

颈动脉粥样硬化斑块特征、血管周围脂肪影像学特征与急性缺血性脑卒中事件的关系 ——颈动脉CTA分析

陈禹¹, 沈龙山^{2*}, 徐楚楚¹, 黄龙龙¹

¹安徽医科大学第四附属医院(安徽医科大学附属巢湖医院)影像中心, 安徽 合肥

²蚌埠医科大学第二附属医院影像中心, 安徽 蚌埠

收稿日期: 2026年7月5日; 录用日期: 2026年7月29日; 发布日期: 2026年8月5日

摘要

目的: 分析颈动脉粥样硬化斑块特征及血管周围脂肪影像学特征与缺血性事件发生的相关性, 有助于理解缺血性脑卒中发生的病理生理机制, 从而帮助临床医师制定更加个体化的治疗方案。方法: 回顾性分析于本院就诊的动脉粥样硬化患者共84例, 并同时进行了CTA、颅脑MRI平扫检查, 最终经过排除标准筛选后纳入本研究共60例。根据MRI检查结果将患者分为症状组(33例)和无症状组(27例), 比较两组患者间的临床资料、斑块影像学特征及血管周围脂肪密度的差异。将症状组患者根据颈动脉狭窄程度分为轻中度狭窄组(10%~69%)、重度狭窄组(70%~99%)。比较两组间患者的斑块侧颈动脉PFD、非斑块侧颈动脉PFD及 Δ PFD(HU)的差异。结果: 病变血管的狭窄程度、斑块类型、 Δ PFD为动脉粥样硬化患者发生缺血性事件的风险因素(血管狭窄程度: 69.70% vs. 44.44%, $P < 0.05$; 斑块类型: 51.52% vs. 22.22%, $P < 0.05$; Δ PFD: 30.82 ± 3.40 vs. 27.90 ± 5.30 , $P < 0.05$); 轻中度颈动脉狭窄患者 Δ PFD低于重度颈动脉狭窄患者(28.50 ± 3.25 vs. 31.97 ± 2.95 , $P < 0.05$)。结论: 病变血管的狭窄程度、斑块类型、 Δ PFD为缺血性事件发生的影响因素, PFD可能与斑块的稳定性存在相关性, 提示了PFD能够作为评估斑块炎症活性的指标。

关键词

颈动脉周围脂肪密度, 缺血性事件, 动脉粥样硬化, 斑块

The Relationship between Carotid Atherosclerotic Plaque Characteristics, Perivascular Fat Imaging Characteristics, and Acute Ischemic Stroke Events —Carotid CTA Analysis

*通讯作者。

文章引用: 陈禹, 沈龙山, 徐楚楚, 黄龙龙. 颈动脉粥样硬化斑块特征、血管周围脂肪影像学特征与急性缺血性脑卒中事件的关系[J]. 医学诊断, 2026, 16(4): 378-385. DOI: 10.12677/md.2026.164050

Yu Chen¹, Longshan Shen^{2*}, Chuchu Xu¹, Longlong Huang¹

¹Imaging Center, The Fourth Affiliated Hospital of Anhui Medical University (Chaohu Hospital Affiliated to Anhui Medical University), Hefei Anhui

²Imaging Center, The Second Affiliated Hospital of Bengbu Medical University, Bengbu Anhui

Received: July 5, 2026; accepted: July 29, 2026; published: August 5, 2026

Abstract

Objective: To analyze the correlation between the characteristics of carotid atherosclerotic plaques and the imaging features of perivascular fat with the occurrence of ischemic events, which aids in understanding the pathophysiological mechanisms underlying ischemic stroke, thereby assisting clinicians in formulating more individualized treatment plans. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on 84 patients with atherosclerosis who visited our hospital. All patients underwent CTA and plain brain MRI scans, and 60 cases were finally included in this study after exclusion criteria were applied. Patients were divided into a symptomatic group (33 cases) and an asymptomatic group (27 cases) based on MRI results. The clinical data, plaque imaging characteristics, and perivascular fat density differences between the two groups were compared. Patients in the symptomatic group were further divided into mild to moderate stenosis group (10%~69%) and severe stenosis group (70%~99%) based on the degree of carotid stenosis. Differences in PFD of the plaque-side carotid artery, PFD of the non-plaque-side carotid artery, and Δ PFD (HU) between the two groups were compared. **Results:** The degree of stenosis of the diseased vessels, plaque type, and Δ PFD are risk factors for ischemic events in patients with atherosclerosis (degree of vascular stenosis: 69.70% vs. 44.44%, $P < 0.05$; plaque type: 51.52% vs. 22.22%, $P < 0.05$; Δ PFD: 30.82 ± 3.40 vs. 27.90 ± 5.30 , $P < 0.05$); Δ PFD in patients with mild to moderate carotid stenosis is lower than in patients with severe carotid stenosis (28.50 ± 3.25 vs. 31.97 ± 2.95 , $P < 0.05$). **Conclusion:** The degree of stenosis in the diseased vessel, plaque type, and Δ PFD are influencing factors for the occurrence of ischemic events. PFD may be correlated with plaque stability, suggesting that PFD can serve as an indicator for evaluating plaque inflammatory activity.

