

超声成像模式下 **Plaque-RADS** 分类系统评估颈动脉斑块风险的可行性研究

韦杰芝，饶华清，郭清，林惠任，韦庆鲜，龙艳

(广西壮族自治区江滨医院超声诊断科，广西南宁 530021)

【摘要】

目的 评估颈动脉斑块报告与数据系统 (carotid plaque reporting and data system, Plaque-RADS) 在超声成像模式下对颈动脉斑块进行风险分层的有效性，并检验该系统在不同年资超声医师间的一致性。**方法** 前瞻性纳入 2025 年 1 月至 12 月收治的 100 例急性单侧不明原因栓塞性卒中 (embolic stroke of undetermined source, ESUS) 患者。采用高频超声对卒中同侧及对侧颈动脉斑块进行扫查，依据 Plaque-RADS 标准进行风险分级。由高年资副主任医师 (16 年经验) 及两名低年资医师 (4 年、6 年经验) 独立评估 200 个斑块的 5 项关键指标 [最大管壁厚度 (maximum wall thickness, MWT)、富脂质坏死核心 (lipid-rich necrotic core, LRNC)、纤维帽 (fibrous cap, FC) 状态、斑块内出血 (intraplaque hemorrhage, IPH)、表面溃疡/血栓] 及 Plaque-RADS 分级。采用组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 及 Kappa 检验评估一致性，并以高年资医师结果为参照，构建受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线分析诊断效能。**结果** 卒中同侧中高风险斑块 (Plaque-RADS 3/4 级) 检出率显著高于对侧 (62% vs. 40%, $P < 0.05$)，其中 4 级复杂斑块检出率差异更为显著 (22% vs. 1%, $P < 0.01$)。三名医师对各项观察指标及 Plaque-RADS 分级的一致性均良好 (Kappa > 0.60 或 ICC > 0.85)。以高年资医师为参照，两名低年资医师对表面溃疡/血栓及 LRNC 的评估一致性极佳，Plaque-RADS 总体分级一致性良好 (医师乙与医师甲 Kappa = 0.742，医师丙与医师甲 Kappa = 0.728)。**结论** Plaque-RADS 分类系统可有效识别卒中同侧中高风险斑块，且在不同年资超声医师间具有可靠的诊断一致性，适用于 ESUS 患者的卒中风险筛查。

【关键词】 超声成像；不明原因栓塞性卒中；Plaque-RADS；颈动脉斑块；风险分层；观察者间一致性【中图分类号】R445.1；R743.3

Feasibility of Plaque-RADS Classification System for Risk Stratification of Carotid Plaques under Ultrasound Imaging Mode

WEI Jiezhi, RAO Huaqing, GUO Qing, LIN Huiren, WEI Qingxian, LONG Yan

Department of Ultrasound Diagnosis, Jiangbin Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530021, Guangxi, China

[Abstract]

Objective To evaluate Plaque-RADS efficacy for carotid plaque risk stratification and interobserver agreement among sonographers with varying experience. **Methods** One hundred patients with acute unilateral embolic stroke of undetermined source (ESUS) admitted from January to December 2025 were prospectively enrolled. High-frequency ultrasound examined ipsilateral and contralateral carotid arteries. A senior physician (16 years

and two junior physicians (4 and 6 years) independently evaluated 200 plaques for five indicators [maximum wall thickness (MWT), lipid-rich necrotic core (LRNC), fibrous cap (FC) status, intraplaque hemorrhage (IPH), surface ulceration/thrombosis] and Plaque-RADS classification. Intraclass correlation coefficient (ICC) and Kappa statistics assessed agreement; receiver operating characteristic (ROC) curves evaluated diagnostic performance against the senior physician's reference. **Results** Ipsilateral intermediate-to-high-risk plaques (Plaque-RADS 3/4) were more prevalent than contralateral (62% vs. 40%, $P < 0.05$), especially grade 4 plaques (22% vs. 1%, $P < 0.01$). All three physicians showed good agreement (Kappa > 0.60 or ICC > 0.85). Junior physicians demonstrated excellent agreement with the senior physician for ulceration/thrombosis and LRNC, and good overall Plaque-RADS grading agreement (Kappa = 0.742 and 0.728). **Conclusion** Plaque-RADS effectively identifies ipsilateral intermediate-to-high-risk plaques with reliable interobserver agreement among sonographers, supporting its application in ESUS stroke risk screening.

