

本文引用: 夏洁, 邓婵翠, 杨彩凤, 等. 光学相干断层成像对非阻塞性心肌梗死的诊断价值[J]. 中国动脉硬化杂志, 2025, 33(1): 68-74. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2025.01.010.

· 文献综述 ·

[文章编号] 1007-3949(2025)33-01-0068-07

## 光学相干断层成像对非阻塞性心肌梗死的诊断价值

夏洁<sup>1</sup>, 邓婵翠<sup>2</sup>, 杨彩凤<sup>1</sup>, 陆再丽<sup>1</sup>, 许官学<sup>2</sup>

1. 遵义医科大学第一临床学院, 2. 遵义医科大学附属医院心血管内科, 贵州省遵义市 563000

[摘要] 冠状动脉非阻塞性心肌梗死(MINOCA)是一种复杂多样的疾病,其病理生理机制和治疗预后存在着巨大的异质性。传统检查难以完全明确其机制。光学相干断层成像(OCT)技术以高分辨率观察血管斑块微观结构,更准确地识别易损斑块。文章旨在通过该技术深入探讨MINOCA的形态学特征,以更全面地理解疾病的发展。精确描述斑块特征和识别易损斑块有助于制定个体化治疗方案,改善预后,降低死亡率。

[关键词] 冠状动脉非阻塞性心肌梗死; 光学相干断层成像; 斑块特征; 易损斑块; 个体化治疗; 预后

[中图分类号] R445;R5

[文献标识码] A

### Diagnostic value of optical coherence tomography in myocardial infarction with non-obstructive coronary arteries

XIA Jie<sup>1</sup>, DENG Cancui<sup>2</sup>, YANG Caifeng<sup>1</sup>, LU Zaili<sup>1</sup>, XU Guanxue<sup>2</sup>

1. The First Clinical College of Zunyi Medical University; 2. Department of Cardiovascular Medicine, Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi, Guizhou 563000, China

[ABSTRACT] Myocardial infarction with non-obstructive coronary arteries (MINOCA) is a complex and diverse disease with great heterogeneity in pathophysiologic mechanisms and treatment prognosis. It is difficult to fully clarify the mechanism by conventional examination. Optical coherence tomography (OCT) visualizes the microstructure of vascular plaques with high resolution and identifies vulnerable plaques more accurately. The aim of this review is to use this technique to delve into the morphological features of MINOCA for a more comprehensive understanding of disease progression.

Accurate characterization of plaques and identification of vulnerable plaques can help develop individualized treatment plans, improve prognosis, and reduce mortality.

[KEY WORDS] myocardial infarction with non-obstructive coronary arteries; optical coherence tomography; characterization of plaques; vulnerable plaques; individualized treatment; prognosis

当检测到心肌肌钙蛋白急剧上升超过参考值上限的99%时,可诊断为心肌损伤。如果出现急性心肌损伤,并伴有症状、心电图改变或超声心动图异常,提示心肌缺血,可诊断为急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)。如果血管造影显示心外膜冠状动脉狭窄不超过50%,则可诊断为冠状动脉非阻塞性心肌梗死(myocardial infarction with non-obstructive coronary arteries, MINOCA)<sup>[1]</sup>。MINOCA是一种异质性和多样性疾病,其发病机制不同,治

疗及预后不同<sup>[2]</sup>。光学相干断层成像(optical coherence tomography, OCT)是一种全新的生物医学成像技术,具有极高的分辨率,可提供微观层面的血管内断层图像,被称为“光学活检”。与冠状动脉造影(coronary angiography, CAG)、血管内超声(intravenous ultrasound, IVUS)相比,OCT能更精确地分辨斑块的特征及易损斑块,帮助医生更好地识别MINOCA患者的病理生理机制并进行个体化治疗,改善预后及有效降低患者的死亡率。

[收稿日期] 2024-04-10

[修回日期] 2024-06-04

[基金项目] 贵州省科技计划项目(黔科合成果-LC[2021]026)

[作者简介] 夏洁,硕士研究生,研究方向为冠心病介入治疗,E-mail:2388842489@qq.com。通信作者许官学,主任医师,教授,硕士研究生导师,研究方向为冠心病介入治疗,E-mail:xuguanxue2008@163.com。

