

光学相干断层成像(OCT)在冠心病(CHD)介入治疗中的临床应用

苗官宝

西安医学院研究生院, 陕西 西安

收稿日期: 2025年4月16日; 录用日期: 2025年5月9日; 发布日期: 2025年5月20日

摘要

近年来, 冠心病的患病人数在我国不断上升, 对我国人民的生命财产安全造成了巨大危害。经皮冠状动脉介入治疗(PCI)术在缓解心绞痛症状、改善心肌血运重建等方面发挥了重要作用。光学相干断层成像(OCT)以其高达10 μm 的分辨率在指导PCI治疗过程中得到了广泛的应用, 其不仅可以精准地评估病变斑块的性质、成分和病变部位, 还能够通过测量血管管腔的直径、病变长度等指导支架尺寸的选择和着陆点的确定, 此外还可以用于支架植入后的优化。

关键词

光学相干断层成像(OCT), 经皮冠状动脉介入治疗(PCI)

The Clinical Application of Optical Coherence Tomography (OCT) in Interventional Therapy of Coronary Heart Disease (CHD)

Guanbao Miao

Graduate School of Xi'an Medical University, Xi'an Shaanxi

Received: Apr. 16th, 2025; accepted: May 9th, 2025; published: May 20th, 2025

Abstract

In recent years, the number of patients with coronary heart disease has been continuously

increasing in China, causing huge harm to the life and property safety of the Chinese people. Percutaneous coronary intervention (PCI) has played an important role in relieving angina pectoris symptoms and improving myocardial revascularization. Optical coherence tomography (OCT), with its resolution as high as 10 μm , has been widely used in guiding the PCI treatment process. It can not only accurately determine the nature, composition and location of the lesion plaque, but also guide the selection of stent size and the determination of the landing point by measuring the diameter of the vascular lumen and the length of the lesion. In addition, it can also be used for optimization after stent implantation.

Keywords

Optical Coherence Tomography (OCT), Percutaneous Coronary Intervention (PCI)

Copyright © 2025 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. 前言

冠心病(coronary heart disease, CHD)作为全球危害最大的非传染性疾病,一直以来对我国国民生命财产安全造成了极大的危害。据最新报道,冠心病(CHD)的患病人数已达到 1139 万人并且仍在上升[1]。经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)具有创伤小、恢复快、显著改善患者症状的优势,现已成为临床上冠心病的重要治疗手段。冠状动脉造影(CAG)是评价血管管腔狭窄程度的“金标准”,临床上常用于指导冠状动脉介入手术,然而随着冠脉介入治疗技术的不断发展进步,越来越需要更为精准的检查技术评估靶病变。

光学相干断层成像(OCT)的出现很大程度上克服了 CAG 的不足之处,将成像导管送入病变的血管管腔中获得清晰准确的影像学图像,与单独冠脉造影相比,血管内成像指导制定 PCI 术治疗策略,可以显著降低全因死亡率、靶血管失败(TVF)和缺血驱动的靶血管血运重建等主要不良心血管事件的发生[2]。本综述主要介绍总结 OCT 在评价病变斑块及指导 PCI 术治疗中的应用。

2. 光学相干断层成像

2.1. 成像原理

OCT 的基本原理是利用近红外线的光学干涉原理进行成像。光在传播时以波的形式向远处传播,有波峰和波谷。两束频率相同的波相遇时,波峰与波峰或波谷与波谷重叠时其信号增强,波峰与波谷重叠时信号减弱,这就是波的干涉现象。在 OCT 的导管头端有 2 个光源,分别发出两束光,一束光发送到血管组织,另一束发射到参考的反光镜。发射到血管组织的光信号会随着组织不同的性状而反射不同的强度信号的近红外线,从组织反射回的光波会被 OCT 导管上的探头收集,同参考臂的光波形成干涉现象。成像导管收集反射回的近红外光线,并通过傅里叶转换获取相应的的影像学数据,对病变斑块做出精准的评估。