[Keywords] Ultrasonography; Embolic Stroke of Undetermined Source; Plaque-RADS; Carotid Plaque; Risk Stratification; Interobserver Consistency

1 前言

缺血性脑卒中是导致死亡和长期残疾的首要病因^[1]。在缺血性脑卒中的病因学分型中，ESUS 占有缺血性卒中的 20%~30%，其起病隐匿、复发风险高，病因识别一直是临床诊疗的难点^[2]。

颈动脉粥样硬化斑块作为动脉源性栓塞的重要来源，在 ESUS 发病机制中发挥关键作用。研究证实，斑块“易损性”而非单纯狭窄程度是决定卒中风险的核心因素^[3]。超声成像因无创、便捷、实时动态等优势，已成为颈动脉斑块筛查的首选方法，但传统基于回声强度的分类对薄纤维帽、斑块内出血等关键易损特征识别能力不足，且缺乏标准化评估体系^[4]。

Plaque-RADS 通过整合 MWT、LRNC、FC 状态、IPH、表面溃疡/血栓等特征将斑块分为 1~4 级，为风险分层提供了标准化工具^[5]。然而，现有验证研究多集中于磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 和 CT 血管成像 (CT angiography, CTA)^[6]，基于超声模式的验证研究相对匮乏。本研究旨在评估 Plaque-RADS 在超声成像模式下对 ESUS 患者颈动脉斑块风险分层的价值，并验证其在不同年资医师间的一致性，为该系统在超声领域的标准化应用提供循证依据。

2 资料与方法

2.1 研究对象

前瞻性选取 2025 年 1 月至 2025 年 12 月在广西江滨医院就诊的 100 例急性单侧前循环 ESUS 患者，其中男性 61 例，女性 39 例，年龄 45~86 岁，平均年龄 (60.5±5.8) 岁。

纳入标准：①符合 ESUS 诊断标准，经头颅 CT 或 MRI 证实为急性前循环缺血性卒中；②发病 7 天内完成颈动脉超声检查；③临床资料完整。

排除标准：①存在心源性栓塞高风险因素；②合并颅内动脉狭窄或其他明确卒中病因；③颈动脉支架植入术后或颈动脉内膜剥脱术后；④图像质量不佳；⑤有颈动脉超声检查禁忌证。

卒中侧别判定：卒中侧别判定结合头颅 CT/MRI 所示梗死灶位置，由 2 名神经内科医师共同判定。每例患者双侧颈动脉各选取级别最高的 1 个斑块，共 200 个斑块纳入评估。本研究经医院伦理委员会批准（审批号：KY-2024SYJS-006），所有患者均签署知情同意书。

2.2 超声检查与评估方法

采用 Philips EPIQ 7C 超声诊断仪，配备高频线阵探头（9~12 MHz）。患者取平卧位，头偏向检查对侧，自颈总动脉起始部沿血管走行向上观察，采用颈动脉长轴和短轴相结合多切面扫查，重点观察分叉部及球部。留存静态及动态图像，记录 MWT、斑块长度、内部回声、表面形态及血流动力学参数。

Plaque-RADS 分级标准：1 级：内中膜层厚度（Intima-Media Thickness, IMT）<1.0 mm，正常血管；2 级：MWT<3 mm，内中膜增厚，斑块无溃疡及无复杂特征；3 级：MWT≥3 mm 伴 LRNC，无复杂特征，细分为 3a（厚纤维帽>100 μm）、3b（薄纤维帽≤100 μm）、3c（溃疡斑块）；4 级：复杂斑块，具备 IPH、FC 破裂或腔内血栓任一特征，细分为 4a（IPH）、4b（FC 破裂）、4c（腔内血栓）。其中 1~2 级为稳定斑块，3~4 级为中高风险斑块。

斑块 5 项关键指标核心评估要点：MWT：短轴切面测量，管腔-内膜界面至外膜外缘，精确至 0.1 mm。LRNC：纵切面观察，均质性低或极低回声区，表面覆盖 FC；≥40% 体积为阳性。FC 状态：纵切面观察斑块与管腔间弧形线样高回声，LRNC 紧邻管腔提示薄，连续性中断为破裂。IPH：急性期呈不规则、非均质性无或低回声区，“虫蚀样”或“地图样”。表面溃疡/血栓：溃疡呈“火山口”样凹陷≥2 mm；血栓呈低或等回声附着物。

