

• 综 述 General review •

光学相干断层成像在颅内动脉粥样硬化性狭窄诊疗中的应用进展

陆悦新, 王 明, 万 曙

【摘要】 颅内动脉粥样硬化性狭窄(intracranial atherosclerotic stenosis, ICAS)是亚洲人群缺血性脑卒中最常见的病因之一。预测 ICAS 患者卒中发生风险并进行卒中风险分层,有助于临床医生早期采取干预措施改善患者预后。光学相干断层成像(optical coherence tomography, OCT)是一种新型超高分辨率的血管内实时成像技术,在评估动脉粥样硬化斑块特征和管腔形态学方面具有多重优势,特别是在揭示易损斑块的微细结构特征方面,为评估斑块稳定性提供了强有力的图像支持;结合血流动力学评估,判断斑块形成与发展趋势,对预测 ICAS 患者卒中复发风险、指导个体化介入治疗具有重要意义。该文旨在对 OCT 及其结合血流动力学评估应用于 ICAS 诊疗的最新研究进展进行综述,展望 OCT 在脑血管领域的应用前景,为 ICAS 患者的风险评估、疾病监测和治疗决策提供科学依据。

【关键词】 颅内动脉粥样硬化性狭窄;光学相干断层成像;血流动力学;卒中

中图分类号:R540.4 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2025)-001-0103-06

Advances in the application of optical coherence tomography in the diagnosis and treatment of intracranial atherosclerotic stenosis LU Yuexin, WANG Ming, WAN Shu. The Second Clinical Medical College, Zhejiang University of Traditional Chinese Medicine, Hangzhou, Zhejiang Province 310000, China
Corresponding author: WAN Shu, E-mail: wanshu@zju.edu.cn

【Abstract】 Intracranial atherosclerotic stenosis (ICAS) is the most prevalent etiology of ischemic stroke in the Asian population. Predicting the risk of stroke in patients with ICAS and stratifying the stroke risk can help clinicians to take early interventional measures so as to improve patient outcomes. Optical coherence tomography (OCT) is a novel ultrahigh-resolution endovascular real-time imaging technique. OCT has multiple advantages in the assessment of atherosclerotic plaque characteristics and lumen morphology, especially in the display of the fine structural features of vulnerable plaques, which provides strong image support for the assessment of the plaque stability. Combined with hemodynamic assessment, OCT can judge the formation and development trend of plaques and predict the risk of stroke recurrence in patients with ICAS, which is of great significance in guiding targeted individualized interventional therapy. This paper aims to make a comprehensive review about the recent progress in OCT technology and its integration with hemodynamic assessment for the diagnosis and treatment of ICAS, to discuss the potential application prospects of OCT in the field of cerebrovascular diseases, so as to provide a scientific basis for the risk assessment, disease monitoring, and decision-making of treatment for patients with ICAS.

【Key words】 intracranial atherosclerotic stenosis; optical coherence tomography; hemodynamics; stroke

缺血性脑卒中具有高发病率、高致残率、高致死率、高复发率的特点^[1],而颅内动脉粥样硬化性狭窄

(intracranial atherosclerotic stenosis, ICAS)是缺血性脑卒中最常见的病因之一^[2-4]。中国颅内动脉粥

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2025.01.018

基金项目:浙江省“高层次人才特殊支持计划”(2022R52038),浙江省重点研发项目(2021C03105)

作者单位:310000 浙江杭州 浙江中医药大学第二临床医学院(陆悦新);浙江大学医学院附属浙江医院脑科中心(陆悦新、王 明、万 曙)

通信作者:万 曙 E-mail:wanshu@zju.edu.cn

样硬化研究显示,46.6%的卒中患者存在 ICAS^[5],且与其他卒中原因相比,ICAS 带来的卒中复发风险最大^[6]。研究表明,影像学标志物(狭窄程度、动脉斑块、血流动力学等)对预测患者卒中复发风险具有重要意义,将影像学特征与临床高危因素结合起来,有助于对卒中复发高危人群进行筛选并采取早期临床干预^[7]。目前光学相干断层成像(optical coherence tomography,OCT)在冠心病的诊疗中已得到广泛应用,并且具有冠脉血管内影像学检查最高的分辨率,但其在 ICAS 中的应用仍有待探索。本文综述了 OCT 及其联合血流动力学评估应用于 ICAS 诊疗的最新研究进展。