2.2. 图像采集

术者使用 6F 的导引导管沿者工作导丝将 OCT 成像导管推至病变远端,成像导管近端显影标记距离观察区域 10 mm 处,若术前 OCT 导管无法通过病变处,推荐使用直径小于 2.0 mm 的小球囊扩张。在注

射造影剂、回撤 OCT 导管之前,轻推造影剂以确定导引导管与冠状动脉口是否同轴,以免快速注射造影剂造成冠脉夹层。通过导引导管手动注射造影剂的过程中执行自动回撤 OCT 导管(左冠状动脉的冲洗速率为 4.0~5.5 ml/s,右冠状动脉为 3.0~4.0 ml/s)获得影像学图像。

3. 指导 PCI 术的治疗

3.1. 术前评估病变斑块

血管内成像检测钙化斑块的敏感性高于冠脉造影,有研究显示,冠脉造影的钙化斑块的检出率仅为 40.2%,而 OCT 的检出率则为 76.8% [3],有着显著的优势。钙化斑块在 OCT 下表现为边缘锐利的低信号、质地不均匀区域,具有低衰减的特性。术前对于钙化斑块的评估尤为重要,明确斑块的钙化程度,有助于制定合理的术前准备方式,降低支架膨胀不足、支架内再狭窄及血栓形成的风险。然而并非所有的钙化斑块都需要进行特殊的预处理,深层钙化及钙化角度较小的浅表钙化对植入支架几乎无影响,所以无需进行特殊的预处理,而钙化程度严重的斑块使得血管的顺应性较差,易致支架扩张不全,过于突出到管腔的钙化也会引发急性冠脉综合征,需要使用棘突球囊、切割球囊及旋磨等特殊预处理。一项对 128 例钙化病变的患者使用 OCT 进行 PCI 术前、术后随访观察,结果显示最大钙化角度 $>180^\circ$ 、靶病变长度 $>5\text{ mm}$ 及最大钙化厚度 $>0.5\text{ mm}$ 的病变斑块存在较高的支架膨胀不良的风险[4]。另一项研究结果也显示,钙化角度 $<180^\circ$ 、最大钙化厚度超过 $\geq 0.88\text{ mm}$ 的斑块也可导致明显支架膨胀不全(支架膨胀率 $<80\%$) [5]。

3.2. 指导选择植入支架的尺寸

相比于冠脉造影,OCT 等腔内影像学技术能够测量出更为精确的管腔直径及病变长度,大大降低病变未覆盖及支架贴壁不良的风险。有研究显示,使用 OCT 指导的 PCI 术能够获得更大的最小管腔直径和最小支架面积,显著改善了患者支架植入后的远期预后效果[5]。在临床上通常选择远端血管外弹力膜直径(EEM)直径或管腔直径作为参考管腔直径指导选择支架尺寸,随后对支架的中部和近端进行优化扩张。ILUMIEN III 研究中指出,当支架直径通过测量 EEM 直径参考值确定时,建议选择平均 EEM 直径减 0.25 mm 作为植入的支架直径;当支架直径无法通过测量 EEM 直径确定时,建议在平均管腔直径的基础上加 0.25 mm 作为植入的支架直径[6]。

支架未完全覆盖病变是血运重建失败(血栓形成或支架内再狭窄)和主要不良心血管事件的预测因素之一。选择合适的支架长度可以避免支架在残余斑块负荷($>50\%$)区域内着陆。一项关于 OCT 评估支架植入后边缘再狭窄的回顾性研究结果显示,支架边缘段未覆盖完全的脂质斑块与药物洗脱支架植入后晚期支架边缘再狭窄显著相关[7]。因此,有学者提出使用 OCT 锚定支架边缘的着陆点标准:在弥漫性疾病的病变中,尽管存在脂质弧度小于 185° 的病变节段,也可以作为支架着陆区,然而这一结论还有待更多的临床数据进一步证实。选择合适支架尺寸在 PCI 治疗的过程中至关重要,合适的支架不仅能够改善患者症状,使得预后达到最大效果,而且能够减少血栓形成、再狭窄、靶病变失败等不良事件的发生。目前,在临床上,单独的冠状动脉造影指导的 PCI 术治疗已经无法满足现实的需求,OCT 因其具有较高的分辨率,能够精准的获取血管管腔的解剖学信息,在术前准备、术后优化,晚期随访等方面得到了广泛应用。

