

OCT在冠心病诊疗中的应用及展望

杨萌甜¹, 王丹¹, 何端¹, 王星玉¹, 潘军强^{2*}

¹延安大学医学院, 陕西 延安

²西安市中心医院心血管内科, 陕西 西安

收稿日期: 2024年8月10日; 录用日期: 2024年9月2日; 发布日期: 2024年9月11日

摘要

冠状动脉粥样硬化性心脏病(coronary atherosclerotic heart disease, CHD)简称: 冠心病, 是一种全球广泛存在的慢性缺血缺氧性疾病, 同时也是全球发病率最高发以及病死率最高的冠状动脉疾病。临床上常用的冠心病检查如: 心脏彩超、心脏核磁、心脏CT、心脏同位素心肌显像、冠状动脉造影、IVUS等, 它们的空间分辨率均较低, 而值得我们关注的光学相干断层成像(optical coherence tomography, OCT)技术不仅在冠心病诊断方面有突出贡献, 而且在冠心病介入治疗方面进一步展现出独特性, 其利用不同深度生物组织的反射光被干涉仪捕捉并记录的原理, 再由计算机绘制出简单明了的图像。通过OCT技术, 我们能够准确地进行血管壁成像, 其精度达到10 μm级别, 这一优势在理解冠状动脉粥样硬化病变、制订并改善介入治疗方案、评估支架植入后的效果和长期追踪中都起着关键作用。本篇总结了OCT在冠心病诊疗中的应用现状及未来展望。

关键词

光学相干断层成像(OCT), 冠状动脉粥样硬化性心脏病, 未来展望

Application and Prospect of OCT in the Diagnosis and Treatment of Coronary Heart Disease

Mengtian Yang¹, Dan Wang¹, Duan He¹, Xingyu Wang¹, Junqiang Pan^{2*}

¹School of Medicine, Yan'an University, Yan'an Shaanxi

²Department of Cardiovascular Medicine, Xi'an Central Hospital, Xi'an Shaanxi

Received: Aug. 10th, 2024; accepted: Sep. 2nd, 2024; published: Sep. 11th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 杨萌甜, 王丹, 何端, 王星玉, 潘军强. OCT 在冠心病诊疗中的应用及展望[J]. 临床医学进展, 2024, 14(9): 407-412. DOI: 10.12677/acm.2024.1492476

Abstract

Coronary atherosclerotic heart disease (CHD), abbreviated as coronary heart disease (CHD), is a globally widespread chronic ischemic and hypoxic disease of the heart, and is also the coronary artery disease with the highest morbidity and mortality rates worldwide. Commonly used clinical coronary heart disease examination such as: cardiac ultrasound, cardiac nuclear magnetic resonance imaging, cardiac CT, cardiac isotope myocardial imaging, coronary angiography, IVUS, etc., their spatial resolution are relatively low, and it is worth our attention that the optical coherence tomography (OCT) technology has not only made an outstanding contribution to the diagnosis of coronary heart disease, but has also further demonstrated its uniqueness in the interventional therapy of coronary heart disease, which utilizes the principle that the reflected light from biological tissues at different depths is captured and recorded by interferometers, and then computerized to produce a simple and clear image. Using OCT, we were able to achieve 10- μm resolution of the vessel wall, an advantage that makes it important to understand coronary atherosclerotic lesions, to develop and optimize interventional strategies, to evaluate the effects of stenting, and to follow up in the long term. This article summarizes the current status and future prospects of OCT in the diagnosis and treatment of coronary heart disease.

Keywords

Optical Coherence Tomography (OCT), Coronary Atherosclerotic Heart Disease, Future Perspectives

Copyright © 2024 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

冠心病所致的猝死为全因猝死首位，OCT 作为冠状动脉内识别斑块侵蚀的腔内影像学检查工具为冠心病的诊断和治疗提供了重要的指导价值。OCT 以其高分辨率、及时传输、高清图像等优势成为近年来一种新兴的诊断技术[1]。OCT 的轴向分辨率极高，通常可以达到 10 微米，这意味着它能够捕捉到生物组织非常细微的结构变化，为医生提供更加精确的诊断信息；OCT 技术能够在扫描过程中实时传输图像数据，使医生能够立即观察到生物组织的内部结构，有助于及时做出诊断。OCT 图像清晰度高，能够展现出生物组织的真实形态和细节，有助于医生更准确地识别病变部位和性质。OCT 利用红外光代替声波应用于冠状动脉疾病检查中[2]，可以进行斑块主要成分的鉴别并识别易损斑块，从而定性、定量的分析冠状动脉粥样硬化斑块[3]，是新兴的冠状动脉介入技术中的一项重要检查手段。本文就 OCT 在冠心病诊疗中的应用现状进行综述，为更早、更精确地诊断冠心病并对其实施有效的治疗和干预提供重要参考价值。

