

文章编号:1003-2754(2025)11-1012-05

doi:10.19845/j.cnki.zfysjjbzz.2025.0185

卵圆孔未闭相关隐源性卒中穿支动脉梗死患者的临床特征及超声心动图改变

张慧¹, 唐海燕², 吴斐¹, 余纯³, 董强^{1,4,5}, 曹文杰^{1,4,5}

摘要: 目的 本研究旨在探讨卵圆孔未闭(PFO)相关隐源性穿支动脉梗死(PI)患者的临床特征及超声心动图改变。方法 回顾性纳入2015年1月—2023年12月确诊为隐源性卒中的患者,通过经颅多普勒超声(TCD)发泡试验诊断PFO。比较PI患者中对比PFO-PI组与非PFO-PI组的临床特征及经胸超声心动图检查(TTE)结果,在PFO组患者中比较PI与皮质梗死(CI)的差异。结果 研究共纳入251例患者进行回顾性分析。104例患者检出PFO,其中40.4%(42/104)为PFO-PI,59.6%(62/104)为PFO-CI。在未合并PFO的患者中,30.6%(45/147)为非PFO-PI。与非PFO-PI患者相比,PFO-PI患者椎基底动脉系统梗死(VCI)比例显著升高(47.6% vs 17.8%, $P=0.003$);左心室舒张末期内径(LVEDd)均数更小(47.3 mm vs 49.8 mm, $P=0.037$);E波峰值流速(Em)更低(62.6 cm/s vs 70.8 cm/s, $P=0.015$)。在PFO患者中,与PFO-CI组(34.5 mm和49.4 mm)相比,PFO-PI组主动脉根部内径(ARd)均数更小(32.5 mm, $P=0.011$),LVEDd均数更低(47.3 mm, $P=0.045$)。结论 PFO-PI患者中VCI发生率更高。同时,LVEDd减小,Em降低以及较小的ARd是与PFO-PI相关的三项超声心动图特征。

关键词: 经胸超声心动图检查; 隐源性卒中; 穿支动脉梗死; 卵圆孔未闭

中图分类号:R445.1 文献标识码:A

Clinical features and echocardiographic changes of cryptogenic perforator infarction patients with patent foramen ovale ZHANG Hui, TANG Haiyan, WU Fei, et al. (Department of Neurology, Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 200040, China)

Abstract: **Objective** We sought to investigate the clinical characteristics and echocardiographic changes of cryptogenic perforator infarction (PI) patient with patent foramen ovale (PFO). **Methods** From Jan 2015 to Dec 2023, patients diagnosed with cryptogenic stroke were retrospectively included in our study. All patients received transthoracic echocardiography (TTE) and transcranial Doppler (TCD). PFO was diagnosed by the bubble test of TCD. Comparisons of clinical features and TTE findings were performed firstly in PI patients, between PFO and non-PFO, and then in patients with PFO, between PI and cortical infarction (CI). **Results** A total of 251 patients were retrospectively analyzed. PFO was detected in 104 patients, of those, 40.4% (42/104) had pure PI (PFO-PI) and 59.6% (62/104) had CI (PFO-CI). In patients without PFO, 30.6% (45/147) had pure PI (non-PFO-PI). Compared with non-PFO-PI, PFO-PI associated with a higher proportion of vertebrobasilar circulation infarctions (VCI) (47.6% vs 17.8%, $P=0.003$), lower mean value of left ventricle end-diastolic diameters (LVEDd) (47.3 mm vs 49.8 mm, $P=0.037$) and lower peak E-wave velocity (62.6 cm/s vs 70.8 cm/s, $P=0.015$). In PFO patients, PFO-PI was detected with a lower mean value of aorta root diameters (32.5 mm, $P=0.011$) and lower mean value of LVEDd (47.3 mm, $P=0.045$) than PFO-CI (34.5 mm and 49.4 mm, respectively).

