



·综述·

血管内超声和光学相干断层成像对冠状动脉粥样硬化斑块的诊治价值

江雨凡 陈黎明 崔连群

250021 济南, 山东大学附属省立医院

通信作者: 崔连群, 电子信箱: Csdslly@sina.com

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5410.2019.03.016

【摘要】 冠状动脉性心脏病(CHD)亦称缺血性心脏病,其发病率和死亡率长期居世界首位。冠状动脉造影术(CAG)仍是目前诊断CHD的金标准,并广泛应用于CHD的诊疗中,但CAG的分辨率较低,对冠状动脉病变的内膜、外膜和详细病理变化的观察不够精确。血管内超声(IVUS)和光学相干断层成像(OCT)是两种分辨率较高的血管内成像技术,对CHD的诊断和介入治疗起到了很好的补充作用,目前临床上应用也日趋广泛。本文从IVUS和OCT识别冠状动脉粥样硬化斑块、指导和评价经皮冠状动脉介入术的研究现状进行综述。

【关键词】 冠状动脉疾病; 体层摄影术,光学相干; 超声检查,介入性; 动脉粥样硬化性; 血管成形术,经腔,经皮冠状动脉

Diagnostic and therapeutic values of intravascular ultrasound and optical coherence tomography in coronary atherosclerotic plaques

Jiang Yufan, Chen Liming, Cui Lianqun

Shandong Provincial Hospital Affiliated to Shandong University, Jinan 250021, China

Corresponding author: Cui Lianqun, Email: Csdslly@sina.com

【Abstract】 Coronary heart disease (CHD), also known as ischemic heart disease, has the highest morbidity and mortality globally. Coronary angiography (CAG) is the golden standard for the diagnosis of CHD currently, and has been widely used in tackling CHD. Nevertheless, with relatively low resolution, CAG fails to observe details of the subtle structure of coronary intima, adventitia and their pathological changes. Intravascular ultrasound (IVUS) and optical coherence tomography (OCT) are two intracoronary imaging techniques of high resolution which make remarkable supplement to the diagnosis and interventional therapies of CHD, and are now widely used in clinical practice. This review will elaborate the current status of IVUS and OCT in identifying coronary atherosclerotic plaques and in guiding as well as evaluating the percutaneous coronary intervention.

【Key words】 Coronary artery disease; Tomography, optical coherence; Ultrasonography, interventional; Plaque, atherosclerotic; Angioplasty, transluminal, percutaneous coronary

冠状动脉性心脏病(coronary heart disease, CHD)的发病率和死亡率长期居世界首位。据世界卫生组织统计,2000—2015年全球平均每年有784万人死于CHD,且呈逐年上升趋势^[1]。冠状动脉粥样硬化引起的冠状动脉缺血事件被认为是CHD最常见的发病因素。目前,冠状动脉造影术(coronary angiography, CAG)仍是诊断CHD的金标准,在临床诊疗中被广泛应用。然而CAG也存在许多不足,难以进一步明确病变性质。多项研究证实,临床上清晰地展示斑块性质及支架贴壁情况等信息,对提高疾病诊疗、评价预后具有重要价值^[2-3]。据此,新的评价冠状动脉的成像技术——血

管内超声(intravascular ultrasound, IVUS)和光学相干断层成像(optical coherence tomography, OCT)应运而生。

1 IVUS 和 OCT 的应用原理

IVUS有多种技术,灰阶IVUS凭借导管探头发出40~45 MHz的声波,通过处理经组织反射的超声信号,最终形成反映组织特异性质的图像,轴向分辨率可达40~150 μm,横向分辨率可达200~250 μm,且拥有良好的组织穿透能力(5~6 mm)^[4];虚拟组织学血管内超声(virtual histology intravascular ultrasound, VH-IVUS)则是在IVUS基础上,对不