## 1 流行病学及临床特点

既往研究表明, MINOCA 的发病率从 1% 到 15% 不等, 大约 6% 的 AMI 患者被认为是 MINOCA<sup>[2-3]</sup>。与冠状动脉阻塞性心肌梗死 (myocardial infarction with obstructive coronary artery disease, MI-CAD) 患者相比, MINOCA 患者更年轻, 女性占比高, 高脂血症发病率较低, 而其他冠状动脉危险因素相似<sup>[3]</sup>。一项汇总分析<sup>[2]</sup>显示, 从心电图结果得出约 2/3 的 MINOCA 患者表现为非 ST 段抬高型心肌梗死。另一项基于 OCT 的研究表明, 动脉粥样硬化性非阻塞性心肌梗死 (atherosclerotic MINOCA, Ath-MINOCA) 患者多为男性、吸烟者, ST 段抬高型心肌梗死患者较多, 高血压患者较少。非 Ath-MINOCA 患者的肌钙蛋白 I、肌酸激酶同工酶较高, 高密度脂蛋白胆固醇较低<sup>[4]</sup>。MINOCA 可分为 1 型和 2 型<sup>[5]</sup>。研究发现, 与 1 型 MINOCA 患者相比, 2 型 MINOCA 患者的年龄更大, 更可能是女性, 更可能有心血管疾病史<sup>[6]</sup>。

## 2 诊断步骤

诊断 MINOCA 需要以下三个步骤: ①结合临床背景, 排除败血症、胸部创伤或肺栓塞等非心源性 AMI 的原因; ②在排除 MI-CAD、心肌炎、应激性心肌病 (Tako-Tsubo cardiomyopathy, TTC) 和其他非缺血性心肌病后, 提取出具有缺血性心肌损伤的 MINOCA 病例; ③通过冠状动脉内成像或功能测试, 明确 MINOCA 病例的潜在缺血机制<sup>[7-8]</sup>。

## 3 病理生理机制

MINOCA 可分为 1 型和 2 型<sup>[5]</sup>。1 型 MINOCA, 又称动脉粥样硬化性, 指粥样硬化斑块发生破裂、溃疡、夹层等, 使一支或多支冠状动脉形成血栓, 导致心肌血流减少。2 型 MINOCA, 又称非动脉粥样硬化性, 指心肌供氧减少或需氧增加引起的缺血性心肌梗死。这种供氧失衡是多因素的, 一方面, 自发性冠状动脉夹层、血栓栓塞、血管痉挛和微血管疾病等非斑块诱发事件可导致供血减少; 另一方面, 急性应激因素如快速型心律失常、缓慢型心律失常、高血压、低血压、贫血和缺氧也会引起供氧失衡<sup>[9]</sup>。

### 3.1 动脉粥样硬化

晚期动脉粥样硬化病变包括斑块破裂、斑块侵

蚀和钙化结节等, 这些都可导致 MINOCA。一方面, 斑块破裂导致血栓形成, 释放出各种化学介质, 使外周栓塞和冠状动脉痉挛, 导致 MINOCA 发生; 另一方面, 斑块破裂形成血栓, 可在冠状动脉远端发生阻塞, 部分血栓自发性溶解, 在 CAG 图像上表现为造影剂充盈缺损或冠状动脉管壁不规则, 被诊断为 MINOCA<sup>[2]</sup>。

### 3.2 非动脉粥样硬化

3.2.1 冠状动脉血栓栓塞 来自冠状动脉或身体其他血管的栓子累及冠状动脉微循环或心外膜冠状动脉, 血栓部分溶解导致血管造影显示非阻塞性冠状动脉狭窄时, 可被视为 MINOCA<sup>[3]</sup>。栓子的类型、大小以及梗死的部位常影响此类 MINOCA 患者的预后。

3.2.2 自发性冠状动脉夹层 自发性冠状动脉夹层 (spontaneous coronary artery dissection, SCAD) 常形成壁内血肿, 从而压迫冠状动脉管腔并影响冠状动脉血流。多见于年轻女性, 心脏危险因素较少, 但疾病严重程度更高, 与其他类型 MINOCA 相比, 多表现为 ST 段抬高型心肌梗死, 心脏康复转诊率更高<sup>[10]</sup>。

3.2.3 冠状动脉功能异常 冠状动脉痉挛指冠状动脉发生收缩引起血管部分或完全闭塞导致心肌缺血, 往往呈一过性, 长期痉挛可导致 MINOCA<sup>[3]</sup>。吸烟、舒马曲坦、伪麻黄碱、肌注药物、高血压、甲基苯丙胺和极度紧张均可诱发, 其心绞痛的发生率是其他类型 MINOCA 的 5 倍。