1 ICAS 的发病机制

动脉粥样硬化性疾病被认为始于动脉内壁低密度脂蛋白颗粒的滞留和引起内皮细胞功能障碍的炎症,随后平滑肌细胞的迁移和其他细胞共同参与的炎症过程导致动脉粥样硬化斑块的形成^[8]。ICAS 是指由于动脉粥样硬化导致的颅内动脉狭窄,可在供血区域出现缺血性卒中(ischemic stroke,IS)或短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack,TIA)。动脉粥样硬化的进展伴随着斑块形成和血管重塑,ICAS 患者卒中风险与颅内动脉粥样硬化斑块的组织病理学高度相关。斑块的组成和结构对其稳定性有着重要影响,稳定斑块通常包含较多的平滑肌细胞,而易损斑块则含有大量的脂质、炎症细胞以及薄纤维帽,这些易损斑块更容易破裂进而导致血栓形成和急性血管事件,同时狭窄程度越严重往往卒中风险越高。因此,通过对 ICAS 血管狭窄程度和斑块微细结构的科学评估有助于预测卒中发生,据此进行卒中风险分层,早期采取防治措施来预防不良事件的发生^[9]。

2 光学相干断层成像(OCT)

OCT^[10-13]是一种新型的超高分辨率(约 10 μm)血管内实时成像技术,享有“光学活检”的美称,其通过显示血管壁的三层结构判断有无管腔狭窄及狭窄程度,并能提供斑块特征的扩展空间细节,正逐渐成为评估体内斑块易损性的标准模式。其利用低相干干涉术,通过发射波长 1 300 nm 左右的近红外光并测量光波的反射时间和延迟时间来生成二维截面图像,血管壁内膜表现为靠近管腔的信号丰富(即高反射)层,中膜表现为信号缺乏(即低反射)中间层,外

膜表现为围绕内膜复合体的高反射层。

OCT 在 20 世纪 90 年代正式应用于临床,其在指导经皮冠状动脉介入治疗的有效性已得到充分证实,能够在介入治疗前精确识别易损斑块,实时评价冠脉管壁的微细结构,指导经皮冠状动脉的介入治疗和随访治疗效果。2011 年 Mathews 等^[14]首次报道了对颈内动脉海绵窦段和岩段进行的 OCT 扫描的研究,虽然纳入病例数较少,但结果提示颅内动脉 OCT 检查是可行的。OCT 的高分辨成像能为医生提供可视化的脑动脉微细结构和神经血管的微米级特征,为 ICAS 的研究提供巨大帮助^[15]。

2.1 OCT 在 ICAS 管腔形态学评估中的应用

长期以来,管腔狭窄的严重程度被确定为 ICAS 所致卒中复发的独立预测因素。研究指出,颅内动脉狭窄程度越大的患者更易出现临床事件,同时也更易在同一血管供血区域内出现症状复发情况^[5]。WASID 试验表明,ICAS 患者的卒中复发风险随着狭窄程度的加重而增加,血管狭窄 $>70\%$ 的患者同侧 IS 或 TIA 的复发风险几乎是血管狭窄 $<70\%$ 患者的 2 倍^[16]。OCT 能通过对管腔狭窄程度的评估预测 ICAS 患者卒中复发风险并指导个体化治疗。Feng 等^[17]研究表明,DSA 测量的狭窄直径与 OCT 测量的狭窄面积之间的 Spearman's R 值具有统计学相关性。Xu 等^[18]通过 OCT 来评估椎基底动脉狭窄的组织病理学表现,OCT 能清楚描述颅内椎基底动脉狭窄的细节,帮助确定椎基底动脉狭窄的形态学特征并指导筛选合适的患者进行支架置入等干预治疗,降低围手术期并发症的风险。OCT 的高分辨率成像可以显示支架置入后支架与血管壁的贴合情况,清晰地观察到支架表面新生内膜生长、血管壁塌陷等情况,提供有关支架术后疗效的重要信息以及术后随访斑块再生、血栓形成等情况,有助于医生及时发现并处理支架内再狭窄等并发症^[19]。因此 OCT 对 ICAS 的诊断、治疗、预后都有非常重要的意义。