4. 优化 PCI 术后即刻治疗效果

1、贴壁不良:支架贴壁不良是指支架表面与管腔表面之间的轴向距离大于支柱厚度。IVUS 和 OCT 都可以用于指导支架植入后的优化,且两者指导的 PCI 术治疗可以获得相似的最小支架面积,其中 OCT 因具有较高的分辨率在识别支架贴壁不良更具有优势。ILUMIEN III 研究显示在 OCT 评价下植入的支架

中贴壁不良高达 50%，而 IVUS 评价植入的支架中贴壁不良约为 15% [6]。

支架贴壁不良作为冠脉介入治疗中最为棘手的并发症之一，可以发生在 PCI 术后的各个时期，这可能与血管炎症反应和血管壁的正性重塑有关。在 PRESTIGE 和 PESTO 这两项研究中发现支架贴壁不良在 PCI 术后支架内形成血栓的患者中较为常见，其中急性期(PCI 术后 24 小时内)支架内血栓发生率较其它时期更高，分别为 27%和 60% [8] [9]。当支架与管腔的距离超过 200 μm 时，就构成了支架贴壁不良的标准，显著的支架贴壁不良会导致局部血流动力学的紊乱，刺激血管平滑肌的增生与迁移，支架与血管壁之间不均匀的应力分布会持续刺激局部的炎症反应，使得新生内膜不断增厚，从而引起再狭窄的发生。因此对于严重的支架贴壁不良需要进行术后的优化处理。选择与血管参考直径相匹配的非顺应性球囊，在 OCT 的引导下从支架的远端依次进行后扩张优化植入的支架，若初次释放压力不足，则可逐渐增加至 20 atm，对于严重的钙化斑块或偏心钙化则需要进行术前的旋磨或冲击波球囊等特殊的预处理。值得注意的是，后扩张球囊严禁超出支架外，以防过度的扩张从而引发正常血管壁的夹层。然而并非所有的贴壁不良都需要进行优化处理。几项随访研究结果显示，当支架小梁表面与管腔表面之间的轴向距离 < 0.35 mm 时无需进行优化处理，血管内皮细胞的增生会逐渐覆盖支架小梁 [10]-[12]，当该距离 > 200 μm 时则需进行后扩张。

2、组织脱垂：组织脱垂是指支架植入后斑块组织或血栓物质通过支架“网眼”突出到管腔中。斑块脱垂的 OCT 表现为表面光滑、无信号衰减；血栓脱垂表现为表面不规则、明显的信号衰减。当支架定位在富含脂质的斑块或 TCFA 上时易发生组织脱垂，它不仅增加了支架内再狭窄的发生率，而且与近远期支架内急性血栓形成密切相关。已有多项研究证实组织脱垂是早期支架内血栓形成的重要预测因子并且与 PCI 术后短期不良预后相关 [13]-[15]。

3、冠状动脉夹层：PCI 术后的血管夹层通常发生在支架边缘，OCT 具有较高的分辨率，因此更容易识别支架边缘夹层。有报道指出，OCT 识别 PCI 术后支架边缘夹层的发生率为 37.8% [16]。EAPCI 的专家共识文件中建议当冠状动脉血管夹层角度 > 60°、延伸长度 > 2 mm 并且累及血管壁深层(内膜或外膜)是定义为严重的血管夹层，会增加不良事件的风险 [17]。轻微边缘夹层并不具有临床意义，所以无需进行优化处理，而严重的边缘夹层可导致壁内血肿，尤其是当血肿位于远端支架边缘时甚至可能导致急性血管闭塞，因此需要进行支架植入以防止更严重的并发症的出现。