2.3 观察者间一致性评估

由高年资副主任医师（医师甲，16 年经验）及两名低年资医师（医师乙，6 年经验；医师丙，4 年经验）独立进行盲法评估。评估内容包括：① 5 项关键指标：MWT（连续变量）、LRNC（二分类：有/无）、FC 状态（三分类：厚/薄/破裂）、IPH（二分类：有/无）、表面溃疡/血栓（三分类：均无/溃疡/血栓）。② Plaque-RADS 总体分级（1~4 级，含亚级）。

2.4 统计学方法

采用 SPSS 26.0 及 MedCalc 20.0 软件。计量资料以均数±标准差表示，计数资料以频数（百分数）表示。双侧斑块分布差异分析采用配对 χ^2 检验。观察者间一致性分析：ICC<0.40 为一致性差，0.40~0.75 为中等，>0.75 为良好；Kappa<0.40 为差，0.40~0.60 为中等，0.60~0.80 为良好，>0.80 为优秀。以 P<0.05 为差异具有统计学意义。

3 结果

3.1 一般临床资料与斑块分布

患者基线特征：合并高血压 68 例（68.0%），糖尿病 42 例（42.0%），高脂血症 55 例（55.0%），吸烟史 38 例（38.0%）。**斑块分布：**颈总动脉 38 个（19.0%），颈动脉分叉部 112 个（56.0%），颈内动脉起始段 50 个（25.0%）。

3.2 卒中同侧与对侧颈动脉斑块风险分层比较

卒中同侧中高风险斑块（Plaque-RADS 3/4 级）检出率显著高于对侧（62% vs. 40%， $P=0.042$ ），4 级复杂斑块差异更显著（22% vs. 1%， $P<0.01$ ）（表 1）。

表 1 Plaque-RADS 分类系统评估结果[n (%)]

组别	1 级	2 级	稳定斑块合 计	3 级	4 级	中高风险斑 块合计
卒中同侧	10	28	38	40	22	62
卒中对侧	13	47	60	39	1	40
χ^2 值	—	—	5.234	—	—	5.132
P 值	—	—	0.042	—	—	0.041

注：4 级斑块组间比较， $P<0.01$

3.3 不同年资超声医师间一致性分析

三名医师对 MWT 测量的 ICC 为 0.889（95%CI: 0.856~0.917）。以医师甲为参照，表面溃疡/血栓及 LRNC 评估一致性极佳（Kappa>0.75），FC 状态及 IPH 一致性良好（Kappa 0.60~0.75）。Plaque-RADS 总体分级一致性良好（医师乙 Kappa=0.742，医师丙 Kappa=0.728， $P<0.001$ ），风险分层（1~2 级 vs. 3~4 级）一致性进一步提高（表 2）。

表 2 不同年资超声医师对颈动脉斑块特征评估的观察者间一致性

观察指标	医师乙 vs 医师甲	P 值	医师丙 vs 医师甲	P 值
	ICC/Kappa 值		ICC/Kappa 值	
最大管壁厚度	0.867*	<0.001	0.854*	<0.001
富脂质坏死核心	0.798	<0.001	0.769	<0.001
纤维帽状态	0.658	<0.001	0.631	<0.001
斑块内出血	0.642	<0.001	0.615	<0.001
表面溃疡/血栓	0.803	<0.001	0.782	<0.001
Plaque-RADS 总体分级	0.742	<0.001	0.728	<0.001

注：*为 ICC 值，其余为 Kappa 值

3.4 低年资医师诊断效能分析

以 Plaque-RADS ≥ 4 分为高风险临界值，医师乙 AUC 为 0.918，医师丙 AUC 为 0.905，敏感度分别为 0.941 和 0.923，阴性预测值均>0.96，漏诊率<8%（表 3）。

表 3 低年资超声医师对高风险斑块（Plaque-RADS ≥ 4 分）的诊断效能

医师	AUC(95%CI)	敏感度	特异度	阳性预测值	阴性预测值
医师乙	0.918(0.867~0.956)	0.941	0.887	0.789	0.972
医师丙	0.905(0.851~0.946)	0.923	0.894	0.795	0.965

4 讨论

本研究前瞻性纳入急性单侧 ESUS 患者，评估了 Plaque-RADS 分类系统在超声成像模式下的应用价值。结果证实：卒中同侧颈动脉中高风险斑块检出率显著高于对侧，4 级复杂斑块在同侧集中分布；不同经验水平超声医师应用该系统有可靠的观察者间一致性；低年资医师应用该系统仍有较高诊断效能。