Keywords

Pericardial Fat Density, Ischemic Events, Atherosclerosis, Plaques

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

颈动脉粥样硬化斑块已经成为全球缺血性卒中发生的主要原因[1][2], 因其引发的脑卒中具有高发生风险、高残疾比例、高死亡风险及高再次发病率等特性, 使得许多患者家庭面临巨大的财务困境、生活质量严重下降、心理压力升高等, 因此深入分析颈动脉粥样硬化斑块特征, 或可辅助实现缺血性卒中患者的个体化风险分层。长期以来, 临床决策高度依赖于颈动脉狭窄程度的评估。以北美症状性颈动脉内膜剥脱术试验为代表的经典研究确立了“狭窄程度决定风险”的临床范式, 颈动脉内膜剥脱术的获益人群主要依据狭窄度 $\geq 50\%$ 或 70% 来筛选。然而, 这一范式的局限性日益凸显, 大量轻度至中度狭窄的患者仍然发生卒中, 而许多重度狭窄的患者却长期保持无症状。这一临床困境提示我们, 斑块的内在生物

学特征才是决定卒中风险的核心因素。近年来许多研究发现,缺血性事件的发生与斑块易损性密切相关,如病理性内膜增厚、斑块内出血、斑块内胆固醇结晶、新生血管及炎症等[3]-[6]。

活动性炎症是导致斑块形成和不稳定的核心因素[7] [8]。斑块内的炎症细胞能够导致新生血管破裂,继而引发炎症介质的释放及其向血管周围脂肪组织中播散,这种炎性刺激能抑制局部脂肪的生成。有关于冠状动脉的研究发现可以通过观察血管周边脂肪衰减指数的变化来间接评估斑块炎症活性,血管周边脂肪衰减指数升高提示血管周围脂肪组织发生炎性重塑,与冠状动脉相关疾病和易损斑块显著相关[9]。近年来,一些研究发现,颈动脉炎症产生的一系列病理生理变化,能通过量化颈动脉周围脂肪密度(PFD)来评估血管炎症[10] [11]。

本研究的目的是分析颈动脉粥样硬化斑块特征和血管周围脂肪影像学特征,探讨其与缺血性事件的关系,为缺血性卒中个体化风险分层评估提供初步探索依据。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

回顾性连续纳入 2024 年 7 月至 2025 年 2 月于本院同时进行颈动脉 CT 血管成像(CTA)、颅脑 MRI 平扫检查的患者资料共 84 例,经过排除标准筛选后,最终 60 例患者入组,包括男性 44 例,年龄 35~83 岁,平均 (65.68 ± 11.25) 岁。

纳入标准:(1) 所有患者均于 2 周内依次或同期接受颈动脉 CTA 及颅脑 MRI 平扫检查;(2) CTA 显示颈动脉斑块最大厚度 > 1.5 mm;(3) 影像图像质量达到诊断分析可接受标准。

排除标准:(1) 患有非动脉粥样硬化病变的患者,例如动脉夹层、脑出血、大动脉炎等;(2) 接受过脑血管内支架及动脉内膜切除治疗的患者;(3) 有颈部炎性疾病或肿瘤病史的患者。

从病历中提取人口学特征及临床资料,包括年龄、性别、体质指数(BMI)、吸烟史、饮酒史、高血压病史、糖尿病病史、冠心病病史,以及血脂指标:高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)。