5. 研究进展

近几年，随着光学相干断层成像(OCT)在临床上的广泛应用，对于基于 OCT 的多模态成像整合技术的研究取得了重大突破，该技术将光学相干断层成像(OCT)与血管内超声(IVUS)相结合，形成优势互补，既有 OCT 的高分辨率的特性，又有 IVUS 较强的穿透力优点。因此，相较于单独的 OCT 或 IVUS，基于 OCT 的多模态成像技术在术前评估靶病变性质及研究冠心病的病理生理学机制等方面占据至关重要的地位。双模态 IVUS 和 OCT (IVUS-OCT)成像技术能够辅助术者根据不同病变特征制定不同的治疗策略，并且在评估病变斑块的形态与性质等方面有着巨大的潜力 [18]。在一项基于双模态 IVUS 和 OCT 的研究中表明，OCT 对于薄纤维粥样斑块(TCFA)具有较高的检出率，证实了测量帽纤维帽厚度对破裂斑块的发生率具有较高的预测价值，而 IVUS 在评估斑块负荷方面有着显著的优势，对导致不良事件的破裂斑块具有较高的预测性 [19]。由此可见，IVUS-OCT 联合成像不仅能够识别高危的病变斑块，而且还可以精准的测量斑块纤维帽厚度、评估斑块负荷，可以制定更加可靠科学的治疗策略，有效防止远期不良事件的发生。近红外光谱(NIRS)不仅能够自动计算斑块负荷，还可以辅助识别支架内血栓形成及支架内再狭窄的可能机制并预测围术期心肌梗死的发生 [20] [21]，但缺点是不能提供管腔解剖结构的影像学信息。双模态 OCT-近红外荧光分子成像(OCT-NIRF)和双模态 OCT 和荧光寿命成像(OCT-FLIM)等技术也在动脉粥样

硬化的病理生理演变过程及微观结构等方面展现出巨大的潜在价值。通过动物研究发现, 双模态 OCT-NIRF 的荧光信号主要集中于富含脂质斑块及巨噬细胞分布区域并且沿着支架梁分布, 这提示植入的支架可能刺激血管壁发生炎症反应[22]。这对接受药物洗脱金属支架植入治疗的患者晚期/极晚期血栓形成以及支架内再狭窄的发生率较高做出了解释。尽管目前不推荐常规进行腔内影像学检查, 但许多临床试验已经证实其使用能够显著降低 PCI 术后不良事件的风险。随着对多模态影像学技术的进一步研究, 越来越多的临床试验数据证实其安全性和有效性, 该技术一定能够对冠心病的研究及诊疗提供新的检查手段。

除此之外, 基于 OCT 技术的相关衍生技术, 例如基于 OCT 的血流储备分数(OFR)、斑块衰减指数(IPA), 高分辨率成像以及 AI 驱动智能化创新分析等相关技术的不断创新使得 OCT 已经从单纯的诊断工具发展成为冠心病全周期管理的核心手段。随着多模态成像技术及规范化应用的推进, 有望进一步改善患者临床结局。

