

# 经颅多普勒发泡试验对隐源性卒中以及偏头痛合并卵圆孔未闭的筛查价值

吴仙红, 杨莹, 潘公华

玉环市第二人民医院神经内科, 浙江 玉环

收稿日期: 2026年5月2日; 录用日期: 2026年5月26日; 发布日期: 2026年6月3日

## 摘要

目的: 评估经颅多普勒发泡试验(c-TCD)在卵圆孔未闭(PFO)相关隐源性卒中及偏头痛患者中的临床应用价值。方法: 采用回顾性队列研究设计, 纳入2023年12月至2025年12月期间确诊的112例隐源性卒中患者和169例偏头痛患者作为研究对象, 通过Valsalva动作诱导后联合实施c-TCD与经食管超声心动图(TEE)右心声学造影, 对比分析两种检测技术对PFO的检测效率。结果: c-TCD对PFO并隐源性脑卒中的检出率为34.82% (39/112), 而TEE合并右心声学造影的检出率为41.07% (46/112), 差异无统计学意义( $\chi^2 = 0.929, P = 0.335$ )。c-TCD对PFO并偏头痛的检出率为52.67% (59/169), 而TEE合并右心声学造影的检出率为38.46% (65/112), 差异无统计学意义( $\chi^2 = 0.459, P = 0.498$ )。c-TCD与右心声学造影对PFO右向左分流半定量分级的比较无显著性差异( $\chi^2 = 4.092, P = 0.252$ )。结论: Valsalva动作激发后, c-TCD对隐源性脑卒中以及偏头痛并PFO的检测效率与TEE合并右心声学造影检查检测效率无显著性差异, 其具有较高的临床诊断价值。

## 关键词

经颅多普勒发泡试验, 隐源性卒中, 偏头痛, 卵圆孔未闭

# The Value of Cranial Doppler Foam Test in Screening for Cryptogenic Stroke and Migraine with Patent Foramen Ovale

Xianhong Wu, Ying Yang, Gonghua Pan

Neurology Department, Yuhuan Second People's Hospital, Yuhuan Zhejiang

Received: May 2, 2026; accepted: May 26, 2026; published: June 3, 2026

文章引用: 吴仙红, 杨莹, 潘公华. 经颅多普勒发泡试验对隐源性卒中以及偏头痛合并卵圆孔未闭的筛查价值[J]. 临床医学进展, 2026, 16(6): 140-145. DOI: 10.12677/acm.2026.1662203

## Abstract

**Objective:** To evaluate the clinical application value of transcranial Doppler foam test (c-TCD) in patients with patent foramen ovale (PFO)-related cryptogenic stroke and migraine. **Method:** A retrospective cohort study design was adopted. 112 patients with cryptogenic stroke and 169 patients with migraine diagnosed from December 2023 to December 2025 were included as the research subjects. After Valsalva maneuver, c-TCD and transesophageal echocardiography (TEE) right heart acoustic contrast were jointly implemented to compare and analyze the detection efficiency of the two detection techniques for PFO. **Results:** The detection rate of PFO and cryptogenic stroke by c-TCD was 34.82% (39/112), while the detection rate of PFO and cryptogenic stroke by TEE combined with right heart acoustic contrast was 41.07% (46/112), with no statistically significant difference ( $\chi^2 = 0.929$ ,  $P = 0.335$ ). The detection rate of PFO and migraine by c-TCD was 52.67% (59/169), while the detection rate of PFO and migraine by TEE combined with right heart acoustic contrast was 38.46% (65/112), with no statistically significant difference ( $\chi^2 = 0.459$ ,  $P = 0.498$ ). There was no significant difference in the semi-quantitative grading of right-to-left shunt of PFO between c-TCD and right heart acoustic contrast ( $\chi^2 = 4.092$ ,  $P = 0.252$ ). **Conclusion:** After Valsalva maneuver, the detection efficiency of c-TCD for cryptogenic stroke and PFO-related migraine is not significantly different from that of TEE combined with right heart acoustic contrast, and it has a high clinical diagnostic value.

