

冠状动脉内影像学临床应用专家共识 (第一部分):对冠状动脉介入治疗的 指导与优化



扫一扫下载指南原文

Lorenz Räber¹, Gary S Mintz², Konstantinos C Koskinas¹, Thomas W Johnson³, Niels R Holm⁴, Yoshinubo Onuma⁵, Maria D Radu⁶, Michael Joner^{7,8}, Bo Yu⁹, Haibo Jia⁹, Nicolas Meneveau^{10,11}, Jose M. de la Torre Hernandez¹², Javier Escaned¹³, Jonathan Hill¹⁴, Francesco Prati¹⁵, Antonio Colombo¹⁶, Carlo di Mario¹⁷, Evelyn Regar¹⁸, Davide Capodanno¹⁹, William Wijns²⁰, Robert A Byrne⁷, Giulio Guagliumi²¹

¹瑞士伯尔尼大学医院心内科; ²美国纽约心血管研究基金会; ³英国布里斯托尔心脏研究所, 布里斯托尔大学医院国民健康基金会信托基金; ⁴丹麦奥胡斯大学医院心内科; ⁵荷兰鹿特丹伊拉斯姆斯大学医疗中心心脏介入科, 胸部中心; ⁶丹麦哥本哈根大学国王医院心脏中心; ⁷德国慕尼黑技术大学德国慕尼黑心脏中心; ⁸德国慕尼黑血管研究中心, 合作网站慕尼黑心脏联盟; ⁹中国哈尔滨医科大学附属第二医院心内科, 教育部心肌缺血重点实验室; ¹⁰法国让·明乔兹大学医院心内科; ¹¹法国勃艮第弗朗什孔德大学; ¹²西班牙瓦尔德里亚马克大学医院心内科; ¹³西班牙圣卡洛斯临床医院和康普顿斯大学; ¹⁴英国国王学院医院心内科; ¹⁵意大利圣乔万尼医院心内科; ¹⁶意大利圣拉斐尔科学研究所介入科, 心胸血管科; ¹⁷意大利卡雷奇大学医院结构介入心脏病学; ¹⁸瑞士苏黎世大学医院心血管外科; ¹⁹意大利卡塔尼亚大学路得里医院心胸血管和移植科, 维托里奥诊所; ²⁰爱尔兰萨尔塔大学医疗集团, 爱尔兰戈尔韦国立大学兰贝转化医学和康复研究; ²¹意大利教皇约翰二十三世医院心内科

通信作者: Giulio Guagliumi, Email: guagliumig@gmail.com

Räber 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. *European Heart Journal*, 2018,39(35):3281-3300.DOI: 10.1093/eurheartj/ehy285. 本文由牛津大学出版社代表欧洲心脏病学会, 批准进行翻译和出版

【摘要】 欧洲心血管介入协会(EAPCI)专家组系统总结了血管内超声(IVUS)和光学相干断层成像(OCT)这两种血管内影像学检查临床应用指征的现有证据, 提供了关于IVUS和OCT指导经皮冠状动脉介入治疗(PCI)的应用价值, 并明确了最可能从腔内影像学指导的介入治疗中获得临床收益的患者或病变类型, 同时详细论述了PCI前如何使用IVUS或OCT优化支架尺寸(支架长度和直径)和手术策略的选择。此外, 专家推荐对支架失败(支架内再狭窄或支架内血栓形成)的患者应常规进行冠状动脉内影像学检查, 并首选OCT。最后, 重点论述了IVUS和OCT在指导PCI和评估支架失败两个方面的优势和局限性, 并对未来需要深入研究的领域进行了展望。

【关键词】 冠状动脉疾病; 超声检查, 介入性; 体层摄影术, 光学相干; 经皮冠状动脉介入治疗

DOI:10.1093/eurheartj/ehy285

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

Lorenz Räber¹, Gary S Mintz², Konstantinos C Koskinas¹, Thomas W Johnson³, Niels R Holm⁴, Yoshinubo Onuma⁵, Maria D Radu⁶, Michael Joner^{7,8}, Bo Yu⁹, Haibo Jia⁹, Nicolas Meneveau^{10,11}, Jose M. de la Torre Hernandez¹², Javier Escaned¹³, Jonathan Hill¹⁴, Francesco Prati¹⁵, Antonio Colombo¹⁶, Carlo di Mario¹⁷, Evelyn Regar¹⁸, Davide Capodanno¹⁹, William Wijns²⁰, Robert A Byrne⁷, Giulio Guagliumi²¹

¹Department of Cardiology, Bern University Hospital, Bern, Switzerland; ²Cardiovascular Research Foundation, New York, NY, USA; ³Bristol Heart Institute, University Hospitals Bristol NHSFT, Bristol, UK; ⁴Department of Cardiology, Aarhus University Hospital, Aarhus, Denmark; ⁵Department of Interventional Cardiology, Cardialysis, Thoraxcenter, Erasmus MC, Rotterdam, The Netherlands; ⁶The Heart Center, Rigshospitalet, Copenhagen University Hospital, Copenhagen, Denmark; ⁷Deutsches Herzzentrum München, Technische Universität München, Munich, Germany; ⁸DZHK (German Center for Cardiovascular Research), partner site Munich Heart Alliance, Munich, Germany; ⁹Department of Cardiology, 2nd Affiliated Hospital of Harbin Medical University, The Key Laboratory of Myocardial Ischemia, Chinese Ministry of Education, Harbin, China; ¹⁰Department of Cardiology, University Hospital Jean Minjoz, Besancon, France; ¹¹EA3920, University of Burgundy Franche-Comté, Besancon, France; ¹²Department of Cardiology, IDIVAL, Hospital Universitario Marques de Valdecilla, Santander, Spain; ¹³Hospital Clinico San Carlos IDISSC and Universidad Complutense, Madrid, Spain; ¹⁴Department of Cardiology, King's College Hospital, London, UK; ¹⁵Department of Cardiology, San Giovanni Hospital, Rome, Italy & CLI Foundation, Rome, Italy; ¹⁶Interventional Cardiology Unit, Cardio-Thoracic-Vascular Department, San Raffaele, Scientific Institute, Milan, Italy; ¹⁷Structural Interventional Cardiology, Careggi University Hospital, Florence, Italy; ¹⁸Department of Cardiovascular Surgery, Zürich University Hospital, Zürich, Switzerland; ¹⁹Division of Cardiology, Cardio-Thoraco-Vascular and Transplant Department, CAST, Rodolico Hospital, AOU "Policlinico-Vittorio Emanuele", University of Catania, Catania, Italy; ²⁰The Lambe Institute for Translational Medicine and Curam, National University of Ireland Galway, Saolta University Healthcare Group, Galway, Ireland; ²¹Cardiovascular Department, Ospedale Papa Giovanni XXIII, Bergamo, Italy

Corresponding author: Giulio Guagliumi, Email: guagliumig@gmail.com

本共识文件是对由欧洲心血管介入协会(European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions, EAPCI)发起组织全球 16 个国家 22 名腔内影像学专家的观点进行总结,共识文件共包括两部分,本文为第一部分。本共识全面阐释了血管内影像技术临床应用指征的现有证据,并基于当前临床实践,为介入医生提供了关于血管内超声(intravenous ultrasound, IVUS)和光学相干断层成像(optical coherence tomography, OCT)的应用价值、各自优势和潜在局限性。

一、专家委员会:遴选标准、组织和共识的撰写

编写共识的专家组成员是根据专家在冠状动脉内影像学方面的权威和影响力,由 EAPCI 的科学文件和倡议委员会从不同国家和地区遴选产生。在 2017 年 8 月的第一次会议中,专家组重点讨论了共识所要涵盖的主要内容、范围和观点以及数据检索的方法,并指派了共识各部分撰写的主要作者。他们查阅了大量的文献[尤其是最近 5 年内发表的文章、现有证据水平、随机临床试验、荟萃分析、注册研究,包括源于荟萃分析的系统研究(图 1)]并草拟了共识文件的纲要。共识稿终版的完成,经过了多次审稿会议和电话会议,以及 2 次由专家组所有成

员参与的校稿工作。总结框内概括了每个章节的要点。文末提供了所有专家组成员、编委会人员及同行评议专家之间的利益关系及其与企业的关系。

二、概述

冠状动脉造影是评估冠状动脉解剖结构并指导经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)的传统成像手段。然而,冠状动脉造影获得的二维管腔影像并不能直接反映血管壁情况,因此,我们无法通过冠状动脉造影来评估血管的实际大小、斑块特点和支架置入效果。借助 IVUS 和 OCT 可获得冠状动脉内影像,为优化支架置入和减少支架相关并发症提供更多有价值的信息^[1-2]。术前对管腔尺寸和病变特点进行评估,有助于选择合适的支架型号,并指导支架置入策略。术后的影像评估使术者能够在支架水平评估支架置入效果,指导优化策略。观察性研究^[3]、随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)^[4]和荟萃分析^[5-6]中,越来越多的证据表明 IVUS 的指导不仅可提高手术即刻效果,还可改善临床预后。尽管如此,冠状动脉内影像学在临床实践中的常规应用仍然有限,并且不同国家和地区的应用情况也存在显著差异^[7]。在过去的几十年,IVUS 和 OCT 在技术性能(更高的图像分辨率)和操作方面(更快的回撤

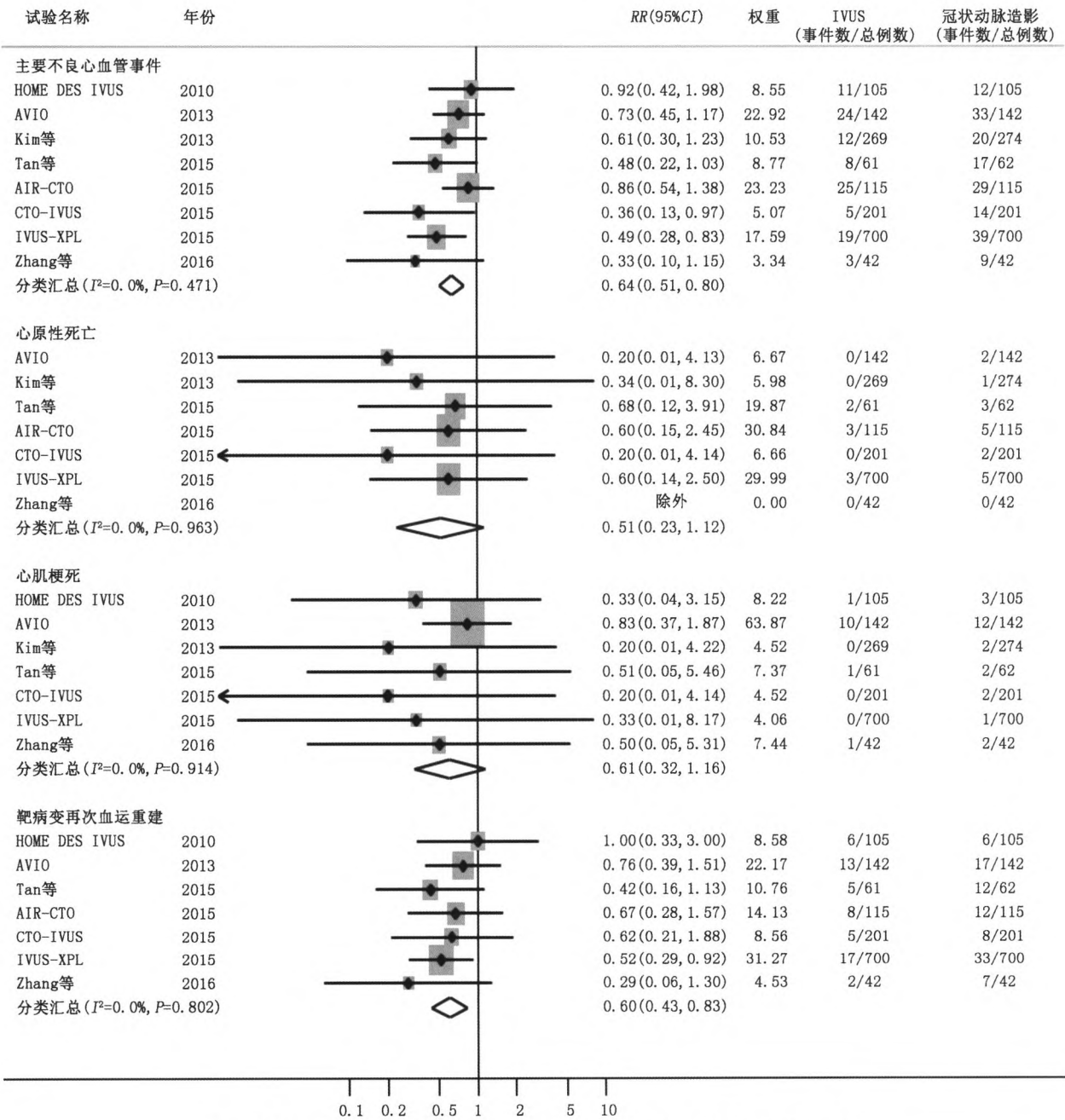


图1 血管内超声和冠状动脉造影指导的经皮冠状动脉介入治疗对心血管预后的影响

速度,自动化的管腔和斑块负荷检测和测量,与血管造影的自动配准)都有了很大提高,使得这两种影像技术成为在常规PCI手术或特殊PCI病例中使用的重要指导工具^[7]。

三、腔内影像能够改善PCI患者的临床预后吗?