2.2 OCT 在粥样硬化性斑块评估中的应用

大多数急性心脑血管事件的发生是由动脉粥样硬化斑块破裂或侵蚀导致的闭塞性血栓形成引起的,而高危斑块很可能导致 IS 和血栓并发症^[20],因此,识别高危斑块的特征在预测卒中发生方面具有重要意义^[21]。欧洲心脏病协会于 2018 年发布指南,对于预期寿命超过 5 年、中度至重度(60%~99%)颈动脉狭窄、有斑块易损性影像学特征的无症状患者,应考虑颈动脉重建术^[22],该指南的发表印

证了动脉粥样硬化性斑块与卒中发生风险的相关性。

OCT 可以量化斑块体积和成分,显示易损斑块的多种特征^[23],包括斑块炎症、斑块内出血(intraplaque hemorrhage,IPH)、斑块内新生血管、富含脂质的坏死核、薄纤维帽斑块(thin-cap fibroatheroma,TCFA)和管腔表面不规则形态等。炎症参与了动脉粥样硬化的所有步骤,而巨噬细胞活性是评估斑块稳定性的关键特征,因为局部聚集的巨噬细胞可以通过分泌基质金属蛋白酶(削弱纤维帽)、分泌干扰素- γ (抑制胶原合成)以及通过释放组织因子诱导血栓形成等方式促进斑块表面纤维帽破裂^[24]。虽然与动脉粥样硬化相关的慢性低度炎症难以通过 OCT 检测出来,但不稳定斑块中的巨噬细胞聚集则容易检测,Tearney 等^[25]证明了纤维帽内的 OCT 异质性信号与巨噬细胞密度相关,从而实现了对巨噬细胞的定量。巨噬细胞在 OCT 图像上表现为具有丰富、明显融合信号的点状或条带状区域,通过评估巨噬细胞密度来确定斑块炎症的严重程度。除了巨噬细胞浸润,被视为斑块微通道的斑块内新生血管也与斑块易损性显著相关,新生血管密度与炎症浸润正相关,具有微通道的斑块纤维帽厚度更薄、斑块负荷更大、正性重构更多。Miura 等^[26]研究发现,OCT 可以反映颈动脉斑块内新生血管的情况,新生血管形成数量 ≥ 6 被认为是易损斑块的可靠阈值。由于没有平滑肌细胞的支持,这些微血管很脆弱,而 IPH 通常认为是由斑块内新生血管破裂引起。IPH 能促进颈动脉粥样硬化斑块局部脂质沉积和炎症发生,常伴随巨噬细胞浸润,增加坏死核心体积,与斑块的快速进展、富含脂质的坏死核心存在以及管腔狭窄的进展显著相关,间接导致易损斑块破裂和随后的临床缺血事件。Liu 等^[27]认为伴有 IPH 的颈动脉粥样硬化斑块更容易转变为易损斑块,IPH 体积与同侧急性缺血性脑卒中的风险显著相关。Bos 等^[28]也观察到颈动脉粥样硬化斑块内存在 IPH 是脑卒中的独立危险因素,IPH 和斑块炎症有望成为亚临床动脉粥样硬化人群斑块易损性的标志物。Yang 等^[11]回顾性分析了 33 例 ICAS 患者的 36 个病灶,证明了 OCT 应用于 ICAS 易损斑块评估的可行性和安全性。

作为一种管腔成像技术,OCT 生成的图像与其他横断面血管造影模式相比具有更高的空间分辨率,尽管高分辨率血管壁 MRI (high resolution vascular wall MRI, HRVW-MRI) 和血管内超声

(intravascular ultrasound, IVUS) 可以描述斑块位置和形态,但两者的分辨率(HRVW-MRI 通常 $< 0.7\text{ mm}$, IVUS 通常为 $100\text{ }\mu\text{m}$)可能不能满足对斑块微细结构描述的需求^[29]。通过 OCT 对动脉粥样硬化斑块微细结构的识别,辨认易损斑块,可以预测卒中复发的风险并用于卒中风险分层评估,应用 OCT 指导 ICAS 的介入精准诊疗,改善患者长期预后。

3 OCT 联合血流动力学评估在 ICAS 中的应用

动脉粥样硬化是一种慢性炎症性疾病,其中壁面剪切应力(wall shear stress, WSS)是关键因素^[30]。WSS 是流经血管的血液在血管壁上施加的切向摩擦力,在动脉粥样硬化发生的初始阶段,血管的代偿机制可防止管腔狭窄的发生。当动脉粥样硬化斑块的增长超过血管的代偿能力时,其会导致斑块周围的血流动力学和血管结构改变。随着血管狭窄程度的加重,血液通过狭窄处的流速也随之加快,对局部管壁的切应力也随之增大。