2.2. 头颈部 CTA 扫描方案

所有图像均通过 GE Revolution 256 排多层螺旋 CT 采集。头颈联合 CTA 扫描范围主动脉弓至颅顶。按照 4 mL/s 的注射速率,注射方式为双筒高压注射,对比剂注入后追加同等流率的生理盐水 30 mL。扫描参数:管电压 120 kV,管电流 150 mA,螺距 0.982,层厚与层间距均为 0.625 mm,矩阵 512×512 。扫描完成后,原始图像数据自动传输至后处理工作站进行图像重建与分析。

2.3. 颅脑 MRI 扫描方案

采用 Philips Ingenia 3.0T 磁共振扫描仪。主要 DWI 序列参数:TR 2500 ms, TE 90 ms, FOV 230×230 mm, b 值 0 和 1000 s/mm²。

2.4. 颈动脉 CTA 图像测值与评估

由两名副高及以上职称的放射科医师在后处理工作站上独立分析 CTA 图像,两位医师均对患者的临床资料完全不知情。观察内容包括定性资料分析与定量参数测量。当两者的判读结果不一致时,通过协商讨论达成一致意见。

参考 Baradaran 等的测量方法[12],在颈动脉周围脂肪组织内手动勾画感兴趣区(ROI),进而测量 PFD,将需要测量的 CTA 图像的窗宽调制 500 HU,窗位调制 100 HU,选择当前患者颈动脉最狭窄处这一层面,

在颈动脉周围脂肪区域内,距离颈动脉血管壁 1 mm 以外,手动勾画两个面积均为 2.5 mm² 的 ROI。ROI 的选取位置对于每一个患者来说是不相同的,是由颈动脉最狭窄部位、斑块位置及血管周围脂肪分布区域共同决定。需要注意的是,在手动勾画 ROI 时要避开颈动脉血管壁和邻近的软组织结构。利用同样的方法,在同一层面测量对侧(无粥样硬化斑块侧)颈动脉 PFD。将斑块侧颈动脉 PFD 的两次测量值标记为 PFD1 和 PFD2,对侧(无粥样硬化斑块侧)颈动脉 PFD 的两次测量值标记为 PFD3 和 PFD4。

公式 1: 斑块侧颈动脉 PFD (HU) = (PFD1 + PFD2)/2;

公式 2: 非斑块侧颈动脉 PFD (HU) = (PFD3 + PFD4)/2;

公式 3: Δ PFD (HU) = 斑块侧颈动脉 PFD - 非斑块侧颈动脉 PFD。

依据 NASCET 标准评估颈动脉狭窄程度。根据狭窄率将患者分为:轻度狭窄(10%~49%)、中度狭窄(50%~69%)、重度狭窄(70%~99%)。为进一步分析,将轻、中度狭窄合并为轻中度狭窄组,重度狭窄单独设为重度狭窄组。

2.5. 颅脑 MRI 图像评估

由两名对患者临床资料及 CTA 数据完全设盲的副高及以上职称放射科医师独立分析 MRI 图像。在 MRI 图像上,急性脑梗死的诊断依据为:DWI 显示相应区域病灶为高信号,ADC 序列显示为低信号,当两者对图像的分析结果不统一时,进行协商后,达成一致。将诊断为急性脑梗死患者归为症状组,反之则为无症状组。

2.6. 统计学分析

计数资料以频数和百分比(%)表示,组间比较采用卡方检验。符合正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较采用独立样本 t 检验。使用 SPSS 26.0 统计学软件进行数据处理, $P < 0.05$ 表示有统计学意义。

Table 1. Comparison of general information, plaque characteristics, and carotid PFD between the symptomatic group and the asymptomatic group