参考文献

- [1] 刘明波, 何新叶, 杨晓红, 等. 《中国心血管健康与疾病报告 2023》概要(心血管疾病流行及介入诊疗状况) [J]. 中国介入心脏病学杂志, 2024, 32(10): 541-550.
- [2] Teixeira, L., Ferreira, R.O.M., Navalha, D.D.P., Pasqualotto, E., Fae, I.G., Gibicoski, T., *et al.* (2024) Intravascular Imaging-Guided vs. Angiography-Guided Percutaneous Coronary Intervention: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials in High-Risk Patients and Complex Coronary Anatomies. *International Journal of Cardiology*, **416**, Article 132510. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2024.132510>
- [3] Wang, X., Matsumura, M., Mintz, G.S., Lee, T., Zhang, W., Cao, Y., *et al.* (2017) *In vivo* Calcium Detection by Comparing Optical Coherence Tomography, Intravascular Ultrasound, and Angiography. *JACC: Cardiovascular Imaging*, **10**, 869-879. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.05.014>
- [4] Fujino, A., Mintz, G.S., Matsumura, M., Lee, T., Kim, S., Hoshino, M., *et al.* (2018) A New Optical Coherence Tomography-Based Calcium Scoring System to Predict Stent Underexpansion. *EuroIntervention*, **13**, 2182-2189. <https://doi.org/10.4244/eij-d-17-00962>
- [5] Matsuhiro, Y., Nakamura, D., Shutta, R., Yanagawa, K., Nakamura, H., Okamoto, N., *et al.* (2020) Maximum Calcium Thickness Is a Useful Predictor for Acceptable Stent Expansion in Moderate Calcified Lesions. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, **36**, 1609-1615. <https://doi.org/10.1007/s10554-020-01874-w>
- [6] Ali, Z.A., Maehara, A., G  n  reux, P., Shlofmitz, R.A., Fabbicocchi, F., Nazif, T.M., *et al.* (2016) Optical Coherence Tomography Compared with Intravascular Ultrasound and with Angiography to Guide Coronary Stent Implantation (ILUMIEN III: OPTIMIZE PCI): A Randomised Controlled Trial. *The Lancet*, **388**, 2618-2628. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(16\)31922-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(16)31922-5)
- [7] Ino, Y., Kubo, T., Matsuo, Y., Yamaguchi, T., Shiono, Y., Shimamura, K., *et al.* (2016) Optical Coherence Tomography Predictors for Edge Restenosis after Everolimus-Eluting Stent Implantation. *Circulation: Cardiovascular Interventions*, **9**, e004231. <https://doi.org/10.1161/circinterventions.116.004231>
- [8] Souteyrand, G., Amabile, N., Mangin, L., Chabin, X., Meneveau, N., Cayla, G., *et al.* (2016) Mechanisms of Stent Thrombosis Analysed by Optical Coherence Tomography: Insights from the National PESTO French Registry. *European Heart Journal*, **37**, 1208-1216. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv711>
- [9] Adriaenssens, T., Joner, M., Godschalk, T.C., Malik, N., Alfonso, F., Xhepa, E., *et al.* (2017) Optical Coherence Tomography Findings in Patients with Coronary Stent Thrombosis: A Report of the PRESTIGE Consortium (Prevention of Late Stent Thrombosis by an Interdisciplinary Global European Effort). *Circulation*, **136**, 1007-1021. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.117.026788>
- [10] Sotomi, Y., Onuma, Y., Dijkstra, J., Miyazaki, Y., Kozuma, K., Tanabe, K., *et al.* (2017) Fate of Post-Procedural Malapposition of Everolimus-Eluting Polymeric Bioresorbable Scaffold and Everolimus-Eluting Cobalt Chromium Metallic Stent in Human Coronary Arteries: Sequential Assessment with Optical Coherence Tomography in ABSORB Japan Trial. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*, **19**, 59-66. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jew329>
- [11] Shimamura, K., Kubo, T., Akasaka, T., Kozuma, K., Kimura, K., Kawamura, M., *et al.* (2014) Outcomes of Everolimus-Eluting Stent Incomplete Stent Apposition: A Serial Optical Coherence Tomography Analysis. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*, **16**, 23-28. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu174>
- [12] Wykrzykowska, J.J., Diletti, R., Gutierrez-Chico, J.L., van Geuns, R.J., van der Giessen, W.J., Ramcharitar, S., *et al.* (2012) Plaque Sealing and Passivation with a Mechanical Self-Expanding Low Outward Force Nitinol Vshield Device