冠状动脉微血管功能障碍 (coronary microvascular dysfunction, CMD) 也被认为是 MINOCA 的潜在病因之一<sup>[8]</sup>。CMD 可分为冠状动脉微血管痉挛或冠状动脉微血管扩张功能障碍。冠状动脉微血管痉挛被定义为在乙酰胆碱激发试验中, 冠状动脉无阻塞的情况下, 出现 ST 段改变和胸痛所提示的一过性心肌缺血<sup>[11]</sup>。一项来自意大利的研究<sup>[12]</sup>表明, 乙酰胆碱激发试验阳性的 MINOCA 患者长期预后明显差于试验阴性患者, 这表明血管反应异常的 MINOCA 患者未来发生心血管事件的风险更高。微血管扩张功能减弱即微血管阻力增加或冠状动脉血流量在应激反应中增加不足。Mauricio 等<sup>[13]</sup>研究得出女性患者中有 2/3 存在弥漫性微血管疾病, 评估微血管扩张功能有助于对 MINOCA 患者进行客观的风险分层, 以实现最佳药物治疗。

3.2.4 心肌桥 心肌桥 (myocardial bridge, MB) 是一种先天性的冠状动脉发育异常, 既往被认为是一种良性病变, 但越来越多的研究发现, 心肌桥与

严重的心血管事件密切相关。一方面可能与心肌桥近端血管发生动脉粥样硬化有关。另一方面,当心脏收缩时,在心肌内走行的冠状动脉受压导致心肌缺血,从而增加了心外膜或微血管冠状动脉痉挛、斑块破裂和SCAD等风险,这些都是MINOCA的潜在病因<sup>[14-15]</sup>。一项回顾性研究<sup>[16]</sup>显示,MINOCA患者的心肌桥患病率高于MI-CAD患者,且心肌桥与MINOCA呈正相关,因此认为心肌桥本身可能是MINOCA的潜在病因。

## 4 预后及预后相关因素

关于MINOCA的预后争论不一,一项系统性回顾报告<sup>[17]</sup>显示,MINOCA的院内死亡率为0.9%,12个月死亡率为4.7%,与MI-CAD相比更低。而意大利一项研究<sup>[18]</sup>表明,MINOCA患者发生重大心血管事件的风险相对较高,几乎与MI-CAD患者相当。研究显示,MINOCA患者4.1年的死亡率、心肌梗死、缺血性脑卒中和心力衰竭的风险分别为13.4%、7.1%、4.3%和6.4%<sup>[19]</sup>。在美国CathPCI登记处登记的MINOCA老年患者( $\geq 65$ 岁)中,每5例患者中就有1例在AMI后12个月内发生重大不良事件<sup>[20]</sup>。可见,虽然CAG显示MINOCA患者无明显冠状动脉狭窄,但发生心血管不良事件的风险仍较高。

近年来,关于MINOCA预后的影响因素被越来越多的研究探索。传统意义的年龄、性别、D-二聚体、高敏C反应蛋白、心肌肌钙蛋白、甲状腺激素、左心室射血分数、高血糖、总胆红素、胆固醇、肌酐、代谢综合征、GRACE(the global registry of acute coronary events)评分和TIMI(the thrombolysis in myocardial infarction)评分等各种因素常作为独立危险因素,用于MINOCA患者主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular events, MACE)的预测<sup>[21-28]</sup>。而Gürdal等<sup>[29]</sup>分析得出中性粒细胞/淋巴细胞比值在MINOCA患者中明显高于健康人群,且入院时该比值与MINOCA患者死亡率呈正相关,当比值大于1.51时,预测MINOCA的灵敏度为88.9%,特异度为70.6%。最近一项研究发现应激性高血糖比值(stress hyperglycemia ratio, SHR)与MINOCA患者MACE的长期风险独立相关,高水平的SHR对MINOCA患者临床结局预测风险更高,当SHR临界值为0.86时能识别高风险MINOCA患者<sup>[30]</sup>。可靠的生物标志物在确定患者的优先次序方面发挥重要作用,因此,未来的研究有必要探索传统临床指标

以外的新型预测指标,对MINOCA患者进行快速、准确的风险分层,以确定其预后相关的潜在因素。

## 5 OCT在MINOCA中的应用

### 5.1 OCT在不同病理生理机制MINOCA中的应用

5.1.1 动脉粥样硬化性MINOCA 在Ath-MINOCA中,斑块诱发事件约占MINOCA患者的2/3,包括斑块破裂、斑块侵蚀和钙化结节,其中斑块破裂最常见<sup>[9,31]</sup>。基于OCT的图像,斑块破裂被定义为覆盖脂质斑块的纤维帽破裂,即纤维帽不连续,斑块内形成空腔(图1A)。斑块的破裂腔角度(以冠状动脉管腔中心为顶点,破裂腔两侧端之间的角度)被视为严重程度的标志;斑块侵蚀定义为存在血栓和不规则的管腔表面及完整的纤维帽(图1B);钙化结节定义为纤维钙化斑块基础上突出于管腔的小结节性钙化,常伴有血栓形成。Gerbaud和Reynolds等<sup>[31-32]</sup>的研究通过OCT对MINOCA的斑块形态进行分析,得出斑块侵蚀最多、斑块破裂次之、钙化结节最少见,表现出与病理学较高的吻合度。目前分析还显示,与非Ath-MINOCA患者相比,Ath-MINOCA患者的OCT面积狭窄程度更高、病变更长、最大脂质弧度更大、纤维帽更薄和富脂斑块更多,且临床预后更差,出院后1年内MACE发生率更高<sup>[6]</sup>。因此,OCT的高分辨率可精确地评估Ath-MINOCA患者斑块形态学特点,为该类患者个体化治疗及临床预后提供重要依据。