表 1. 症状组和无症状组间一般资料、斑块特征及颈动脉 PFD 的比较

参数	症状组($n = 33$)	无症状组($n = 27$)	t/χ^2	P 值
男性[n (%)]	24 (72.73)	20 (74.07)	0.014	0.907
年龄(岁)	65.45 $\pm$ 12.41	69.11 $\pm$ 7.67	1.398	0.168
BMI (kg/m ²)	23.78 $\pm$ 3.87	23.82 $\pm$ 2.77	0.051	0.960
吸烟史[n (%)]	12 (36.36)	7 (25.93)	0.748	0.387
饮酒史[n (%)]	13 (39.39)	9 (33.33)	0.235	0.628
高血压史[n (%)]	19 (57.58)	18 (66.67)	0.519	0.471
糖尿病史[n (%)]	6 (18.18)	8 (29.63)	1.088	0.297
冠心病史[n (%)]	6 (18.18)	6 (22.22)	0.152	0.697
HDL-C (mmol/L)	0.99 $\pm$ 0.24	1.04 $\pm$ 0.29	0.777	0.440
LDL-C (mmol/L)	2.53 $\pm$ 0.84	2.34 $\pm$ 0.63	0.996	0.323
TC (mmol/L)	4.52 $\pm$ 1.00	4.36 $\pm$ 0.96	0.617	0.540
TG (mmol/L)	1.66 $\pm$ 0.51	1.52 $\pm$ 0.82	0.760	0.450
血管狭窄程度[n (%)]			3.896	0.048
轻中度狭窄(10%~69%)	10 (30.30)	15 (55.56)		
重度狭窄(70%~99%)	23 (69.70)	12 (44.44)		

续表

斑块类型[n (%)]			6.301	0.043
非钙化斑块	17 (51.52)	6 (22.22)		
钙化斑块	9 (27.27)	15 (55.56)		
混合斑块	7 (21.21)	6 (22.22)		
病变范围[n (%)]			0.193	0.908
局限性	20 (60.61)	15 (55.56)		
弥漫性	6 (18.18)	6 (22.22)		
节段性	7 (21.21)	6 (22.22)		
斑块侧颈动脉 PFD (HU)	-35.64 ± 10.61	-39.31 ± 12.25	1.241	0.220
非斑块侧颈动脉 PFD (HU)	-66.57 ± 8.15	-67.21 ± 7.59	0.313	0.756
ΔPFD (HU)	30.82 ± 3.40	27.90 ± 5.30	2.670	0.010

Table 2. Comparison of PFD characteristics in symptomatic patients with different degrees of carotid artery stenosis
表 2. 症状组患者不同颈动脉狭窄程度 PFD 特征比较

颈动脉狭窄程度	例数	斑块侧颈动脉 PFD (HU)	非斑块侧颈动脉 PFD (HU)	ΔPFD (HU)
轻中度狭窄(10%~69%)	10	-40.45 ± 10.71	-68.95 ± 8.64	28.50 ± 3.25
重度狭窄(70%~99%)	23	-33.55 ± 10.09	-65.52 ± 7.89	31.97 ± 2.95
<i>t</i> 值		1.774	1.116	3.010
<i>P</i> 值		0.086	0.273	0.005

3. 结果

3.1. 一般资料比较

症状组患者和无症状组患者性别、年龄、BMI、吸烟史、饮酒史、高血压史、糖尿病史、冠心病史、HDL-C、LDL-C、TC、TG、颈动脉病变范围、斑块侧颈动脉 PFD、非斑块侧颈动脉 PFD 对比无显示差异($P > 0.05$)。两组患者病变血管的狭窄程度、斑块类型、ΔPFD 相比差异显著($P < 0.05$, 表 1)。

3.2. 症状组患者不同颈动脉狭窄程度 PDF 特征比较

轻中度颈动脉狭窄患者和重度颈动脉狭窄患者间斑块侧颈动脉 PFD、非斑块侧颈动脉 PFD 对比显示无差异($P > 0.05$)。轻中度颈动脉狭窄患者 ΔPFD 低于重度颈动脉狭窄患者($P < 0.05$, 表 2)。

典型病例见图 1、图 2。



1A: 横断面 CTA, 显示左侧颈动脉斑块为混合斑块, 并在斑块最大层面勾画 ROI 测量 PFD; 1B: 矢状面 CTA, 显示左侧颈动脉处斑块为局限性斑块; 1C: DWI 图像中左侧侧脑室旁异常高信号灶。

Figure 1. CTA and DWI images of carotid atherosclerotic plaque symptoms
图 1. 颈动脉粥样硬化斑块症状 CTA 及 DWI 图像



2A: 横断面 CTA, 显示右侧颈动脉斑块为钙化斑块, 并在斑块最大层面勾画 ROI 测量 PFD;
2B: 矢状面 CTA, 显示右侧颈动脉处斑块为局限性斑块; 2C: DWI 图像中无异常高信号灶。