同频率区的信号进行区分、标以不同颜色,从而构成虚拟的斑块组织学图像,使观察者能够清晰地分析病变的组织结构。

相比 IVUS, OCT 在图像平面分辨率上有更大优势。1991 年, Huang 等^[5]在《Science》杂志上发表了 OCT 技术原理、优势和应用等方面较为详细的阐述。OCT 的成像原理在于探头发出的波长为 1.3 μm 的近红外光光源,光源发出后被分为两束,一束经过被测组织,另一束则经过反射镜。经组织反射的信号臂,与可调节的参考臂的两束光发生干涉后,通过计算机处理成像^[6]。OCT 的这一成像原理将成像的分辨率提高到高达 10 μm ,然而却在一定程度上降低了 OCT 的组织穿透深度(0.1 ~ 2 mm)^[4]。穿透深度(penetration depth)的变化是由于信号因穿过组织时的散射和吸收发生衰减,脂质、坏死斑块核心、红色血栓、红细胞等衰减效应较大,而胶原组织、钙化组织等衰减效应较小。因此, OCT 常常难以显示含有大量脂质斑块下的组织结构,却能识别钙化斑块下的细微结构;这也是为什么 OCT 检查时,需要将血管里的血液排空来减少信号吸收的原因^[4]。

2 ACS 与易损斑块

急性冠状动脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)的死亡率较高,其病理特征为动脉粥样硬化和炎症反应参与的血管内膜下脂质堆积、斑块形成^[7]。外力或炎症反应所致斑块破裂或糜烂,暴露出斑块下促凝物质,进而形成血栓。目前研究发现,易损斑块的纤维帽较薄,脂质含量高,易发生斑块破裂出血和继发血栓形成,也因此被视为斑块破裂的前驱病变^[2, 8]。预防 ACS 的发生需要提前识别和干预这类斑块。

易损斑块的概念在 1994 年由 Muller 等^[9]首次提出,它最初指有巨噬细胞浸润、炎症细胞介质堆积和脂质沉积等特征的斑块,斑块破裂进而形成冠状动脉内血栓,最终导致急性心肌梗死或猝死。随着对 CHD 和动脉粥样硬化斑块的认识加深,病理解剖学证据表明,易损斑块有以下几个特征:(1)大的坏死脂质核;(2)薄纤维帽(< 100 μm);(3)纤维帽激化的炎症反应;(4)胶原纤维和平滑肌细胞的减少;(5)新生血管,具有上述特征的斑块极易破裂^[10]。而据统计,大多数冠状动脉血栓是由斑块破裂导致的^[11],这是冠状动脉血栓形成最主要的致病因素,也是 ACS 的主要发病机制^[11]。在斑块形成发展中,随着内膜下脂质沉积增多,坏死核心越来越大,纤维帽在炎症反应细胞和细胞因子的作用下越来越薄,最终破裂暴露出促凝物质激活血小板和凝血瀑布,这是斑块破裂致血栓形成的过程。Jang 等^[12]将 57 例 CHD 患者纳入试验,包括 ACS 40 例和稳定型心绞痛 17 例,研究显示在前者观察到薄纤维帽粥样斑块(thin cap fibroatheroma, TCFA)的概率较后者更大(50% 比 20%, $P = 0.01$)。TCFA 有大的坏死核心和薄纤维帽,在形态上与破裂斑块相近,是斑块破裂的前驱病变^[8]。因此,提前识别和干预 TCFA 对预

防 ACS 的发生必不可少。

3 IVUS 和 OCT 对易损斑块的识别价值对比

对于识别 TCFA, VH-IVUS 的标准为斑块负荷 > 40%,融合的坏死核心占斑块截面面积 > 10% 且与管腔相接触,同时在至少 3 个连续的横断面上出现^[3];而在 OCT 上则表现为纤维帽厚度 < 65 μm ,脂核角度大于或等于 2 个象限的区域^[6, 13]。对比发现,鉴于分辨率差异,IVUS 不能根据纤维帽厚度来辨别 TCFA,而更多侧重于坏死脂质核心的分辨。

