

基于 CTA 评价颈动脉斑块易损性与分布位置之间的相关性*

赵艺楠¹, 顾艳², 刘颖², 郭中萍³

[1. 锦州医科大学 (连云港市第一人民医院) 研究生培养基地, 辽宁 锦州 121000; 2. 连云港市第一人民医院医学影像科, 江苏 连云港 222000; 3. 南京医科大学 (连云港市第一人民医院) 研究生培养基地, 江苏 南京 211166]

摘要: **目的** 利用 CTA 分析颈动脉斑块分布位置、特征与斑块易损性的关系, 为颈动脉粥样斑块的危险因素及形成机制提供更多信息。**方法** 选取 2020 年 10 月至 2021 年 10 月连云港市第一人民医院收治的颈动脉粥样硬化患者且伴有短暂性脑缺血症状共 89 例。从 CTA 轴位测量颈动脉分叉处斑块的特征参数 (斑块厚度、长度、最大横截面积、斑块负荷和重塑指数) 和斑块分布位置, 根据斑块是否具有高危特征 (包括斑块内出血、富含脂质的坏死核心、斑块溃疡等), 将斑块分为高危组和低危组, 分析两组斑块的特征与分布位置的差异。**结果** 根据斑块高危特征, 144 条颈动脉中高危组 79 条, 低危组 65 条。两组间的斑块厚度、长度、最大横截面积、斑块负荷、斑块分布差异有统计学意义 ($P<0.05$)。在斑块横断面分布位置中, 高危组较低危组相比更多见于颈动脉分叉处管壁背侧 ($P=0.002$), 且分布在背侧的斑块, 其斑块厚度、长度、最大横截面积及斑块负荷较低危组更大 ($P<0.05$); 低危组更倾向于分布在颈动脉分叉处外侧壁 ($P<0.01$), 且其斑块的最大横截面积及斑块负荷较高危组小 ($P<0.05$), 而两组颈动脉斑块的重构方式及狭窄率差异无统计学意义 ($P>0.05$)。**结论** 高危斑块好发于颈动脉分叉处的背侧, 且颈动脉分叉处斑块的厚度、横截面积及斑块负荷越大, 斑块越倾向于不稳定, 而低危斑块倾向于发生在颈动脉分叉外侧。

关键词: 缺血性卒中; 斑块易损性; 动脉粥样硬化; 斑块分布; 颈动脉斑块

中图分类号: R743

Evaluation of the correlation between vulnerability and distribution location of carotid plaque based on CTA*

ZHAO Yinan¹, GU Yan², LIU Ying², GUO Zhongping³

(1. Postgraduate Training Base of the First People's Hospital of Lianyungang, Jinzhou Medical University, Jinzhou, Liaoning 121000, China; 2. Department of Medical Imaging, the First People's Hospital of Lianyungang, Lianyungang, Jiangsu 222000, China; 3. Postgraduate Training Base of the First People's Hospital of Lianyungang, Nanjing Medical University, Nanjing, Jiangsu 211166, China)

Abstract: **[Objective]** To analyze the relationship among distribution location, characteristics, and vulnerability of carotid plaque using CTA and provide more information on the risk factors and formation mechanism of carotid atherosclerotic plaque. **[Methods]** We retrospectively analyzed the CTA images of the head and neck of 89 patients with carotid atherosclerosis. Atherosclerosis was developed in 144 carotid arteries. The plaques were divided into a high-risk plaque group and a low-risk plaque group according to whether the plaques had high-risk characteristics, and the differences in the characteristics and distribution locations of the plaques in the two groups were analyzed. The characteristic parameters of the cross-sectional plaques at the bifurcation of the carotid artery, including the thickness, remodelling index and distribution location of the plaques (ventral, dorsal, inner, and outer side walls) etc. were measured. **[Results]** Among 144 carotid arteries, 79 were classified as high-risk and 65 as low-risk groups. There were significant differences between the two groups concerning the thickness, length, maximum cross-sectional area, burden, and cross-sectional distribution of the plaques ($P<0.05$). The plaque distribution on the dorsal side wall of the

收稿日期: 2023-06-24

* 基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (2020M681534)

[通信作者] 顾艳, E-mail: 13815617997@139.com; Tel: 0518-14457539

carotid bifurcation was higher in the high-risk group than that in the low-risk group ($P<0.05$). The plaque distribution on the outer wall of the carotid bifurcation was higher in the low-risk group than in the high-risk group ($P<0.05$). **【Conclusion】** High-risk plaques tend to occur on the dorsal side wall of the carotid bifurcation, whereas low-risk plaques tend to occur on the outer side wall of the carotid bifurcation.