5.1.2 非动脉粥样硬化性MINOCA (1)冠状动脉血栓栓塞。血栓在CAG中往往不能被准确评估,较大体积的血栓易被识别为阻塞性心肌梗死,而较小体积的血栓常被忽略。OCT能准确检测出腔内血栓,并区分红色血栓与白色血栓。红色血栓中含有大量红细胞,而红细胞具有光学衰减特性,因此红色血栓被定义为高反向散射和高衰减,白色血栓被定义为均匀的低反向散射和低衰减<sup>[33]</sup>。薄帽纤维斑块破裂并伴有血栓形成一直是急性冠脉综合征患者关注的焦点,治疗方法也是个体化的,当在OCT中观察到多个斑块破裂部位时,罪犯病变处往往存在血栓,管腔面积较小,斑块负荷较大。可见,OCT可用于区别斑块诱发事件与血栓栓塞事件,从而改变对患者的急性和长期管理。此外,OCT的高分辨率还可以发现血栓栓塞或血管痉挛的病因。但其成像也有局限性,突出钙质的存在对深层结构的衰减,常被误诊为红色血栓<sup>[34]</sup>。

(2)自发性冠状动脉夹层。目前,CAG仍是SCAD的重要诊断方法,而Ⅲ型SCAD的表现与动

脉粥样硬化相似,通过造影难以区分。OCT 在诊断 SCAD 方面具有明显的优势,因为它的空间分辨率更高,能够识别壁内血肿、内皮撕裂及夹层的入口部位,还可通过大量血栓的存在或血管狭窄下游的血栓栓塞提示动脉粥样硬化,从而与 SCAD 鉴别<sup>[35]</sup>。然而,必须强调,OCT 还可能会进一步加重夹层或加剧新的内膜撕裂。因此,在使用 OCT 评估 SCAD 时应权衡诊断效益与手术风险。

(3) 冠状动脉功能异常。侵入性乙酰胆碱激发试验是诊断冠状动脉痉挛的金标准。在 OCT 上,冠状动脉痉挛常表现为内膜凹凸。Nishi 等<sup>[36]</sup>将 51 条有器质性病变的血管用 OCT 评估,得出在冠状动脉痉挛患者的器质性病变中经常观察到分层斑块、巨噬细胞和斑块内微通道。这表明,冠状动脉痉挛会诱发局部血栓形成以及活跃炎症反应,因此增加了冠状动脉痉挛患者斑块快速发展和发生缺血性事件的风险。冠状动脉功能障碍除了体现在心外膜冠状动脉外,还可表现在冠状动脉微血管痉挛。Nishimiya 等<sup>[37]</sup>对 329 例 MINOCA 患者行 OCT 检查发现,微血管痉挛常与弥漫性痉挛和局灶性痉挛并存,将外膜滋养血管和斑块内新生血管加入后,其预后价值明显提高。在随访中,局灶性痉挛的预后最差,斑块内新生血管是重要的预后因素,而弥漫性痉挛的外膜滋养血管最大,预后居中。可见,通过 OCT 可评估冠状动脉形态与冠状动脉功能预后之间的联系。

(4) 心肌桥。心肌桥在 CAG 中表现为“挤奶效应”,即当心脏收缩时冠状动脉中的某一段呈线状或串珠样改变,而在舒张时狭窄血管恢复正常。Eftekhar-Vaghefi 等<sup>[38]</sup>将  $250 \text{ mm}^2$  的隧道面积临界值定义为检测心肌桥的显著差异值,当隧道面积小于  $250 \text{ mm}^2$  时,心肌桥常被 CAG 漏诊。而 OCT 可用于检测 CAG 无法检测到的心肌桥,并将其定义为

冠状动脉周围出现的中等光学强度精细层,与 CAG 相比,OCT 可检测出长度更短、弧度更小的心肌桥<sup>[39]</sup>。然而,在收缩期时血管和管腔的大小会随着内侧厚度的增加而减小,因此,在对有心肌桥的冠状动脉进行 OCT 分析时应小心谨慎。