研究发现,IVUS 识别的 TCFA 与心血管不良事件的发生关系较大^[3]。但尸检统计发现,IVUS 高估了 TCFA 的发生率^[14]。相比而言, OCT 有更高的分辨率,能清楚识别薄纤维帽。Kume 等^[15]收集了 40 名志愿者的 108 条冠状动脉节段,研究发现,以组织病理为对照, OCT 对富脂斑块的检出优于 IVUS(85% 比 59%, $P = 0.03$); Kubo 等^[16]选取 30 例急性心肌梗死患者,对比 OCT 和 IVUS 对冠状动脉病变的识别效果,发现 OCT 对斑块破裂(73% 比 40%, $P = 0.02$)、糜烂(23% 比 0, $P < 0.01$)、血管内血栓(100% 比 33%, $P < 0.01$)和 TCFA 的检出率都更高,且只有 OCT 可以估测纤维帽的厚度。多项研究也表明, OCT 诊断的 TCFA、斑块类型不仅精确度较高,而且均优于 IVUS^[15]。但 OCT 的穿透力弱,因此研究中或多或少的控制目标研究斑块的厚度,甚至出现解剖、OCT、IVUS 三者所分析的斑块厚度相差甚远的情况。由此可见, OCT 对在穿透力范围内的斑块识别能力较为准确,但对穿透力以外的斑块界定能力相对逊色。Tian 等^[17]观察发现,纤维帽厚度是破裂和非破裂斑块重要的组织学鉴别因素,但同时斑块负荷、管腔面积亦是破裂的罪犯斑块重要的组织学特征。因此,即使 OCT 能较为清楚地测量纤维帽厚度,但纤维帽厚度并不能代表 TCFA 和易损斑块。这提示单纯识别纤维帽厚度对于疾病的研究、识别和预防等领域还不够。OCT 图像分辨率较高,但穿透能力相对较弱; IVUS 图像分辨率低,但穿透性较好,血管内成像技术各有优缺点。

4 IVUS 和 OCT 对冠状动脉介入治疗的临床指导价值

斑块识别技术仍在不断更新,同时干预措施也是不乏上升空间。CAG 是目前冠心病诊疗中运用最广的技术,然而 CAG 分辨率较低,以二维的方式来展现三维的冠状动脉管腔病变细节显然不够,不能精确显示病变性质,在临床应用中存在一定的缺陷。IVUS 和 OCT 越来越多地被运用于经皮冠状动脉介入术(percutaneous coronary intervention, PCI)的指导和评估中^[13, 18]。

IVUS 和 OCT 有助于管腔和斑块的评估、明确支架球囊的选择、支架相关并发症、支架置入术后临床结果预判、介入相关病理生理和病理解剖的深入研究等^[4, 19]。多项研究表明,较 CAG 而言, IVUS 指导 PCI 能减少靶病变血管重构,降低支架内血栓和主要不良心血管事件(major adverse



cardiovascular events, MACE) 发生率, 提高 PCI 患者的临床预后^[20-23]。虽然 OCT 指导介入的相关研究较 IVUS 少, 但亦有研究表明 OCT 能提高 PCI 术后血流储备分数 (fractional flow reserve, FFR)、支架内最小管腔直径和支架覆盖率等^[19, 24-27]。ILUMIEN-I 试验强调了术前采用 OCT 评估病变、指导手术的重要性^[25]; 临床研究显示, OCT 可以提高术后 3 和 6 个月的支架覆盖率^[28]; Sheth 等^[26]在对 214 例 ST 段抬高型心肌梗死患者的研究中指出, 对比其他 428 例 CAG 指导的 PCI, OCT 指导介入手术能得到更理想的支架内管腔直径 [(2.99 ± 0.48) mm 比 (2.79 ± 0.47) mm, $P < 0.01$]; Meneveau 等^[24]在 240 例非 ST 段抬高型 ACS 患者的研究中发现, OCT 指导 PCI 术后有明显 FFR 提升 (0.94 ± 0.04 比 0.92 ± 0.05, $P < 0.01$)。以上研究均提示, 较 CAG 而言 OCT 能明显改善患者预后。目前, 有些随机对照试验如 ILUMIEN-IV (NCT03507777) 和 OCTOBER 试验 (NCT03171311), 欲对这一问题做进一步探讨。

相较 IVUS, OCT 拥有较高的分辨率, 能更好地识别斑块、血栓和支架贴壁情况等, 但 Habara 等^[29]收集对比了 70 例心绞痛患者数据, 认为 IVUS 指导 PCI 治疗更胜一筹, 研究发现二者在血管边界可见程度、支架球囊膨胀程度等方面均有较大差异 (均为 $P < 0.05$)。OCT 穿透力较弱, 血管边界辨识度较 IVUS 差, 加上 OCT 分辨率高, 血管负性重构检出率高, 为避免撕裂, OCT 指导 PCI 时球囊后扩压力较小, 支架置入后管腔内径较小, 最小支架面积 (minimum stent area, MSA) 也较小。虽然该试验未对远期预后进行评估, 但其他研究表明, 支架内再狭窄和血栓形成与 MSA、支架膨胀不全等密切相关^[30], 因此推测 OCT 指导的 PCI 也许有更多不良事件发生。