Keywords: ischemic stroke; plaque vulnerability; atherosclerosis; plaque distribution; carotid artery plaque

近年来,脑卒中事件发生率呈上升趋势,动脉粥样硬化是缺血性卒中的重要影响因素^[1],大约 30% 的缺血性脑卒中与动脉粥样硬化中的颈动脉易损斑块破裂有关^[2],目前,基于影像学颈动脉斑块的风险分层已经从单纯评估颈动脉狭窄程度转变为分析颈动脉斑块成分,从而对斑块进行更精准的评估。

在既往的研究中,人们将影像学特征与病理组织学特征进行对比^[3-4],将单纯的钙化斑块视为稳定斑块,斑块的高危特征包括斑块内出血(intra-plaque hemorrhage, IPH)、富含脂质的坏死核心(lipid-rich necrotic core, LRNC)、薄纤维帽、斑块表面溃疡等。CTA 应用广泛,可快速执行并进行多平面重建,充分评估血管,可以直观地观察到斑块的形态,还可以通过测量 CT 值对其组成的成分进行分析^[5],DE WEERT 等^[6]利用 CT 值与病理组织学对照,将斑块分为脂质斑块(CT 值 <60 HU)、钙化斑块(CT 值 >130 HU)、混合斑块(CT 值 $60\sim130$ HU),用来分析斑块成分,既往的研究^[7]表明,颈内动脉外膜环形钙化厚度 <2 mm,且邻近低密度斑块厚度 ≥ 2 mm 这一影像学征象对 IPH 具有高度预测性,这种征象称为“餐巾环征”。此外,颈动脉斑块易损性与斑块厚度也具有相关性,钙化斑块厚度每增加 1 mm 就会降低患者同侧中风或短暂性脑缺血发作的概率^[8],然而低密度斑块厚度的增加会使斑块易损性升高^[4]。

除了探究颈动脉斑块的易损性,过去的研究中还发现颈动脉斑块的形成与颈动脉几何形态及血流动力学相关,颈动脉粥样硬化斑块往往发生在颈动脉分叉处,这一点已得到充分证实^[9],其中高危斑块容易出现在分流处附近和稳定斑块的远端^[10],之前的研究只在纵向上分析了颈动脉斑块的好发位置,即颈动脉分叉处,目前还没有研究证实从 CTA 横断面上评估斑块易损性是否与斑块分布位置相关,所以探究高危斑块的好发位置对于完善颈动脉斑块风险分级具有重要意义,本次实验旨在利用 CTA 探究短暂性脑缺血发作

(transient ischemic attack, TIA) 患者横断面上颈动脉分叉处斑块分布位置与斑块特征、易损性之间的关系,以期丰富颈动脉斑块高危特征的相关因素,为 TIA 患者寻找责任病灶提供参考价值。

1 材料与方法

1.1 一般资料

本研究回顾性分析 2020 年 10 月至 2021 年 10 月因 TIA 在连云港市第一人民医院接受头颈部 CTA 检查的颈动脉粥样硬化的患者。所有患者临床资料和影像学资料完整;所有患者检查前均签署知情同意书。

纳入标准:①完成头颈部 CTA 检查,单侧或双侧颈动脉分叉处有动脉粥样硬化斑块的患者。②患者就诊前 3 天内具有 TIA 症状(局部脑或视网膜缺血引起的短暂性神经功能缺损,临床症状一般不超过 1 h,最长不超过 24 h)。③研究所涉及临床资料完整无缺失(能够详细记录是否符合 TIA 典型症状表现)。④图像质量评价达优良级别(图像清晰,无伪影)。排除标准:①头颈动脉瘤或头颈动脉夹层患者。②严重肝、肾疾病患者。③血液病患者。④严重感染患者。⑤有恶性肿瘤病史的患者。⑥行 CTA 前有急性期溶栓、血管内介入治疗、颈动脉内膜剥脱术或既往有颅内支架植入患者。