Conclusion Higher proportion of VCI was found in PFO-PI. Lower LVEDd, lower Em and without aortic root dilatation were three echocardiographic features associated with PFO-PI in cryogenic PI patients.

Key words: Transthoracic echocardiography; Cryptogenic stroke; Perforator infarction; Patent foramen ovale

早期明确缺血性卒中病因分型具有重要意义,因其直接影响治疗决策并关系到卒中患者的短期及长期预后^[1]。隐源性卒中约占全部病例的25%,是值得深入探究的重要临床亚型^[2]。卵圆孔未闭(patent foramen ovale, PFO)被认为是隐源性卒中的主要病因之一^[3]。PFO相关卒中的确切发病机制尚未完全阐明,反常栓塞目前被认为是首要假说^[4,5]。

PFO相关卒中多表现为椎基底动脉系统供血区的单发皮质梗死或多发小缺血病灶^[6]。临床实践中通常采用反常栓塞风险(risk of paradoxical embo-

lism, RoPE)评分对缺血性卒中患者进行PFO筛查,该评分体系更适用于皮质缺血性卒中的评估。然而

收稿日期:2025-07-20;修订日期:2025-09-26

基金项目:四大慢病重大专项资助(2023ZD0505400)

作者单位:(1. 复旦大学附属华山医院神经内科,上海 200040;2. 上海中医药大学附属曙光医院神经内科暨神经病学研究所,上海 201203;3. 复旦大学附属华山医院西院重症医学科,上海 201107;4. 复旦大学医学神经生物学国家重点实验室,上海 200032;5. 复旦大学附属华山医院国家老年疾病临床医学研究中心,上海 200040)

通信作者:曹文杰,E-mail:wenjiecao@fudan.edu.cn

研究者在临床实践中发现,相当比例的PFO相关卒中患者仅表现为穿支动脉梗死。已有研究报道皮质下单一发病灶直径大于15 mm与隐源性卒中相关^[7]。本研究旨在探讨伴有PFO的隐源性穿支动脉梗死(perforator infarction, PI)患者的临床特征及超声心动图改变,并建立有效的筛查工具以在确诊性检查前识别PFO相关PI。

1 资料与方法

1.1 临床资料 研究回顾性分析了2015年1月—2023年12月期间确诊为隐源性穿支动脉梗死的患者。穿支动脉梗死包括豆纹动脉、脑桥穿支及丘脑穿支动脉供血区梗死^[8]。隐源性卒中根据TOAST分型标准进行定义。排除大动脉粥样硬化、心源性栓塞、小血管闭塞及其他明确病因所致的卒中病例。

1.2 临床及影像学资料 记录患者人口学特征、血管危险因素(糖尿病、高血压、高脂血症、吸烟)及既往卒中病史。计算RoPE评分^[9]。所有患者均接受脑部磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)检查,包括弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)和表观扩散系数成像(apparent diffusion coefficient, ADC)。通过标准PACS软件对MRI影像进行回顾性分析,并由神经内科高年主治医师和资深卒中主任医师共同评估。根据DWI显示的穿支动脉梗死部位,将其分类为前循环梗死和后循环/椎基底动脉系统梗死(vertebrobasilar circulation infarction, VCI)。

1.3 经颅多普勒超声发泡试验 通过经颅多普勒超声(transcranial Doppler, TCD)发泡试验诊断PFO^[10,11]。将9 ml生理盐水、1 ml空气和1滴患者血液通过三通阀连接的两个10 ml注射器混合。分别在正常呼吸状态和Valsalva动作维持期,将混合液快速注入前臂静脉。通过记录前3个心动周期内出现的微气泡(microbubbles, MBs)数量来量化右向左分流(right-to-left shunt, RLS)。根据微泡数量将患者分为2组:存在1个及以上微泡信号者纳入PFO组,无微泡者纳入非PFO组^[12]。