然而 ILUMIEN III 的研究结果却大不相同, 在 450 例冠心病患者中, 特定的 OCT 技术指导的 PCI 不亚于 IVUS。测量近端和远端参考区的外弹性膜来确定支架直径, 必要时后扩使支架两端膨胀度达 90%, 结果提示, 在 MSA (5.79 mm² 比 5.89 mm², $P = 0.42$)、支架膨胀程度 (105.8% 比 106.3%, $P = 0.63$) 或 MACE (3% 比 1%, $P = 0.37$) 等方面 OCT 组较 IVUS 组无明显差异, 甚至 OCT 在识别夹层、斑块性质等方面更具优势^[27]。类似的, OPNION 研究发现, 诸多指标如 PCI 手术成功率或再狭窄率等, 二者不相上下^[31]。

综上所述, IVUS 和 OCT 均有助于更好开展 PCI, 但 OCT 是否更优于 IVUS 并没有很好的定论, 目前更多学者倾向于二者并无太大差异^[32], 因此若能解决 OCT 穿透力较低问题, 或能进一步放大 OCT 的成像优点。

5 小结与展望

随着当今需求增加和技术发展, CHD 的诊疗技术也有相应提高, 在 CAG 基础上陆续出现 IVUS、OCT 等成像技术, 二者均能较好地识别和指导干预病变, 从而减少 ACS 的发生。其中, OCT 拥有更高的分辨率, 能较好地辨别 TCFA 和

支架贴壁情况等, 而 IVUS 有较高的组织穿透力, 能较好地识别血管壁和斑块负荷等。

是否能同时兼具良好分辨率和穿透力呢? 调整超声频率, 同时在工程及技术上尝试调整已获得了一定进展, 将原来的 40 MHz 提高到 60 MHz, 使 IVUS 的分辨率明显提高; 将 IVUS 和 FFR 测定做在同一条导管上, 可同时完成 IVUS 的声学学和血管的血流动力学功能检查; 还有将 IVUS 和 OCT 光纤制作在同一条导管上, 这样就大大提高了平面分辨率和穿透力。类似的复合技术层出不穷, 如近红外光谱镜 (near infrared spectroscopy, NIRS) 结合 IVUS、NIRS 结合 OCT、近红外荧光成像 [near infrared fluorescence (NIRF) molecular imaging] 结合 OCT、NIRF 结合 IVUS 等^[33]。还有尝试研制近红外线和 IVUS、OCT 结合在一起的复合检查设备, 大大提高了检出的准确性。但目前这些设备仍在临床研究中, 经济负担也是影响推广和扩大临床常规应用的重要因素。但这些新技术的应用, 必将给临床带来更准确的诊断和指导治疗方法。

利益冲突: 无

参 考 文 献

- [1] Global Health Estimates 2015: Deaths by Cause, Age, Sex, by Country and by Region, 2000-2015. Geneva, World Health Organization; 2016.
- [2] Yonetsu T, Jang IK. Advances in Intravascular Imaging: New Insights into the Vulnerable Plaque from Imaging Studies [J]. Korean Circ J, 2018, 48 (1): 1-15. DOI: 10.4070/kcj.2017.0182.
- [3] Calvert PA, Obaid DR, O'Sullivan M, et al. Association between IVUS findings and adverse outcomes in patients with coronary artery disease: the VIVA (VH-IVUS in Vulnerable Atherosclerosis) Study [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2011, 4 (8): 894-901. DOI: 10.1016/j.jcmg.2011.05.005.
- [4] Maehara A, Matsumura M, Ali ZA, et al. IVUS-Guided Versus OCT-Guided Coronary Stent Implantation: A Critical Appraisal [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2017, 10 (12): 1487-1503. DOI: 10.1016/j.jcmg.2017.09.008.
- [5] Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography [J]. Science, 1991, 254 (5035): 1178-1181.
- [6] Samir A, ElGuindy A. The role of intracoronary imaging in acute coronary syndromes: OCT in focus [J]. Glob Cardiol Sci Pract, 2016 (4): e201636. DOI: 10.21542/gcsp.2016.36.
- [7] Ross R. Atherosclerosis-an inflammatory disease [J]. N Engl J Med, 1999, 340 (2): 115-126. DOI: 10.1056/NEJM199901143400207.
- [8] Inaba S, Mintz GS, Burke AP, et al. Intravascular Ultrasound and Near-Infrared Spectroscopic Characterization of Thin-Cap Fibroatheroma [J]. Am J Cardiol, 2017, 119 (3): 372-378. DOI: 10.1016/j.amjcard.2016.10.031.
- [9] Muller JE, Abela GS, Nesto RW, et al. Triggers, acute risk factors and vulnerable plaques: the lexicon of a new frontier [J]. J Am Coll Cardiol, 1994, 23 (3): 809-813.
- [10] Goncalves I, den Ruijter H, Nahrendorf M, et al. Detecting the vulnerable plaque in patients [J]. J Intern Med, 2015, 278 (5): 520-530. DOI: 10.1111/joim.12414.
- [11] Falk E, Nakano M, Bentzon JF, et al. Update on acute coronary syndromes: the pathologists' view [J]. Eur Heart J, 2013, 34 (10): 719-728. DOI: 10.1093/eurheartj/ehs411.