1.2 研究方法

1.2.1 头颈部 CTA 检查及参数设定 ①设备和试剂:使用西门子 Somatom Definition Flash 双源 CT 扫描仪。扫描参数设置如下:电流 125 mA,电压 100 kV,准直 $16\text{ mm}\times 0.6\text{ mm}$,层厚 0.75 mm。还使用了静脉留置导管、双杆释放注射器、碘克沙醇造影剂(320 mgI/mL,江苏恒瑞制药有限公司,中国),对比剂增强使用 18-G 套管针于肘前静脉穿刺,以 3~5 mL/s 的速度注射非离子型含碘对比剂碘克沙醇(320 mgI/mL)(对比剂注射总量和流速依据患者体重和扫描范围进行个体化定量),在对比剂注射完毕后以相同速度继续追加注射 30 mL

生理盐水。②扫描方法：所有接受颈动脉 CTA 的患者均无心力衰竭史或碘造影剂禁忌症。患者取仰卧位，CT 覆盖范围从主动脉弓到颈动脉虹吸段，患者从脚到头进行扫描。对比剂注射前后对图像进行检查。扫描时间为 8~12 s 应用造影剂示踪法，在主动脉弓或颈动脉层面选择感兴趣区监测 CT 值，CT 值超过 100 HU 时，延迟 4 s 自动触发扫描，当达到阈值时，指示患者在间隔 4 s 后屏住呼吸开始扫描。所有患者的影像检查均由经验丰富的放射科医生进行。嘱患者扫描期间不要吞咽、移动头及身体，以便使用三维重建技术对收集的数据获取所需的血管图像。

1.2.2 图像分析和指数测量 ①图像分析：使用 GPACS 系统分析颈总动脉分叉处有斑块的节段，并使用统一的窗口宽度和窗口水平进行测量 (WW=800 和 WL=300)。②颈动脉斑块测量和斑块分析：每例图像均由两名从事头颈部影像诊断工作五年以上的影像科医生阅片，两位阅片者均不知道患者临床相关资料，对结果产生分歧时，商量统一意见后决定。选择颈总动脉分叉处的斑块，在轴位图像中从近段到远段选择斑块的最大的横截面积作为斑块测量点，GPACS 系统工具用于勾勒斑块特征。将颈动脉斑块的边界线即感兴趣区勾画出来。分别记录斑块面积 (plaque area, PA)、血管面积 (lumen area, LA)、参考管腔面积 (reference lumen area, RLA)、斑块厚度、斑块长度 (斑块从出现到消失的层数 × 扫描层厚 0.75)，计算斑块负荷 (plaque burden, PB) ($PB=PA/LA \times$

100%)、重塑指数 (remodeling index, RI) ($RI=LA/RLA$) 和狭窄率。参考血管面积是没有斑块的近端和远端管腔面积之和的平均值。狭窄程度的判断按照北美有症状颈动脉内膜切除试验和欧洲颈动脉外科试验协作组标准：即狭窄度 = (颈内动脉远端外径 - 颈内动脉最狭窄处内径) / 颈内动脉远端外径 × 100% (管腔狭窄率 0%~49% 为轻度狭窄，50%~69% 为中度狭窄，70%~99% 为重度狭窄，管腔狭窄率 100% 为完全闭塞)。③斑块 CT 值测量：选择轴位图像上颈总动脉分叉处斑块最大横截面积层面，画出非钙化斑块的边缘作为兴趣区域 (region of interest, ROI)，并尽量避免将钙化及脂肪组织纳入，取 ROI 所画范围内 CT 值的平均值。④斑块分布：选择轴位图像上颈总动脉分叉处斑块最大横截面积层面，将横截面管腔均分为 4 个 90° 的扇形，即腹侧壁、背侧壁、内侧壁、外侧壁，分叉处的两个相邻管壁为内侧，相对侧为外侧，若斑块横跨两个区域则以斑块最厚处所在的区域为准 (见图 1、图 2)。