1.4 TTE 经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)参数通过回顾性分析检查报告获取。住院期间根据美国超声心动图学会指南标准,采用左侧卧位进行TTE检查获取标准成像切面。采集指标包括:主动脉根部内径(ARd)、左心房前后径(LAAPd)、左心室舒张末期内径(LVEDd)、左心室收缩末期内径、左心室射血分数(LVEF)、E波峰值流速(Em)及A波峰值流速(Am)。记录二尖瓣、三尖

瓣及主动脉瓣反流情况。

1.5 统计学方法 采用SPSS 22.0软件进行统计学分析,以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。对临床基线资料进行统计学分析。对连续性变量进行正态分析,符合正态分布的计量资料采用t检验,不符合正态分布的计量资料采用Mann-Whitney U检验进行比较。分类变量采用 χ^2 检验或Fisher精确检验进行组间比较(PFO-PI组与non-PFO-PI组, PFO-PI组与PFO-CI组之间)。多因素Logistics回归分析,放入 $P<0.15$ 的因素,评估和PFO-PI独立相关的因素。

2 结 果

研究发现,2015年1月—2023年12月,共有251例患者被诊断为隐源性卒中。104例患者检出PFO,其中40.4%(42/104)表现为穿支动脉梗死,59.6%(62/104)表现为皮质梗死,伴或不伴皮质下梗死。在未合并PFO的患者中,30.6%(45/147)存在穿支动脉梗死。

在PFO-PI患者中,52.4%(22/42)的病灶位于前循环区域,其中72.7%(16/22)累及基底节区(BG),50%(11/22)位于侧脑室旁(PV)(包含6例BG合并PV梗死病例)。47.6%(20/42)的病灶位于后循环区域,其中40%(8/20)位于丘脑,15%(3/20)位于中脑,40%(8/20)位于脑桥(包含1例丘脑-中脑联合梗死灶及1例丘脑-脑桥联合梗死灶),10%位于延髓,5%位于小脑。

在PI患者中,PFO组与非PFO组在基线特征(年龄、性别、卒中常见危险因素及RoPE评分方面均无显著差异。所有患者均于DWI显示穿支动脉缺血性病灶,其中32.2%(28/87)位于后循环区域。VCI在PFO-PI组[47.6%(20/42)]较非PFO-PI组[17.8%(8/45)]更常见($P=0.003$),调整后OR 4.69(95%CI 1.58~13.87, $P=0.005$)(见表1)。经TTE参数比较显示,PFO-PI组LVEDd均数(47.3 mm, $P=0.037$, 调整后OR=0.89(95%CI 0.76~0.99, $P=0.043$)及Em均数(62.6 cm/s, $P=0.015$),调整后OR=0.95(95%CI 0.92~0.98, $P=0.007$)均低于非PFO-PI组(分别为49.8 mm和70.8 cm/s)(见表1)。

对PFO-PI与PFO-CI组间进行了比较。两组在基线特征、卒中常见危险因素、RoPE评分和VCI比例方面均无显著差异。与PFO-CI患者(分别为34.5 mm和49.4 mm)相比,PFO-PI患者的ARd较小(32.5 mm, $P=0.011$),调整后OR=0.81(95%CI 0.7~0.93, $P=0.003$);LVEDd较低(47.3 mm, $P=0.045$, 调整后OR 0.89(95%CI 0.8~0.99, $P=0.045$)(见表2)。