(一)IVUS与冠状动脉造影比较

在裸金属支架(bare metal stent, BMS)时代,多项RCT表明,与冠状动脉造影指导相比,IVUS指导下的支架置入在降低再狭窄率和靶病变血运重建(target lesion revascularization, TLR)率方面有明显优势,而二者在病死率和心肌梗死发生率方面没有

明显差异(表1)^[8-11]。

到了药物洗脱支架(drug-eluting stent, DES)时代,迄今为止已有8个RCT比较了IVUS与冠状动脉造影指导下的PCI效果(表1)^[4,12-18]。在这些研究中,IVUS-XPL^[4](病变长度>28 mm)和CTO-IVUS^[12][慢性完全闭塞病变(chronic total occlusion, CTO)]研究表明IVUS的指导明显减少了主要不良心血管事件(major adverse cardiac events, MACE)的发生率。这种获益主要来源于再狭窄所致血运重建率的下降。一项对7个RCT(仅入选接受DES治疗的患者)进行的荟萃分析证实,IVUS指导下DES的置

表 1 比较 IVUS 与冠状动脉造影指导 PCI 效果的 RCT

研究	发表年份 (年)	患者 例数	平均年龄 (岁)	ACS (%)	随访时间 (月)	支架类型	最佳优化标准	未达到标准的 患者数/病变数
Zhang 等	2016	42/42	63/60	不详	12	DES	不详	不详
IVUS-XPL	2015	700/700	64/64	49/49	12	DES	MSA $\geq$ 远端管腔面积	315/678(46.5%)
CTO-IVUS	2015	201/201	61/61	0/0	12	DES	MSA $\geq$ 远端管腔面积; CTO 节段的支架面积 $\geq 5 \text{ mm}^2$; 支架完全贴壁	分别为 49/196(25.0%)、34/196(17.3%)和 9/196(4.6%)
AIR-CTO	2015	115/115	66/67	24/29	24	DES	贴壁良好; MSA $>$ 参考管腔面积的 80%; 对称指数 >0.7	10/115(9.0%)
Tan 等	2015	62/61	76/76	66/70	24	DES	不详	不详
RESET	2013	274/269	64/63	48/47	12	DES	不详	不详
AVIO	2013	142/142	64/64	26/27	24	DES	AVIO 标准(使用 IVUS 选择最佳球囊直径和评估靶病变部位管腔面积)	81/156(51.9%)
HOME DES	2010	105/105	60/59	60/72	18	DES	贴壁良好; 小血管: MSA $>5 \text{ mm}^2$ 或横截面积 $>$ 远端参考管腔面积的 90%	不详
AVID	2009	406/394	63/62	不详	12	BMS	支架内最小横截面积 $\geq$ 远端参考管腔面积的 90%; 支架完全贴壁	223/394(56.5%)
TULIP	2003	76/74	63/61	0/0	6~12	BMS	支架完全贴壁; 支架内 MLD $\geq$ 近远端参考直径平均值的 80%; 支架内 MLA $\geq$ 远端参考管腔面积	8/73(11.0%)
OPTICUS	2001	275/273	61/60	32/36	12	BMS	MUSIC 标准: 支架完全贴壁; 支架内 MLA $\geq$ 平均参考管腔面积, 或 $\geq$ 最小参考管腔面积。支架内近端入口管腔面积 $\geq$ 近端参考管腔面积的 90%; 支架膨胀对称, 即最小管腔直径/最大管腔直径 ≥ 0.7	90/205(43.9%)
SIPS	2000	121/148	61/61	12/18	24	必要时行支架置入术	MUSIC 标准	52/166(31.3%)
RESIST	1998	76/79	56/57	0/0	6	BMS	支架内横截面积/近远端参考管腔面积平均值 $\geq 80\%$	16/79(20.3%)

注: IVUS 为血管内超声, PCI 为经皮冠状动脉介入治疗, RCT 为随机对照试验, ACS 为急性冠状动脉综合征, DES 为药物洗脱支架, BMS 为裸金属支架, MSA 为最小支架面积, CTO 为慢性完全闭塞

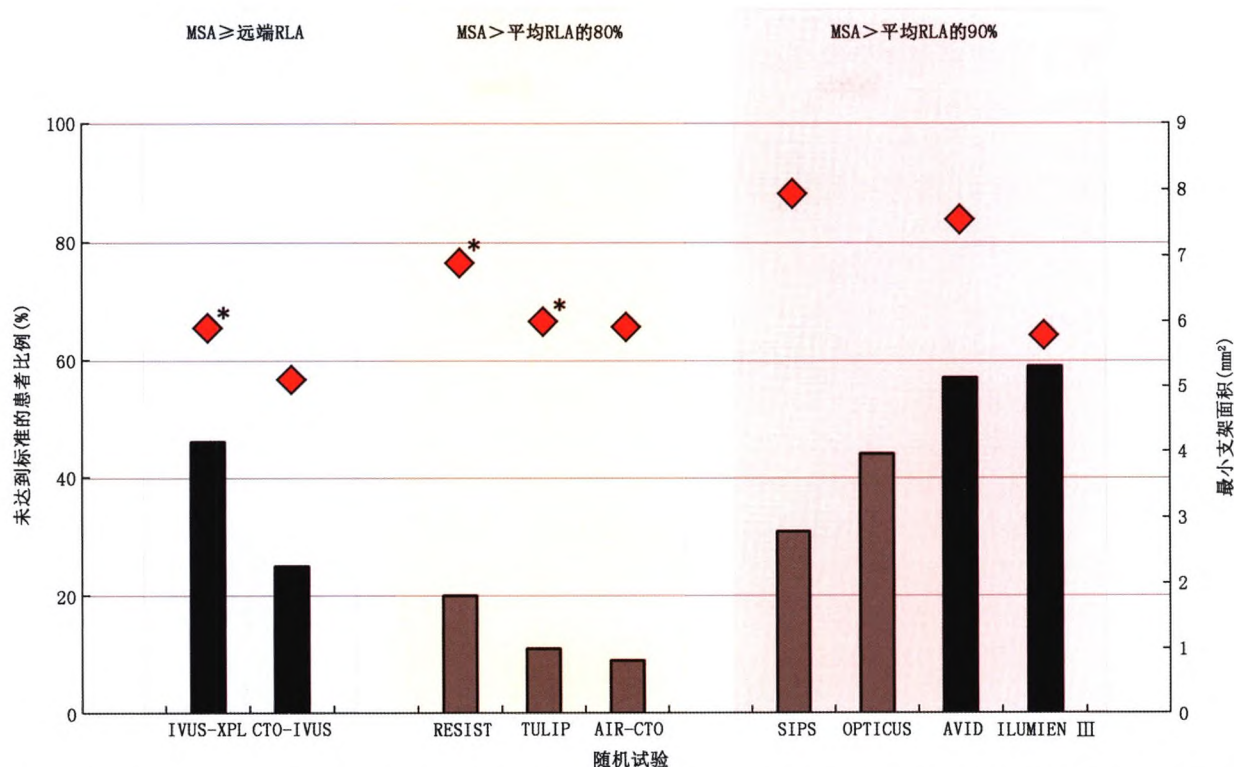
入优于单纯的冠状动脉造影指导,主要体现在减少了 MACE 发生率($OR=0.60$, $95\%CI$ 0.46~0.77)、心血管疾病所致病死率($OR=0.46$, $95\%CI$ 0.21~1.00)以及支架内血栓形成发生率($OR=0.49$, $95\%CI$ 0.24~0.99)^[5]。上述 7 个 RCT 的随访时间为 12~24 个月。另一项荟萃分析纳入了 2 345 例包括接受新一代 DES 治疗患者在内的多个 RCT^[19],也得到了相同的结果。一项针对复杂病变的 RCT 的荟萃分析显示, IVUS 指导组 MACE、TLR 和靶血管血运重建的发生率显著减少^[20]。另一项最新的荟萃分析纳入了 8 个 RCT,共 3 276 例患者,也同样证实了 IVUS 指导下的 PCI 在减少 DES 置入后 MACE 和缺血所致 TLR 方面优于冠状动脉造影(图 1)。

在解释这些临床研究结果时,有以下几点需要注意。首先,大多数单个的 RCT 结果均显示与单纯造影指导比较,常规使用 IVUS 指导的 PCI 有获益的趋势,但差异无统计学意义(尽管 IVUS 指导可获得更大的术后支架膨胀和面积),这可能是受限于这些研究的统计学效能。此外,这些研究入选的病

变相对较简单,而且未预先设定具体的优化方案,也是这些研究的不足之处。实际上,在 IVUS 指导长病变和 CTO 患者的研究^[12]中,以及纳入了所有相关 RCT 的荟萃分析^[5]中, MACE 的发生率都明显减少,但尽管这样,在所有患者中常规应用 IVUS 是否能够带来临床获益仍有待进一步证实。

值得注意的是,入选研究的患者尽管未达到预先设定的支架优化目标,但还是获得了一定的综合收益(图 2)。同样值得注意的是,尽管在影像学指导的 PCI 中未能达到预先设定的支架膨胀目标,但可以推测这些支架优化目标值的设定确实能够促使术者去尝试达到优化目标,这也潜在地增加了最小支架面积(minimum stent area, MSA)。较高比例的术后即刻优化或者替代优化目标是否会使临床结局不断改善,目前尚不清楚。与单纯目测法比较,系统地应用定量冠状动脉分析以辅助冠状动脉造影指导 PCI 的潜在效果也是一个未知影响因素。

IVUS 指导 DES 置入的观察性研究显示可减少缺血事件的发生^[21],但由于缺少随机化,在基线资



条形图为部分IVUS和OCT指导的介入治疗的随机试验中,未达到支架膨胀预设标准的患者比例;其中红色菱形表示达到最小支架面积预设标准的患者比例,星号表示达到管腔面积预设标准的患者比例。试验根据支架膨胀的预设标准分为3组。黑色的条形代表药物洗脱支架,灰色的条形代表裸金属支架。除ILUMIEN III中的最小支架面积取中位数,其他试验中的最小支架面积均取平均值。IVUS:血管内超声,OCT:光学相干断层成像,MSA:最小支架面积,RLA:参考管腔面积

图2 IVUS指导和OCT指导的PCI对支架膨胀的影响

料方面患者的临床特征和病变特征存在显著差异。此外,其他一些没有考虑到的混杂因素也可能不同程度地影响了分组。一项最大的观察性研究(ADAPT DES)入选了8 583例未经筛选的患者,研究显示急性冠状动脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)和复杂病变的患者从IVUS指导中获益最多^[3]。同样,一项纳入20个研究(包含3个RCT)的荟萃分析显示^[22],IVUS指导的PCI在降低ACS和复杂病变(左主干、分叉部位、CTO或长病变)患者的病死率和MACE发生率方面有明显优势。

IVUS指导下的左主干PCI:一项小样本的RCT^[17]为了研究IVUS指导下PCI的临床价值,分析了123例置入第二代DES的老年患者(年龄>70岁)。在2年随访中,IVUS指导的PCI显著降低了MACE风险,这与TLR发生率明显降低有关^[17]。非随机化研究中,大量证据支持在左主干病变中应用IVUS来指导PCI。在最大的一项研究中,研究人员纳入了1 670例使用DES治疗的左主干病变患者进行倾向性匹配分析,发现IVUS指导组3年内MACE(心源性死亡、心肌梗死或TLR)发生率显著降低(11.3%比16.4%, $P=0.04$)^[23]。MACE的减少主要

是来源于全因死亡率的减少,而不是心肌梗死或TLR,然而目前关于生存方面获益的机制尚不清楚。这项研究同时还发现IVUS指导的介入手术中,支架尺寸更大、膨胀更充分、支架后扩张比例更高以及双支架技术应用减少,这些都提示IVUS指导的血运重建与MACE发生率降低独立相关,这种现象在左主干远端病变的亚组患者中更显著($HR=0.54$, 95%CI 0.34~0.90)^[23]。一项观察性的MAIN-COMPARE研究也证实了尽管心肌梗死和TLR发生率没有差别,但IVUS指导下的PCI有更低的病死率^[24]。一项涵盖了10个研究的荟萃分析显示,IVUS指导的左主干病变介入显著降低了全因死亡、心源性死亡和支架内血栓形成的风险^[25]。然而IVUS所带来病死率下降的机制尚不明确,这提示这些研究中的结果可能受残余混杂因素的影响。

(二)OCT与冠状动脉造影比较

目前,OCT指导下介入手术的数据非常有限,同时也缺乏对OCT和血管造影指导下PCI的临床预后进行比较的RCT。一项注册研究发现,经OCT指导下的介入患者,心源性死亡和MACE发生率更低^[26]。另一项观察性研究显示,OCT指导下的急诊

PCI 中,最终的最小管腔直径(minimum lumen diameter, MLD)更大^[27],使用的支架数量更少^[28]。非随机的 ILUMIEN I 研究强调了使用 OCT 进行支架前评估的重要性^[29]。与支架置后行 OCT 检查比较,支架前进行 OCT 检查可以带来更多手术策略的转变(27%比 57%)。

DOCTORS 研究随机入组了 240 例行 PCI 治疗的非 ST 段抬高型 ACS 患者^[30],比较了 OCT 和造影指导对支架术后即刻血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)的改善情况,结果显示与单纯冠状动脉造影指导比较,OCT 指导改善了术后即刻 FFR 这一主要终点,而这一获益主要来源于对支架膨胀的改善。在 OCTACS 研究中,100 例 ACS 患者被随机分为 2 组,分别在 OCT 或冠状动脉造影指导下进行新一代 DES 的置入。OCT 指导组 6 个月后支架梁未覆盖比例较低(4.3%比 9.0%, $P<0.01$)^[31]。类似地,DETECT OCT 研究显示,894 例接受 OCT 指导的 PCI 的稳定性冠心病患者 3 个月的支架覆盖率明显提高(7.5%比 9.9%, $P=0.009$)^[32]。ILUMIEN III 研究^[33]比较了 OCT、IVUS 和血管造影指导下 PCI 在支架膨胀方面的效果。这项研究对于临床预后方面没有足够的统计学效能,它的主要疗效终点是 PCI 术后 MSA,主要目的在于证实 OCT 在主要终点(术后 MSA)上不劣于 IVUS,但优于冠状动脉造影。研究结果显示 OCT 在 MSA 方面并不优于冠状动脉造影,但是可明显改善最小和平均支架膨胀率,并且减少未处理的夹层和持续性严重支架贴壁不良的发生^[33]。在解读这些结果的时候,读者需要考虑以下两个背景:一是该研究入选的病变相对简单,二是 3 组患者均经过有经验的术者充分优化。目前正在进行的 ILUMIEN IV (NCT03507777) 和 OCTOBER (NCT03171311) 这两项 RCT 都在进一步比较 OCT 和冠状动脉造影指导对 PCI 的影响。