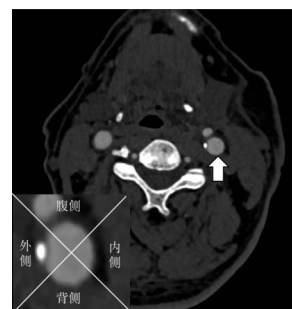
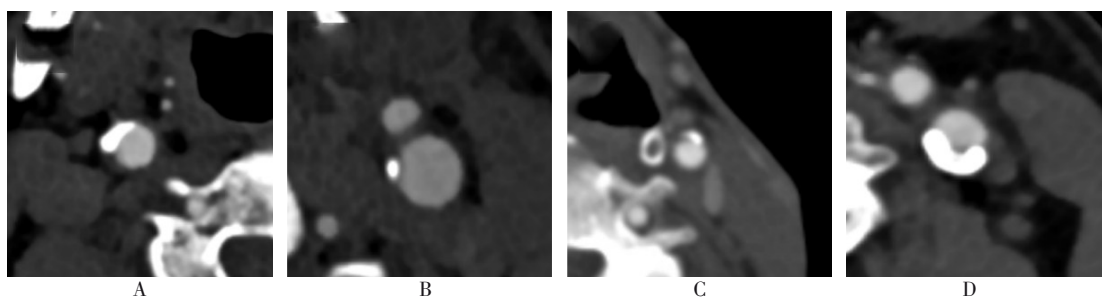


图 1 将横截面划分为四个区域演示



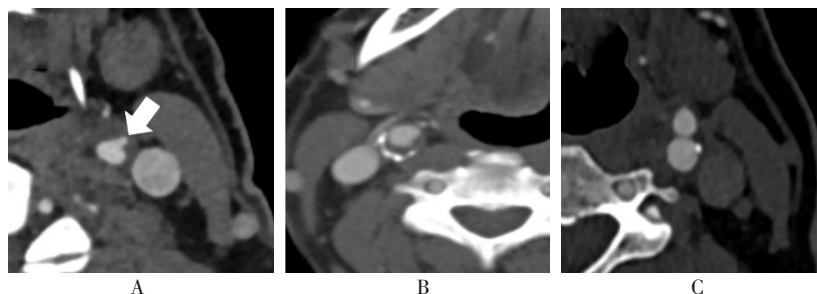
A: 外侧斑块; B: 内侧斑块; C: 腹侧斑块; D: 背侧斑块。

图 2 四种斑块位置演示

1.2.3 斑块风险 参照 OLIVER 等^[11]通过对颈动脉 CTA 上斑块的形态学特征与颈动脉内膜剥离术后的组织学标本对照结果，分为高危斑块和低危斑块。①高危斑块 (满足以下五条中的一条)。低密度斑块：平均 CT 值 < 130 HU，表示主要包括斑

块内出血、富含脂质的坏死核心和纤维成分^[6]。餐巾环征：颈内动脉外膜环形钙化厚径 < 2 mm，且邻近低密度斑块厚径 ≥ 2 mm^[7] (见图 3)。斑块溃疡：造影剂延伸至斑块内 (通常至少 1 mm)，高度 ≥ 1 mm^[12] (见图 3)。点状钙化：定义为斑块钙

化部分直径 $<3\text{ mm}$ ^[8] (见图 3)。②低危斑块。钙化斑块：斑块 CT 值 $>130\text{ HU}$ ^[6]。



A: 斑块溃疡; B: 餐巾环征; C: 点状钙化。

图 3 斑块高危特征

1.3 统计学方法

采用 SPSS 26.0 进行数据分析。符合正态分布的计量资料采用均数标准差 ($\bar{x} \pm s$) 描述, 比较用 t 检验; 非正态分布的计量资料则采用中位数四分位数间距 $M [P_{25}, P_{75}]$ 描述, 比较用 Mann-Whitney U 检验; 计数资料用百分率 (%) 表示, 比较用 χ^2 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 颈动脉斑块患者的基线数据

本次研究范围内共有 2 196 名患者进行了头颈部 CTA 检查, 其中单侧或双侧颈总动脉分叉处形成粥样硬化斑块患者 737 例, 排除了病史资料不全以及无典型 TIA 症状的患者 262 例, 合并头颈动脉瘤患者 168 例, 颈动脉夹层患者 4 例和椎动脉夹层患者 5 例, 发生颈内动脉闭塞的患者 69 例及颅内大脑中动脉闭塞的 53 例, 恶性肿瘤等病史 49 例, 图像质量差有伪影的患者 38 例, 最后共有 89 名患者的纳入研究, 平均年龄 68.5 (49~91) 岁, 女性占 27%, 男性占 73%。