表1 PFO-PI患者与非PFO-PI患者临床特征及经胸超声心动图参数比较

临床特征	总计	PFO-PI(n=42)	非PFO-PI(n=45)	P值	OR(95%CI)*	P值
年龄($\bar{x}\pm s$,岁)	46.4±14.5	48±12.8	45±15.9	0.346		
性别(男性)[n(%)]	65(74.7)	32(76.2)	33(73.3)	0.759		
糖尿病[n(%)]	14(16.1)	9(21.4)	5(11.1)	0.191		
高血压[n(%)]	36(41.4)	20(47.6)	16(35.6)	0.254		
吸烟史[n(%)]	40(46)	21(50)	19(42.2)	0.467		
既往卒中史[n(%)]	15(17.2)	8(19)	7(15.6)	0.667		
RoPE评分[M(P_{25}, P_{75}),分]	5(4,7)	5(3,7)	5(4.5,8)	0.306		
后循环梗死[n(%)]	28(32.2)	20(47.6)	8(17.8)	0.003	4.69(1.58~13.87)	0.005
经胸超声心动图参数						
主动脉根部内径($\bar{x}\pm s$,mm)	32.5±3.8	32.5±3.4	32.5±4.2	0.962		
左心房前后径($\bar{x}\pm s$,mm)	35.1±4.3	35.3±4.4	34.9±4.2	0.686		
左心室舒张末期内径($\bar{x}\pm s$,mm)	48.6±5.5	47.3±6.2	49.8±4.6	0.037	0.89(0.76~0.99)	0.043
左心室收缩末期内径($\bar{x}\pm s$,mm)	30.2±3.4	29.7±3.4	30.7±3.4	0.186		
左心室射血分数($\bar{x}\pm s$,%)	67.3±5.2	67.2±13.8	67.3±5.6	0.935		
E波峰值流速($\bar{x}\pm s$,cm/s)	66.9±15.7	62.6±13.8	70.8±16.4	0.015	0.95(0.92~0.98)	0.007
A波峰值流速($\bar{x}\pm s$,cm/s)	67.3±16.8	66.9±15.9	67.6±17.8	0.860		

注:PFO-PI,卵圆孔未闭相关穿支动脉梗死;RoPE,反常栓塞风险评分;OR(95%CI)*,调整后OR经调整后循环梗死例数、左心室舒张末期内径、E波峰值流速后多因素回归分析。

表2 PFO患者中穿支动脉梗死与皮质梗死的临床特征及经胸超声心动图参数差异

临床特征	总计	PFO-PI(n=42)	PFO-CI(n=62)	P值	OR(95%CI)*	P值
年龄($\bar{x}\pm s$,岁)	49.9±13.2	48±12.8	51.2±13.4	0.227		
性别(男性)[n(%)]	82(78.8)	32(76.2)	50(80.6)	0.585		
糖尿病[n(%)]	17(16.3)	9(21.4)	8(12.9)	0.249		
高血压[n(%)]	45(43.3)	20(47.6)	25(40.3)	0.461		
吸烟史[n(%)]	43(41.3)	21(50)	22(35.5)	0.14		
既往卒中史[n(%)]	17(16.3)	8(19)	9(14.5)	0.54		
RoPE评分[M(P_{25}, P_{75}),分]	6(4,7)	5(3,7)	6(4.75,8)	0.133		
后循环梗死[n(%)]	46(44.2)	20(47.6)	26(41.9)	0.567		
经胸超声心动图参数						
主动脉根部内径($\bar{x}\pm s$,mm)	33.7±3.9	32.5±3.4	34.5±4.1	0.011	0.81(0.7~0.93)	0.003
左心房前后径($\bar{x}\pm s$,mm)	35.7±4.1	35.3±4.4	36±3.9	0.373		
左心室舒张末期内径($\bar{x}\pm s$,mm)	48.5±5.2	47.3±6.2	49.4±4.2	0.045	0.89(0.8~0.99)	0.045
左心室收缩末期内径($\bar{x}\pm s$,mm)	30.1±3.5	29.7±3.4	39.4±3.5	0.348		
左心室射血分数($\bar{x}\pm s$,%)	68±4.9	67.2±13.8	68.6±4.9	0.177		
E波峰值流速($\bar{x}\pm s$,cm/s)	63.1±14.5	62.6±13.8	63.4±15	0.778		
A波峰值流速($\bar{x}\pm s$,cm/s)	66.5±15.9	66.9±15.9	66.3±16	0.842		