(三)IVUS 与 OCT 比较

最近有 2 个 RCT 比较了 OCT 和 IVUS 指导的 PCI 的替代终点^[33]和临床终点^[34]。ILUMIEN III 回答了运用特定的优化方案,OCT 指导的 PCI 是否可与 IVUS 指导的 PCI 相媲美^[33]。研究共入组 450 例患者(病变长度中位数为 15.5 mm,排除左主干和 CTO 病变,ACS 患者占 36%)。与 IVUS 指导组比较,OCT 指导的 PCI 在主要终点,即 MSA 方面二者相似。OCT 指导组的最小和平均支架膨胀率与 IVUS 指导组相似,都优于血管造影指导组。OCT 组未处理的严重夹层(OCT、IVUS、血管造影组分别

为 14%、26% 和 19%; OCT 组与 IVUS 组比较, $P=0.009$; OCT 组与血管造影比较, $P=0.25$) 和严重支架贴壁不良(3 组分别为 11%、21% 和 31%; OCT 组与 IVUS 组比较, $P=0.02$; OCT 组与血管造影组比较, $P<0.000 1$) 发生率均低于 IVUS 和血管造影组。在评价支架膨胀率上,该研究中引入了一个特殊的 OCT 标准:经后扩张后,支架近 1/2 段和远 1/2 段的膨胀率至少达到各自参考节段的 90%^[33]。值得注意的是,OCT 指导的病例中仅 41% 达到了预先设定的膨胀目标,而与未预先设定膨胀标准的 IVUS 组比较,MSA 的差别非常小。

OPINION 研究纳入了 829 例相对简单病变(病变长度 <18 mm)的患者,比较了在靶血管失败的临床终点方面,运用基于管腔方式(根据管腔直径确定支架大小)的 OCT 指导的 PCI 在术后 12 个月内是否不劣于 IVUS 指导的 PCI^[34]。这是第一个对临床终点有统计学效能的 OCT 研究。2 组在主要终点方面差异无统计学意义(5.2%比 4.9%, 非劣效性检验 $P<0.05$)。另外,在 8 个月时采用定量冠状动脉造影分析评估,2 组间支架内 MLD 相似,再狭窄率相同^[34]。

(四)最新循证证据的剖析:腔内影像(IVUS 或 OCT)与冠状动脉造影的比较

ILUMIEN III 和 OPINION 研究一致显示,OCT 指导的 PCI 无论是手术即刻结果还是中期临床预后都不劣于 IVUS 指导的 PCI。尽管我们需要一个单独的 RCT 来证实 OCT 指导的 PCI 在临床终点方面优于血管造影,但以上 2 个研究提示在一些特定的患者中,针对 IVUS 的 RCT 研究中证实的临床获益^[5],很可能也适用于 OCT 指导。同样,一项最新的网络荟萃分析研究了包括 17 882 例经血管造影、IVUS 或 OCT 指导下的 BMS 或 DES 置入患者在内的 17 个 RCT 和 14 个观察性研究,证实与血管造影指导比较,IVUS 或 OCT 指导明显降低了 MACE 和心源性死亡发生率,而 IVUS 和 OCT 指导没有明显差异^[6]。

IVUS 和 OCT 在指导和优化大多数 PCI 流程方面是等效的(且均优于血管造影),这是专家组的共识。IVUS 和 OCT 都可以对最佳支架置入标准进行评价(支架膨胀、支架贴壁情况和支架术后并发症),以及仅靠冠状动脉造影无法识别的支架失败原因。然而,每种影像手段的优势和局限性都应考虑(表 2)^[2]。

由于组织穿透性较差(尤其是在富脂质组织

中),OCT在评估弥漫性病变的斑块负荷和血管尺寸[以外弹力膜(external elastic membrane,EEM)为界]方面有一定局限性,这些病变更适合应用IVUS来指导支架尺寸的选择。在指导左主干开口病变(OCT对左主干开口病变的评价比较困难,因为多数情况下开口处很难完全冲洗干净)、CTO病变和肾功能不全患者(减少对比剂用量或零对比剂PCI)的PCI时,IVUS应作为首选^[35-36]。而由于OCT的分辨率较高,能更准确地识别一些有临床意义的管腔表面和支架相关的病变特征,如对疑似ACS患者进行血栓和罪犯病变的识别;识别残留的支架边缘夹层、导丝位置是否正确和支架置入后即刻的贴壁不良。OCT对识别上述病变患者的准确性是否可转化为改善患者临床结局尚不清楚。更快的回撤速度、准确的实时在线自动分析功能等优势,使OCT的使用更加简便,而且,OCT解读支架相关的影像(支架贴壁、边缘夹层、膨胀不良、内膜覆盖等)更容易。

对现有研究结果的解读,应结合最优化临床实践标准。首先,更新一代DES的出现和支架置入技术的改进提高了PCI总体的安全性和疗效。在SYNTAX II研究中,所有患者前瞻性入组,治疗上采用多种优化手段联合的方案:基于功能学评估决定是否行血运重建、支架置入应用IVUS指导、支架类型采用细杆支架,同时应用最新的CTO开通技术。初步分析显示,与历史对照相比,临床结局明显改善^[37]。尽管IVUS指导的PCI作用尚不确定,但它可能对高危人群获得更好的临床预后有一定的贡献,这可能与结合了生理学评估而获得更好的疗效有关。其次,尽管RCT在形成证据等级的推荐方面有重要价值,但也应考虑到进行大型的、有足够统计学效能的RCT用以比较影像学指导和传统

PCI的现实局限性。在现有的大型RCT^[12]和对所有单病例RCT的汇总分析^[5]中,IVUS都有明显的临床获益。第三,冠状动脉内影像学的获益很大程度上取决于术者对影像结果的判读以及如何利用这些信息。仅靠图像获取并不会影响患者的临床预后,要想使患者从影像中获益,需要一定的技巧、准确的影像学判读和对结果的准确判断。因此,在术中进行定量测量,从而建立一套可以用来指导支架置入和优化置入效果的操作流程和标准非常重要。支架膨胀未达到目标值(由各个研究的方案确定)在很多研究中并不少见,这也提示支架前影像学检查对于指导充分的病变准备至关重要。

四、哪些患者和病变的介入治疗应该考虑应用腔内影像学指导?

指导手术策略、优化支架效果是冠状动脉内影像的主要临床应用指征。这与目前的指南^[38]吻合,也与心脏介入专家们的观点^[7]一致(总结框1)。

五、如何进行腔内影像的成像? 在应用OCT和

总结框1:IVUS或OCT指导下PCI的临床适应证和预期结果

- 1.IVUS指导的PCI能够改善长病变和CTO患者的临床预后。有限的RCT数据表明IVUS和OCT指导的PCI在获得上述效益方面是等效的。
- 2.左主干病变的介入治疗推荐使用IVUS或OCT(非左主干开口病变时)进行指导,主要是由于造影对评估此类病变存在局限性和手术的复杂性,以及非优化的支架置入结果对临床预后的不良影响。
- 3.目前的证据明确显示,血管内影像学指导下支架置入对ACS和复杂病变的患者获益更加明显,而对于稳定的或病变简单的患者获益较少。
- 4.使用OCT指导PCI更加便捷,因为OCT的结果判读更加简便,自动分析也可以实时在线完成。
- 5.OCT应用的其他适应证包括识别支架失败的机制(支架内血栓形成和再狭窄)以及指导生物可吸收支架的置入(表3)。
- 6.如果患者发生对比剂相关的急性肾损伤风险较高,则优选IVUS指导,因为IVUS的使用可减少对比剂的使用^[37]。

表2 IVUS和OCT在指导和优化PCI方面的优缺点

腔内影像检查	优点	缺点
IVUS	大量的临床经验→IVUS的临床应用已近30年 在大多数患者中,术前成像无需预扩张 可识别血管外膜,有助于术者根据血管中膜或真实的血管大小选择支架尺寸 已有大量关于IVUS指导的手术结果和临床预后影响方面的研究 已有明确的预测再狭窄的IVUS指标 为CTO开通技术(如导丝重回真腔)提供更好的指导	图像判读相对较难,学习曲线长 识别组织特征的能力有限 对血栓的识别有一定难度 无法评估支架梁的组织覆盖(分辨率低) 评估支架贴壁不良的能力有限 长轴分辨率低
OCT	分辨率是IVUS的10倍→OCT能够识别IVUS无法识别到的细节(边缘夹层,支架梁内膜覆盖,支架贴壁不良) 更好的组织特征识别能力(钙化) 更适用于识别血栓 图像更清晰,更易于判读 已有明确的预测支架内再狭窄和血栓形成的OCT指标 快速可靠的自动化分析功能给术者带来使用上的便捷性(即精确的管腔测量)	需要使用额外的对比剂 为获得清晰影像,需要冲洗并清除冠状动脉中的血液 为使血液能够被冲洗彻底,部分严重狭窄的病例在成像前需要进行预扩张 轴向穿透能力有限 与IVUS比较,比较OCT和血管造影指导PCI的替代终点的研究证据有限,且缺乏对于临床预后有足够统计学效能的随机对照试验

注:IVUS为血管内超声,OCT为光学相干断层成像,PCI为经皮冠状动脉介入治疗

表 3 腔内影像学在 PCI 术前病变评估、指导和优化 PCI 方面的应用推荐

术前冠状动脉病变的评价
基于共识意见
造影上显示模糊或可疑的病变(如,夹层、血栓、钙化结节)
左主干病变狭窄程度的评价
复杂分叉病变
明确 ACS 罪犯病变
指导和优化 PCI 效果
基于 RCT 证据
长病变
慢性闭塞病变
基于共识意见
ACS 患者
左主干病变
需双支架处理的分叉病变
可吸收支架的置入
肾功能不全患者(IVUS)
支架失败机制的识别
支架内再狭窄
支架内血栓形成

IVUS 时,应使用哪些标准来指导和优化支架置入?

(一)图像的获取

血管内影像学指导 PCI 应尽可能在支架置入前开始。在支架置入前,血管内影像能评估斑块成分和分布(钙化,富脂质斑块),并确定使用更激进的(采用粥样硬化斑块旋切术、切割或棘突球囊使钙化变为细小的碎片)还是较保守的(直接置入支架以避免脂肪栓塞)病变准备,以及帮助选择支架尺寸(直径和长度)^[3,29-30]。推荐使用自动回撤装置获取图像,并在图像采集过程中保持图像质量。有时,IVUS 需要手动回撤以验证在自动回撤过程中识别到的关键和特殊的发现。管腔开放型成像导管需要冲洗以排除空气,从而保证最佳图像质量。影像学检查应该在病变远端至少 20 mm 处开始,直到左主干或右冠状动脉开口处以保证获得尽可能长的血管节段。因此,选择测量模式(75 mm)是 PCI 术前进行 OCT 检查的首选。如果成像导管在支架置入前无法通过病变部位,或者血流冲洗不彻底(使用 OCT 的病例中),可选用球囊预扩张来保证图像采集。建立血管内影像结果和血管造影图像的对对应关系对之后血管造影指导的操作(如支架定位)十分重要。将血管造影和 IVUS 或 OCT 图像配准,是实现这一目标的理想技术。IVUS 和 OCT 可以在近端、远端、非病变、和参考部位评估参考管腔和参考血管尺寸(以 EEM 为界);IVUS 也可以在最

小管腔直径部位评估血管尺寸(以 EEM 为界)。EEM 这一术语在本文中指中膜和外膜的分界面。

(二)斑块的成分的评价

1. 钙化斑块:冠状动脉造影对钙化斑块的识别敏感度低,但有较高的阳性预测值^[39]。IVUS,尤其是 OCT 对冠状动脉钙化的识别、定位和定量测量有重要意义。OCT 显示钙化斑块没有伪影^[40],在一定程度上可以穿透钙化,因此使用 OCT 评估钙化斑块厚度的准确性要优于 IVUS^[41-42]。严重的靶病变钙化会通过影响冠状动脉狭窄的有效扩张从而对 PCI 过程产生不利影响,并且与支架膨胀不良发生率较高有关。在 IVUS 测量的钙化最大周向范围>180°的病变中,较大的钙化负荷与较小的支架内面积和较大的支架偏心率相关^[43]。在一个小规模观察性研究中,OCT 所识别的病变准备后的钙化破裂与更高的支架膨胀率相关^[44]。类似的,一项基于 OCT 的研究发现,如果病变钙化池的最大角度>180°、最大厚度>0.5 mm 并且长度>5 mm,那么它有较高的支架膨胀不良的风险^[45],但是没有证据表明病变钙化对 PCI 的临床预后有影响。

2. 富含脂质斑块:灰阶 IVUS 识别的回声衰减斑块^[46-49]以及 VH-IVUS^[50]、OCT^[51]和近红外光谱成像识别的富脂质斑块的支架置入与术后心肌梗死、远端栓塞和无复流现象的高发有关。但是这些观察结果的临床意义尚不明确。随机的 CANARY 研究发现,在使用近红外光谱成像识别出的富脂质病变上使用远端保护过滤装置并不能减少围术期心肌梗死的发病率(这可能是由过滤装置的置入引起的问题所致)^[52]。

总结框 2:应用 OCT 和 IVUS 对钙化成分和脂质斑块的术前评估

1. 与 IVUS 比较,OCT 可以测量钙化的厚度。
2. 总钙化角度>180°且钙化厚度>0.5 mm 的钙化斑块与较高的支架膨胀不良风险相关。
3. 病变预处理后钙化出现断裂可保证较好的支架膨胀。
4. 在较大钙化(>180°)和初次病变准备后钙化未发生断裂时,应进行更充分的病变预处理。
5. 尽管在富脂质斑块部位进行支架置入会增加围术期心肌梗死和无复流现象的风险,但 PCI 术前 OCT 和 IVUS 识别的脂质池或坏死核心会导致何种手术并发症,目前仍不清楚。

(三)支架最佳尺寸的选择

1. 支架直径:大量 IVUS 研究证实,支架膨胀不良是 DES 置入后早期支架内血栓和再狭窄的强预测因子^[53-56],这提示选择合适支架直径和达标的膨胀率尤为重要。为了选择合适的支架直径,学者们