## Keywords

Transcranial Doppler Foam Test, Cryptogenic Stroke, Migraine, Patent Foramen Ovale

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. 前言

卵圆孔未闭(patent foramen ovale, PFO)是一种常见的先天性心脏异常,表现为3岁后卵圆孔未能正常闭合,在成人中发病率最高[1]。其主要病理特征为心脏右向左分流(RLS),这一生理异常与多种临床疾病存在潜在关联[1]。研究表明,PFO与偏头痛具有显著相关性:一方面,PFO患者中偏头痛的患病率明显增高;另一方面,在偏头痛患者群体中PFO的检出率也显著高于普通人群。目前推测其可能机制为RLS导致血管活性物质绕过肺循环直接进入体循环,进而诱发偏头痛发作,这一假说得到部分临床观察的支持——一部分患者在接受PFO封堵术后偏头痛症状得到明显改善[2]-[4]。此外,PFO与隐源性脑卒中(cryptogenic stroke, CS)的关联也备受关注。数据显示,CS约占全部缺血性卒中的10%~40% [5],而其中约50%的患者合并存在PFO,提示两者可能存在较强的病理生理联系[6]。在诊断方面,经颅多普勒超声造影(c-TCD)作为一种无创、操作简便的检查方法,不仅适用于PFO的筛查,对于偏头痛合并PFO的间接诊断也具有重要价值[7]。右心声学造影(contrast-enhanced transthoracic echocardiography, c-TTE)亦称生理盐水振荡增强显像技术,其产生的微泡因直径超过肺毛细血管孔径而无法通过肺循环,故在健康个体中仅能观察到右心系统显影。该技术因造影剂微泡浓度高且安全性良好,常被应用于检测右向左分流现象,对PFO及肝肺综合征等疾病的诊断具有重要价值[8]。目前TEE联合右心声学造影被公认为诊断PFO的金标准。在此,本研究通过比较Valsalva动作诱导后,c-TCD与TEE联合右心声学造影在隐源性卒中

和偏头痛患者中对 PFO 的检测效能，为隐源性卒中和偏头痛并 PFO 的临床诊治提供参考依据。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 一般资料

研究对象为 2023 年 12 月至 2025 年 12 月期间在玉环市第二人民医院通过 CT 或 MRI 确诊的缺血性脑卒中与偏头痛病例。(1) 采用 TOAST 分型标准[9]，筛选出 112 例隐源性脑卒中患者，其中 46 例经食管超声心动图(TEE)联合右心声学造影确诊存在卵圆孔未闭(PFO)。(2) 共纳入 169 例偏头痛患者，经上述检查确认 65 例合并 PFO。纳入标准为：① 符合《中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018》[10]诊断标准或主诉不明原因偏头痛；② 发病时间不超过 4 周；③ 完成 c-TCD、c-TTE 及 TEE 检查且无禁忌证；④ 可执行标准化 Valsalva 动作并能测量压力值。排除标准为：① 临床数据不完整者；② 存在心肺重症、癫痫、意识或认知障碍等影响 Valsalva 动作实施者；③ 妊娠或凝血异常者；④ 颞窗闭合者；⑤ 血管条件限制无法进行造影剂注射者。

### 2.2. 方法

#### 2.2.1. c-TCD 检查

采用德国 DWL Doppler Box 型经颅多普勒超声仪(探头频率 2 MHz)进行检测。受检者保持仰卧姿势，于左肘静脉建立输液通道并连接三通阀，该阀与两具注射器相连。微泡造影剂的配制流程参照右心声学造影标准方案。配置栓子监测系统时，将探测深度设定为 45~55 mm，选择双通道单深度或单通道工作模式。分别在静息状态及 Valsalva 动作时，观察 20 秒内大脑中动脉微泡显影情况，若检出微泡即可确诊为 PFO [11]。此外，根据右向左分流的微泡数量实施半定量评估：1 级对应 1~10 个微泡信号；2 级为 11~25 个；3 级则超过 25 个或呈现雨帘样分布。

#### 2.2.2. 右心声学造影检查

受检者采取右侧卧位，采用 Philips iE33 型彩超设备，系统评估心脏解剖结构，包括心室心房容积、心内组织形态等，重点检测房室间血流动力学状态及卵圆孔瓣与继发隔间潜在间隙。通过彩色多普勒技术筛查心房水平异常分流束。于左上肢肘静脉建立输液通路，推注活化生理盐水(配制流程同前)，指导受检者完成咳嗽或 Valsalva 呼吸动作，在右心充分显影后的三个心动周期内记录分流现象，当左心房检测到≥3 个微气泡时判定为阳性结果。若观察到微气泡经原发隔与继发隔间裂隙向左心房迁移，则可确诊为卵圆孔未闭[8]。同步实施右向左分流半定量评估，依据分级体系[12]：I级对应 1~10 个微气泡信号；II级为 10~30 个微气泡；III级则指微气泡数量超过 30 个或左心腔完全被微气泡填充。