4.1 Plaque-RADS 系统在 ESUS 病因学诊断中的价值

ESUS 病因识别是临床难点。本研究发现卒中同侧中高风险斑块检出率（62%）高于对侧（40%），4 级复杂斑块在同侧检出率高达 22%（对侧仅 1%），这种不对称分布为动脉源性栓塞提供影像学证据，支持颈动脉斑块是 ESUS 重要栓子来源的假说^[7-9]。易损斑块易受血流剪切力影响，加剧内皮损伤与炎症，促进进展，且易溃疡、出血形成血栓，栓子脱落随血流进入颅内动脉直接导致栓塞性卒中^[10]。相较于传统仅依赖狭窄程度的评估方法，Plaque-RADS 系统通过整合 MWT、LRNC、FC 状态、IPH 及溃疡/血栓等多维度特征，能够更精准地识别“高风险”斑块。对于 ESUS 患者，若发现同侧颈动脉存在 Plaque-RADS 4 级斑块，应高度警惕动脉源性栓塞可能，并考虑强化他汀治疗、双联抗血小板或介入治疗等积极干预措施^[1]。

4.2 超声成像模式下 Plaque-RADS 的适用性与技术考量

本研究核心发现是该系统在不同年资超声医师间诊断一致性可靠，对表面溃疡/血栓及 LRNC 识别一致性达到优秀水平（Kappa>0.75），有重要临床推广价值。低年资医师对 IPH 的识别一致性（Kappa 0.615~0.642）低于对 LRNC 的识别（Kappa 0.769~0.798），与现有文献结论相符：常规超声在可靠鉴别 LRNC 与 IPH 方面存在困难，二者均呈现低回声表现且组织特征重叠^[11]。尽管如此，这种局限性未显著影响总体风险分层一致性，因为 IPH 通常与 MWT 增加、表面溃疡或血栓形成等其他高危特征并存^[12]。超声成像具备独特优势：实时动态评估有助于识别溃疡、FC 破裂和血栓；超声造影及超微血流技术可检测斑块内新生血管作为易损性补充指标。此外，超声无辐射、成本低廉、普及率高，适合筛查、初诊和随访。

4.3 标准化评估的临床推广价值

本研究关注低年资医师使用该系统表现，结果显示两名低年资医师经培训后总体 Kappa 值 >0.70，AUC>0.90，敏感度>0.92，表明低年资医师在经过统一培训后也能有效识别高风险斑块。考虑到颈动脉超声检查量大面广，不可能全部由资深医师完成，这一发现对 Plaque-RADS 系统临床推广具有重要意义^[13]。采用 Plaque-RADS≥4 分作为高风险临界值时，两名低年资医师阴性预测值均 >0.96，漏诊高风险斑块概率极低，为医疗安全提供支持。对于不确定病例，建议进一步行 MRI 检查^[14]。

4.4 对卒中风险分层和二级预防的启示

本研究结果对 ESUS 患者的二级预防策略具有直接指导意义。传统上 ESUS 的治疗主要依赖抗血小板药物，但对于合并高风险颈动脉斑块的患者，可能需要调整治疗策略：①更积极的危险因素控制；②考虑短期双联抗血小板治疗；③对于狭窄严重且斑块极不稳定的患者，可能需要多学科会诊评估血运重建的必要性^[1]。更重要的是，Plaque-RADS 系统标准化应用有助于不同医疗机构报告互认和风险分层一致。目前颈动脉超声报告术语差异大，缺乏统一标准，推广该系统采用标准化报告，能提高规范性和可读性，促进卒中防治同质化^[15-16]。

4.5 研究局限性与未来方向

本研究有局限：一是样本量有限且为单中心研究，需多中心、大样本研究验证；二是研究对象为 ESUS 患者，结果对无症状颈动脉斑块或其他类型卒中患者适用性待研究；三是研究纳入图像质量佳

的患者，可能高估系统在实际临床中的一致性水平；第四，未与MRI-Plaque-RADS进行直接对比^[17]。未来研究方向：开展多中心、大样本研究验证Plaque-RADS在不同人群中的普适性；建立图像质量分级标准；开展与MRI-Plaque-RADS的对比研究；融合前沿超声技术、多模态影像特征及血清生物标志物，构建人工智能辅助风险分层模型^[18]。