提出了许多可行的方法(图3)。较保守的方法主张支架直径的选择应基于最小参考管腔直径。通过计算平均参考管腔直径、最大参考管腔直径或最小参考EEM面积,术者选择的支架直径越来越大。甚至在使用IVUS指导PCI的病例中,术者可以采用更加积极的方法(不适用于OCT),即基于最小管腔直径部位的中膜-中膜距离选择支架尺寸(图3)。从临床实践角度看,使用远端参考血管(EEM或者管腔直径)进行支架直径的选择既安全又简单,但需要对近段和中段支架进行后扩张。在应用基于管腔的方法时,OPINION研究建议将平均管腔直径加0~0.25 mm作为支架直径。在应用基于EEM的方法时,推荐将平均EEM直径(来自两个正交测量;或在可清晰识别的EEM<180°时只选用1个测量)减0.25 mm作为支架直径。可行性方面,在

ILUMIEN III 研究中,77%的患者远端EEM可清晰识别的范围>180°。这一策略在一些直径变化较大的长病变(例如,左前降支中段至左主干病变)中是例外。

在某些特殊病变(如长病变、CTO远端血管或包含心肌桥部位)中,排除血管负性重构对准确评估血管直径和确保所选支架直径合适,同时又不增加引起血管破裂的风险非常重要。

支架直径的选择标准需要考虑到IVUS和OCT在测量管腔上存在一些差异:与IVUS比较,使用OCT测量的最小管腔面积更小(约10%),这可能会影响术者对病变严重程度的评估^[57-58]。类似地,与IVUS比较,使用OCT测量的参考部位管腔直径也更小^[59](除一项研究外^[57]),这可能会影响术者对支架直径的选择^[58-59]。

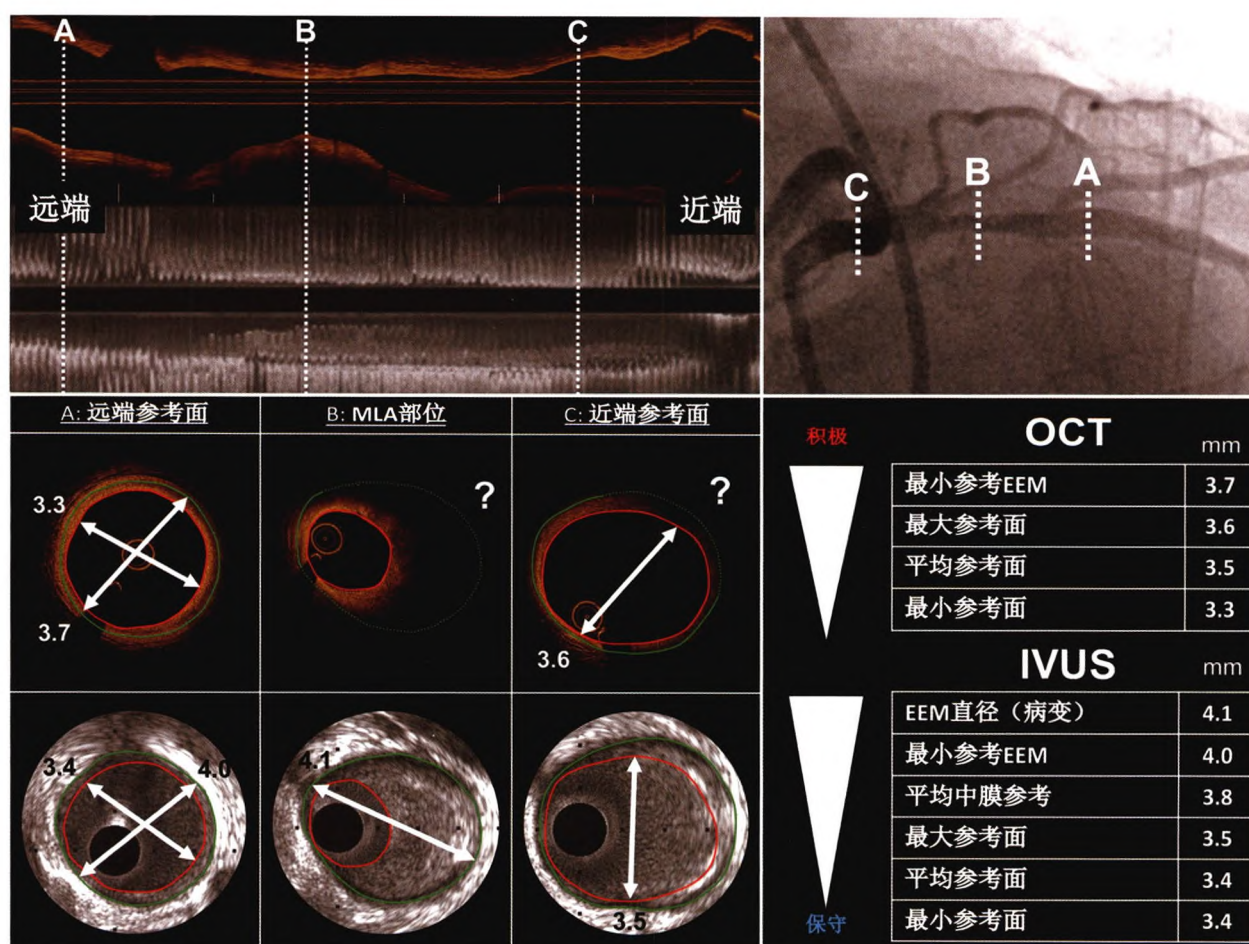


图3 基于IVUS和OCT的支架直径选择方法(图示为典型左前降支近段狭窄病例的冠状动脉造影图像、IVUS和OCT的长轴图像以及远端参考节段、最小管腔面积部位和近端参考节段的IVUS和OCT横截面图像。右下方为不同的支架直径选择方法的测量结果。测量最小管腔面积部位外弹力膜距离或中膜距离方法可以用于IVUS指导的支架置入;然而,由于对脂肪组织的穿透能力有限,OCT往往无法观察到最小管腔面积部位的血管外膜。基于远端和/或近端参考节段的外弹力膜方法可以用于IVUS指导的支架置入;该方法能否在OCT指导的支架置入过程中应用,取决于参考节段的外弹力膜能否在OCT图像上被识别。基于管腔直径进行支架直径选择的方法对于IVUS和OCT均适用。IVUS为血管内超声,OCT为光学相干断层成像,EEM为外弹力膜)

与血管造影指导比较,IVUS 的指导会使选择的支架直径更大,造影中的 MLD 和 MSA 更大,以及置入的支架更长和更多^[5,21,60]。为了比较 IVUS 和 OCT 指导的 PCI,现有的最大型研究入选了日本的 809 例患者(OPINION 研究)^[34],采用基于管腔直径的方式选择支架直径,结果显示两组的平均支架直径差异虽小,但差异仍有统计学意义[OCT 为 (2.92 ± 0.39) mm, IVUS 为 (2.99 ± 0.39) mm, $P=0.005$]。然而,这没有导致血管造影测量的支架置入后即刻或者术后 8 个月的支架内 MLD 产生差异。在 OPINION 的影像学亚组研究中,纳入了 103 例患者,研究发现基于管腔的 OCT 策略与最小和平均支架面积的非显著减小有关^[61]。在 ILUMIEN III 研究中,采用了基于远端参考 EEM 的方式选择支架直径,结果显示使用 OCT、IVUS 和血管造影指导组选择的支架直径没有差异^[33]。

2. 支架长度:支架未完全覆盖病变被认为是支架失败(支架内血栓形成或再狭窄)^[1,62-63]和 MACE^[64]的预测因子之一,这印证了选择合适的支架长度的重要性。避免在有残余斑块负荷(如 >50%^[63])和富脂质斑块区域置入支架十分重要,因为这与新一代 DES 置入后的支架边缘再狭窄有关^[65-67]。此外,支架未完全覆盖脂质池与术后心肌梗死风险增加有关^[68]。

冠状动脉内影像和血管造影配准有助于支架长度的选择以及精确置入。这项技术可以用于临床实践^[69],并且能够简化影像学指导的支架置入过程。

总结框 3: 冠状动脉内影像指导下的支架直径选择

1. 影像学指导的 PCI 获益与使用 IVUS 还是 OCT 选择支架直径没有直接关系。
2. 从实践角度看,基于远端参考血管管腔进行支架直径选择安全、简便,同时可对中段和近端支架节段进行优化处理。具体来说,平均远端管腔直径加 0~0.25 mm 为支架直径(例如,3.76→4.00 mm),或者平均 EEM(两个正交测量)减 0.25 mm 为支架直径(例如,3.76→3.50 mm)。
3. 应用 OCT,基于参考血管 EEM 进行支架尺寸的选择策略是可行的。尽管在常规临床实践中,这种方式比基于管腔的方式更有难度。
4. 选择合适的支架置入部位至关重要,因为残余斑块负荷(<50%)和支架边缘富含脂质组织与术后再狭窄有关。
5. 冠状动脉造影与 IVUS 或 OCT 配准有助于支架长度的选择以及支架的精确定位。

六、支架置入后的优化

支架置入后,IVUS 或 OCT 可以识别与支架和血管相关的异常情况,如支架膨胀不良、病变覆盖不全、支架贴壁不良以及支架边缘夹层,这些异常

情况都与 PCI 的不良结局有关^[1]。图 4 和 5 列出了支架优化置入应该达到的目标。

尽管 OCT 和 IVUS 都可用来识别支架贴壁不良和支架边缘夹层,但 OCT 优于 IVUS^[33],此外,与 IVUS 比较,OCT 在检测血栓方面有独特的价值,这些血栓往往预示着存在机械性或抗凝方面的问题。

(一) 支架膨胀

支架膨胀不良是支架失败的主要预测因素^[70-71]。支架膨胀通常是指最小支架横截面积的绝对数值(绝对膨胀),或是与参考面积的比值(相对膨胀),参考面积可以是近端、远端、最大或者平均参考面积。原则上,更大的绝对膨胀与更好的支架长期通畅性、更好的临床结果以及更低的支架失败风险相关^[55,71-73];同时,与相对膨胀比较,绝对膨胀似乎是支架未来通畅性的更好预测因素。IVUS 的研究结果一致认为在非左主干病变中,5.5 mm²的支架横截面积能最好地预测未来心血管事件的发生^[71,73]。同样,在 DOCTORS 研究中,预测术后 FFR>0.90 的最佳临界值是 OCT 测量的支架横截面积>5.44 mm²^[30];CLI-OPCI 研究将 4.5 mm²定义为预测 MACE 患者的最小管腔面积临界值^[74]。在左主干病变中,临界值会更高一些(例如,IVUS 测量的左主干远端支架横截面积>7 mm²,左主干近端支架横截面积>8 mm²)。同时,也要考虑其他要点:第一,这个临界值可能无法用于小血管,也可能导致在大血管中支架直径偏小;第二,较大 MSA 患者的心血管事件发生率逐步下降;第三,有证据显示,用来预测未来心血管事件的绝对支架膨胀临界值在 BMS 和 DES 中不同^[55];最后,在左主干病变中应使用不同的标准(更大的临界值)。

至于相对支架膨胀,在临床实践中对支架置入优化的推荐指标始终没有统一的标准。表 1 和 4 分别总结了在现有的 OCT 和 IVUS 研究中使用的支架膨胀标准。不同的支架优化目标包括 MSA 大于远端参考管腔面积,MSA 大于平均(近端和远端)参考面积的 80% 或 90%。在一项最新的 IVUS 研究中,MSA 大于远端参考管腔面积与极低的心血管事件发生率(1 年内 1.5%)有关^[1]。考虑到使 MSA 达到平均参考管腔的 90% 几乎无法实现(图 2),专家组认为 MSA>80% 平均参考管腔面积在临床实践中是比较合理的,应作为支架优化的推荐方案。在 DOCTORS 研究中,预测 FFR>0.90 的支架膨胀率最佳临界值为>79.4%^[30]。