Figure 2. CTA and DWI images of asymptomatic carotid atherosclerotic plaques

图 2. 颈动脉粥样硬化斑块无症状 CTA 及 DWI 图像

4. 讨论

本研究探讨了一般临床资料、动脉粥样硬化斑块特征及 PFD 与缺血性事件发生的关系。导致动脉粥样硬化患者发生缺血性事件的因素有很多, 这些因素通常不是单独产生作用, 而是通过一系列的病理生理机制, 共同发挥作用, 最终导致患者发生急性脑梗死。因此, 应用 CTA 探索脑卒中发生的危险因素, 并精准识别每例患者的具体病因, 有望为缺血性卒中患者的个体化风险分层工作提供新思路。

本研究发现病变血管的狭窄程度与缺血性事件的发生有关。病变血管的狭窄程度作为传统核心指标, 其与卒中风险的关系呈非线性。有研究结果显示, 狭窄度越高, 同侧卒中风险越大[13]-[16]。但现代影像学研究的启示在于: 并非所有高危事件都发生在重度狭窄处, 也并非所有重度狭窄都产生事件[17] [18]。严重狭窄但斑块稳定(如广泛钙化、厚纤维帽)的患者可能长期无症状; 而轻度狭窄但具有高危特征(如脂质核心、溃疡、炎症)的患者却可能突然发生事件。这提示狭窄程度应被视为风险分层的起点而非终点。

近年来, 部分学者已认识到斑块类型在预测缺血性事件风险中的重要临床价值[19], 上述研究表明了, 斑块类型的概念源于对动脉粥样硬化病理学的深入认识。根据成分构成, 颈动脉斑块可归为脂质性(软斑块)、纤维性、钙化性、混合性及伴斑块内出血等类型。不同类型的斑块具有截然不同的生物学行为和临床预后: 富含脂质的斑块易于破裂, 而钙化为主的斑块相对稳定[20] [21]。这一认知转变推动着颈动脉疾病管理从血管管腔向斑块的稳定性演进。CTA 作为颈动脉斑块的一线影像学手段, 能够通过斑块的 CT 衰减值进行成分定性分析。这一技术能力使得在临床实践中大规模评估斑块类型成为可能。

本研究结果提示症状组患者 PFD 增高, 且斑块侧 PFD 高于非斑块侧, 揭示了急性脑梗死发生的病理生理机制导致的炎症反应局限于病变血管周围。炎症反应不仅会导致血管周围脂肪组织的分解, 还抑制血管周围形成新的脂肪, 诱导微血管通透性增加, 并促进血管周围水肿的形成, 最终在动脉血管周围形成不同层次的脂肪密度[22]。部分研究[23]发现, 急性冠状动脉综合征患者的责任斑块周围血管密度高于非责任斑块, 说明冠状动脉周围脂肪密度可以作为评估斑块易损性的影像指标。有研究[24]表明, 动脉粥样硬化患者病变侧 PFD 显著高于对侧, 这一发现与本研究的结论高度一致, 进一步验证了本研究结果的可靠性。正电子发射型计算机断层/计算机断层能够实现血管周围炎症反应的在体可视化评估, 但该技术因其高暴露风险、高额费用及较差的临床可及性而应用受限。本研究利用 CTA 测量 PFD, 能够准确地评估动脉血管周围炎症反应, 进而为临床医师制定早期干预性治疗提供了一定的影像参考, 并且该技术具有无创、价格经济和高临床可用性的特点。基于上述研究结果, 颈动脉 PFD 对局部颈动脉炎症具有敏感的指示作用, 这可能与 PFD 能够反映血管周围脂肪组织发生炎症介导的水脂比例变化有关, 这为临床提供了一种无创、可量化的影像学生物指标, 有助于在常规 CTA 检查中同步评估动脉炎症状态, 从而改善缺血性脑血管病的风险分层与早期干预策略。

本研究存在若干不可忽视的研究局限。其一，受横断面研究设计本质限制，本研究所有变量数据均为同一时间点采集，仅能揭示颈动脉粥样硬化斑块特征、血管周围脂肪密度与急性卒中事件的横断面关联特征，不能排除反向因果偏倚，亦无法确立各指标与卒中事件的因果时序关系。急性卒中发病后的血管微环境改变，亦可能反向影响脂肪组织影像学表现，使组间关联结果存在一定混杂。其二，本研究为小样本单中心研究，样本规模有限会降低统计效能，可能导致部分弱关联指标未被检出，同时结果的稳定性、重复性及人群外推能力受限，难以完全规避选择性偏倚对结论的干扰。其三，本研究仅分析静态影像学参数，缺乏对斑块稳定性演变、血管周围脂肪炎性重塑的动态随访数据，无法解释危险因素累积过程与卒中急性事件的发生机制。后续需开展大样本、多中心、长期随访的前瞻性队列研究，进一步量化血管周围脂肪密度、斑块特征对卒中事件的预测价值，完善其临床风险评估体系。