2. OCT 在冠状动脉粥样硬化病变中的评价

2.1. OCT 进行斑块主要成分的鉴别

斑块的种类各异，因此在 OCT 图像中也会显示出各具特色的光学特征[4]。斑块可以被分为三大类别：一类是纤维斑块，表现为内膜增厚并带有均匀亮信号；第二类是钙化斑块，其特点是内膜增厚且信

号偏弱,但边界清晰;第三类为脂质斑块,其特征为内膜增厚伴有低信号,边界相对模糊。研究发现,对脂质斑块、钙化斑块、纤维斑块 OCT 检测跟组织学相似的敏感性和特异性分别是 69%和 88%;93%和 92%;88%和 98% [5]。OCT 对于钙化斑块的检测灵敏度和准确性,与 IVUS 的水平相当;同时 OCT 在评估钙化病变方面可表现出其优越性。OCT 可以穿透表浅厚度小于 1.0~1.5 mm 的钙化,因此能够测量大多数浅表钙化斑块的厚度,同时以血管腔的中心作为圆心来测量表浅钙化的弧度(单位为度),钙化程度可以根据累及象限的数目来进行半定量分级。采用自动探头回撤测量的方式,能够衡量出表面钙化的长度。依据钙化病变距管腔的距离,我们可分为表层钙化和深层钙化。所谓浅表钙化,包括累及角度小于 90°且距离管腔表面 100 μm 以内的小钙化。OCT 的这一特点可以帮助指导选择合适病变以便更好地从经皮腔内斑块旋磨术中受益。

2.2. OCT 识别斑块浸润及易损斑块

在急性冠脉综合征(ACS)中,斑块侵蚀是仅次于斑块破裂及血栓形成的第二大病因。OCT 作为目前在体内识别斑块侵蚀的腔内影像学检查手段之一,对管腔狭窄程度及病变易损性相对斑块破裂较轻的斑块浸润有精准的识别及指导治疗作用。易损斑块(vulnerable plaque, VP)是指含有大量巨噬细胞、拥有大的脂质核心的薄层纤维帽斑块,其具有不稳定、易破裂的特征,是引起猝死或急性冠脉综合症的首要因素 [6]。虽然传统的心脏冠脉造影和 IVUS 可以揭示微观结构的变化,但对于准确评估易损斑块的纤维帽厚度的任务上,OCT 技术通过对深度模拟病理组织的应用展现出了独特的能力。因此,OCT 为薄层纤维粥样斑块(Thin cap fibroatheromas, TCFA)提供了新的诠释,即 OCT 的图像不仅能够描绘出超过或等于两个方位的脂肪核角度,还可以区分出纤维帽厚度小于 65 μm 的斑块 [7]。OCT 的研究结果显示,与稳定性心绞痛患者相比,急性冠脉综合症的患者更易产生薄层纤维粥样斑块。故而提高高破裂风险斑块的检出率,为预防和诊断急性冠脉综合症提供了重要价值 [7]。