## 5.2 OCT 评估 MINOCA 斑块特征及识别易损斑块

不同的斑块组成在 OCT 图像上表现为不同的光学特性。根据 OCT 将斑块主要分为纤维斑块、钙化斑块、脂质斑块三类。纤维斑块在图像上呈现出均匀一致的高信号区;钙化斑块为不均匀的低信号区,边界往往清晰;而脂质斑块表现为边界不清的低信号区(图 1C)。此外,基于 OCT,微通道被定义为多个连续帧上清晰划分的信号差空洞;巨噬细胞浸润被定义为信号丰富的斑点,带有异质的后向阴影;胆固醇结晶被定义为斑块内高强度的线性区域;易损斑块即高破裂风险的斑块,薄纤维帽厚度为其主要特征之一。薄帽纤维斑块(thin cap fibrotheroma, TCFA)需满足脂核角度大于或等于两个象限以及纤维帽厚度小于  $65 \mu\text{m}$  两个条件(图 1D)。COMBINE OCT-FFR 研究<sup>[40]</sup>显示,在血流储备分数  $>0.8$  的糖尿病患者中,通过 OCT 检测出 TCFA 患者的 MACE 发生率约为无 TCFA 患者的 5 倍。可见,OCT 可更精确地识别 MINOCA 患者斑块特征及易损斑块,对其预后评估具有重要作用。有观点提出易损斑块往往不局限于单一斑块,合并两种或两种以上的混合斑块更易发生破裂,但此观点在 MINOCA 患者中研究较少,未来可着重增加该方面的研究。此外,OCT 还可以观察到斑块愈合,表现为易损性特征及局部或全身炎症反应,有学者提出打破动脉粥样硬化斑块不稳定与愈合之间的平衡将会导致急性冠脉综合征的发生,因此改善斑块愈合将成为治疗的新靶点<sup>[41]</sup>。

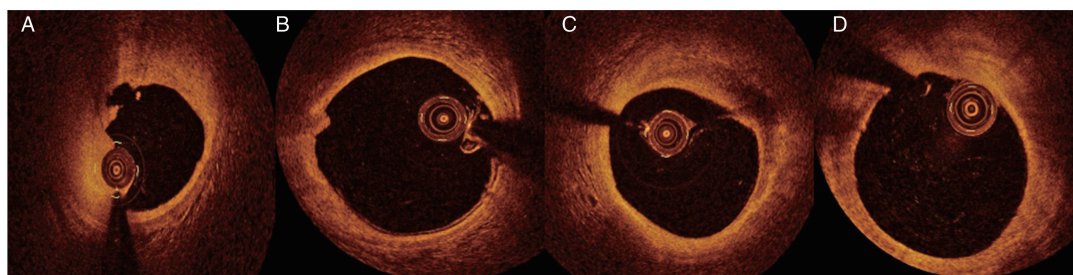


图 1. 不同类型斑块的光学相干断层成像图像

A 为斑块破裂,B 为斑块侵蚀,C 为脂质斑块,D 为薄帽纤维粥样硬化斑块。

Figure 1. Optical coherence tomography images of different types of plaques

### 5.3 OCT对MINOCA患者介入治疗策略的指导作用

OCT的即时解读改变了越来越多MINOCA患者最初的治疗策略。在一项队列研究<sup>[32]</sup>中,OCT对斑块特征的评估使16%的患者改变了介入治疗策略。另一项研究<sup>[33]</sup>发现,OCT对初始治疗策略产生影响的患者中部分存在斑块破裂,部分存在大量血栓物质或阻塞性管腔狭窄,而这些在CAG中往往易被低估。EROSION研究<sup>[42]</sup>表明,对于OCT明确的斑块侵蚀引起的急性冠脉综合征患者,可选择溶栓保守治疗。随后该中心EROSION III研究<sup>[43]</sup>提出,CAG直径狭窄 $\leq 70\%$ 的ST段抬高型心肌梗死患者,行CAG同时行OCT引导,支架植入数量更少。可见OCT对于明确Ath-MINOCA病因及对临床决策具有指导意义。此外,还有研究表明从胸痛发作到OCT检查的时间延迟影响其诊断价值。因此,未来在疑似MINOCA患者中应尽快行OCT检查,以迅速评估其斑块特征制定有效的介入治疗策略。