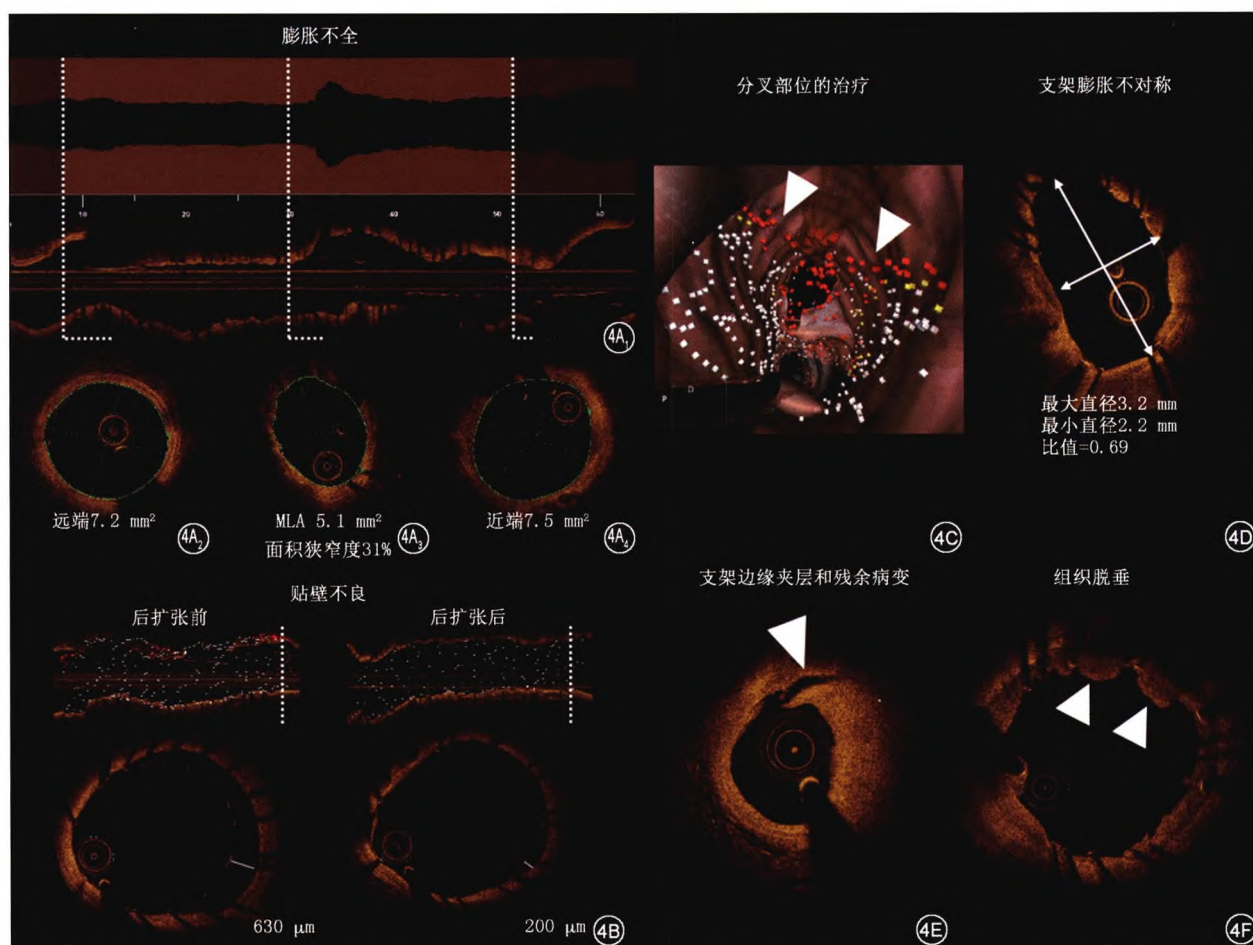


图4 腔内影像学指导PCI的目标 [4A:避免支架膨胀不良是最关键的目标。使用OCT软件自动测算的管腔直径可以检测出MLA部位。4A₁:图中为评估支架膨胀过程中术者选择的不同横截面,包括远端参考节段(4A₂)、最小管腔直径部位(4A₃)和近端参考节段(4A₄)。此病例中,残余管腔面积狭窄率为31%,需要进行后扩张。4B:OCT软件可以自动识别支架梁,因此,也可以根据术者指定的支架梁至管壁的标准距离,来识别术后即刻支架贴壁不良(4C所示长轴图中,白点表示贴壁良好,红点表示贴壁不良)。在此左前降支-第一对角支分叉病变的病例中,术者未注意造影表现,在第一对角支(图上方为开口)错误地进行了后扩张,这表明识别贴壁不良的支架梁在分叉部位的治疗过程中有特殊意义。尽管冠状动脉造影显示术后支架置入效果良好,三维重建图中可见明显的左前降支支架贴壁不良(红点和白色箭头所指)。4D:可用最小管腔直径/最大管腔直径比值评估支架膨胀是否对称。支架边缘夹层(4E,在残余斑块负荷节段)和不规则组织脱垂(4F)都与心血管预后不良相关。PCI为经皮冠状动脉介入治疗,MLA为最小管腔面积]

(二) 支架贴壁不良

与支架膨胀不良(即MSA小于平均参考管腔面积)不同,支架贴壁不良指的是支架梁与血管壁没有接触。支架贴壁不良和支架膨胀不良可同时存在,也可各自独立发生。支架贴壁不良可能发生在术后即刻,也可能在术后随访期间出现;后者很可能是血管壁的炎症反应和正性(外向性)重构所致。随访中发现的支架贴壁不良,可能是持续性贴壁不良(即支架置入即刻就存在),也可能是晚期获得性的;如果缺乏支架置入后即刻影像,则无法区别这两种类型的支架贴壁不良。

虽然支架贴壁不良是早期支架内血栓形成和再狭窄的一个主要IVUS预测因素,但是研究人员并未发现即刻支架贴壁不良(不伴有支架膨胀不

良)与支架失败之间存在明确的联系,这是因为即刻支架贴壁不良可能会逐渐消失。与IVUS相比,OCT可以更准确地检测支架贴壁不良,从而使OCT检测出的支架贴壁不良比例(达到50%)^[33]高于IVUS(约15%)^[58]。前瞻性研究显示,常规影像学检查中的支架贴壁不良与随后的心血管事件无明显相关。在支架置入后即刻影像的相关研究中,即刻支架贴壁不良并不是支架内血栓形成的独立预测因子^[75-76]。尽管如此,保证最佳支架贴壁效果在高危人群中对支架贴壁不良相关血栓风险可能会有保护作用。然而,在分析支架内血栓形成机制的研究中发现支架贴壁不良并不少见,并且与无血栓的支架节段比较,出现血栓的支架节段贴壁不良发生率更高、程度更严重。最近的3个注册研究

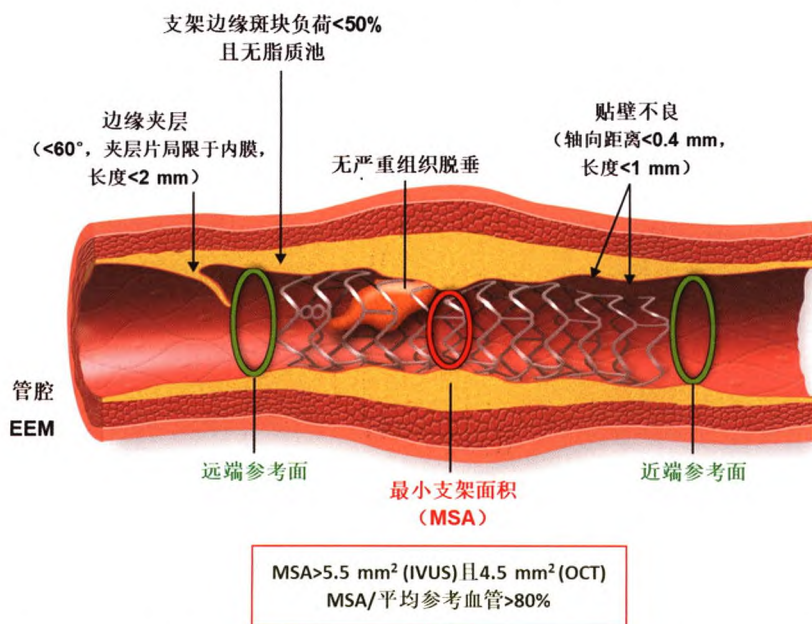


图5 PCI术后优化目标 [对于非左主干病变,PCI术后最重要的优化目标包括:最佳的支架膨胀(绝对支架膨胀指数或相对于参考管腔直径),避免将支架落脚点定位在斑块负荷>50%或富含脂质的斑块处,避免较大的贴壁不良、不规则组织脱垂和夹层。图示中所给出的各个优化指标的临界值代表本专家组的共识意见。其中部分临界值来源于前瞻性研究结果(如支架膨胀指数和支架落脚点的选择),而有些数值尚缺乏确凿证据(如贴壁不良)。PCI为经皮冠状动脉介入治疗,EEM为外弹力膜,MSA为最小支架面积,IVUS为血管内超声,OCT为光学相干断层成像]

中,研究者对明确诊断为支架(BMS或DES)内血栓的患者进行了OCT检查^[77-79]。在其中的2个研究(PRESTIGE研究^[77]和PESTO研究^[78])中,支架贴壁不良(不区分持续性或晚期获得性)检出率较高;在急性支架内血栓形成的患者中(支架置入后24 h内),支架贴壁不良的发生率分别为27%和60%;在

亚急性支架内血栓形成的患者中(支架置入后1~30 d),支架贴壁不良的发生率分别为6%和44%;在晚期支架内血栓形成的患者中(PCI术后30 d~1年),支架贴壁不良的发生率分别为10%和44%。一些小型的OCT注册研究也得到了一致的结果^[80-82]。此外,对极晚期支架内血栓形成(支架置入1年后)患者的研究表明,支架贴壁不良是极晚期支架内血栓形成的3个主要机制之一^[77-79]。与这些结果一致的是,体外研究也显示支架贴壁不良与血栓形成增加有关^[83]。

尽管目前不同类型支架贴壁不良与临床事件的相关性和可能的预后尚不明确,但大样本的支架内血栓相关研究结果与体外研究结果一致,都表明应避免支架置入后的严重支架贴壁不良,并且在血管解剖上可行的情况下应尽量予以纠正。贴壁不良的评价不能像大多数研究

那样仅描述其存在与否,而是应该用二维(甚至三维)的方式量化,因为这与指导术者的术后优化策略(是否行进一步处理和纠正贴壁不良)的制定息息相关。尽管目前缺乏有力证据,但是仍有一些证据可以指导是否行后扩张的贴壁不良阈值。其中一个需要考虑的因素是支架贴壁不良的轴向距离与新生内

表4 比较OCT与冠状动脉造影/IVUS指导PCI效果的RCT

研究	发表年份(年)	患者例数	平均年龄(岁)	ACS(%)	随访时间(月)	支架类型	最佳优化标准	未达到标准的患者数/病变数
ILUMIEN III	2016	146/146/158 ^a	67/66/66 ^a	34/36/36 ^a	1	DES	近端和远端MSA分别超过邻近参考节段的90%	82/140(58.6%)
OPINION	2017	405/412 ^b	68/69 ^b	13/12 ^b	12	DES	支架内MLA≥平均参考管腔面积的90%; 支架完全贴壁; 支架对称性膨胀,即最小管腔直径/最大管腔直径≥0.7; 无斑块突出、血栓或边缘夹层等导致血流动力学异常	不详
DOCTORS	2016	120/120 ^c	60/61 ^c	100/100 ^c	6	DES或BMS	支架内MLA≥平均参考管腔面积的80%; 为使支架完全覆盖病变,可使用额外的支架; 出现血栓时,可静脉应用血小板膜糖蛋白Ⅱb/Ⅲa受体拮抗剂和血栓抽吸	不详
OCTACS	2015	50/50 ^d	62/63 ^d	100/100 ^d	6	DES	MSA≥近端/远端参考管腔面积的90%; 无明显贴壁不良,即每个横截面不超过3个支架梁距离血管壁>140 μm; 无明显支架边缘夹层(导致MLA<4 mm²); 无明显残余狭窄(导致MLA<4 mm²)。	不详

注:^a分别为血管造影/IVUS/OCT组;^b分别为IVUS/OCT组;^c分别为血管造影/OCT组;^d分别为OCT/血管造影组;OCT为光学相干断层成像,IVUS为血管内超声,PCI为经皮冠状动脉介入治疗,RCT为随机对照试验,ACS为急性冠状动脉综合征,DES为药物洗脱支架,BMS为裸金属支架,MSA为最小支架面积,MLA为最小管腔面积

膜融合的关系;在测量支架贴壁不良的轴向距离时,不同支架的支架梁厚度差异也应考虑进去。一系列的 OCT 研究发现,贴壁不良轴向距离 <0.35 mm 的支架梁在随访过程中会完全与新生内膜融合^[84-86]。同样,研究人员详细分析了发生极晚期支架内血栓形成的患者,发现有血栓节段的最小支架贴壁不良轴向距离为 $0.3 \sim 0.6$ mm,纵向长度在 $1.0 \sim 2.1$ mm 之间^[79]。在分叉病变的 PCI 中,严重的即刻支架贴壁不良发生风险增加,在这种情况下三维 OCT 可能可以发挥作用(图 4C)。由于在复杂分叉部位的支架置入过程中需要重置导丝,导丝位置不理想可能会导致支架贴壁不良。

(三)组织脱垂

组织脱垂(通常定义为支架小梁间的组织突入管腔)包括斑块脱垂和 ACS 中的血栓脱垂。与 IVUS 比较,OCT 能够更清晰且容易地识别组织脱垂^[33]。支架置入后组织脱垂是早期支架内血栓形成的 OCT 预测因子,并且与 PCI 术后不良短期预后相关^[53, 87-89]。使用 OCT 测量出的脱垂组织体积,与不稳定的斑块形态学特征和 PCI 术后心肌损伤有关^[90]。一个多中心的 OCT 注册研究入选了 780 例患者,其中 50% 为 ACS,研究发现在心肌梗死患者中不规则脱垂更为常见,而且是术后 1 年不良临床预后(主要是 TLR)的独立预测因子^[91]。CLI-OPCI 和 HORIZONS-AMI 研究的亚组研究发现,与临床表现较稳定的患者(非 ACS)相比,ACS 患者的组织脱垂更易导致临床事件^[53]。

(四)夹层

在 IVUS 图像上夹层深度累及中膜、角度 $>60^\circ$ 且长度 >2 mm 的夹层,通常被定义为显著的支架边缘夹层,目前认为这些夹层与早期支架内血栓形成有关^[53, 87]。OCT 的分辨率较高,能够识别 IVUS 无法识别的较小支架边缘夹层。因此,在 ILUMIEN III 研究比较 OCT 和 IVUS 的部分中,OCT 报道的支架边缘夹层发生率至少是 IVUS 的 3 倍^[33]。在 CLI-OPCI II 研究中,OCT 测量的远端支架边缘夹层片厚度 >200 μm 是 MACE 的独立预测因子($HR=2.5$)^[74]。与之相反,在一项观察性研究中,在 780 例经过术后 OCT 检查的患者中,发现支架边缘夹层(存在于 28.7% 的病变中)或支架内夹层与术后 1 年的不良临床预后无明显的相关性。与 IVUS 研究结论相同,支架边缘夹层被认为是一个早期支架内血栓形成的 OCT 预测因子。然而,某些轻微的异常(即微小边缘夹层)可能缺乏临床意义,无需处

理^[92-93]。IVUS 或 OCT 检测到的壁内和壁外血肿可能与夹层有关,因为其经常表现为血管造影可见的边缘狭窄,并且易被误认为支架与血管不匹配或血管痉挛。若支架未完全覆盖血肿出现延展,可能会导致早期支架内血栓形成。