病理学研究证实,急性冠脉综合症的三大主要原因是:斑块破裂,内膜侵蚀以及钙化结节 [7]。基于 OCT 的高分辨率特性,Jia 的研究组首次应用 OCT 在体内评估斑块的破裂、侵蚀和钙化结节 [7] [8]。OCT 理论上认为,动脉硬化斑块的破坏是由于其纤维外壳的完整性遭到破坏而导致,从而产生内部空洞;如果仅有内皮层的连续性受损但未生成空腔,那么这被称为斑块侵蚀(plaque erosion)。钙化结节(calcified nodule)是指在纤维钙化斑块基础上出现较小的结节性钙化,凸入管腔中,并且伴随血栓形成。根据研究结果显示,OCT 检测到的动脉硬化斑块的破坏、侵蚀和钙化结节等现象占据犯罪型病变的比例分别为 43.7%,31%及 7.9% [8],表现出与病理学较高的吻合度。这项研究首次明确了通过使用光学相干断层扫描(OCT)图像可以辨别出斑块侵蚀和钙化结节的定义,并且还提供了相应的分级准则。根据 OCT 的定义,斑块破裂是指由于脂质斑块纤维帽的连贯性遭到破坏,且伴随着空腔缩小的情况发生。与冠状动脉造影和 IVUS 相比,OCT 在检测血栓方面的表现更为显著。对比研究显示对血栓的检出率几乎达到 100%,与血管内镜相类似 [9]。利用 OCT,我们能够对活体内的血栓性质和状态进行检查。通过对组织的深度研究与比较,我们已经明确了 OCT 影像上血栓的形态特性:当组织进入管道并产生强烈的高反射信号时,同时伴随着没有信号的尾部阴影,这些图像被称为红色的血栓;相反地,如果组织进入管道后产生了较强的反射信号且具有较低的衰减特质,则这些图像就被认定是白色的血栓 [10]。

3. OCT 在冠心病介入治疗中的应用

3.1. OCT 指导和优化介入治疗

如何指导并优化支架置入的效果一直是冠心病介入诊疗过程中最重要的部分之一,也是国内外介入心血管病学专家关注的重点与热点。OCT 在冠状动脉介入治疗中的应用十分普遍,不论是对于指导和优

化介入治疗, 评估支架植入后立即的效果, 还是长期支架的跟踪观察都发挥着关键作用。对于临界狭窄和性质不明确病变的评估: 欠佳的造影结果会影响对于狭窄严重程度评价的准确性, 这可能存在于严重程度不明确的临界病变、短病变、动脉瘤之前或之后的冠状动脉节段、开口部位或左主干狭窄、分叉病变、局部痉挛或造影意义不明确的病变等。OCT 在成为指导介入治疗的常规检查方面有潜力。与 IVUS 相比, 它可以更加清晰的显示管腔-管壁交界面, 因此能够更准确地测量病变部位[11]。

OCT 可指导复杂病变的支架置入。慢性完全性闭塞病变(chronic total occlusions, CTO)是一种令众多介入专科医生感到困扰的疾病。随着介入器材的发展, CTO 病变的治疗已经取得了长足发展, 但 CTO 的介入成功率依然不高。在复杂病变的过程中, OCT 所提供的信息对手术医生能否成功进行手术有着潜在的影响。OCT 可以识别出阻塞的管道和血管壁的各个层面, 并且能够辨认微小的通路, 这些信息都可以帮助导丝穿越阻塞部位[12]。一旦导丝穿过了闭塞病变, OCT 就能够提供导致闭塞的斑块成分。如果发生了管壁夹层, OCT 能够区分真腔和假腔。

一直以来, 分叉病变被视为引起冠脉支架置入失败率较高的重要原因, 而 OCT 可以观察到在分叉病变支架内增加血栓形成风险的两种现象, 其一, 分叉病变支架置入的一种常见现象是分叉开口处的贴壁不良; 其二, 未贴壁小梁或者重叠支架处的小梁的内皮化会延迟[13]。除此以外, OCT 还能观察分叉处的斑块特征, 斑块特征也是可能导致支架置入的高风险因素。

3.2. OCT 评价冠状动脉介入治疗的效果

通过使用 OCT 技术, 我们能更深入细致地了解支架手术之后复杂的血管状况。一项研究指出, 无论如何, 支架插入过程中必然会出现部分支架小梁未能紧密附着于血管壁的情况, 尤其是在支架重叠区域更为显著[14], 这是一种支架置入术后的即刻不良效果, 而高压释放被证实为一种有效的解决方案, 同时也常常成为引发支架放入后血管壁受损进而造成支架内部再次变窄的主要因素[15]。而具有高分辨率的 OCT 可以详细地观察到细胞壁的损伤情况, 对各种类型的损伤进行定性和定量的分析。DOCTORS 研究、ILUMI-EN 系列研究、Pan-Landon 研究、DETECT OCT 研究、ISIGHT 研究等分别从不同角度证实, 在 OCT 的指导下可以优化 PCI 术后的即刻效果[16]。