### 5.4 OCT对MINOCA患者的二级预防药物指导作用

不同医院对急性心肌梗死患者出院时带药情况存在巨大差异,反映了医生对MI-CAD二级预防药物应用到MINOCA患者中缺乏共识。目前,缺乏以证据为基础的MINOCA治疗指南,但是近年来研究表明,通过OCT检查可改变MINOCA患者的初始药物治疗方案。在Gerbaud等人的研究<sup>[31]</sup>中,OCT使27.5%的患者改变了初始药物治疗方案,其中5%的患者发现了SCAD,联合使用 $\beta$ 受体阻滞剂和阿司匹林治疗;另外5%的患者发现了斑块侵蚀,使用强效抗血小板药物或抗血栓药物并延长用药时间;17.5%的患者发现了斑块破裂,从而4例患者转诊至PCI,3例患者改变了抗血栓治疗。此外,对冠状动脉痉挛为致病机制的患者,钙通道阻滞剂及硝酸酯类药物治疗效果显著,而斑块破裂导致的MINOCA常建议规范双联抗血小板治疗1年, $\beta$ 受体阻滞剂及他汀类对预后也有显著改善作用;若仅轻度动脉粥样硬化,应使用他汀类强化降脂治疗;SCAD引起的MINOCA通常伴腔内并发症,夹层的位置和血管的具体情况不同其治疗方法不同,Ben-nati、Saw、Bocchino等团队<sup>[44-46]</sup>的研究发现,SCAD患者侵入性和保守性两种治疗方法后其MACE发生率差异无显著性,往往将后者作为初始治疗方法,而病情较重、血流受阻明显时应选择侵入性治疗。可见,MINOCA患者的病理生理机制不同,其治疗药物不同。对MINOCA患者进行OCT检查,可尽早确定个体化药物治疗方案。

### 5.5 OCT结合CMR在MINOCA患者中的诊断价值

近年来,越来越多的研究证明OCT和心血管磁共振成像(cardiovascular magnetic resonance imaging, CMR)可以提供MINOCA患者潜在病因的互补和独立信息。Gerbaud等将这两种技术相结合,100%的病例都找到了诊断依据<sup>[31]</sup>。CMR通过T2加权和晚期钆增强序列提供AMI的影像定位。早期CMR的诊断方法有可能改善患者对后续定向OCT检查的选择,从而节省成本和时间<sup>[33]</sup>。OCT分辨率高且可实现360°实时横断面观察,可以揭示动脉粥样硬化和非动脉粥样硬化的原因,还可根据内膜凹凸来诊断冠状动脉痉挛,从而解决CAG的一些局限性。然而,由于成本、可用性、专业性等原因,目前同时应用两种技术对MINOCA患者进行评估并不广泛。

## 6 小结与展望

综上所述,OCT在MINOCA患者中具有重要的临床诊断价值。它可以用于发现潜在的冠状动脉疾病、评估动脉粥样斑块的完整性以及识别动脉粥样硬化的病因。本文着重强调了OCT在MINOCA患者管理中的关键作用。期待未来能够在可疑MINOCA患者中进行血管造影的同时进行OCT检查,这样不仅可以为患者提供准确的诊断,还可以提高患者对治疗方案的接受度。这种综合策略有望降低MINOCA患者因胸痛再次入院及其他心血管不良事件的风险。

### [参考文献]

- [1] OCCHIPINTI G, BUCCIARELLI-DUCCI C, CAPODANNO D. Diagnostic pathways in myocardial infarction with non-obstructive coronary artery disease (MINOCA) [J]. Eur Heart J Acute Cardiovasc Care, 2021, 10(7): 813-822.
- [2] TAKAHASHI J, ONUMA S, HAO K, et al. Pathophysiology and diagnostic pathway of myocardial infarction with non-obstructive coronary arteries [J]. J Cardiol, 2024, 83(1): 17-24.
- [3] SAFDAR B, SPATZ E S, DREYER R P, et al. Presentation, clinical profile, and prognosis of young patients with myocardial infarction with nonobstructive coronary arteries (MINOCA): results from the VIRGO study [J]. J Am Heart Assoc, 2018, 7(13): e009174.
- [4] USUI E, MATSUMURA M, SMILOWITZ N R, et al. Coronary morphological features in women with non-ST-segment elevation MINOCA and MI-CAD as assessed by optical coherence tomography [J]. Eur Heart J Open, 2022, 2(5):