89 例患者中, 34 例患者单侧颈总动脉分叉有斑块, 55 例患者两侧颈动脉动脉分叉有斑块, 共获得了 144 条颈动脉斑块的横截面图像, 两位诊断组医生对所有的患者图像评价均无分歧。

根据斑块的特征, 判断符合斑块内出血、富含脂质的坏死核心和纤维成分的混合斑块有 56 条, 伴有溃疡的斑块有 9 条, 伴有点状钙化的有 47 条。根据斑块是否具有高危特征将颈动脉分为高危组 79 条和低危组 65 条。根据斑块在颈动脉分叉处的横断面分布再分成四个亚组, 即腹侧、背侧、内侧、外侧组。

2.2 高危组和低危组间斑块特征分析

高危和低危两组斑块间, 斑块的厚度、长度、最大横截面积、PB 及管腔狭窄程度较低危组更加显著 ($P<0.05$); 其中斑块分布位置中斑块位于外侧壁和背侧壁在两组间差异有统计学意义 ($P<0.05$), 高危组多发生于背侧壁, 而低危组多发生于外侧壁。斑块的重构指数在两组间差异无统计学意义 ($P>0.05$), 见表 1。

表 1 高、低危组斑块分布位置和特征差异

斑块特征	高危组($n=79$)	低危组($n=65$)	总计($n=144$)	t/χ^2	P
厚度/ $(\bar{x} \pm s, \text{mm})$	3.62 ± 1.48	2.30 ± 1.07	3.03 ± 1.46	5.98	<0.001
长度/ $(\bar{x} \pm s, \text{mm})$	26.46 ± 16.23	13.11 ± 6.65	20.43 ± 14.42	6.21	<0.001
最大横截面积/ $(\bar{x} \pm s, \text{mm}^2)$	31.38 ± 20.35	8.24 ± 6.89	20.94 ± 19.51	8.76	<0.001
PB/ $(\bar{x} \pm s)$	1.54 ± 2.96	0.22 ± 0.24	0.95 ± 2.29	3.59	<0.001
正性重构/ $(\bar{x} \pm s)$	0.88 ± 0.40	1.00 ± 0.35	0.93 ± 0.38	1.74	0.084
狭窄率/ $(\bar{x} \pm s)$	0.28 ± 0.19	0.20 ± 0.17	0.24 ± 0.18	2.81	<0.001
斑块分布位置[$n(\%)$]					
内侧壁	20(25.3)	14(21.5)	34(23.6)	0.62	0.303
外侧壁	7(8.9)	25(38.5)	32(22.2)	9.31	<0.001
背侧壁	37(46.8)	15(23.1)	52(36.1)	10.13	0.002
腹侧壁	15(19.0)	11(16.9)	26(18.1)	1.06	0.433

2.3 斑块分布位置与斑块易损性的相关因素分析

在高低危两组斑块中，分布在颈总动脉分叉处背侧的斑块，高危组斑块的厚度、长度、最大横截面积均显著大于低危组 ($P<0.05$)，见表 2。分布在外侧壁的斑块，低危组的斑块最大横截面积及 PB 显著小于高危组 ($P<0.05$)；两组颈动脉斑块的 RI 及狭窄率差异无统计学意义 ($P>0.05$)。见表 3。

表 2 CTA 检查相关指标对背侧壁斑块易损性的
诊断价值 ($\bar{x} \pm s$)

背侧壁	斑块类型		<i>t</i>	<i>P</i>
	高危	低危		
斑块厚度/mm	4.12±1.66	1.89±0.87	4.91	<0.001
斑块长度/mm	28.86±19.29	10.87±5.63	3.53	<0.001
斑块最大横截面积/mm ²	33.42±22.52	7.23±7.62	4.38	<0.001
PB	2.21±4.17	0.23±0.29	1.83	0.072
RI	0.92±0.51	0.98±0.40	0.43	0.675
狭窄率	0.29±0.20	0.31±0.25	0.28	0.781