利用 OCT 还可以观察支架晚期贴壁不良, 其定义为支架支撑杆与血管壁距离大于 0.2 mm。SIRIUS 研究发现, 支架置入术后, 使用 OCT 评价支架治疗效果明显优于其他检查手段[17]。研究表明, 药物洗脱支架晚期发生支架贴壁不良的概率为 16.3% [5] [8], 对于药物洗脱支架, 术后通过 OCT 检测发现没有晚期支架贴壁不良, 同时一层光滑的内膜完全覆盖支架小梁, 则可以考虑停用双联抗血小板药物, 进而节省术后药物花费。相反, 如未完全被覆盖, 应延长使用双联抗血小板治疗的时间, 从而减少远期不良事件发生[18]。

3.3. OCT 指导生物可吸收支架的植入及研发

近年来, “介入无植入, 介入无残留”理念得到普遍推广, 生物可吸收支架(Bioabsorbable scaffold, BRS)既具有药物输送功能, 同时还具备机械支撑作用, 当血管功能和结构恢复之后, 它会被完全吸收, 这使得 BRS 引起了许多手术医生和患者的兴趣。生物可吸收支架由一种特殊的能被完全降解的材料制成, 支架梁部更厚、扩张后的回弹力更强, 因此, 准确评估病情的严重程度和适当的预处理, 正确选择匹配的支架大小, 以及植入过程中精确定位和充分扩张, 均是影响 BRS 植入效果的关键因素。高分辨率 OCT 作为可以清晰显示 BRS 的影像技术, 在指导 BRS 植入、植入后效果评价及长期随访中发挥了重要作用, 更强调了 OCT 影像技术在践行“介入无植入”理念, 减少“金属心”方面做出的突出贡献。

基于生物可吸收支架材料的特殊性, 手术全程需要在 OCT 指导下进行。术前, 明确斑块性质、确定

支架直径及落脚点；术中，评价支架置入后效果、给予球囊后扩处理；术后，效果评估及远期复查，在为患者植入 BRS 时，利用 OCT 评估 BRS 释放效果能有效改善患者预后。我们坚信，在 OCT 的辅助下，会有更多疗效与安全性兼优的生物可吸收支架被研发出来，这将为冠心病患者提供更多更优质的治疗选择。

4. OCT 在冠心病诊疗中的总结及展望

利用 OCT 技术，我们可以借助其所携带的红外线摄像头探针深入到血管内部，从而获取心脏冠状动脉的立体视图。这一方法的主要优势是能够以极高的分辨率展示出冠状动脉的微观构造，有助于我们辨别斑块成分、评估纤维帽的厚度、确定治疗策略、为介入手术提供指引并评定效果，同时还对于新式支架的研究开发起到了重要推动作用。更不可忽视的是，OCT 在冠心病的诊断中尤其适用于评价冠脉造影意义不明确的病变和局部血管痉挛，且 OCT 鉴别冠状动脉血栓的能力使其成为评价冠脉造影意义不明确的病变的极佳手段。心脏 OCT 最大的优势是极高的分辨率和图像更易解读，可以准确鉴别斑块的稳定性及检测斑块破裂[19]。OCT 成像导管相对小的直径可以减少导管楔入的几率而减少冠脉痉挛。在 OCT 针对钙化的检测与 IVUS 的比较中，二者的灵敏度和特异性几乎持平。OCT 技术可以精确的定位并量化钙化的严重程度和范围，也能预判球囊预扩张是否能达到预期效果，进而实行冠脉内旋磨术。在 OCT 的引导下，术者可以安全有效的去除钙化斑块，并顺利进行后续的支架置入和球囊扩张，从而在确保远期疗效方面有着决定性作用。这一显著优势使得 OCT 在全球心血管介入治疗领域被广泛采纳，其被广泛应用于不稳定斑块的评估及冠状动脉介入治疗的指导，并对支架植入后的即刻和长期疗效进行评估，成功开创了冠脉内检查的新的里程碑。除此以外，个体化治疗深入人心，为患者提供个体化治疗方案也是每一位医护工作者的最大心愿。鉴于 OCT 和组织病理切片的分辨效果相似，所以可以使人们更深入地理解冠状动脉疾病的病理特征，并根据每个患者的特性来针对性地给予治疗。这也使得心脏 OCT 检测在诊断冠状动脉疾病、制定治疗策略以及评价治疗效果等方面变得日益重要。