- oeac058.
- [5] LINDAHL B, BAARON T, ALBERTUCCI M, et al. Myocardial infarction with non-obstructive coronary artery disease [J]. *EuroIntervention*, 2021, 17(11): e875-e887.
- [6] CHAPMAN A R, ADAMSON P D, SHAH A S V, et al. High-sensitivity cardiac troponin and the universal definition of myocardial infarction [J]. *Circulation*, 2020, 141(3): 161-171.
- [7] COLLET J P, THIELE H, BARBATO E, et al. 2020 ESC guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation [J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(14): 1289-1367.
- [8] TAMIS-HOLLAND J E, JNEID H, REYNOLDS H R, et al. Contemporary diagnosis and management of patients with myocardial infarction in the absence of obstructive coronary artery disease; a scientific statement from the American heart association [J]. *Circulation*, 2019, 139(18): e891-e908.
- [9] SCHOEPFER H, NESTELBERGER T, BOEDDINGHAUS J, et al. Effect of a proposed modification of the type 1 and type 2 myocardial infarction definition on incidence and prognosis [J]. *Circulation*, 2020, 142(21): 2083-2085.
- [10] MÉNDEZ-EIRÍN E, SUÁREZ-OURÉNS Y, RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ J Á. Spontaneous coronary artery dissection [J]. *Rev Clin Esp*, 2021, 221(5): 297-305.
- [11] ONG P, CAMICI P G, BELTRAME J F, et al. International standardization of diagnostic criteria for microvascular angina [J]. *Int J Cardiol*, 2018, 250: 16-20.
- [12] DE VITA A, MANFREDONIA L, LAMENDOLA P, et al. Coronary microvascular dysfunction in patients with acute coronary syndrome and no obstructive coronary artery disease [J]. *Clin Res Cardiol*, 2019, 108(12): 1364-1370.
- [13] MAURICIO R, SRICHAH M B, AXEL L, et al. Stress cardiac MRI in women with myocardial infarction and nonobstructive coronary artery disease [J]. *Clin Cardiol*, 2016, 39(10): 596-602.
- [14] NAM P, CHOI B G, CHOI S Y, et al. The impact of myocardial bridge on coronary artery spasm and long-term clinical outcomes in patients without significant atherosclerotic stenosis [J]. *Atherosclerosis*, 2018, 270: 8-12.
- [15] TAJRISHI F Z, AHMAD A, JAMIL A, et al. Spontaneous coronary artery dissection and associated myocardial bridging: current evidence from cohort study and case reports [J]. *Med Hypotheses*, 2019, 128: 50-53.
- [16] MATTA A, NADER V, CANITROT R, et al. Myocardial bridging is significantly associated to myocardial infarction with non-obstructive coronary arteries [J]. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*, 2022, 11(6): 501-507.
- [17] PASUPATHY S, AIR T, DREYER R P, et al. Systematic review of patients presenting with suspected myocardial infarction and nonobstructive coronary arteries [J]. *Circulation*, 2015, 131(10): 861-870.
- [18] MAGNANI G, BRICOLI S, ARDISSINO M, et al. Long-term outcomes of early-onset myocardial infarction with non-obstructive coronary artery disease (MINOCA) [J]. *Int J Cardiol*, 2022, 354: 7-13.
- [19] LINDAHL B, BARON T, ERLINGE D, et al. Medical therapy for secondary prevention and long-term outcome in patients with myocardial infarction with nonobstructive coronary artery disease [J]. *Circulation*, 2017, 135(16): 1481-1489.
- [20] DREYER R P, TAVELLA R, CURTIS J P, et al. Myocardial infarction with non-obstructive coronary arteries as compared with myocardial infarction and obstructive coronary disease: outcomes in a Medicare population [J]. *Eur Heart J*, 2020, 41(7): 870-878.
- [21] ABDU F A, MOHAMMED A Q, LIU L, et al. Metabolic syndrome and the risk of adverse cardiovascular events in patients with myocardial infarction with non-obstructive coronary arteries [J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2022, 32(3): 666-674.
- [22] MA W, GAO S, HUANG S, et al. Hyperuricemia as a prognostic marker for long-term outcomes in patients with myocardial infarction with nonobstructive coronary arteries [J]. *Nutr Metab (Lond)*, 2021, 18(1): 107.
- [23] EGGERS K M, BARON T, HJORT M, et al. Clinical and prognostic implications of C-reactive protein levels in myocardial infarction with nonobstructive coronary arteries [J]. *Clin Cardiol*, 2021, 44(7): 1019-1027.
- [24] GAO S, MA W, HUANG S, et al. Predictive value of free triiodothyronine to free thyroxine ratio in euthyroid patients with myocardial infarction with nonobstructive coronary arteries [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2021, 12: 708216.
- [25] GAO S, MA W, HUANG S, et al. Predictive value of the age, creatinine, and ejection fraction score in patients with myocardial infarction with nonobstructive coronary arteries [J]. *Clin Cardiol*, 2021, 44(7): 1011-1018.
- [26] HJORT M, LINDAHL B, BARON T, et al. Prognosis in relation to high-sensitivity cardiac troponin T levels in patients with myocardial infarction and non-obstructive coronary arteries [J]. *Am Heart J*, 2018, 200: 60-66.
- [27] YIN G, LIU L, MOHAMMED A Q, et al. Association between initial serum total bilirubin and clinical outcome in myocardial infarction with non-obstructive coronary arteries [J]. *Int J Med Sci*, 2022, 19(6): 986-992.
- [28] NORDENSKJÖLD A M, BARON T, EGGERS K M, et al. Predictors of adverse outcome in patients with myocardial infarction with non-obstructive coronary artery (MI-