狭窄部位的高 WSS 可能随时间推移与管腔狭窄程度降低有关,Lan 等^[31]证明了 ICAS 狭窄部位和狭窄近端的高 WSS 区域与颅内动脉粥样硬化性斑块消退显著相关。而相比于近端正常血管段,ICAS 狭窄部 WSS 过度升高与该区域较高的 IS 复发风险显著相关^[32]。因此,在高 WSS 下,ICAS 管腔狭窄的消退不一定意味着斑块易损性和再发缺血事件风险的降低。一方面,高危斑块特征如富含脂质的坏死核心和 TCFA 倾向于定位在斑块近端高 WSS 区域;另一方面,高 WSS 区域也更倾向于产生在具有严重坏死核心和钙化的斑块附近^[33]。TCFA 被认为是大多数易损斑块的基质,上面覆盖有一层小于 $65\text{ }\mu\text{m}$ 的纤维帽,常被巨噬细胞浸润,血流动力学显著病变患者的 WSS 和 OCT 验证的 TCFA 均提示斑块破裂可能性。Okamoto 等^[34]探索了高 WSS 与 OCT 测到的 TCFA 之间的关系,发现高 WSS 与 TCFA 强相关,病灶近端高 WSS 提示存在可被 OCT 发现的 TCFA 以及其他的易损斑块特征。虽然 OCT 可能高估 TCFA 患病率,但其是目前唯一具有足够分辨率的成像方式,能够识别这些斑块易损性特征,也是迄今为止检测 TCFA 最敏感的工具^[35]。

在管腔狭窄远端则相应的出现低 WSS 及局部血液涡流区域,该区域是动脉粥样硬化最易形成的部位。低的 WSS 会导致局部区域的内皮功能障

碍,促进内皮细胞的通透性增加,脂质浸润血管壁,最终导致动脉粥样硬化斑块形成,而斑块内的脂质已被证明会导致局部炎症,从而刺激斑块进一步发展。COMBINE 研究^[35-36]旨在探索在血流动力学评估的基础上,结合 OCT 斑块形态学评估来预测心血管不良事件。该研究发现在冠状动脉的富含脂质斑块(lipid-rich plaques,LRPs)病变中,巨噬细胞浸润和新生血管的发生率显著高于 LRP 阴性病变,提示斑块内脂质与局部炎症有相关性以及较高的炎症水平可能最终导致纤维帽不稳定和斑块破裂。Hartman 等^[37]将 OCT 测到的冠脉 LRP 暴露于低 WSS,并在 1 年随访期间观察其对斑块生长的增强作用,研究发现低 WSS 和脂质的存在对斑块生长具有协同促进作用。在动脉粥样硬化的晚期阶段,无论 WSS 的高低都与斑块的易损性和临床事件相关。与 WSS 相比,压力(pressure,PR)对斑块的易损性也有显著影响。Chen 等^[38]对 ICAS 患者的 WSS 和 PR 在斑块破裂过程中所起作用展开研究,发现低 PR 和高 WSS 与卒中复发独立相关。支架内再狭窄是 ICAS 血管成形术后的中远期并发症,与卒中复发密切相关。研究发现,支架置入后局部形成的低 WSS 与支架内再狭窄相关,血管弯曲、ICAS 的狭窄范围及程度等也均与支架内再狭窄有关^[39]。Liu 等^[40]利用 OCT 评估支架内再狭窄对血流动力学的影响,组织学和 OCT 显示除了支架内再狭窄、支架变形可导致 WSS 降低,支架置入导致的血管形态改变也会引起局部血流动力学改变。Song 等^[41]探索了支架置入术引起的血管空间结构和血流动力学变化,研究发现 PR 和 WSS 与支架置入术后血管迂曲程度呈线性正相关,支架置入术后血管空间构型发生的改变会对局部血流动力学产生明显影响。

4 总结与展望

OCT 作为一种超高分辨的血管内实时成像技术在冠心病的诊疗中已广泛应用,但其在脑血管领域的应用尚处于起步阶段且主要集中在后循环和颈内动脉近端、非弯曲段。这主要是由于颅内动脉较之冠脉在解剖上更为复杂且走行更为迂曲。现有的 OCT 导管不够柔软、顺应性和通过性相对不佳,若多次尝试通过颅内动脉的弯曲部,可能会导致导管断裂和血管损伤,在当前也限制了 OCT 技术在 ICAS 诊疗中的广泛应用。但随着材料科学技术的快速进步,新型的颅内血管专用 OCT 导管有望上