表 3 CTA 检查相关指标对外侧壁斑块易损性的
诊断价值 ($\bar{x} \pm s$)

外侧壁	斑块类型		<i>t</i>	<i>P</i>
	高危	低危		
斑块厚度/mm	2.94±1.08	2.47±1.14	0.99	0.334
斑块长度/mm	20.14±13.04	14.56±6.99	1.53	0.132
斑块最大横截面积/mm ²	22.49±10.50	9.28±7.68	3.71	<0.001
PB	0.75±0.57	0.27±0.30	3.07	<0.001
RI	1.05±0.28	1.00±0.35	0.37	0.717
狭窄率	0.23±0.25	0.16±0.14	0.96	0.356

2.4 斑块分布位置与平均 CT 值

高危组中斑块分布在内侧、外侧、背侧、腹侧四个组的平均 CT 值分别为 (27.15 ± 25.74) HU, (50 ± 28.97) HU, (34.06 ± 24.83) HU, (30.94 ± 23.89)。高危斑块的平均 CT 值在四个组间差异无统计学意义 ($P>0.05$)，见图 4。

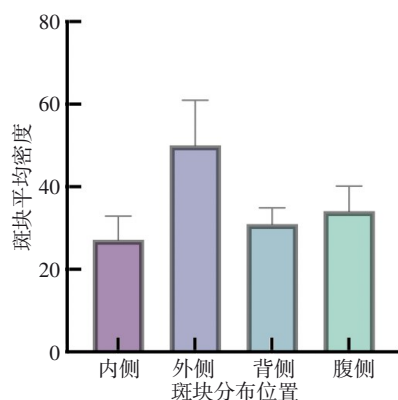


图 4 斑块分布位置与平均密度之间的关系

3 讨论

本研究采用 CTA 技术，探究了 144 条颈动脉斑块易损性和分布位置之间的关系，笔者的研究发现，高危斑块好发于颈动脉分叉处管壁的背侧，其斑块厚度、长度及最大横截面积较低危组更加显著 ($P<0.05$)，低危斑块则好发于分叉处管壁的外侧 ($P<0.05$)，这个发现具有重要价值，提示了颈动脉斑块的易损性与斑块分布位置密切相关。

高危斑块破裂常导致同侧缺血性脑卒中的发生，如果能在斑块破裂前及时治疗，患者远期预后大大提高。斑块最常见的高危特征是纤维脂质斑块，这类斑块多由 IPH、LRNC 和纤维成分组成，它们和斑块易损性和中风风险增加密切相关。

在本次研究中，重点分析了颈动脉分叉处的斑块特征，主要是因为颈动脉斑块常发生在动脉分叉处附近，这与颈动脉分叉处独特的解剖特点和血流动力学相关。既往的研究发现^[12-13]，血液在流动过程中会对血管壁产生压力，包括壁压 (WP，垂直于血管壁) 和壁剪应力 (WSS，平行于血管壁)，内皮细胞对低 WP、WSS 的联合作用作出反应，促进动脉粥样硬化的形成，局部低 WP 斑块与管壁厚度存在着密切的相关性，低 WP 处更易形成动脉粥样硬化，尤其是形成脂质斑块。我们的研究显示，分布在背侧的高危斑块的厚度较低危斑块更加显著，所以，这些斑块的周围可能存在较低的 WP，并且高 WSS 已被证明会诱导内皮细胞行为的特异性变化，加剧炎症并刺激动脉粥样硬化和脂质核心的进展^[14]，高危斑块在横断面上的分布位置与壁切应力之间的关联需要进一步确定，未来可以通过计算流体动力学模拟验证不同分布位置高危斑块的高壁切应力。

笔者还对两组颈动脉管腔狭窄程度、斑块的长度、斑块最大横截面积及 PB 进行了分析，结果显示发生在背侧的斑块长度更长、横截面积更大，这两项斑块特征都与斑块易损性呈正相关，这也证实了本次实验中背侧斑块的风险性更高，其中 PB、RI 和狭窄率与斑块易损性及分布位置没有显著的相关性，表明仅评估颈动脉狭窄程度会低估病变的危险性^[15-16]，本次研究还发现不同分布位置的高危斑块，发生在外侧的高危斑块，其平均 CT 值在四组中最高，提示发生在外侧的斑块较其他位置的斑块具有较好的稳定性，目前在横断面对颈动脉分叉处斑块分布位置的研究甚少，需要