- NOCA) disease[J]. *Int J Cardiol*, 2018, 261: 18-23.
- [29] GÜRDAL A, KESKIN K, SİĞİRCİ S, et al. Prognostic value of the neutrophil-to-lymphocyte ratio in patients with myocardial infarction with non-obstructive coronary arteries [J]. *Angiology*, 2020, 71(9): 812-816.
- [30] ABDU F A, GALIP J, QI P, et al. Association of stress hyperglycemia ratio and poor long-term prognosis in patients with myocardial infarction with non-obstructive coronary arteries[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2023, 22(1): 11.
- [31] GERBAUD E, ARABUCKI F, NIVET H, et al. OCT and CMR for the diagnosis of patients presenting with MINOCA and suspected epicardial causes[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(12): 2619-2631.
- [32] REYNOLDS H R, MAEHARA A, KWONG R Y, et al. Coronary optical coherence tomography and cardiac magnetic resonance imaging to determine underlying causes of myocardial infarction with nonobstructive coronary arteries in women[J]. *Circulation*, 2021, 143(7): 624-640.
- [33] OPOLSKI M P, SPIEWAK M, MARCZAK M, et al. Mechanisms of myocardial infarction in patients with nonobstructive coronary artery disease: results from the optical coherence tomography study [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(11 Pt 1): 2210-2221.
- [34] JOHNSON T W, RÄBER L, DI MARIO C, et al. Clinical use of intracoronary imaging. Part 2: acute coronary syndromes, ambiguous coronary angiography findings, and guiding interventional decision-making: an expert consensus document of the European association of percutaneous cardiovascular interventions[J]. *Eur Heart J*, 2019, 40(31): 2566-2584.
- [35] BARBIERI L, D'ERRICO A, AVALLONE C, et al. Optical coherence tomography and coronary dissection: precious tool or useless surplus? [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9: 822998.
- [36] NISHI T, KUME T, YAMADA R, et al. Layered plaque in organic lesions in patients with coronary artery spasm [J]. *J Am Heart Assoc*, 2022, 11(7): e024880.
- [37] NISHIMIYA K, SUDA A, FUKUI K, et al. Prognostic links between OCT-delineated coronary morphologies and coronary functional abnormalities in patients with INOCA [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2021, 14(6): 606-618.
- [38] EFTEKHAR-VAGHEFI S H, POURHOSEINI S, MOVAHEDI M, et al. Comparison of detection percentage and morphology of myocardial bridge between conventional coronary angiography and coronary CT angiography[J]. *J Cardiovasc Thorac Res*, 2019, 11(3): 203-208.
- [39] OKAMURA A, OKURA H, IWAI S, et al. Detection of myocardial bridge by optical coherence tomography [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2022, 38(5): 1169-1176.
- [40] 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(45): 4671-4679.
- [41] 施展, 张步春. 光学相干断层成像对急性冠状动脉综合征患者易损斑块的新认识[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2022, 30(9): 817-820.
- SHI Z, ZHANG B C. New recognition of vulnerable plaque in patients with acute coronary syndrome by optical coherence tomography[J]. *Chin J Arterioscler*, 2022, 30(9): 817-820.
- [42] JIA H, DAI J, HOU J, et al. Effective anti-thrombotic therapy without stenting: intravascular optical coherence tomography-based management in plaque erosion (the EROSION study)[J]. *Eur Heart J*, 2017, 38(11): 792-800.
- [43] JIA H, DAI J, HE L, et al. EROSION III: a multicenter RCT of OCT-guided reperfusion in STEMI with early infarct artery patency [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2022, 15(8): 846-856.
- [44] BENENATI S, GIACOBBE F, ZINGARELLI A, et al. Interventional versus conservative strategy in patients with spontaneous coronary artery dissections: insights from DISCO registry[J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2023, 16(6): e012780.
- [45] SAW J, STAROVOYTOV A, HUMPHRIES K, et al. Canadian spontaneous coronary artery dissection cohort study: in-hospital and 30-day outcomes [J]. *Eur Heart J*, 2019, 40(15): 1188-1197.
- [46] BOCCHINO P P, FRANCHIN L, ANGELINI F, et al. Outcomes during the first year following spontaneous coronary artery dissection: a systematic timeframe pooled analysis [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2022, 99(2): 472-479.

(此文编辑 许雪梅)