5 结论

基于超声成像的Plaque-RADS分类系统在急性单侧ESUS患者中显示出显著的病因学诊断价值，卒中同侧中高风险斑块检出率显著高于对侧，为动脉源性栓塞提供了有力证据。该系统在不同年资超声医师间具有良好的诊断一致性，能够有效标准化颈动脉斑块的超声评估和风险分层，建议在ESUS患者的卒中风险筛查和二级预防中推广应用。

参考文献

- [1] 中国卒中学会. 中国脑血管病临床管理指南（节选版）——颈动脉狭窄临床管理[J]. 中国卒中杂志, 2023, 18(7): 821-832.
- [2] 徐莹鑫, 张爽, 周晓梅, 等. 非狭窄性颈动脉斑块与前循环不明原因栓塞性卒中的相关性研究[J]. 中国卒中杂志, 2022, 17(11): 1233-1237.
- [3] 史琦, 张奕民. PLAQUE-RADS分类联合载脂蛋白A1在缺血性脑卒中风险预防管理中的预测价值[J]. 影像研究与医学应用, 2025, 9(15): 16-19.
- [4] 中国医师协会超声医师分会. 超声评价颈动脉易损斑块中国专家共识（2023版）[J]. 中华超声影像学杂志, 2023, 32(8): 645-655.
- [5] SABA L, CAU R, MURGIA A, et al. Carotid plaque-RADS: A novel stroke risk classification system[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2024, 17(1): 62-75.
- [6] 孟昕, 於帆, 张森皓, 等. 基于高分辨磁共振成像的颈动脉狭窄患者Plaque-RADS评分与脑白质高信号的相关性研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2025, 36(5): 305-308.
- [7] HUANG Y, et al. Pathological intraplaque hemorrhage as the gold standard to assess the efficacy of ultrasound in predicting vulnerable carotid plaque rupture[J]. J Ultrasound Med, 2024, 43(10): 2315-2325.
- [8] CAU R, PARASKEVAS KI, LIBBY P, et al. Carotid plaque-RADS: A reporting and data system for carotid atherosclerotic plaque imaging[J]. Eur Radiol, 2025, 35(2): 1123-1135.
- [9] LIU S, et al. The predictive value of Plaque-RADS classification in two-dimensional carotid ultrasound for stroke risk stratification[J]. Quant Imaging Med Surg, 2026, 16(2): 1152-1165.
- [10] 张扬. 颈动脉斑块报告和数据系统评分对脑卒中的预测价值[J]. 影像研究与医学应用, 2025, 9(13): 161-163.
- [11] ZHANG H, et al. Risk prediction of recurrent ischemic stroke based on Carotid Plaque-RADS: construction and validation of a nomogram model[J]. Front Aging Neurosci, 2025, 17: 1646916.

- [12] XIA J, YU C, LI L, et al. Arterial transit artifacts and carotid plaque-RADS may predict symptoms in patients with carotid stenosis[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2024, 111: 131-137.
- [13] 刘雨宁, 金壮, 蒋南, 等. 颈动脉斑块报告和数据系统联合临床特征对急性缺血性脑卒中预测价值[J]. *临床军医杂志*, 2025, 53(8): 848-850, 852.
- [14] 吴小青, 蒋贝, 刘小玉, 等. 基于MRI的颈动脉斑块报告和数据系统观察者间一致性研究[J]. *放射学实践*, 2025, 40(9): 1110-1115.
- [15] 黄淑铨, 杨舒萍. 颈动脉斑块影像报告和数据系统：一种新的卒中风险分级系统（2024）[J]. *中国医学前沿杂志（电子版）*, 2024, 16(4): 87.
- [16] 杨宁, 刘松, 赵燕, 等. 缺血性脑卒中后并发静脉血栓栓塞的影响因素分析[J]. *中国医刊*, 2025, 60(1): 31-33.
- [17] 李焱, 陈健, 李倩, 等. 不明原因栓塞性卒中的主动脉斑块分析[J]. *中国现代医生*, 2024, 62(7): 46-50.
- [18] 乔敏, 陆萍萍, 沈德娟. 颈动脉斑块报告和数据系统联合临床特征对脑卒中的预测价值[J]. *中国超声医学杂志*, 2024, 40(9): 961-963.

作者简介：韦杰芝，女，大学本科，广西壮族自治区江滨医院超声诊断科副主任医师，研究方向：外周血管疾病超声诊断。