0.658[b] | 0.417 |
| 男 | 22（64.70） | 17（54.84） | | |
| 女 | 12（35.30） | 14（45.16） | | |
| 抽烟［$n$（%）］ | | | 0.711[b] | 0.399 |
| 是 | 20（58.82） | 15（48.39） | | |
| 否 | 14（41.18） | 16（51.61） | | |
| 饮酒［$n$（%）］ | | | 0.639[b] | 0.424 |
| 是 | 23（67.65） | 18（58.06） | | |
| 否 | 11（32.35） | 13（41.94） | | |
| 粥样硬化斑块形成［$n$（%）］ | | | 2.226[b] | 0.136 |
| 是 | 18（52.94） | 22（70.97） | | |
| 否 | 16（47.06） | 9（29.03） | | |
| BMI（kg/m$^2$, $\bar{x} \pm s$） | 24.13 ± 2.92 | 23.41 ± 3.44 | 0.920[a] | 0.361 |
| 收缩压（mmHg, $\bar{x} \pm s$） | 157.05 ± 20.19 | 157.54 ± 28.52 | –0.800[a] | 0.936 |
| 舒张压（mmHg, $\bar{x} \pm s$） | 92.64 ± 14.15 | 91.61 ± 16.70 | 0.270[a] | 0.788 |
| 空腹血糖［mmol/L, $M$（$Q_1$, $Q_3$）］ | 5.92（5.20, 6.73） | 7.04（5.63, 10.13） | –2.213[c] | 0.027 |
| 胆固醇（mmol/L, $\bar{x} \pm s$） | 4.62 ± 0.89 | 5.14 ± 1.62 | –1.614[a] | 0.112 |
| 甘油三酯（mmol/L, $\bar{x} \pm s$） | 1.49 ± 0.73 | 2.11 ± 2.31 | –1.496[a] | 0.140 |
| 高密度脂蛋白（mmol/L, $\bar{x} \pm s$） | 1.23 ± 0.26 | 1.29 ± 0.38 | –0.634[a] | 0.529 |
| 低密度脂蛋白（mmol/L, $\bar{x} \pm s$） | 2.91 ± 0.79 | 2.71 ± 0.99 | 0.921[a] | 0.360 |
| NIHSS评分［分, $M$（$Q_1$, $Q_3$）］ | 5（3, 7） | 7（5, 9） | –2.796[c] | 0.005 |

注：[a]为$t$值；[b]为$\chi^2$值；[c]为$Z$值；BMI为体重指数；NIHSS为美国国立卫生研究院卒中量表。

### 2.3 预后不良影响因素的多因素 Logistic 回归分析

以预后情况为因变量，将两组比较中具有统计学意义的因素即 IMT、BS、ES、PSV、EDV、年龄、空腹血糖和入院时 NIHSS 评分作为自变量行多因素 Logistic 回归分析，结果显示，BS、ES、PSV、空腹血糖及 NIHSS 评分升高为预后不良的危险因素（$P$<0.05），见表 3。

**表 3** 预后不良影响因素的多因素 Logistic 回归分析

| 变量 | $\beta$ | $SE$ | $Wald\ \chi^2$ 值 | $P$ 值 | $OR$ 值 | 95% $CI$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| IMT | −2.264 | 2.119 | 1.142 | 0.285 | 0.104 | 0.002 ~ 6.609 |
| BS | 0.672 | 0.327 | 4.223 | 0.040 | 1.959 | 1.032 ~ 3.718 |
| ES | 1.153 | 0.447 | 6.667 | 0.010 | 3.168 | 1.320 ~ 7.600 |
| PSV | 0.041 | 0.017 | 5.840 | 0.016 | 1.042 | 1.008 ~ 1.078 |
| EDV | 0.055 | 0.049 | 1.272 | 0.259 | 1.057 | 0.960 ~ 1.163 |
| 年龄 | 0.069 | 0.043 | 2.501 | 0.114 | 1.071 | 0.984 ~ 1.166 |
| 空腹血糖 | 0.311 | 0.132 | 5.545 | 0.019 | 1.365 | 1.054 ~ 1.769 |
| NIHSS 评分 | 0.468 | 0.213 | 4.831 | 0.028 | 1.597 | 1.052 ~ 2.424 |

注：IMT 为内中膜厚度；BS 为收缩期早期脉搏波传导速度；ES 为收缩期末期脉搏波传导速度；PSV 为收缩期峰值血流速度；EDV 为舒张末期血流速度；NIHSS 为美国国立卫生研究院卒中量表。

### 2.4 ufPWV 参数和血流参数对 AIS 患者预后的预测价值

使用 ROC 曲线分析 BS、ES 及 PSV 对 AIS 患者预后不良的预测价值，AUC 分别为 0.767、0.810、0.641。将 BS、ES 和 PSV 进行 Logistic 二元回归拟合，返回预测概率 Logit($P$) 为独立检验变量，联合检测预后不良的 AUC 值为 0.885，高于各单项指标检测（$P$<0.05），见图 1。