注:PFO-PI:卵圆孔未闭相关穿支动脉梗死;PFO-CI:卵圆孔未闭相关皮质梗死;RoPE:反常栓塞风险评分;OR(95%CI)*:调整后OR经调整吸烟史、RoPE评分、主动脉根部内径、左心室舒张末期后多因素回归分析。

3 讨论

卵圆孔未闭是隐源性卒中的重要病因,在年轻患者中尤为显著。临幊上我们通常采用RoPE评分对缺血性卒中患者进行PFO病因权重评估,该评分体系更适用于皮质缺血性梗死的评估。然

而在临幊实践中发现,相当比例的PFO相关卒中患者仅表现为穿支动脉梗死。对此类患者,我们往往不会常规采用高灵敏度的PFO筛查手段(如发泡试验),亦不将经食管超声心动图(transesophageal echocardiography,TEE)这一PFO诊断金

标准作为必查项目^[13]。然而在缺血性卒中患者中,头部MRI和非造影TTE已被作为常规检查项目,因此我们期望在PFO相关PI患者中发现某些特殊的临床特征或TTE表现。

我们的研究发现,PFO-PI组与非PFO-PI组的临床特征未显示出显著性差异。两组的RoPE评分亦具有相似性,表明该评分体系难以有效鉴别真正PFO阳性患者的穿支动脉梗死。然而,神经影像学检查结果显示两组间存在一定差异。PFO组的缺血性病灶更倾向于分布于椎基底动脉系统(后循环区域)。该发现与既往的研究结果相吻合^[14]。国内综述中指出,大量研究显示数量越多的RLS,梗死灶多集中于后循环^[15,16]。椎基底动脉系统特异性受累的确切机制仍存争议。一种假说认为PFO患者在Valsalva动作后椎基底动脉系统血流量增加,血流量越大,反常栓塞进入责任血管区域的可能性越高。PFO被认为是小栓子从静脉系统迁移至颅内循环的通道^[17]。Yan等^[18]研究显示卒中组PFO原位血栓发现率高于无症状组,PFO原位血栓与卒中风险显著相关。PFO患者发生穿支动脉梗死可由较小栓子的栓塞机制解释。

作为一种皮质下或深部梗死类型,PI已被证实与高血压、糖尿病或高脂血症等动脉粥样硬化危险因素相关^[19]。目前认为PFO并非穿支动脉梗死(PI)的常见病因,因此不常规对PI患者进行TEE或发泡试验等特殊检查。然而既往研究显示,31.8%合并PFO的隐源性卒中患者存在深部梗死灶^[9]。在本研究队列中,40.4%(42/104)的PFO患者发生PI,表明PFO相关PI的比例不容忽视。本研究结果显示,PFO-PI患者与非PFO-PI患者的RoPE评分无显著统计学差异。因此,在临床实践中仍需开发更有效的检测工具,用于在确诊检查前识别隐源性卒中合并穿支动脉梗死患者的卵圆孔未闭。

TTE是一种简便、无创的检查手段,常规应用于卒中患者以评估心脏结构与功能。既往研究已证实其在预测卵圆孔未闭等方面的临床价值^[20,21]。本研究通过比较合并与未合并卵圆孔未闭的穿支动脉梗死患者TTE参数差异,发现PFO-PI组患者LVEDd和Em值降低,这两个参数均与左室舒张功能相关。左室舒张功能障碍已被确认为心力衰竭的重要原发病因^[22]。心室舒张功能与卵圆孔未闭之间的关联机制尚未明确。既往研究证实左室舒张末期内径与左室舒张末压升高呈正相关^[23,24]。德国研究团队采用

E/e'比值划分左室舒张末压正常与升高组,发现升高的左室舒张末期压与PFO存在负相关性^[25]。这一发现的原因可能是左心室舒张末期压(LVEDP)升高与左心房压力增加相关,后者可能加强房间隔两叶(原发隔与继发隔)的接触紧密度,从而促进PFO的闭合。E峰流速反映舒张早期左心房(LA)-左心室(LV)压力梯度,受左心室松弛速率和左心房功能改变的影响。PFO患者Em值较低,提示左心房压力下降,可能与RLS相关卒中机制存在关联^[20]。