市,OCT 技术在脑血管领域的未来应用前景广阔。由于 OCT 具有分辨率高、图像获取速度快等优点,在检查血管壁微细结构方面具有巨大优势,能够提供可视化的脑血管管壁的微细结构和微米级特征,一方面帮助推测脑缺血事件的病因和发病机制,另一方面为制定干预措施、降低脑血管不良事件复发风险提供依据。2022 年发布的《中国光学相干断层成像技术在缺血性脑血管病介入诊疗中的应用专家建议》^[42]推荐对于有条件的医疗中心应用 OCT 图像识别斑块类型和血管壁结构,指导介入精准治疗。在专家建议指导下的 OCT 规范化应用,将有助于建立中国脑血管病患者 OCT 临床研究数据库,提供 OCT 在 ICAS 诊疗中的循证医学证据。OCT 联合血流动力学评估可将管腔、管壁因素与血流动力学指标联系起来综合分析,早期识别和干预 ICAS 血流动力学相关危险因素,为患者提供更充分的风险分层证据,对 ICAS 的诊疗给予更准确的评估和指导,改善患者预后及生活质量。但目前尚缺乏将 OCT 运用于 ICAS 血流动力学分析的研究。由于 ICAS 与冠心病以动脉粥样硬化为共同病理特征,具有相似或相同的危险因素和病理过程,将 OCT 在冠心病的应用经验借鉴到 ICAS 中可有助于推动 ICAS 领域的进一步发展。此外,临床上多种影像技术的综合分析已成为发展的必经之路,期待未来 OCT 能更好地整合其他先进影像学技术,通过优势互补进一步提升疾病的诊疗效能,实现精准诊疗。

[参考文献]

- [1] Wang D, Liu J, Liu M, et al. Patterns of stroke between university hospitals and nonuniversity hospitals in mainland China: prospective multicenter hospital-based registry study [J]. *World Neurosurg*, 2017, 98: 258-265.
- [2] Ma Y, Wang T, Wang H, et al. Extracranial-intracranial bypass and risk of stroke and death in patients with symptomatic artery occlusion: the CMOSS randomized clinical trial [J]. *JAMA*, 2023, 330: 704-714.
- [3] Bang OY, Kim BM, Seo WK, et al. Endovascular therapy for acute ischemic stroke of intracranial atherosclerotic origin-neuroimaging perspectives [J]. *Front Neurol*, 2019, 10: 269.
- [4] Elhfnawy AM, Heuschmann PU, Pham M, et al. Stenosis length and degree interact with the risk of cerebrovascular events related to internal carotid artery stenosis [J]. *Front Neurol*, 2019, 10: 317.
- [5] Wang Y, Zhao X, Liu L, et al. Prevalence and outcomes of symptomatic intracranial large artery stenoses and occlusions in China: the Chinese Intracranial Atherosclerosis (CICAS)