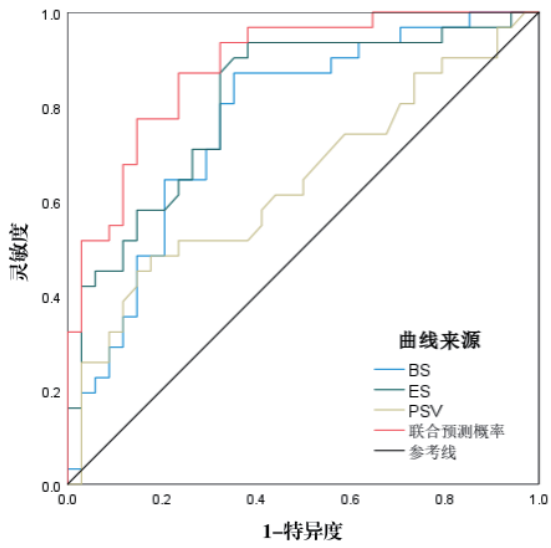



**图 1** ufPWV 参数和血流参数对 AIS 患者预后预测价值的 ROC 曲线

注：ufPWV 为超声极速脉搏波；AIS 为急性缺血性脑卒中；ROC 为受试者工作特征；BS 为收缩期早期脉搏波传导速度；ES 为收缩期末期脉搏波传导速度；PSV 为收缩期峰值血流速度。

## 3 讨论

AIS 具有高发病率、高死亡率和高致残率的特点，早诊早治、早期康复和预防再发是改善 AIS 患者预后、降低死亡率的关键环节。颈动脉作为颅内血管的主要通路，其硬化程度和颅内动脉硬化程度有着平行的关系[6]，一旦发生硬化和狭窄将直接影响大脑血供。颈动脉超声及血流参数评价作为指南认证的重要方法[7]，已被广泛应用于颅内外动脉病变的早期筛查、诊断及随访。脉搏波传导速度（PWV）是心脏血液喷射产生的机械波沿动脉壁传播的速度，可反映动脉血管壁僵硬程度，也是衡量血管硬度的“金标准”[8]。PWV 升高会显著增加心脑血管事件、心脑血管病死亡及全因死亡风险[9]。

ufPWV 是一种新兴的局部 PWV 测量方法，利用高帧频实时超声波精确测算出收缩期开始和结束时的传导速度，实现了将 PWV 检测与血管超声有效地结合。ufPWV 能对颈动脉同时作出形态学、血流动力学和弹性评价，具有操作简单、可重复性强等优点。已有相关研究[10-11]证实了 ufPWV 在冠心病、糖尿病等心血管及代谢疾病中均有重要的应用潜力。王赟等[12]发现 ufPWV 僵硬度参数水平与 AIS 患者 NIHSS 评分及血清脂蛋白相关磷脂酶 A2 呈正相关，在脑卒中风险评估中有重要潜力，但尚未有 ufPWV 与 AIS 预后相关方面的报道。

本研究中，AIS 预后不良组 IMT、PSV、EDV 和

颈动脉僵硬度参数BS、ES均显著高于预后良好组，BS、ES和PSV是独立影响因素。IMT增厚是动脉硬化的病理基础，随着动脉壁脂质沉积和纤维增生增厚，继发粥样硬化斑块形成，造成血管狭窄并影响脑血流灌注[13]。随着动脉硬化加剧，血管狭窄处因血流受阻而出现代偿性的流速增加，导致PSV上升，若狭窄持续加重，远端血管阻力会随之增大，并引发EDV的升高，然而，当狭窄程度加重至重度时，由于远端血流灌注严重不足，EDV反而会下降[14]。血管的狭窄和梗阻程度会影响脑血流的再灌注，持续的缺氧会直接影响患者预后，是PSV影响预后的主要机制。颈动脉僵硬度参数BS和ES在预后不良组中升高更明显，两组BS和ES均显著大于文献［15］报道的健康人群平均水平［BS=（5.36 ± 1.27）m/s，ES=（6.99 ± 1.93）m/s］。健 康状态下脑动脉可以根据血压波动自我调节保持血流灌注稳定，脑血流量与脑血管阻力成反比。当动脉变硬、PWV增高、阻力增大时，血管的调节能力下降，灌注量的减少会妨碍神经功能的修复，影响患者预后。除了血流和僵硬度，空腹血糖及NIHSS评分也是影响预后的重要因素。除糖尿病本身所致的高血糖外，急性脑卒中可引发神经内分泌紊乱，导致患者出现应激性高血糖。高血糖可加剧氧化应激，造成血管源性水肿，加重脑损伤，进而影响神经功能及预后[16]。NIHSS评分可反映脑神经功能损伤程度，评分越高提示病情越严重，不利于患者康复。