(五)生物可吸收支架置入的优化

BMS 置入的影像学研究已较为深入,而在生物可吸收支架领域,尚未常规引入血管内成像技术。值得注意的是,由于生物可吸收材料固有的机械局限性以及造影可视性欠佳,在生物可吸收支架的置入过程中,精确的病变准备、支架直径选择和手术过程优化(即支架充分膨胀,不发生支架断裂和贴壁不良)更为重要^[94-95]。回顾性分析证实,术后管腔偏心和不对称与靶病变失败有关^[96]。冠状动脉内影像学对检测结构性异常十分重要,例如,由于可吸收支架造影上显影不清,随访中不能在血管造影中检测出急性断裂和支架中断。虽然尚未在前瞻性研究中得到证实,但是支架置入后即刻贴壁不良可能会对组织覆盖和可吸收支架融入血管壁产生不利影响,这可能会反过来导致在支架降解过程中形成血栓^[95]。

总结框 4: 最佳支架置入效果的评估标准

1. 在常规临床实践中,相对支架膨胀率(MSA/平均参考管腔面积)应 $>80\%$ 。
2. 在非左主干病变中,IVUS 测量的 MSA 应 >5.5 mm²或 OCT 测量的 MSA 应 >4.5 mm²。
3. 支架置入即刻贴壁不良的临床意义尚不明确。但是对于支架置入后的严重贴壁不良,应尽可能地避免并进行处理。支架完全贴壁可能促进早期支架小梁内膜覆盖。
4. 贴壁不良距离 <0.4 mm 且长度 <1 mm 的即刻贴壁不良无需纠正,因为这种小的贴壁不良不会影响支架梁的内膜覆盖。但这一临界值需要前瞻性研究进一步证实。
5. 晚期获得性支架贴壁不良会导致晚期和极晚期支架内血栓形成。
6. 与稳定性冠心病患者相比,ACS 患者发生的组织脱垂不良更容易导致不良临床预后,这可能是由二者的脱垂组织成分不同所致。
7. IVUS 和 OCT 检测出的严重夹层是 MACE 的独立预测因素。夹层发生处残余斑块负荷较大、横向扩展 $>60^\circ$ 、纵向扩展 >2 mm、夹层累及中膜或外膜和处于支架远端均增加不良心血管事件的发生。
8. 在冠状动脉造影上表现为残余支架边缘狭窄的病变,IVUS 或 OCT 可能会检测出支架边缘壁内血肿的发生。

七、支架失败原因的评估

共识强烈推荐在支架失败的病例中使用冠状动脉内影像。影像学检查有助于判断导致再狭窄和支架内血栓形成的原因,指导治疗,将后续的支架失败风险减小到最低,并且提高对潜在支架相关问题的预警。

(一)金属药物洗脱支架的再狭窄和支架内血

栓形成

除内膜增生外,支架内再狭窄确定的成因还包括慢性膨胀不良(约 18%~40%^[54, 97])、支架断裂(<5%)以及新生动脉粥样硬化(DES 置入后 1 年后)。慢性膨胀不良和支架断裂可以被 IVUS 和 OCT 检查出,而新生动脉粥样硬化仅可由 OCT 发现^[98]。与单纯的二维影像比较,三维 OCT 影像更容易识别支架断裂。约 60% 的支架内再狭窄病例主要成因都与新生内膜增生相关,但由于新生内膜增生的组织学特点导致其难以评估。与此相反,支架内血栓形成的原因很多,大部分都可以被冠状动脉内影像学检测识别(图 6)^[53, 91, 99-100]。与 IVUS 不同,OCT 能区分血栓和其他组织成分,也因此被认为是识别支架内血栓形成的最佳影像学技术。然而,在某些病例中,由于光学信号衰减,大量血栓的出现会给 OCT 对支架梁和血管壁轮廓的评估带来一定的困难,在这种情况下使用 IVUS 是一个更好的选择(图 6 I)。为加强对潜在支架内血栓形成病因的分析,曾经使用的一种策略是,将血流 TIMI 分级恢复到 3 级后,应用血小板膜糖蛋白 II b/III a 受体拮抗剂,然后再进行 OCT 检查^[78]。最近的 3 个队列研究分析了支架置入后不同时间点支架内血栓形成的发生机制^[77-79]。在超过 90% 的患者中,可以发现 1 个或多个导致血栓形成的原因。令人欣慰的是,在 PESTO 研究的 70% 的病例中,术者和研究人员的解释是一致的。图 7 列举了 DES 亚组中支架内血栓形成的主要成因。早期支架内血栓形成主要与支架贴壁不良、支架膨胀不良以及支架边缘夹层有关。与既往 IVUS 研究不同的是,支架贴壁不良在 OCT 中较为常见。在发生极晚期 DES 内血栓形成的患者中,经常能观察到支架贴壁不良、新生动脉粥样硬化、支架梁未覆盖以及支架膨胀不良。尽管缺乏前瞻性研究数据的支持,但是根据特定的 OCT 结果制定个体化治疗方案在临床上仍有其合理性,例如,在新生粥样硬化病例中额外使用支架,在支架膨胀不良和支架贴壁不良病例中进行后扩张。2014 年欧洲心脏病学会(ESC)心肌血运重建指南的发表时间早于上述 3 个 OCT 注册研究,该指南将支架失败时进行 OCT 或 IVUS 检查作为 II a 类推荐,C 级证据^[38]。

(二)可吸收支架的支架内血栓形成

Absorb BVS 支架是目前唯一在有足够统计学效能的 RCT 中通过充分科学评估的生物可吸收支架。许多独立的研究^[101]和荟萃分析^[102-103]表明,术

后随访中可吸收支架内血栓形成发病率增加,尤其是在术后超过 1 年的病例中。尽管许多专家认为,冠状动脉内影像指导下可吸收支架置入有可能减少可吸收支架失败率,但是迄今为止没有 RCT 证实过影像学指导下支架置入与支架失败相关,并且有一项研究在 Absorb BVS 支架退市后也被迫停止(OPTICO BVS 研究,NCT02683356)。目前尚没有针对 Absorb BVS 支架的临床试验能够阐明支架失败的机制。值得注意的是,使用 OCT 分析支架置入后 1 年内发生的可吸收支架内血栓形成,主要检测出支架膨胀不良和支架贴壁不良,后者主要由支架直径过小或膨胀不充分引起^[94, 104]。

使用 OCT 分析极晚期可吸收支架内血栓形成的最大规模队列研究是 INVEST 研究^[105],该研究入选的 36 例患者在可能发生血栓事件的各时间点进行 OCT 检查,31% 的患者有系列 OCT 影像数据。研究的主要发现是一个新的与生物可吸收支架特性相关的现象——支架梁中断(43%)。尽管支架梁完全贴壁,甚至 OCT 下可见部分组织覆盖,支架梁也可发生脱位突入管腔。支架梁中断可发生于术后即刻支架贴壁不良或是急性支架断裂^[95, 105]。最新发现的 Absorb BVS 支架失败机制并不见于金属 DES,这也解释了为什么极晚期可吸收支架内血栓形成风险会增加。对可吸收支架材料特性弱点所造成支架失败的解释,可能会使治疗策略得到发展,也为改善新一代可吸收支架的设计提供了帮助。新一代可吸收支架失败应系统地经过冠状动脉内影像学检查的评估,特别是 OCT 检查。

总结框 5:应用冠状动脉内影像对支架失败的评价

1. 专家强烈推荐,使用冠状动脉内影像评价支架内再狭窄和支架内血栓形成,这对分析支架失败的机制至关重要。
2. 虽然缺乏来自前瞻性临床研究的证据支持,但是根据支架失败的确切机制来制定个体化处理策略十分合理(例如,在支架膨胀不良和贴壁不良引起的支架内血栓形成病例中,采用单纯后扩张处理,而新生动脉粥样硬化引起的病例中,应行支架置入术)。
3. OCT 是评价支架内再狭窄和支架内血栓形成的首选手段。
4. 在所有临床试验的支架失败病例,必须应用冠状动脉内影像学检查,以加快对潜在安全性问题的认识;任何新型 DES 和生物可吸收支架的治疗效果评价,推荐应用冠状动脉内影像学进行评估。
5. 根据支架内血栓形成注册研究中的 OCT 结果,提示 OCT 在 PCI 手术过程中,应干预的目标包括支架贴壁不良、支架边缘的残余斑块负荷、边缘夹层以及支架膨胀不良。

八、冠状动脉内影像的潜在局限性

冠状动脉内影像学应用于指导 PCI 的临床价值已得到广泛认可^[1],但也应注意到其潜在的局限性。冠状动脉内影像的一个主要局限性,是需要额

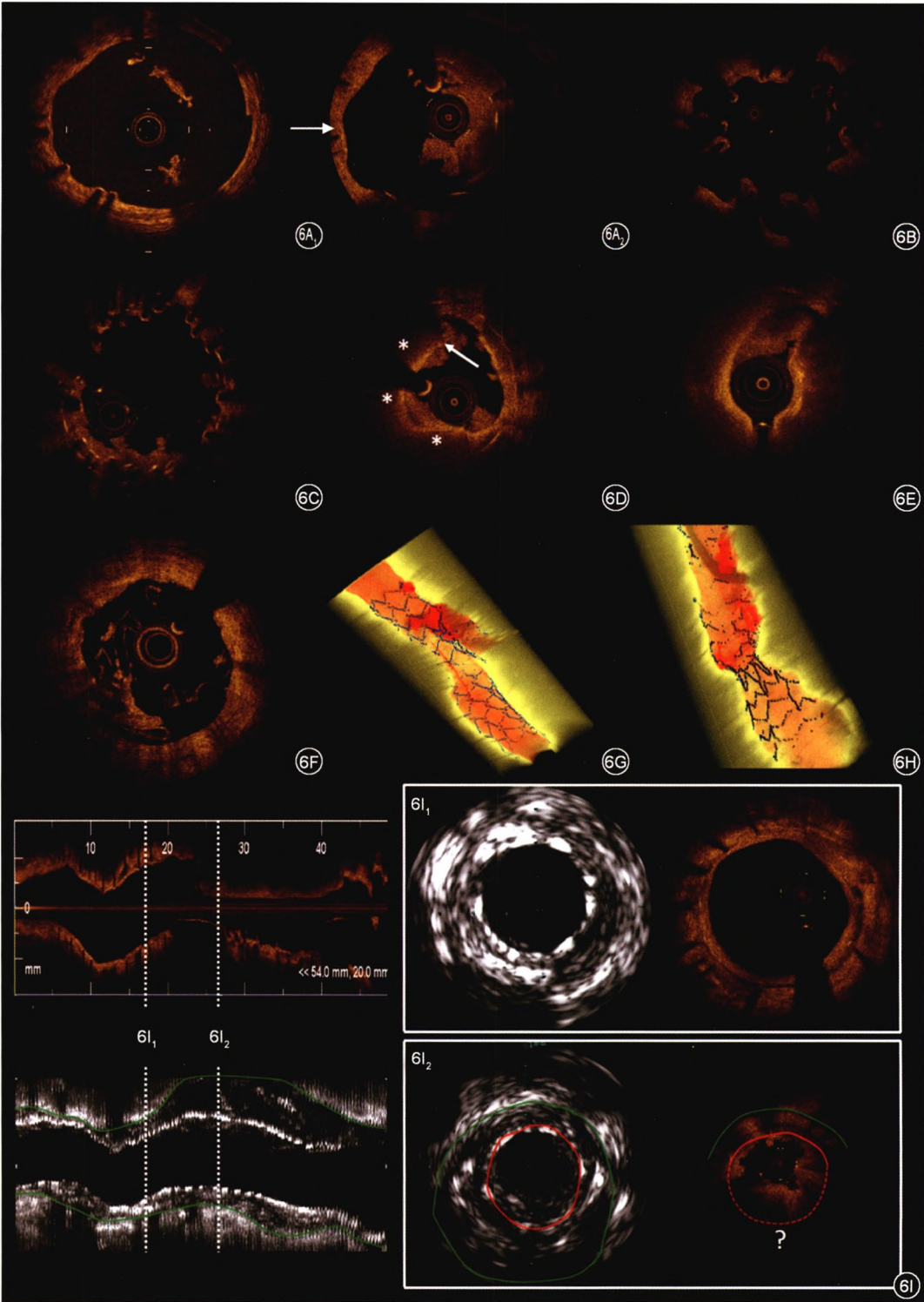


图6 金属支架和可吸收支架内血栓形成的OCT和IVUS影像 [6A:支架直径过小,支架置入后1年内存在持续性贴壁不良(6A₁),但未给予处理;2年后,患者停用阿司匹林,导致闭塞性支架内血栓的形成(6A₂)。6B:4年前置入Cypher支架的部位严重外向扩张,提示血管壁正性重构。溶栓后进行OCT检查未见残留血栓。6C:在多个支架重叠区域,可见未覆盖的支架梁,伴有多发突出于管腔的小血栓。6D:可见典型的支架内富含脂质样斑块(6~12点方向,星号标注),伴有破裂的纤维帽(箭头所指)和白色血栓,表明存在新生动脉粥样硬化。6E:支架边缘病变进展(斑块破裂)可能是导致此次支架内血栓形成的机制。6F:虽然大多数可吸收支架内血栓形成机制与金属药物洗脱支架相同,但是支架断裂(即原本术后即刻贴壁的支架梁术后逐渐与管壁分离,悬在管腔内)是可吸收支架内血栓形成的一个特殊表现。6G:分叉病变中发生的支架内血栓形成(红色为血栓,蓝色为支架梁)。6H:严重支架膨胀不良导致膨胀不良远端血栓形成。6I:IVUS和OCT评估支架内血栓形成的优缺点。图示左侧为长轴影像,右侧分别为无血栓节段(6I₁)和血栓节段(6I₂)的横截面影像。从长轴和6I₂中可见,血栓团块使OCT光学信号明显衰减,支架小梁难以识别(红色虚线和问号标注);而IVUS图像可轻易识别出支架小梁。此外,血管外膜(绿线标注)可用于判断正性重构,这只能在IVUS图像中可以识别。而支架梁内膜覆盖情况和其周围低密度区域等许多微小细节仅在OCT图像中可被识别(6I₁)。IVUS为血管内超声,OCT为光学相干断层成像]