- for the Treatment of IVUS and Oct-Derived Thin Cap Fibroatheromas (TCFAs) in Native Coronary Arteries: Report of the Pilot Study Vshield Evaluated at Cardiac Hospital in Rotterdam for Investigation and Treatment of TCFA (SECRITT). *EuroIntervention*, **8**, 945-954. <https://doi.org/10.4244/eijv8i8a144>
- [13] Bezerra, H.G., Attizzani, G.F., Sirbu, V., Musumeci, G., Lortkipanidze, N., Fujino, Y., *et al.* (2013) Optical Coherence Tomography versus Intravascular Ultrasound to Evaluate Coronary Artery Disease and Percutaneous Coronary Intervention. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **6**, 228-236. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2012.09.017>
- [14] Cheneau, E., Leborgne, L., Mintz, G.S., Kotani, J., Pichard, A.D., Satler, L.F., *et al.* (2003) Predictors of Subacute Stent Thrombosis: Results of a Systematic Intravascular Ultrasound Study. *Circulation*, **108**, 43-47. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000078636.71728.40>
- [15] Hong, Y.J., Jeong, M.H., Ahn, Y., Sim, D.S., Chung, J.W., Cho, J.S., *et al.* (2008) Plaque Prolapse after Stent Implantation in Patients with Acute Myocardial Infarction: An Intravascular Ultrasound Analysis. *JACC: Cardiovascular Imaging*, **1**, 489-497. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2008.04.004>
- [16] Kume, T. and Uemura, S. (2017) Current Clinical Applications of Coronary Optical Coherence Tomography. *Cardiovascular Intervention and Therapeutics*, **33**, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s12928-017-0483-8>
- [17] Räber, L., Mintz, G.S., Koskinas, K.C., Johnson, T.W., Holm, N.R., Onuma, Y., *et al.* (2018) Clinical Use of Intracoronary Imaging. Part 1: Guidance and Optimization of Coronary Interventions. An Expert Consensus Document of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions. *European Heart Journal*, **39**, 3281-3300. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy285>
- [18] Ono, M., Kawashima, H., Hara, H., Gao, C., Wang, R., Kogame, N., *et al.* (2020) Advances in IVUS/OCT and Future Clinical Perspective of Novel Hybrid Catheter System in Coronary Imaging. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **7**, Article 119. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2020.00119>
- [19] Tian, J., Dauerman, H., Toma, C., Samady, H., Itoh, T., Kuramitsu, S., *et al.* (2014) Prevalence and Characteristics of TCFA and Degree of Coronary Artery Stenosis: An OCT, IVUS, and Angiographic Study. *Journal of the American College of Cardiology*, **64**, 672-680. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.05.052>
- [20] Kubo, T., Akasaka, T. and Guagliumi, G. (2017) Suboptimal Agreement between Optical Coherence Tomography and Near-Infrared Spectroscopy for Identification of Lipid-Laden Plaque. *EuroIntervention*, **13**, 263-264. <https://doi.org/10.4244/eijv13i3a38>
- [21] Roleder, T., Karimi Galougahi, K., Chin, C.Y., Bhatti, N.K., Brilakis, E., Nazif, T.M., *et al.* (2016) Utility of Near-Infrared Spectroscopy for Detection of Thin-Cap Neoatherosclerosis. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*, **18**, 663-669. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jew198>
- [22] Kim, S., Lee, M.W., Kim, T.S., Song, J.W., Nam, H.S., Cho, H.S., *et al.* (2016) Intracoronary Dual-Modal Optical Coherence Tomography-Near-Infrared Fluorescence Structural-Molecular Imaging with a Clinical Dose of Indocyanine Green for the Assessment of High-Risk Plaques and Stent-Associated Inflammation in a Beating Coronary Artery. *European Heart Journal*, **37**, 2833-2844. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv726>