对横断面上颈动脉血流动力学与几何特征进行更深入的研究。

本研究的局限性：为了确保 ROI 均匀分布，研究者选择了最大颈动脉分叉斑块的位置来建立每个 ROI，但在 CTA 上，有时会不可避免的将动脉周围脂肪组织纳入 ROI，部分钙化斑块会存在硬化伪影，在确定斑块破裂风险评估的具体阈值或范围方面，未来将面临挑战。

综上，研究发现在 TIA 患者中，高危斑块倾向于分布在颈动脉分叉处的背侧管壁，且颈动脉分叉处斑块的横断面积越大、PB 越大，斑块越趋向于不稳定，这些发现可以帮助临床医师对于已经发生 TIA 的患者判断责任病灶，并尽早处理，以提高患者的预后。

参 考 文 献

[1] BARRETT HE, VAN DER HEIDEN K, FARRELL E, et al. Calcifications in atherosclerotic plaques and impact on plaque biomechanics[J]. J Biomech, 2019, 87: 1-12.

[2] CHITI A. Atherosclerotic plaque healing[J]. N Engl J Med, 2021, 384(3): 293-294.

[3] BOS D, ARSHI B, VAN DEN BOUWHUIJSEN QJA, et al. Atherosclerotic carotid plaque composition and incident stroke and coronary events[J]. J Am Coll Cardiol, 2021, 77(11): 1426-1435.

[4] ZHANG Y, BAI Y, XIE J, et al. Carotid plaque components and other carotid artery features associated with risk of stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2022, 31(12): 106857.

[5] BARADARAN H, GUPTA A. Carotid vessel wall imaging on CTA [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2020, 41(3): 380-386.

[6] DE WEERT TT, OUHLOUS M, ZONDERVAN PE, et al. *In vitro* characterization of atherosclerotic carotid plaque with

multidetector computed tomography and histopathological correlation[J]. Eur Radiol, 2005, 15(9): 1906-1914.

[7] BRUTKIEWICZ A, KRUK M, DEMKOW M, et al. The natural history of napkin-ring sign by coronary computed tomography angiography[J]. Postepy Kardiol Interwencyjne, 2019, 15(3): 314-320.

[8] 孙雨蒙, 杨萌, 胥海洋, 等. 颈动脉钙化斑块影像的研究进展[J]. 磁共振成像, 2023, 14(1): 172-177.

[9] LEE SJ, LEE IK, JEON JH. Vascular calcification-new insights into its mechanism[J]. Int J Mol Sci, 2020, 21(8): 2685.

[10] DAS M, BRAUNSCHWEIG T, MÜHLENBRUCH G, et al. Carotid plaque analysis: comparison of dual-source computed tomography (CT) findings and histopathological correlation[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2009, 38(1): 14-19.

[11] OLIVER TB, LAMMIE GA, WRIGHT AR, et al. Atherosclerotic plaque at the carotid bifurcation: CT angiographic appearance with histopathologic correlation[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 1999, 20(5): 897-901.

[12] BARADARAN H, GUPTA A. Extracranial vascular disease: carotid *Stenosis* and plaque imaging[J]. Neuroimaging Clin N Am, 2021, 31(2): 157-166.

[13] 刘秋云, 陈明, 傅晓红, 等. 颈动脉窦部斑块壁面剪应力的定量分析及其影响因素[J]. 放射学实践, 2018, 33(9): 961-965.

[14] FERENCIK M, HOFFMANN U. High-risk coronary plaque on computed tomography angiography: time to recognize a new imaging risk factor[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2018, 11(1): e007288.

[15] WILLIAMS MC, MOSS AJ, DWECK M, et al. Coronary artery plaque characteristics associated with adverse outcomes in the SCOT-HEART study[J]. J Am Coll Cardiol, 2019, 73(3): 291-301.

[16] SELWANESS M, HAMEETEMAN R, VAN 'T KLOOSTER R, et al. Determinants of carotid atherosclerotic plaque burden in a stroke-free population[J]. Atherosclerosis, 2016, 255: 186-192.

(方丽蓉 编辑)