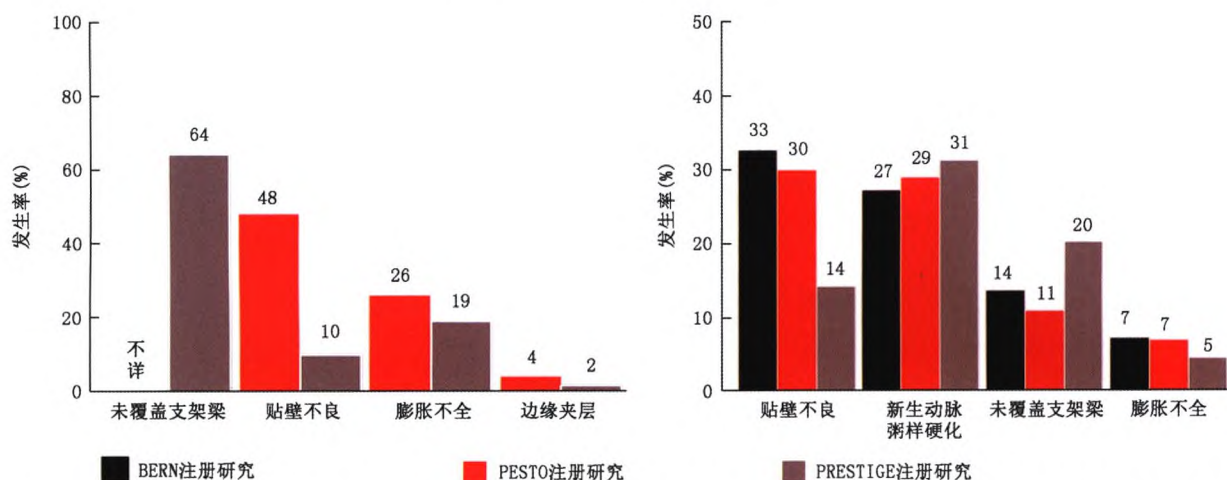


图7 三大光学相干断层成像(OCT)注册研究中导致药物洗脱支架早期支架内血栓形成(左图)和极晚期支架内血栓形成(右图)原因的发生率

外的时间获取图像。IVUS和OCT费用也是一个值得注意的问题,这也是被介入心脏病专家认同的潜在局限性^[7]。一个对在置入DES的过程中应用IVUS性价比的研究显示,IVUS指导下的PCI性价比更高,尤其是应用于有较高再狭窄风险的患者时^[106]。IVUS和OCT在不同国家和地区日常实践中的临床使用情况差异较大,在日本其作为常规检查项目,而在大多数国家都作为选择性检查项目^[7],甚至在某些不予报销的国家其应用更加有限。考虑到这一现实,我们建议并鼓励主要在有确凿证据证明可获得临床收益的情况下使用影像学指导下PCI(表4)。充分训练获取图像和判读结果的能力是另一个至关重要的因素,为解决这一问题,我们既需要在成熟的介入团队中进行训练,也要确保所有冠状动脉介入人员都有基本的图像获取技能,同时每个中大型导管室的部分术者应该有IVUS和/或OCT的先进经验。正如一项系统性综述中所提到的,随着目前小直径成像设备的更新换代,与影像学检查直接相关的并发症已非常罕见^[60]。在一项大型研究中,分析了超过3 600例OCT或IVUS指导下PCI,结果显示影像学检查相关并发症非常罕见(0.6%)且有自限性,或经简单处理后不会发生主要不良心血管事件^[107]。另一个潜在的局限性是在某些复杂病变中成像导管的输送性。这些复杂病变包括严重钙化、扭曲或成角的解剖部位,在这些部位准确成像可获得潜在收益。影像学技术进步包括血管造影与冠状动脉内影像配准,外径更小,输送能力更强、回撤速度更快的导管,更高的IVUS分辨率,以及用于支架置入术前和术后评估的更自动化的分析软件。这些技术的进步大幅

度提高了使用的便捷性,也因此在日常的临床实践中有更多的应用。

合作编辑: Patrick W. Serruys(英国伦敦帝国理工学院)

审稿人: Fernando Alfonso(西班牙公主大学医院心内科), Ravinay Bhindi(澳大利亚悉尼大学皇家北岸医院), Ziad Ali(美国哥伦比亚大学医学中心), Rickey Carter(美国梅奥医学中心,健康科学部)

译者: 于波(哈尔滨医科大学附属第二医院心内科,教育部心肌缺血重点实验室), 贾海波(哈尔滨医科大学附属第二医院心内科,教育部心肌缺血重点实验室), 胡思宁(哈尔滨医科大学附属第二医院心内科,教育部心肌缺血重点实验室), 侯静波(哈尔滨医科大学附属第二医院心内科,教育部心肌缺血重点实验室)

审校: 刘学波(同济大学附属同济医院), 郭宁(西安交通大学附属第一医院)

药物和材料免责声明: 文中涉及到的商品名称、商业产品机构以及杂志包含的广告并不代表作者所隶属的《欧洲心脏杂志》、编委、编委会、牛津大学出版社及其他组织机构的认可。编委及出版社已采取合理措施确定文中所包含的药物名称和剂量、试验结果以及临床发现的真实性。期刊中涉及的药物的使用和剂量以及材料说明的最终责任归医生所有, 编委和出版商不对期刊中的任何错误或遗漏引起的损害承担责任。如有任何错误, 请告知编委

文中表达的观点仅代表作者及其他参与者, 并不反应作者所隶属的欧洲心脏病学会、编委、编委会、牛津大学出版社及其他组织机构的观点

牛津大学出版社及欧洲心脏病学会不对翻译的准确性、错误和遗漏, 以及由此产生的结果负责。于波、贾海波、胡思宁、侯静波等译者对本次发表的翻译负责

代表欧洲心脏病学会®出版

如需获得许可, 请发送邮件至 journal.permissions@oup.com

保留所有权利; 未经出版商书面许可, 不得以任何形式或方式(电子、机械、影印、录制等)复制、存储在检索系统中或传播本出版物的任何部分

利益冲突 Alfonso 没有任何利益冲突。Ali 接受了来自 Cardiovascular System Inc 和 Abbott Vascular 公司的项目资助, 以及来自 Cordis 公司、Canon USA 公司、Abbott Vascular 公司、Boston

Scientific 公司、Acist Medical 公司和 Opsens 公司的个人资助。Bhindi 接受了来自澳大利亚国家心脏基金会的项目资助,以及来自 Bristol Myers Squibb 公司、Astra Zeneca 公司和 Medtronic 公司的个人资助。Byrne 接受了来自 HeartFlow 公司和 Boston Scientific 公司的项目资助,以及来自 Boston Scientific 公司、Biotronik 公司和 B. Braun 公司的个人资助。Capodanno 接受了来自 Bayer、Daiichi Sankyo、Pfizer、Astra Zeneca、Abbott 和 Direct Flow Medical 公司的个人资助。Carter 没有需要公开的内容。Colombo 博士没有需要公开的内容。De La Torre Hernandez 接受了来自 Boston Scientific 公司、Medtronic 公司、Biotronik 公司和 Abbott Vascular 公司的资助。Di Mario 接受了来自 Volcano 公司、Abbott 公司、Medtronic 公司和 Shockwave 公司的资助。Escaned 接受了来自 Astra Zeneca 公司、Philips Volcano 公司、Abbott 公司、Medtronic 公司、Orbus Neich 公司和 Boston Scientific 公司的个人资助。Guagliumi 接受了来自 Boston Scientific 公司和 Abbott 公司的资助,以及来自 Abbott 公司和 Boston Scientific 公司的个人资助。Hill 接受了来自 Boston Scientific 公司和 Abbott Vascular 公司的项目资助,以及来自 Boston Scientific 公司、Abbott Vascular 公司和 Abiomed 公司的个人资助。Holm 接受了来自 Abbott 公司、Terumo Inc 公司、REVA Medical 公司、Medis medical imaging 公司和 Boston Scientific 公司的项目资助,以及来自 REVA Medical 公司、Abbott 公司和 Terumo Inc 公司的个人资助。Jia 没有需要说明的利益冲突。Johnson 接受了来自 Boston Scientific 公司、Terumo Inc 公司、Abbott Vascular 公司、Daiichi Sankyo 公司和 Astra Zeneca 公司的个人费用。Koskinas 接受了来自 Amgen 公司和 Sanofi Aventis 公司的个人资助。Meneveau 接受了来自 Abbott Vascular 公司和 Daiichi Sankyo 公司的资助,以及来自 BMS/Pfizer 公司、Abbott Vascular 公司、Boehringer-Ingelheim 公司、Daiichi Sankyo 公司、Bayer Healthcare 公司和 Edwards Life Sciences 公司的个人资助。Mintz 接受了来自 Boston Scientific 公司、Volcano 公司和 Abbott Vascular 公司的资助,以及来自 Boston Scientific 公司、Volcano 公司、Infraredx 公司和 Abbott Vascular 公司的个人资助。Onuma 接受了来自 Abbott Vascular 公司的个人资助。Prati 接受了来自 Abbott 公司的个人资助。Raber 接受了来自 Abbott 公司和 Sanofi Aventis 公司的资助,以及来自 Abbott 公司、Amgen 公司、Astra Zeneca 公司、Biotronik 公司、CSL Behring 公司和 Sanofi Aventis 公司的个人资助。Radu 接受了来自 Abbott 公司的个人资助。Regar 接受了来自 Abbott 公司的资助,以及来自 Abbott 公司的个人资助。Wijns 接受了来自 Abbott Vascular 公司、MICELL 公司和 Microport 公司的资助,以及来自 Microport 公司的个人资助。Yu 没有需要声明的利益冲突

志谢 感谢 Georgios Siontis 博士对共识中包含荟萃分析的大力协助,感谢 Yasushi Ueki 在共识图片的制作方面给予的支持和帮助

参 考 文 献

- [1] Mintz GS, Guagliumi G. Intravascular imaging in coronary artery disease[J]. Lancet, 2017, 390(10096): 793-809. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31957-8.
- [2] Koskinas KC, Ughi GJ, Windecker S, et al. Intracoronary imaging of coronary atherosclerosis: validation for diagnosis, prognosis and treatment[J]. Eur Heart J, 2016, 37(6): 524-535. DOI:10.1093/eurheartj/ehv642.
- [3] Witzensbichler B, Maehara A, Weisz G, et al. Relationship between intravascular ultrasound guidance and clinical

outcomes after drug-eluting stents: the assessment of dual antiplatelet therapy with drug-eluting stents (ADAPT-DES) study[J]. Circulation, 2014, 129(4): 463-470. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.113.003942.

- [4] Hong SJ, Kim BK, Shin DH, et al. Effect of intravascular ultrasound-guided vs angiography-guided everolimus-eluting stent implantation: the IVUS-XPL randomized clinical trial[J]. JAMA, 2015, 314(20): 2155-2163. DOI: 10.1001/jama.2015.15454.
- [5] 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.
- [6] Buccheri S, Franchina G, Romano S, et al. Clinical outcomes following intravascular imaging-guided versus coronary angiography-guided percutaneous coronary intervention with stent implantation: a systematic review and bayesian network meta-analysis of 31 studies and 17882 patients [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2017, 10(24): 2488-2498. DOI: 10.1016/j.jcin.2017.08.051.
- [7] Koskinas KC, Nakamura M, Raber L, et al. Current use of intracoronary imaging in interventional practice -results of a European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI) and Japanese Association of Cardiovascular Interventions and Therapeutics (CVIT) clinical practice survey [J]. EuroIntervention, 2018, 14(4): e475-e484. DOI:10.4244/EIJY18M03_01.
- [8] Schiele F, Meneveau N, Vuilleminot A, et al. Impact of intravascular ultrasound guidance in stent deployment on 6-month restenosis rate: a multicenter, randomized study comparing two strategies--with and without intravascular ultrasound guidance. RESIST study group. Restenosis after IVUS guided stenting[J]. J Am Coll Cardiol, 1998, 32(2): 320-328.
- [9] Frey AW, Hodgson JM, Muller C, et al. Ultrasound-guided strategy for provisional stenting with focal balloon combination catheter: results from the randomized strategy for intracoronary ultrasound-guided PTCA and stenting (SIPS) trial[J]. Circulation, 2000, 102(20): 2497-2502.
- [10] Oemrawsingh PV, Mintz GS, Schali MJ, et al. Intravascular ultrasound guidance improves angiographic and clinical outcome of stent implantation for long coronary artery stenoses: final results of a randomized comparison with angiographic guidance (TULIP Study)[J]. Circulation, 2003, 107(1): 62-67.
- [11] Parise H, Maehara A, Stone GW, et al. Meta-analysis of randomized studies comparing intravascular ultrasound versus angiographic guidance of percutaneous coronary intervention in pre-drug-eluting stent era[J]. Am J Cardiol, 2011, 107(3): 374-382. DOI:10.1016/j.amjcard.2010.09.030.
- [12] Kim BK, Shin DH, Hong MK, et al. Clinical impact of intravascular ultrasound-guided chronic total occlusion intervention with zotarolimus-eluting versus biolimus-eluting stent implantation: randomized study[J]. Circ Cardiovasc Interv, 2015, 8(7): e002592. DOI:10.1161/CIRCINTERVENTIONS.115.002592.
- [13] Kim JS, Kang TS, Mintz GS, et al. Randomized comparison of clinical outcomes between intravascular ultrasound and angiography-guided drug-eluting stent implantation for long coronary artery stenoses[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2013, 6