- Study[J]. *Stroke*, 2014, 45: 663-669.
- [6] Gutierrez J, Turan TN, Hoh BL, et al. Intracranial atherosclerotic stenosis: risk factors, diagnosis, and treatment [J]. *Lancet Neurol*, 2022, 21: 355-368.
 - [7] Tang M, Gao J, Ma N, et al. Radiomics nomogram for predicting stroke recurrence in symptomatic intracranial atherosclerotic stenosis[J]. *Front Neurosci*, 2022, 16: 851353.
 - [8] Barnard ZR, Alexander MJ. Update in the treatment of intracranial atherosclerotic disease[J]. *Stroke Vasc Neurol*, 2020, 5: 59-64.
 - [9] Xu R, Zhao Q, Wang T, et al. Optical coherence tomography in cerebrovascular disease: open up new horizons [J]. *Transl Stroke Res*, 2023, 14: 137-145.
 - [10] Li L, Dmytriw A, Krings T, et al. Visualization of the human intracranial Vasa vasorum in vivo using optical coherence tomography[J]. *JAMA Neurol*, 2020, 77: 903-905.
 - [11] Yang B, Feng Y, Ma Y, et al. Frequency-domain optical coherence tomography for intracranial atherosclerotic stenosis: feasibility, safety, and preliminary experience [J]. *Front Neurol*, 2021, 12: 678443.
 - [12] 房超, 于波. 光学相干断层成像在评价冠状动脉钙化中的应用[J]. *心血管康复医学杂志*, 2019, 28: 513-516.
 - [13] 石滢, 宋凯, 赵卫. 光学相干断层成像技术在颈部及颅内血管检查和介入治疗中应用研讨[J]. *介入放射学杂志*, 2015, 24: 177-181.
 - [14] Mathews MS, Su J, Heidari E, et al. Neuroendovascular optical coherence tomography imaging and histological analysis[J]. *Neurosurgery*, 2011, 69: 430-439.
 - [15] Ughi GJ, Marosfoi MG, King RM, et al. A neurovascular high-frequency optical coherence tomography system enables in situ cerebrovascular volumetric microscopy [J]. *Nat Commun*, 2020, 11: 3851.
 - [16] Kasner SE, Chimowitz MI, Lynn MJ, et al. Predictors of ischemic stroke in the territory of a symptomatic intracranial arterial stenosis[J]. *Circulation*, 2006, 113: 555-563.
 - [17] Feng Y, Wu T, Wang T, et al. Correlation between intracranial vertebral artery stenosis diameter measured by digital subtraction angiography and cross-sectional area measured by optical coherence tomography[J]. *J Neurointerv Surg*, 2021, 13: 1002-1006.
 - [18] Xu X, Li M, Liu R, et al. Optical coherence tomography evaluation of vertebrobasilar artery stenosis: case series and literature review[J]. *J Neurointerv Surg*, 2020, 12: 809-813.
 - [19] 孙瑄, 杨明, 余泽权, 等. 症状性颅内动脉粥样硬化性狭窄血管内治疗中国专家共识 2022[J]. *中国卒中杂志*, 2022, 17: 863-888.
 - [20] Saba L, Saam T, Jager H, et al. Imaging biomarkers of vulnerable carotid plaques for stroke risk prediction and their potential clinical implications[J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18: 559-572.
 - [21] Liem MI, Kennedy F, Bonati LH, et al. Investigations of carotid stenosis to identify vulnerable atherosclerotic plaque and determine individual stroke risk[J]. *Circ J*, 2017, 81: 1246-1253.
 - [22] Aboyans V, Ricco JB, Bartelink MEL, et al. 2017 ESC Guidelines on the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases, in collaboration with the European Society for Vascular Surgery (ESVS): Document covering atherosclerotic disease of extracranial carotid and vertebral, mesenteric, renal, upper and lower extremity arteries Endorsed by: the European Stroke Organization (ESO) The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) and of the European Society for Vascular Surgery (ESVS) [J]. *Eur Heart J*, 2018, 39: 763-816.
 - [23] Shibutani H, Fujii K, Shirakawa M, et al. Diagnostic accuracy of optical frequency domain imaging for identifying necrotic cores with intraplaque hemorrhage in advanced human carotid plaques[J]. *Am J Cardiol*, 2021, 156: 123-128.
 - [24] Scalone G, Niccoli G, Refaat H, et al. Not all plaque ruptures are born equal: an optical coherence tomography study[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017, 18: 1271-1277.
 - [25] Tearney GJ, Yabushita H, Houser SL, et al. Quantification of macrophage content in atherosclerotic plaques by optical coherence tomography[J]. *Circulation*, 2003, 107: 113-119.
 - [26] Miura M, Yoshimura S, Yamada K, et al. Presence of plaque neovascularization on optical frequency domain imaging predicts progression of carotid artery stenosis [J]. *World Neurosurg*, 2019, 127: e330-e336.
 - [27] Liu Y, Wang M, Zhang B, et al. Size of carotid artery intraplaque hemorrhage and acute ischemic stroke: a cardiovascular magnetic resonance Chinese atherosclerosis risk evaluation study[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2019, 21: 36.
 - [28] Bos D, Arshi B, van den Bouwhuisen QJA, et al. Atherosclerotic carotid plaque composition and incident stroke and coronary events [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2021, 77: 1426-1435.
 - [29] de Havenon A, Mossa-Basha M, Shah L, et al. High-resolution vessel wall MRI for the evaluation of intracranial atherosclerotic disease[J]. *Neuroradiology*, 2017, 59: 1193-1202.
 - [30] He Z, Luo J, Lv M, et al. Characteristics and evaluation of atherosclerotic plaques: an overview of state-of-the-art techniques[J]. *Front Neurol*, 2023: 1159288.
 - [31] Lan L, Liu H, Ip V, et al. Regional high wall shear stress associated with stenosis regression in symptomatic intracranial atherosclerotic disease[J]. *Stroke*, 2020, 51: 3064-3073.
 - [32] Leng X, Lan L, Ip HL, et al. Hemodynamics and stroke risk in intracranial atherosclerotic disease[J]. *Ann Neurol*, 2019, 85: 752-764.
 - [33] Feng X, Fang H, Ip BYM, et al. Cerebral hemodynamics underlying Artery-to-Artery embolism in symptomatic intracranial atherosclerotic disease [J]. *Transl Stroke Res*, 2023, Online ahead of print.