#### 2.2.3. TEE 检查

采用 Philips EPIQ 7C 型彩色多普勒超声设备进行检测，配备 X7-2t 探头(频率范围 2~7 MHz)。受检者预先口服达克罗宁胶浆实施咽喉部表面麻醉，随后取左侧卧位。将探头经食管插入中下段区域，于双心房切面水平观察原发隔与继发隔间的裂隙状态。通过彩色多普勒技术检测到经裂隙的左右心房间双向分流即判定为阳性结果。目前 TEE 联合右心声学造影被公认为诊断 PFO 的最可靠方法。

### 2.3. 统计学处理

采用 SPSS25.0 统计软件进行数据处理。对于计数资料，研究采用频数和百分比(%)进行描述性统计，并通过  $\chi^2$  检验进行组间比较分析。针对等级资料，则选用非参数检验方法中的秩和检验进行统计分析。在统计推断过程中，将 P 值小于 0.05 设定为差异具有统计学意义的显著性阈值。

### 3. 结果

#### 3.1. c-TCD 对 PFO 并隐源性脑卒中的筛查价值

c-TCD 对 PFO 并隐源性脑卒中的检出率为 34.82% (39/112)，而 TEE 合并右心声学造影的检出率为 41.07% (46/112)，差异无统计学意义( $\chi^2 = 0.929, P = 0.335$ )。详见表 1。

**Table 1.** Comparison of PFO in patients with cryptogenic stroke diagnosed by c-TCD and TEE combined with right heart contrast echocardiography

**表 1.** c-TCD 与 TEE 合并右心声学造影诊断隐源性脑卒中患者 PFO 情况比较

检出率	c-TCD (n = 112)	TEE 合并右心声学造影(n = 112)	$\chi^2$	P
阴性(n, %)	73 (65.17)	66 (58.92)	0.929	0.335
阳性(n, %)	39 (34.82)	46 (41.07)		

#### 3.2. c-TCD 对 PFO 并偏头痛的筛查价值

c-TCD 对 PFO 并偏头痛的检出率为 52.67% (59/169)，而 TEE 合并右心声学造影的检出率为 38.46% (65/112)，差异无统计学意义( $\chi^2 = 0.459, P = 0.498$ )。详见表 2。

**Table 2.** Comparison of c-TCD and TEE combined with right heart acoustic contrast imaging in diagnosing PFO in patients with migraine

**表 2.** c-TCD 与 TEE 合并右心声学造影诊断偏头痛患者 PFO 情况比较

检出率	c-TCD (n = 169)	TEE 合并右心声学造影(n = 169)	$\chi^2$	P
阴性(n, %)	110 (65.09)	104 (61.53)	0.459	0.498
阳性(n, %)	59 (52.67)	65 (38.46)		

#### 3.3. c-TCD 与右心声学造影评估 PFO 右向左分流半定量分级情况比较

c-TCD 对 PFO 右向左分流半定量分级情况为：1 级占比为 15.65% (10/281)，2 级占比为 36.29% (35/281)，3 级占比为 39.14% (43/281)。而右心声学造影对 PFO 右向左分流半定量分级情况为：1 级占比为 13.16% (15/281)，2 级占比为 38.43% (44/281)，3 级占比为 44.12% (52/281)，二者比较差异无统计学意义( $\chi^2 = 4.092, P = 0.252$ )。详见表 3。

**Table 3.** Comparison of semi-quantitative grading of right-to-left shunt of PFO assessed by c-TCD and right heart acoustic contrast imaging

**表 3.** c-TCD 与右心声学造影评估 PFO 右向左分流半定量分级情况比较

分级	c-TCD (n = 281)	TEE 合并右心声学造影(n = 281)	$\chi^2$	P
1 级(n, %)	10 (15.65)	15 (13.16)	4.092	0.252
2 级(n, %)	35 (36.29)	44 (38.43)		
3 级(n, %)	43 (39.14)	52 (44.12)		

### 4. 讨论

卵圆孔作为胚胎时期心脏的正常生理性结构，在维持胎儿血液循环中起关键作用，通常在婴儿出生后 12 个月内完成闭合。约 70%~75% 的幼儿在 2 周岁时实现解剖学上的完全闭合，若超过 3 岁仍未闭合则被定义为卵圆孔未闭[3]。Amin [13] 等学者的研究表明，该病症与隐源性脑卒中的发生存在显著关联。