如同任何一项诊断技术，OCT 也不例外，同样具有一定的缺陷：目前 OCT 所能穿透的深度只有 1.5 mm 左右；因此对于部分未凸入管腔的红血栓尚不能分辨，这可能与两种成分具有相同的 OCT 信号特征有关，且当血管及斑块被大量血栓或有红色血栓覆盖时，则很难被检测到。与此同时，冠状动脉内的粥样斑块分布各异，包括同心圆斑块、偏心性斑块，前者是指粥样斑块均匀包绕血管腔四周分布，后者是指血管腔四周粥样斑块形成的厚度差异明显。在粥样斑块形成过程中，当存在大量泡沫细胞及脂质斑块时，由于 OCT 无法透过严重增厚的血管壁而不能看清血管外层的情况[20]。除此以外，血管形态等其他因素也会影响 OCT 成像。如 OCT 成像导丝不能通过极度扭曲的血管或通过极度扭曲血管的导丝未位于与目标血管同轴的中心位置，从而影响 OCT 的穿透深度、亮度和分辨率。正常情况下，OCT 在冠脉内的穿透范围可以包含整个管腔，特殊情况如成像的管腔相对较大或有较大的分支血管存在时，则可能造成 OCT 图像不清楚。尽管如此，OCT 技术还是在最近几年给我们带来了惊人的突破，解决了近红外光不能穿透血管中的红细胞的问题、球囊造成的血管夹层问题，以及尝试扩大成像范围、加快成像速度、提升成像质量乃至得到形态和功能评估等一系列的问题都得到了有效地解决。这使得 OCT 的应用领域进一步扩大，使得光学相干断层成像技术越来越成为介入治疗医师的必备辅助手段。我们依然认为，随着 OCT 技术的发展和进步，使用起来会变得更加轻松便捷，在心血管领域的临床应用会更为普遍。

综上所述，冠状动脉内的 OCT 影像技术在我们处理急性冠脉综合症病例时，增强了对于其血栓生成病理过程理解的能力。特别是它能有效地辨别出斑块侵蚀、破裂、硬化结节等可能导致血栓生成的病变类型，这有助于心脏科医师更准确且个性化的诊断与治疗。此外，OCT 技术也支持“介入无植入”的心脏疾病治疗策略，并能够为生物可溶解支架的使用提供明确指导，从而进一步评估罪犯血管是否稳定。随著 OCT 技术的持续发展及深入到临床实践的研究，将会给心脏疾病的病人带来更好的疗效预期。