- [34] Okamoto N, Vengrenyuk Y, Fuster V, et al. Relationship between high shear stress and OCT-verified thin-cap fibroatheroma in patients with coronary artery disease[J]. PLoS One, 2020, 15: e0244015.
- [35] Kennedy MW, Fabris E, Ijsselmuiden AJ, et al. Combined optical coherence tomography morphologic and fractional flow reserve hemodynamic assessment of non-culprit lesions to better predict adverse event outcomes in diabetes mellitus patients; COMBINE (OCT-FFR) prospective study. Rationale and design[J]. Cardiovasc Diabetol, 2016, 15: 144.
- [36] Kedhi E, Berta B, Roleder T, et al. Thin-cap fibroatheroma predicts clinical events in diabetic patients with normal fractional flow reserve; the COMBINE OCT-FFR trial[J]. Eur Heart J, 2021, 42: 4671-4679.
- [37] Hartman EMJ, De Nisco G, Kok AM, et al. Wall shear stress-related plaque growth of lipid-rich plaques in human coronary arteries; an near-infrared spectroscopy and optical coherence tomography study[J]. Cardiovasc Res, 2023, 119: 1021-1029.
- [38] Chen Z, Qin H, Liu J, et al. Characteristics of wall shear stress and pressure of intracranial atherosclerosis analyzed by a computational fluid dynamics model: a pilot study[J]. Front Neurol, 2019, 10: 1372.
- [39] 何 钰, 王建波, 王 武. 颅内动脉粥样硬化性狭窄支架植入术后再狭窄机制及治疗新进展[J]. 介入放射学杂志, 2021, 30: 1184-1189.
- [40] Liu W, Huang J, He S, et al. Senescent endothelial cells' response to the degradation of bioresorbable scaffold induces intimal dysfunction accelerating in-stent restenosis[J]. Acta Biomater, 2023, 166: 266-277.
- [41] Song X, Qiu H, Wang S, et al. Hemodynamic and geometric risk factors for in-stent restenosis in patients with intracranial atherosclerotic stenosis [J]. Oxid Med Cell Longev, 2022, 2022: 6951302.
- [42] 刘 锐, 胡 伟, 孙 文, 等. 中国光学相干断层成像技术在缺血性脑血管病介入诊疗中的应用专家建议[J]. 中国脑血管病杂志, 2022, 19: 65-72.

(收稿日期: 2024-01-16)

(本文编辑: 茹 实)

· 消 息 ·

2024 年度“林贵 - 刘子江优秀介入论文奖”评选通知

《介入放射学杂志》编辑部为了鼓励大家积极投稿, 表彰优秀介入论文, 促进我国介入放射学的发展, 在南京正大天晴制药有限公司支持下, 每年举行一次“林贵 - 刘子江优秀介入论文奖”评选, 希望广大作者积极参与此项活动。

2024 年度“林贵 - 刘子江优秀介入论文奖”评奖活动现在开始申报, 要求如下:

一、原则上凡是 2024 年在《介入放射学杂志》上发表的论文均可申报。除专家共识、述评、专论、综述、讲座等。

二、申报材料: 作者、单位、题目、2024 年期、页; 申报理由: 科学性: 论点、论据、数据等; 先进性: 有何创新; 实用性: 有何推广价值。

三、申报方法: 将申报材料与申报论文发送至 1572769404@qq.com

联系方式: 021-62409496

四、申报时间: 2025 年 1 月 1 日起, 2025 年 3 月 1 日截止。