本研究进一步比较了不同PFO相关梗死模式(PI与CI)的心脏超声参数。PFO-PI组患者表现出较CI组更短的ARd和更小的LVEDd。主动脉根部扩张通过PFO增加反常栓塞风险。既往研究提示主动脉根部直径与左心室心肌质量及舒张功能相关。本研究发现ARd扩张与PFO-CI相关而非PFO-PI,这可能表明PFO-PI患者的心脏结构改变程度较PFO-CI患者更为轻微。

本研究的局限性在于采用回顾性分析且样本量较小,所有病例均来自单一医疗中心。超声心动图结果的回顾性分析存在局限性,由于回顾性数据收集可能导致相关临床信息的缺失,这可能会对关联性判断产生误导。因此,受限于横断面研究设计,无法推断因果关系。另外本研究仅通过TCD发泡试验诊断PFO,未采用TEE。尽管TEE被认为是确诊PFO的标准技术,但部分患者无法耐受该检查方法。荟萃分析表明,与TEE对照时,TCD检测PFO的敏感性显著高于TEE(96% vs 45%)。TCD检查还具有无创、经济、可重复性强的优势^[26]。因此,本研究优先选择TCD发泡试验作为PFO诊断检查。

4 结 论

在隐源性卒中患者中,更高的后循环/椎基底动脉系统梗死发生率、左室舒张末期内径减小、E波峰值流速下降以及无主动脉根部内径扩大,是PFO相关穿支动脉梗死的临床及超声心动图特征。

伦理学声明: 本研究设计遵循复旦大学附属华山医院所制订的伦理学流程,基于研究设计特点,豁免患者知情同意。

利益冲突声明: 所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献声明: 张慧负责数据整理、撰写论文;唐海燕、吴斐、余纯负责数据收集、统计学分析;董强、曹文杰负责指导撰写论文并最后定稿。

[参考文献]