官方网站

腾讯微信

- [12] Jang IK, Tearney GJ, MacNeill B, et al. In vivo characterization of coronary atherosclerotic plaque by use of optical coherence tomography [J]. *Circulation*, 2005, 111 (12): 1551-1555. DOI:10.1161/01.CIR.0000159354.43778.69.
- [13] 刘声亮,董慧,王晓蕾,等. 光学相干断层成像在评价冠状动脉斑块方面的应用[J]. *中国心血管杂志*, 2016, 21(4): 336-338. DOI:10.3969/j.issn.1007-5410.2016.04.019. Liu SL, Dong H, Wang X, et al. Evaluation of coronary artery plaques by optical coherence tomography [J]. *Chin J Cardiovasc Med*, 2016, 21 (4): 336-338. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5410.2016.04.019.
- [14] Cheruvu PK, Finn AV, Gardner C, et al. Frequency and distribution of thin-cap fibroatheroma and ruptured plaques in human coronary arteries: a pathologic study [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2007, 50 (10): 940-949. DOI: 10.1016/j.jacc.2007.04.086.
- [15] Kume T, Akasaka T, Kawamoto T, et al. Assessment of coronary arterial plaque by optical coherence tomography [J]. *Am J Cardiol*, 2006, 97(8): 1172-1175. DOI:10.1016/j.amjcard.2005.11.035.
- [16] Kubo T, Imanishi T, Takarada S, et al. Assessment of culprit lesion morphology in acute myocardial infarction: ability of optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound and coronary angiography [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2007, 50(10): 933-939. DOI:10.1016/j.jacc.2007.04.082.
- [17] Tian J, Ren X, Vergallo R, et al. Distinct morphological features of ruptured culprit plaque for acute coronary events compared to those with silent rupture and thin-cap fibroatheroma: a combined optical coherence tomography and intravascular ultrasound study [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 63(21): 2209-2216. DOI:10.1016/j.jacc.2014.01.061.
- [18] 丁蕾,汪宇鹏,郭丽君. 腔内影像技术指导支架内血栓预防及机制评价的研究进展[J]. *中国心血管杂志*, 2018, 23(5): 421-424. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5410.2018.05.016. Ding L, Wang YP, Guo LJ. Advances in intravascular imaging techniques to guide stent thrombosis prevention and researching mechanisms [J]. *Chin J Cardiovasc Med*, 2018, 23(5): 421-424. DOI:10.3969/j.issn.1007-5410.2018.05.016.
- [19] Parviz Y, Shlofmitz E, Fall KN, et al. Utility of intracoronary imaging in the cardiac catheterization laboratory: comprehensive evaluation with intravascular ultrasound and optical coherence tomography [J]. *Br Med Bull*, 2018, 125(1): 79-90. DOI: 10.1093/bmb/ldx049.
- [20] Steinvil A, Zhang YJ, Lee SY, et al. Intravascular ultrasound-guided drug-eluting stent implantation: An updated meta-analysis of randomized control trials and observational studies [J]. *Int J Cardiol*, 2016, 216: 133-139. DOI:10.1016/j.ijcard.2016.04.154.
- [21] Bavishi C, Sardar P, Chatterjee S, et al. Intravascular ultrasound-guided vs angiography-guided drug-eluting stent implantation in complex coronary lesions: Meta-analysis of randomized trials [J]. *Am Heart J*, 2017, 185: 26-34. DOI: 10.1016/j.ahj.2016.10.008.
- [22] Elgendy IY, Mahmoud AN, Elgendy AY, et al. Outcomes with intravascular ultrasound-guided stent implantation: a meta-analysis of randomized trials in the era of drug-eluting stents [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2016, 9(4): e003700. DOI:10.1161/circinterventions.116.003700/-/dc1