其致病机制主要涉及反常栓塞现象：当右心房压力超过左心房时，来自静脉系统及右心的血栓可经异常右向左分流通道进入左心系统，最终引发脑血管栓塞事件，而卵圆孔未闭约占此类分流通道的 95% [14]。在诊断方面，凭借其精确显示解剖结构的优势，TEE 被公认为卵圆孔未闭的确诊方法[15]。然而该技术需通过咽喉插管进行侵入性操作，易引发患者耐受性下降或心理抵触。此外，TEE 探头通过咽喉时，患者声门无法闭合，均会干扰 Valsalva 动作的配合度，增加假阴性风险。文献显示，规范的 Valsalva 动作能使各类诊断方法的阳性检出率提升 26%~28% [16]。相比之下，c-TCD 采用无创检测方式，受试者可顺利完成标准 Valsalva 动作，且在监测间隔期可反复指导训练。操作者还能依据血流速度变化评估动作有效性，从而降低潜在型卵圆孔未闭的漏诊率。研究数据证实，c-TCD 对 PFO 的诊断阳性率显著优于经胸心脏超声，且高于 TEE [17]。因此，本研究拟探讨比较 Valsalva 动作激发后 c-TCD 以及 TEE 合并右心声学超声造影对隐源性卒中和偏头痛患者 PFO 的诊断价值，以期为后续检查及治疗提供参考。

本研究数据显示，采用 Valsalva 动作激发后，经 c-TCD 检测 PFO 合并隐源性脑卒中的阳性率为 34.82% (39/112 例)，与经 TEE 联合右心声学造影的 41.07% (46/112 例)检出率相比，统计学分析显示两者无显著差异。在偏头痛伴 PFO 患者中，c-TCD 的阳性检出率为 52.67% (59/169 例)，而 TEE 联合造影技术为 38.46% (65/112 例)，组间比较同样未见统计学差异。这一发现与既往陈静婉[18]、徐夏璇[19]团队的研究结论相吻合，证实 c-TCD 对隐源性卒中合并 PFO 具有良好诊断价值；同时与张辉[20]、李红娟[21]等学者的结果相互印证，支持该技术在偏头痛伴 PFO 诊断中的适用性。此外，整合隐源性卒中与偏头痛患者数据后发现，c-TCD 与声学造影对 PFO 右向左分流的分级评估结果也无统计学差异。c-TCD 技术原理为：经静脉注射激活盐水后，监测大脑中动脉微栓子信号，据此判断右向左分流情况以诊断 PFO。操作过程中要求患者配合完成 Valsalva 动作，此为该技术的关键特征——研究[22]表明 48.28%~75.41% 患者的卵圆孔在静息状态下处于闭合状态，仅当右心房压力因特定诱因短暂升高时，卵圆孔才会暂时开放形成分流通道，这一机制显著提升了 c-TCD 对 PFO 合并偏头痛的检出效能。另有相关研究表明，实施 Valsalva 动作可显著提升 c-TCD 的检测灵敏度[23]。本实验结果与之相符，当采用 Valsalva 操作时，c-TCD 与 TEE 联合右心声学造影这两种检测手段的阳性检出率未呈现统计学差异。

总的来说，c-TCD 与 TEE 联合右心声学造影在检测隐源性卒中以及偏头痛合并 PFO 的检测效率并无显著性差异，加上其非侵入性和安全性特征使患者依从性显著提升，故推荐将 c-TCD 列为 PFO 的无创性筛查工具。然而，受限于单中心研究及样本量不足的缺陷，未来需开展大规模、多中心的随机对照试验，以进一步验证该方法在隐源性卒中以及偏头痛合并 PFO 诊断中的临床效能。

## 基金项目

项目类型：玉环市科技计划项目；项目编号：202245。

## 参考文献

- [1] Trabattoni, D., Brambilla, M., Canzano, P., *et al.* (2022) Migraine in Patients Undergoing PFO Closure: Characterization of a Platelet-Associated Pathophysiological Mechanism: The LEARNER Study. *JACC: Basic to Translational Science*, 7, 525-540. <https://doi.org/10.1016/j.jacbts.2022.02.002>
- [2] 赵恩法, 谢航, 张玉顺. 卵圆孔未闭偏头痛患者封堵术后偏头痛完全缓解影响因素分析[J]. 中华心血管病杂志, 2023, 51(6): 656-661.
- [3] 李应龙, 张博音, 陶大运, 等. 卵圆孔未闭并发偏头痛患者的血清学高危因素分析及诊断模型构建[J]. 武警医学, 2026, 37(2): 111-116+122.
- [4] 郭银吉, 孙永红. 卵圆孔未闭与偏头痛相关性研究进展[J]. 心血管病学进展, 2025, 46(2): 124-128.
- [5] 袁博艺, 刘日霞, 刘广志. 隐源性卒中的诊治研究进展[J]. 中华医学杂志, 2022(45): 3639-3646.
- [6] 陈竹林, 黄光. 卵圆孔未闭与隐源性卒中的研究进展[J]. 中国卒中杂志, 2019, 14(5): 456-462.