综上，颈动脉的狭窄程度、病变处斑块类型、颈动脉 Δ PFD 为缺血性事件发生的相关因素，探索了颈动脉 PFD 在缺血性事件中的作用机制，相关观测结果对缺血性卒中个体化风险分层具有一定的参考意义。

声 明

本研究获安徽医科大学第四附属医院伦理委员会批准(审批号: KYXM-202605-011)。

基金项目

蚌埠医学院转化医学重点项目(BYTM2019045); 数字医学与智慧健康安徽普通高校重点实验室(蚌埠医学院)一般项目(AHCM2022W001)。

参考文献

- [1] Mozaffarian, D. (2017) Global Scourge of Cardiovascular Disease. *Journal of the American College of Cardiology*, **70**, 26-28. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.05.007>
- [2] Members, A.F., Piepoli, M.F., Hoes, A.W., *et al.* (2016) 2016 European Guidelines on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (Constituted by Representatives of 10 Societies and by Invited Experts): Developed with the Special Contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). Springer.
- [3] Michel, J.-B., Virmani, R., Arbustini, E. and Pasterkamp, G. (2011) Intraplaque Haemorrhages as the Trigger of Plaque Vulnerability. *European Heart Journal*, **32**, 1977-1985. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehr054>
- [4] Chistiakov, D.A., Orekhov, A.N. and Bobryshev, Y.V. (2015) Contribution of Neovascularization and Intraplaque Haemorrhage to Atherosclerotic Plaque Progression and Instability. *Acta Physiologica*, **213**, 539-553. <https://doi.org/10.1111/apha.12438>
- [5] Antonopoulos, A.S., Sanna, F., Sabharwal, N., Thomas, S., Oikonomou, E.K., Herdman, L., *et al.* (2017) Detecting Human Coronary Inflammation by Imaging Perivascular Fat. *Science Translational Medicine*, **9**, eaal2658. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aal2658>
- [6] 蔡璐璐, 王驰, 于可, 等. PET/CT 偶发颈动脉斑块的 ^{18}F -FDG 摄取对缺血性脑卒中复发的预测价值[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(3): 426-430.
- [7] Che, F., Mi, D., Wang, A., Ju, Y., Sui, B., Geng, X., *et al.* (2022) Extracranial Carotid Plaque Hemorrhage Predicts Ipsilateral Stroke Recurrence in Patients with Carotid Atherosclerosis—A Study Based on High-Resolution Vessel Wall Imaging MRI. *BMC Neurology*, **22**, Article No. 237. <https://doi.org/10.1186/s12883-022-02758-3>
- [8] Zhang, S., Yu, X., Gu, H., Kang, B., Guo, N. and Wang, X. (2022) Identification of High-Risk Carotid Plaque by Using Carotid Perivascular Fat Density on Computed Tomography Angiography. *European Journal of Radiology*, **150**, Article ID: 110269. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2022.110269>
- [9] Antoniadou, C., Antonopoulos, A.S. and Deanfield, J. (2020) Imaging Residual Inflammatory Cardiovascular Risk. *European Heart Journal*, **41**, 748-758. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz474>
- [10] Zhang, D.H., Jin, J.L., Zhu, C.F., Chen, Q. and He, X. (2021) Association between Carotid Artery Perivascular Fat Density