- [23] 刘华云,鄒华,刘道权,等. 血管内超声在冠心病左主干病变介入诊疗中的指导价值研究[J]. *中国心血管杂志*, 2016, 21(4): 288-291. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5410.2016.04.007. Liu HY, Yan H, Liu DQ, et al. Value of intravascular ultrasound guidance in the assessment of percutaneous intervention treatment for patients with left main coronary artery disease [J]. *Chin J Cardiovasc Med*, 2016, 21(4): 288-291. DOI:10.3969/j.issn.1007-5410.2016.04.007.
- [24] Meneveau N, Souteyrand G, Motreff P, et al. Optical Coherence Tomography to Optimize Results of Percutaneous Coronary Intervention in Patients with Non-ST-Elevation Acute Coronary Syndrome: Results of the Multicenter, Randomized DOCTORS Study (Does Optical Coherence Tomography Optimize Results of Stenting) [J]. *Circulation*, 2016, 134 (13): 906-917. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.116.024393.
- [25] Wijns W, Shite J, Jones MR, et al. Optical coherence tomography imaging during percutaneous coronary intervention impacts physician decision making ILUMIEN I study [J]. *Eur Heart J*, 2015, 36 (47): 3346-3355. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv367.
- [26] Sheth TN, Kajander OA, Lavi S, et al. Optical coherence tomography-guided percutaneous coronary intervention in ST-segmentelevation myocardial infarction: a prospective propensity-matched cohort of the thrombectomy versus percutaneous coronary intervention alone trial [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2016, 9 (4): e003414. DOI:10.1161/circinterventions.115.003414/-/dc1.
- [27] Ali ZA, Machara A, Généreux P, et al. Optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound and with angiography to guide coronary stent implantation (ILUMIEN III: OPTIMIZE PCI): a randomised controlled trial [J]. *Lancet*, 2016, 388 (10060): 2618-2628. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31922-5.
- [28] Lee SY, Kim JS, Yoon HJ, et al. Early Strut Coverage in Patients Receiving Drug-Eluting Stents and its Implications for Dual Antiplatelet Therapy: A Randomized Trial [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2018, 11 (12): 1810-1819. DOI: 10.1016/j.jcmg.2017.12.014.
- [29] Habara M, Nasu K, Terashima M, et al. Impact of frequency-domain optical coherence tomography guidance for optimal coronary stent implantation in comparison with intravascular ultrasound guidance [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2012, 5(2): 193-201. DOI:10.1161/CIRCINTERVENTIONS.111.965111.
- [30] Song L, Mintz GS, Yin D, et al. Characteristics of early versus late in-stent restenosis in second-generation drug-eluting stents: an optical coherence tomography study [J]. *EuroIntervention*, 2017, 13(3): 294-302. DOI:10.4244/EIJ-D-16-00787.
- [31] Kubo T, Shinke T, Okamura T, et al. Optical frequency domain imaging vs. intravascular ultrasound in percutaneous coronary intervention (OPINION trial): one-year angiographic and clinical results [J]. *Eur Heart J*, 2017, 38 (42): 3139-3147. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx351.
- [32] Raber L, Mintz GS, Koskinas KC, et al. 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: Endorsed by the Chinese Society of Cardiology [J]. *Eur Heart J*, 2018, 39(35): 3281-3300. DOI:10.1093/eurheartj/ehy285.
- [33] Bourantas CV, Jaffer FA, Gijzen FJ, et al. Hybrid intravascular imaging: recent advances, technical considerations, and current applications in the study of plaque pathophysiology [J]. *Eur Heart J*, 2017, 38(6): 400-412. DOI:10.1093/eurheartj/ehw097.

(收稿日期:2018-06-01)

(本文编辑:谭潇)