随着冠心病检查技术的发展和“介入无残留”理念的推广，在临床应用中，OCT 技术发挥着越来越重要的技术，为冠心病冠状动脉介入治疗和守护新健康再添新助力。

参考文献

- [1] Deniz, E., Mis, E.K., Lane, M. and Khokha, M.K. (2021) *Xenopus Tadpole Craniocardiac Imaging Using Optical Coherence Tomography*. *Cold Spring Harbor Protocols*, **2022**. <https://doi.org/10.1101/pdb.prot105676>
- [2] Kuo, W.C., Shyu, J.J., Chou, N.K., Lai, C.M., Huang, H.C., Chou, C., et al. (2004) Imaging of Human Aortic Atherosclerotic Plaques by Polarization-Sensitive Optical Coherence Tomography. *The 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, San Francisco, 1-5 September 2004, 1222-1224. <https://doi.org/10.1109/iembs.2004.1403389>
- [3] 郑琦, 段继坤, 杨帆, 等. 应用光学相干断层扫描技术探究点状钙化特征与斑块稳定性的关系[J]. *临床心血管病杂志*, 2021, 37(12): 1117-1120.
- [4] Gnanadesigan, M., van Soest, G., White, S., Scoltock, S., Ughi, G.J., Baumbach, A., et al. (2014) Effect of Temperature and Fixation on the Optical Properties of Atherosclerotic Tissue: A Validation Study of an *Ex-Vivo* Whole Heart Cadaveric Model. *Biomedical Optics Express*, **5**, Article No. 1038. <https://doi.org/10.1364/boe.5.001038>
- [5] Guo, J., Sun, L., Chen, Y.D., et al. (2012) *Ex Vivo* Assessment of Coronary Lesions by Optical Coherence Tomography and Intravascular Ultrasound in Comparison with Histology Results. *Chinese Journal of Cardiovascular Diseases*, **40**, 302-306.
- [6] Yahagi, K., Kolodgie, F.D., Otsuka, F., Finn, A.V., Davis, H.R., Joner, M., et al. (2015) Pathophysiology of Native Coronary, Vein Graft, and In-Stent Atherosclerosis. *Nature Reviews Cardiology*, **13**, 79-98. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2015.164>
- [7] Shimamura, K., Kubo, T. and Akasaka, T. (2021) Evaluation of Coronary Plaques and Atherosclerosis Using Optical Coherence Tomography. *Expert Review of Cardiovascular Therapy*, **19**, 379-386. <https://doi.org/10.1080/14779072.2021.1914588>
- [8] Jia, H., Abtahian, F., Aguirre, A.D., Lee, S., Chia, S., Lowe, H., et al. (2013) *In Vivo* Diagnosis of Plaque Erosion and Calcified Nodule in Patients with Acute Coronary Syndrome by Intravascular Optical Coherence Tomography. *Journal of the American College of Cardiology*, **62**, 1748-1758. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.05.071>
- [9] Bateman, R.M., Sharpe, M.D., Jagger, J.E., et al. (2016) 36th International Symposium on Intensive Care and Emergency Medicine: Brussels, Belgium. 15-18 March 2016. *Critical Care*, **20**, 13-182.
- [10] 汤喆, 白静, 薛令合, 等. 冠状动脉光学相干断层成像观察的重度钙化病变形态特点对支架膨胀不良的影响[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2018, 26(10): 577-583.
- [11] Macedo, M.M.G., Guimarães, W.V.N., Galon, M.Z., Takimura, C.K., Lemos, P.A. and Gutierrez, M.A. (2015) A Bifurcation Identifier for IV-OCT Using Orthogonal Least Squares and Supervised Machine Learning. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, **46**, 237-248. <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2015.09.004>
- [12] 张文利, 吴斌, 桂亮, 等. 以光学相干断层扫描为指导的 PCI 在冠心病患者中的应用效果及对免疫炎症的影响[J]. *中国医学创新*, 2023, 20(6): 11-15.
- [13] 孙正, 王树雁. 深度学习在血管内光学相干层析成像中的应用现状[J]. *激光与光电子学进展*, 2022, 59(22): 39-50.
- [14] 赵琪, 侯静波. 光学相干断层成像在冠脉介入诊疗领域应用的进展[J]. *心血管康复医学杂志*, 2015, 24(1): 94-97.
- [15] 王学懂, 贾海波, 黄幸涛, 等. 冠状动脉慢性完全闭塞病变介入治疗后的 OCT 研究[J]. *现代生物医学进展*, 2015, 15(32): 6296-6301.
- [16] Ali, Z., Landmesser, U., Karimi Galoughi, K., Maehara, A., Matsumura, M., Shlofmitz, R.A., et al. (2021) Optical Coherence Tomography-Guided Coronary Stent Implantation Compared to Angiography: A Multicentre Randomised Trial in PCI—Design and Rationale of ILUMIEN IV: OPTIMAL PCI. *EuroIntervention*, **16**, 1092-1099. <https://doi.org/10.4244/ej-d-20-00501>
- [17] 王辛, 李学奇, 夏洪远, 等. 冠状动脉内重叠支架置入术的临床研究进展[J]. *现代生物医学进展*, 2015, 15(30): 5970-5973+5815.
- [18] 曹培刚. 光学相干断层成像与血管内超声在冠状动脉介入治疗中的对比研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2021.
- [19] 刘涵, 黄晶. 冠状动脉腔内影像学在冠心病诊治中的应用[J]. *临床医学进展*, 2023, 13(4): 5401-5405.
- [20] 严金川, 袁伟, 陈小节, 等. 冠状动脉斑块破裂的光学相干断层成像特征分析[J]. *中华诊断学电子杂志*, 2015, 3(3): 164-168.