经ROC曲线分析，使用单独参数预测预后时，ES较BS能取得更高的效能，可能原因是ES代表收缩晚期的PWV，此时血流动力学状态相对稳定，PWV受心搏出量和血流变化的干扰显著减小，更能反映血管壁本身的僵硬度特性[17]。ufPWV参数BS、ES联合血流参数PSV对AIS短期预后预测效能良好，AUC达0.885，与既往单一参数预测相比更具临床应用价值。但是本研究纳入的样本量较少，研究对象源于单中心，可能存在一定选择偏倚，后续需要扩大样本量、延长随访时间，并进一步验证远期预后的预测效能。

综上所述，ufPWV联合血流参数能有助于甄别预后不良的高风险患者，指导临床进行有效的医患沟通、制定分层措施及个体化随访管理，为改善患者预后创造有利条件。

## ［ 参 考 文 献 ］


［1］ 李光硕, 赵性泉.《中国急性缺血性卒中诊治指南2023》解读［J］. 中国卒中杂志, 2024, 19(8): 956–961.

［2］ 《中国脑卒中防治报告》编写组.《中国脑卒中防治报告2020》概要［J］. 中国脑血管病杂志, 2022, 19(2): 136–144.

［3］ Flaherty M L, Kissela B, Khoury J C, et al. Carotid artery stenosis as a cause of stroke［J］. Neuroepidemiology, 2013, 40(1): 36–41.

［4］ Bai X, Liu W, Huang H, et al. Ultrafast pulse wave velocity and ensemble learning to predict atherosclerosis risk［J］. The International Journal of Cardiovascular Imaging, 2022, 38: 1885–1893.

［5］ 谭丽梅, 兰希发, 祖艳颖. 基于改良Rankin量表评分分析青年缺血性脑卒中患者预后不良的相关影响因素［J］. 中国临床医生杂志, 2023, 51(10): 1164–1166.

［6］ Kang M K, Nam K W, Shin J H, et al. Cardiovascular risk scores in asymptomatic carotid stenosis: a validation study with ultrasonographic parameters［J］. PLoS One, 2022, 17(4): e0265732.

［7］ 国家卫生计生委脑卒中防治工程委员会. 中国脑卒中血管超声检查指导规范［J］. 中华医学超声杂志（电子版）, 2015, 12(8): 599–610.

［8］ 中国老年医学学会高血压分会. 脉搏波传导速度检测用于早期血管衰老评价的中国专家共识［J］. 中华高血压杂志, 2021, 29(12): 1168–1172.

［9］ 中华医学会老年医学分会, 中国医疗保健国际交流促进会高血压病分会. 老年高血压特点及临床诊治流程专家共识（2024）［J］. 中华老年医学杂志, 2024, 43(3): 257–268.

［10］ Zhu Z, Chen L, Shen B, et al. Predicting cardiovascular risk stratification in apparently healthy population by using noninvasive ultrafast ultrasound imaging［J］. Acad Radiol, 2024, 31(10): 3944–3955.

［11］ 康渊强, 李光源, 王永槐, 等. 基于超声极速成像技术的脉搏波传导速度对糖尿病前期及糖尿病患者颈动脉硬化评估的临床意义［J］. 中国医科大学学报, 2024, 53(2): 186–189.

［12］ 王赟, 米亚儒, 邓荷萍, 等. 颈动脉脉搏波传导速度及血清Lp–PLA2、NRG–1与伴高血压的急性缺血性卒中的关系［J］. 中国卒中杂志, 2025, 20(6): 718–727.

［13］ 李建清, 易文斌, 刘可, 等. 基于3D–ASL分析缺血性脑卒中患者脑血流灌注状态及其与预后的关系［J］. 医学影像学杂志, 2025, 35(9): 35–38.

［14］ 刘毅, 刘蕊, 徐敏, 等. 血清PCSK9、ANGPTL4联合颈动脉超声定量参数对急性脑梗死的诊断、预后价值［J］. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(5): 11–13.

［15］ Yang W, Wang Y, Yu Y, et al. Establishing normal reference value of carotid ultrafast pulse wave velocity and evaluating changes on coronary slow flow［J］. Int J Cardiovasc Imaging, 2020, 36(10): 1931–1939.

［16］ Mi D, Li Z, Gu H, et al. Stress hyperglycemia is associated with in–hospital mortality in patients with diabetes and acute ischemic stroke［J］. CNS Neurosci Ther, 2022, 28(3): 372–381.

［17］ Yin L X, Ma C Y, Wang S, et al. Reference values of carotid ultrafast pulse–wave velocity: a prospective, multicenter, population–based study［J］. J Am Soc Echocardiogr, 2021, 34(6): 629–641.