- and Cerebral Small Vessel Disease. *Aging*, **13**, 18839-18851. <https://doi.org/10.18632/aging.203327>
- [11] Zhang, S., Gu, H., Yu, X., Kang, B., Yuan, X. and Wang, X. (2021) Association between Carotid Artery Perivascular Fat Density and Intraplaque Hemorrhage. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **8**, Article ID: 735794. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.735794>
 - [12] Baradaran, H., Myneni, P.K., Patel, P., Askin, G., Gialdini, G., Al-Dasuqi, K., *et al.* (2018) Association between Carotid Artery Perivascular Fat Density and Cerebrovascular Ischemic Events. *Journal of the American Heart Association*, **7**, e010383. <https://doi.org/10.1161/jaha.118.010383>
 - [13] 于远, 王坤, 杨淑贞. 分水岭脑梗死患者头颈部动脉粥样硬化斑块的计算机断层扫描血管成像特征及其与动态动脉硬化指数的相关性[J]. 中国医药, 2025, 20(10): 1488-1493.
 - [14] 钟龙华, 方坤华. 头颈部血管 CT 成像及 ABCD2 评分对高血压合并短暂性脑缺血患者发生脑梗死的预测价值[J]. 心血管病防治知识(学术版), 2025(12): 60-66.
 - [15] Madigan, C.G., Adams, M.B., Chu, C., Dinkha, L.R., Farrell, S.J., Hoard, R.T., *et al.* (2021) Comparing Downstream Consequences of Normal Exercise Stress Echocardiograms and Cardiac Computed Tomography Angiography Scans in Patients Suspected of Having of Obstructive Coronary Artery Disease: A Retrospective Cohort Study of Tricare Beneficiaries. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, **37**, 3583-3588. <https://doi.org/10.1007/s10554-021-02343-8>
 - [16] Pouvelle, A., Pouliquen, G., Premat, K., Chougar, L., Lenck, S., Degos, V., *et al.* (2020) Larger Middle Meningeal Arteries on Computed Tomography Angiography in Patients with Chronic Subdural Hematomas as Compared with Matched Controls. *Journal of Neurotrauma*, **37**, 2703-2708. <https://doi.org/10.1089/neu.2020.7168>
 - [17] Zhao, X., Underhill, H.R., Zhao, Q., Cai, J., Li, F., Oikawa, M., *et al.* (2011) Discriminating Carotid Atherosclerotic Lesion Severity by Luminal Stenosis and Plaque Burden: A Comparison Utilizing High-Resolution Magnetic Resonance Imaging at 3.0 Tesla. *Stroke*, **42**, 347-353. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.110.597328>
 - [18] 陈禹, 沈龙山, 陈刘成, 等. 大脑中动脉粥样硬化性急性缺血性脑卒中的斑块特征及血流动力学危险因素分析[J]. 中国医学装备, 2024, 21(8): 46-53.
 - [19] Guo, H., Yao, W., Lan, G. and Li, K. (2025) Assessment of Carotid Plaques Stability and Its Correlation with Ischemic Stroke through Computed Tomography Angiography. *Neurological Research*, **47**, 941-950. <https://doi.org/10.1080/01616412.2025.2508865>
 - [20] Abdelwahed, Y.S., Nelles, G., Frick, C., Seppelt, C., Meteva, D., Stähli, B.E., *et al.* (2022) Coexistence of Calcified- and Lipid-Containing Plaque Components and Their Association with Incidental Rupture Points in Acute Coronary Syndrome-Causing Culprit Lesions: Results from the Prospective OPTICO-ACS Study. *European Heart Journal—Cardiovascular Imaging*, **23**, 1598-1605. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab247>
 - [21] Corti, A., De Paolis, A., Grossman, P., Dinh, P.A., Aikawa, E., Weinbaum, S., *et al.* (2022) The Effect of Plaque Morphology, Material Composition and Microcalcifications on the Risk of Cap Rupture: A Structural Analysis of Vulnerable Atherosclerotic Plaques. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **9**, Article ID: 1019917. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.1019917>
 - [22] Berman, D.S. and Kwiecinski, J. (2022) Imaging Coronary Inflammatory Risk. *JACC: Cardiovascular Imaging*, **15**, 472-475. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.11.007>
 - [23] 罗焕, 曹成瑛, 高律萍, 等. 基于双源 CT 下人工智能 CT 血流储备分数联合冠状动脉周围脂肪衰减指数对高海拔地区冠状动脉粥样硬化性心脏病的评估及预测[J]. 分子影像学杂志, 2022, 45(2): 284-288.
 - [24] Hu, X.L., Chen, J., Fu, H., Chen, Y., Fan, D., Chen, Y., *et al.* (2022) Association between Carotid Artery Perivascular Fat Density and Embolic Stroke of Undetermined Source. *Frontiers in Neurology*, **12**, Article ID: 765962. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.765962>