- [7] Abecasis, F., Cardim, D., Czosnyka, M., Robba, C. and Agrawal, S. (2020) Transcranial Doppler as a Non-Invasive Method to Estimate Cerebral Perfusion Pressure in Children with Severe Traumatic Brain Injury. *Child's Nervous System*, **36**, 125-131. <https://doi.org/10.1007/s00381-019-04273-2>
- [8] 翟亚楠, 李爱莉, 谢万木, 等. 右心声学造影检测肺血管病心内及肺循环右向左分流的临床价值[J]. 中国超声医学杂志, 2021, 37(9): 1002-1005.
- [9] Adams, H.P., Bendixen Jr, B.H., Kappelle, L.J., Biller, J., Love, B.B., Gordon, D.L., *et al.* (1993) Classification of Subtype of Acute Ischemic Stroke. Definitions for Use in a Multicenter Clinical Trial. TOAST. Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment. *Stroke*, **24**, 35-41. <https://doi.org/10.1161/01.str.24.1.35>
- [10] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018 [J]. 中华神经科杂志, 2018, 51(9): 666-682.
- [11] 王丽, 南宫晓霞, 张康. 经颅多普勒超声发泡试验诊断卵圆孔未闭相关隐源性脑卒中的效果[J]. 河南医学研究, 2021, 30(19): 3600-3602.
- [12] 经食道超声心动图临床应用的中国专家共识专家组. 卵圆孔未闭右心声学造影中国专家共识[J]. 中国循环杂志, 2022, 37(5): 449-458.
- [13] Amin, H. and Greer, D.M. (2013) Cryptogenic Stroke—The Appropriate Diagnostic Evaluation. *Current Treatment Options in Cardiovascular Medicine*, **16**, Article No. 280. <https://doi.org/10.1007/s11936-013-0280-3>
- [14] 温贵显, 张飞飞, 刘惠良. 卵圆孔未闭与隐源性卒中[J]. 国际心血管病杂志, 2024, 51(6): 367-370.
- [15] Akhondi, A., Gevorgyan, R., Tseng, C., Slavin, L., Dao, C., Liebeskind, D.S., *et al.* (2010) The Association of Patent Foramen Ovale Morphology and Stroke Size in Patients with Paradoxical Embolism. *Circulation: Cardiovascular Interventions*, **3**, 506-510. <https://doi.org/10.1161/circinterventions.109.908533>
- [16] González-Alujas, T., Evangelista, A., Santamarina, E., *et al.* (2011) Diagnosis and Quantification of Patent Foramen Ovale. Which Is the Reference Technique? Simultaneous Study with Transcranial Doppler, Transthoracic and Transesophageal Echocardiography. *Revista Española de Cardiología*, **64**, 133-139. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2010.10.009>
- [17] Chen, J., Chen, L., Hu, W., Ni, X., Zhang, Z., Feng, X., *et al.* (2019) A Comparison of Contrast Transthoracic Echocardiography and Contrast Transcranial Doppler in Cryptogenic Stroke Patients with Patent Foramen Ovale. *Brain and Behavior*, **9**, e01283. <https://doi.org/10.1002/brb3.1283>
- [18] 陈静婉, 骆丹越, 王戏丹, 等. 经颅多普勒发泡试验筛查缺血性卒中合并卵圆孔未闭的应用价值[J]. 中国超声医学杂志, 2021, 37(1): 46-49.
- [19] 徐夏璇, 翁秋燕, 易尚亨, 等. 经颅多普勒发泡试验应用于缺血性脑卒中合并卵圆孔未闭病人中的价值[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2023, 21(8): 1517-1520+1536.
- [20] 张辉, 曾令均, 钟钧琳, 等. 经颅多普勒发泡试验、经胸超声心动图右心造影及颈胸联合超声造影诊断卵圆孔未闭右向左分流[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(10): 1471-1476.
- [21] 李红娟, 吴茂林, 吴静, 等. 经颅多普勒发泡试验在卵圆孔未闭并偏头痛筛查中的应用价值[J]. 影像研究与医学应用, 2023, 7(16): 56-58.
- [22] 田凤, 唐娟, 余鹃. 经颅多普勒发泡试验筛查隐源性卒中合并卵圆孔未闭的价值[J]. 吉林医学, 2022, 43(2): 352-353.
- [23] 高静. Valsalva 动作下 c-TCD 检查在卵圆孔未闭诊断中的应用价值[J]. 华夏医学, 2021, 34(6): 17-20.