- [1] Meissner I, Whisnant JP, Khandheria BK, et al. Prevalence of potential risk factors for stroke assessed by transesophageal echocardiography and carotid ultrasonography: The SPARC study. *Stroke prevention: Assessment of risk in a community* [J]. Mayo Clinic Proceedings, 1999, 74: 862-869.
- [2] Hart RG, Diener H-C, Coutts SB, et al. Embolic strokes of undetermined source: The case for a new clinical construct [J]. *The Lancet Neurology*, 2014, 13: 429-438.
- [3] 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, 102(45):3639-3646.
- [4] Overell JR, Bone I, Lees KR. Interatrial septal abnormalities and stroke: A Meta-analysis of case-control studies [J]. *Neurology*, 2000, 55: 1172-1179.
- [5] Yasaka M, Otsubo R, Oe H, et al. Is stroke a paradoxical embolism in patients with patent foramen ovale? [J]. *Internal Medicine*, 2005, 44: 434-438.
- [6] Kim BJ, Sohn H, Sun BJ, et al. Imaging characteristics of ischemic strokes related to patent foramen ovale [J]. *Stroke*, 2013, 44: 3350-3356.
- [7] Altieri M, Metz RJ, Muller C, et al. Multiple brain infarcts: Clinical and neuroimaging patterns using diffusion-weighted magnetic resonance [J]. *European Neurology*, 1999, 42: 76-82.
- [8] Yang L, Cao W, Wu F, et al. Predictors of clinical outcome in patients with acute perforating artery infarction [J]. *Journal of the Neurological Sciences*, 2016, 365:108-113.
- [9] Kent DM, Ruthazer R, Weimar C, et al. An index to identify stroke-related vs incidental patent foramen ovale in cryptogenic stroke [J]. *Neurology*, 2013, 81: 619-625.
- [10] Consoli D, Paciaroni M, Galati F, et al. Prevalence of patent foramen ovale in ischaemic stroke in Italy: Results of SISIFO study [J]. *Cerebrovascular Diseases*, 2015, 39: 162-169.
- [11] Komar M, Olszowska M, Przewlocki T, et al. Transcranial Doppler ultrasonography should it be the first choice for persistent foramen ovale screening? [J]. *Cardiovascular Ultrasound*, 2014, 12:16.
- [12] Blersch WK, Draganski BM, Holmer SR, et al. Transcranial duplex sonography in the detection of patent foramen ovale [J]. *Radiology*, 2002, 225:693-699.
- [13] Mahmoud AN, Elgendi IY, Agarwal N, et al. Identification and quantification of patent foramen ovale-mediated shunts: Echocardiography and transcranial doppler [J]. *Interventional Cardiology Clinics*, 2017, 6: 495-504.
- [14] He D, Shi Q, Xu G, et al. Clinical and infarction patterns of PFO-related cryptogenic strokes and a prediction model [J]. *Annals of Clinical and Translational Neurology*, 2018, 5(11): 1323-1337.
- [15] 许云云, 何治君. 右至左分流隐源性缺血性卒中的影像学研究进展 [J]. *中风与神经疾病杂志*, 2020, 37(5): 474-476.
- [16] 刘燕燕, 宋秀娟. 卵圆孔未闭合并隐源性卒中的危险因素 [J]. *中风与神经疾病杂志*, 2022, 39(4): 372-374.
- [17] Kim JW, Kim SJ, Yoon CW, et al. Association between the amount of right-to-left shunt and infarct patterns in patients with cryptogenic embolic stroke: A transcranial Doppler study [J]. *International Journal of Stroke*, 2013, 8: 657-662.
- [18] Yan C, Li H, Wang C, et al. Frequency and size of in situ thrombus within patent foramen ovale [J]. *Stroke*, 2023, 54(5): 1205-1213.
- [19] Zhang J, Zhao H, Xue Y, et al. Impaired glymphatic transport kinetics following induced acute ischemic brain edema in a mouse PMCAO model [J]. *Frontiers in Neurology*, 2022, 13: 860255.
- [20] Zhang H, Tang H, Wu F, et al. A score of non-contrast transthoracic echocardiography to screen patent foramen ovale in patients with embolic stroke of undetermined source [J]. *BMC Neurology*, 2022, 22: 43.
- [21] Luo Y, Gu X, Cao W, et al. Proximal single subcortical infarction, left ventricular diastolic shortening, and risk prediction model development for neurological deterioration in patients with anterior circulation single subcortical infarction [J]. *Journal of the American Heart Association*, 2025, 14(10): e040337.
- [22] Kessler KM. Heart failure with normal systolic function. Update of prevalence, differential diagnosis, prognosis, and therapy [J]. *Archives of Internal Medicine*, 1988, 148: 2109-2111.
- [23] Zhou X, Lei M, Zhou D, et al. Clinical factors affecting left ventricular end-diastolic pressure in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction [J]. *Annals of Palliative Medicine*, 2020, 9: 1834-1840.
- [24] Porter CB, Walsh RA, Badke FR, et al. Differential effects of diltiazem and nitroprusside on left ventricular function in experimental chronic volume overload [J]. *Circulation*, 1983, 68: 685-692.
- [25] Landeta F, von dem Bussche E, Ritter M, et al. Elevated left ventricular end-diastolic pressure favours closure of foramen ovale [J]. *Acta Cardiologica*, 2012, 67: 701-706.
- [26] Tsivgoulis G, Alexandrov AV, Sloan MA. Advances in transcranial Doppler ultrasonography [J]. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 2009, 9: 46-54.

引证本文:张慧,唐海燕,吴斐,等.卵圆孔未闭相关隐源性卒中穿支动脉梗死患者的临床特征及超声心动图改变 [J]. 中风与神经疾病杂志, 2025, 42(11):1012-1016.