- (4):369-376. DOI:10.1016/j.jcin.2012.11.009.
- [14] Jakabcin J, Spacek R, Bystron M, et al. Long-term health outcome and mortality evaluation after invasive coronary treatment using drug eluting stents with or without the IVUS guidance. Randomized control trial. HOME DES IVUS[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2010, 75(4):578-583. DOI:10.1002/ccd.22244.
 - [15] Chieffo A, Latib A, Caussin C, et al. A prospective, randomized trial of intravascular-ultrasound guided compared to angiography guided stent implantation in complex coronary lesions: the AVIO trial[J]. Am Heart J, 2013, 165(1): 65-72. DOI:10.1016/j.ahj.2012.09.017.
 - [16] Tian NL, Gami SK, Ye F, et al. Angiographic and clinical comparisons of intravascular ultrasound-versus angiography-guided drug-eluting stent implantation for patients with chronic total occlusion lesions: two-year results from a randomised AIR-CTO study[J]. EuroIntervention, 2015, 10(12):1409-1417. DOI:10.4244/EIJV10I12A245.
 - [17] Tan Q, Wang Q, Liu D, et al. Intravascular ultrasound-guided unprotected left main coronary artery stenting in the elderly[J]. Saudi Med J, 2015, 36(5): 549-553. DOI: 10.15537/smj. 2015. 5.11251.
 - [18] Zhang JQ, Shi R, Pang W, et al. Application of intravascular ultrasound in stent implantation for small coronary arteries[J]. J Clin Invasive Cardiol, 2016, 3(1):2-8.
 - [19] Shin DH, Hong SJ, Mintz GS, et al. Effects of intravascular ultrasound-guided versus angiography-guided new-generation drug-eluting stent implantation: meta-analysis with individual patient-level data from 2345 randomized patients[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2016, 9(21): 2232-2239. DOI: 10.1016 / j. jcin.2016.07.021.
 - [20] 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.
 - [21] Jang JS, Song YJ, Kang W, et al. Intravascular ultrasound-guided implantation of drug-eluting stents to improve outcome: a meta-analysis[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2014, 7(3):233-243. DOI:10.1016/j.jcin.2013.09.013.
 - [22] Zhang YJ, Pang S, Chen XY, et al. Comparison of intravascular ultrasound guided versus angiography guided drug eluting stent implantation: a systematic review and meta-analysis[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2015, 15: 153. DOI: 10.1186/s12872-015-0144-8.
 - [23] De La Torre Hernandez JM, Baz Alonso JA, Gomez Hospital JA, et al. Clinical impact of intravascular ultrasound guidance in drug-eluting stent implantation for unprotected left main coronary disease: pooled analysis at the patient-level of 4 registries[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2014, 7(3):244-254. DOI: 10.1016/j.jcin.2013.09.014.
 - [24] Park SJ, Kim YH, Park DW, et al. Impact of intravascular ultrasound guidance on long-term mortality in stenting for unprotected left main coronary artery stenosis [J]. Circ Cardiovasc Interv, 2009, 2(3): 167-177. DOI: 10.1161 / CIRCINTERVENTIONS.108.799494.
 - [25] Ye Y, Yang M, Zhang S, et al. Percutaneous coronary intervention in left main coronary artery disease with or without intravascular ultrasound: a meta-analysis[J]. PLoS One, 2017, 12(6):e0179756. DOI:10.1371/journal.pone.0179756.
 - [26] Prati F, Di Vito L, Biondi-Zoccai G, et al. Angiography alone versus angiography plus optical coherence tomography to guide decision-making during percutaneous coronary intervention: the centro per la lotta contro l'infarto-optimisation of percutaneous coronary intervention (CLI-OPCI) study[J]. EuroIntervention, 2012, 8(7):823-829. DOI:10.4244/EIJV8I7A125.
 - [27] Sheth TN, Kajander OA, Lavi S, et al. Optical coherence tomography-guided percutaneous coronary intervention in ST-segment-elevation 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.
 - [28] Iannaccone M, D'ascenzo F, Frangieh AH, et al. Impact of an optical coherence tomography guided approach in acute coronary syndromes: A propensity matched analysis from the international FORMIDABLE-CARDIOGROUP IV and USZ registry[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2017, 90(2):E46-52. DOI: 10.1002/ccd.26880.
 - [29] 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.
 - [30] 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.
 - [31] Antonsen L, Thayssen P, Maehara A, et al. Optical coherence tomography guided percutaneous coronary intervention with nobori stent implantation in patients with non-ST-segment-elevation myocardial infarction (OCTACS) trial: Difference in strut coverage and dynamic malapposition patterns at 6 months [J]. Circ Cardiovasc Interv, 2015, 8(8):e002446. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.114.002446.
 - [32] 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. DOI:10.1016/j.jcmg.2017.12.014.
 - [33] Ali ZA, Maehara A, Genereux 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.
 - [34] 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.
 - [35] Ali ZA, Karimi Galoughi K, Nazif T, et al. Imaging-and physiology-guided percutaneous coronary intervention without contrast administration in advanced renal failure: a feasibility, safety, and outcome study[J]. Eur Heart J, 2016, 37(40): 3090-3095. DOI:10.1093/eurheartj/ehw078.
 - [36] Mariani J Jr, Guedes C, Soares P, et al. Intravascular ultrasound guidance to minimize the use of iodine contrast in percutaneous coronary intervention: the MOZART (minimizing contrast utilization with IVUS guidance in coronary angioplasty)

- randomized controlled trial[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2014, 7(11): 1287-1293. DOI:10.1016/j.jcin.2014.05.024.
- [37] Escaned J, Collet C, Ryan N, et al. Clinical outcomes of state-of-the-art percutaneous coronary revascularization in patients with de novo three vessel disease: 1-year results of the SYNTAX II study[J]. Eur Heart J, 2017, 38(42): 3124-3134. DOI:10.1093/eurheartj/ehx512.
- [38] Windecker S, Kolh P, Alfonso F, et al. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: the Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI)[J]. Eur Heart J, 2014, 35(37): 2541-2619. DOI:10.1093/eurheartj/ehu278.
- [39] Wang X, Matsumura M, Mintz GS, et al. In vivo calcium detection by comparing optical coherence tomography, intravascular ultrasound, and angiography[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2017, 10(8): 869-879. DOI: 10.1016/j.jcmg.2017.05.014.
- [40] Tearney GJ, Regar E, Akasaka T, et al. Consensus standards for acquisition, measurement, and reporting of intravascular optical coherence tomography studies: a report from the international working group for intravascular optical coherence tomography standardization and validation[J]. J Am Coll Cardiol, 2012, 59(12): 1058-1072. DOI: 10.1016/j.jacc.2011.09.079.
- [41] Mehanna E, Bezerra HG, Prabhu D, et al. Volumetric characterization of human coronary calcification by frequency-domain optical coherence tomography[J]. Circ J, 2013, 77(9): 2334-2340.
- [42] Kume T, Okura H, Kawamoto T, et al. Assessment of the coronary calcification by optical coherence tomography[J]. EuroIntervention, 2011, 6(6): 768-772. DOI:10.4244/EIJV6I6A130.
- [43] Hoffmann R, Mintz GS, Popma JJ, et al. Treatment of calcified coronary lesions with Palmaz-Schatz stents. An intravascular ultrasound study[J]. Eur Heart J, 1998, 19(8): 1224-1231.
- [44] Kubo T, Shimamura K, Ino Y, et al. Superficial calcium fracture after PCI as assessed by OCT[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2015, 8(10): 1228-1229. DOI: 10.1016/j.jcmg.2014.11.012.
- [45] Fujino A, Mintz GS, Matsumura M, et al. A new optical coherence tomography-based calcium scoring system to predict stent underexpansion[J]. EuroIntervention, 2018, 13(18): e2182-e2189. DOI:10.4244/EIJ-D-17-00962.
- [46] Okura H, Taguchi H, Kubo T, et al. Atherosclerotic plaque with ultrasonic attenuation affects coronary reflow and infarct size in patients with acute coronary syndrome: an intravascular ultrasound study[J]. Circ J, 2007, 71(5): 648-653.
- [47] Lee SY, Mintz GS, Kim SY, et al. Attenuated plaque detected by intravascular ultrasound: clinical, angiographic, and morphologic features and post-percutaneous coronary intervention complications in patients with acute coronary syndromes[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2009, 2(1): 65-72. DOI: 10.1016/j.jcin.2008.08.022.
- [48] Wu X, Mintz GS, Xu K, et al. The relationship between attenuated plaque identified by intravascular ultrasound and no-reflow after stenting in acute myocardial infarction: the HORIZONS-AMI (harmonizing outcomes with revascularization and stents in acute myocardial infarction) trial[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2011, 4(5): 495-502. DOI: 10.1016/j.jcin.2010.12.012.
- [49] Claessen BE, Maehara A, Fahy M, et al. Plaque composition by intravascular ultrasound and distal embolization after percutaneous coronary intervention[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2012, 5(3 Suppl): S111-118. DOI:10.1016/j.jcmg.2011.11.018.
- [50] Hong YJ, Jeong MH, Choi YH, et al. Impact of plaque components on no-reflow phenomenon after stent deployment in patients with acute coronary syndrome: a virtual histology-intravascular ultrasound analysis[J]. Eur Heart J, 2011, 32(16): 2059-2066. DOI:10.1093/eurheartj/ehp034.
- [51] Tanaka A, Imanishi T, Kitabata H, et al. Lipid-rich plaque and myocardial perfusion after successful stenting in patients with non-ST-segment elevation acute coronary syndrome: an optical coherence tomography study[J]. Eur Heart J, 2009, 30(11): 1348-1355. DOI:10.1093/eurheartj/ehp122.
- [52] Stone GW, Maehara A, Muller JE, et al. Plaque characterization to inform the prediction and prevention of periprocedural myocardial infarction during percutaneous coronary intervention: the CANARY trial (coronary assessment by near-infrared of atherosclerotic rupture-prone yellow)[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2015, 8(7): 927-936. DOI: 10.1016/j.jcin.2015.01.032.
- [53] Choi SY, Witzensbichler B, Maehara A, et al. Intravascular ultrasound findings of early stent thrombosis after primary percutaneous intervention in acute myocardial infarction: a Harmonizing Outcomes with Revascularization and Stents in Acute Myocardial Infarction (HORIZONS-AMI) substudy[J]. Circ Cardiovasc Interv, 2011, 4(3): 239-247. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.110.959791.
- [54] Kang SJ, Ahn JM, Song H, et al. Comprehensive intravascular ultrasound assessment of stent area and its impact on restenosis and adverse cardiac events in 403 patients with unprotected left main disease[J]. Circ Cardiovasc Interv, 2011, 4(6): 562-569. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.111.964643.
- [55] Sonoda S, Morino Y, Ako J, et al. Impact of final stent dimensions on long-term results following sirolimus-eluting stent implantation: serial intravascular ultrasound analysis from the sirius trial[J]. J Am Coll Cardiol, 2004, 43(11): 1959-1963. DOI: 10.1016/j.jacc.2004.01.044.
- [56] Song HC, Kang SJ, Ahn JM, et al. Intravascular ultrasound assessment of optimal stent area to prevent in-stent restenosis after zotarolimus-, everolimus-, and sirolimus-eluting stent implantation[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2014, 83(6): 873-878. DOI: 10.1002/ccd.24560.
- [57] Bezerra HG, Attizzani GF, Sirbu V, et al. Optical coherence tomography versus intravascular ultrasound to evaluate coronary artery disease and percutaneous coronary intervention[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2013, 6(3): 228-236. DOI: 10.1016/j.jcin.2012.09.017.
- [58] Kubo T, Akasaka T, Shite J, et al. OCT compared with IVUS in a coronary lesion assessment: the OPUS-CLASS study[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2013, 6(10): 1095-1104. DOI: 10.1016/j.jcmg.2013.04.014.
- [59] Okamura T, Onuma Y, Garcia-Garcia HM, et al. First-in-man evaluation of intravascular optical frequency domain imaging (OFDI) of Terumo: a comparison with intravascular ultrasound and quantitative coronary angiography[J]. EuroIntervention, 2011, 6(9): 1037-1045. DOI: 10.4244/EIJV6I9A182.
- [60] Ahn JM, Kang SJ, Yoon SH, et al. Meta-analysis of outcomes after intravascular ultrasound-guided versus angiography-guided drug-eluting stent implantation in 26,503 patients enrolled in

- three randomized trials and 14 observational studies[J]. *Am J Cardiol*, 2014, 113(8): 1338-1347. DOI: 10.1016/j.amjcard.2013.12.043.
- [61] Otake H, Kubo T, Takahashi H, et al. Optical frequency domain imaging versus intravascular ultrasound in percutaneous coronary intervention (OPINION trial): results from the OPINION imaging study[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2018, 11(1): 111-123. DOI: 10.1016/j.jcmg.2017.06.021.
- [62] Mintz GS. Intravascular ultrasound and outcomes after drug-eluting stent implantation[J]. *Coron Artery Dis*, 2017, 28(4):346-352. DOI: 10.1097/MCA.0000000000000483.
- [63] Choi SY, Maehara A, Cristea E, et al. Usefulness of minimum stent cross sectional area as a predictor of angiographic restenosis after primary percutaneous coronary intervention in acute myocardial infarction (from the HORIZONS-AMI trial IVUS substudy)[J]. *Am J Cardiol*, 2012, 109(4):455-460. DOI: 10.1016/j.amjcard.2011.10.005.
- [64] Calvert PA, Brown AJ, Hoole SP, et al. Geographical miss is associated with vulnerable plaque and increased major adverse cardiovascular events in patients with myocardial infarction[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2016, 88(3):340-347. DOI: 10.1002/ccd.26275.
- [65] Kang SJ, Cho YR, Park GM, et al. Intravascular ultrasound predictors for edge restenosis after newer generation drug-eluting stent implantation[J]. *Am J Cardiol*, 2013, 111(10):1408-1414. DOI: 10.1016/j.amjcard.2013.01.288.
- [66] Ino Y, Kubo T, Matsuo Y, et al. Optical Coherence Tomography Predictors for Edge Restenosis After Everolimus-Eluting Stent Implantation[J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2016, 9(10):DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.116.004231.
- [67] Liu J, Maehara A, Mintz GS, et al. An integrated TAXUS IV, V, and VI intravascular ultrasound analysis of the predictors of edge restenosis after bare metal or paclitaxel-eluting stents [J]. *Am J Cardiol*, 2009, 103(4): 501-506. DOI: 10.1016/j.amjcard.2008.10.010.
- [68] Imola F, Occhipinti M, Biondi-Zoccai G, et al. Association between proximal stent edge positioning on atherosclerotic plaques containing lipid pools and postprocedural myocardial infarction (from the CLI-POOL Study)[J]. *Am J Cardiol*, 2013, 111(4):526-531. DOI: 10.1016/j.amjcard.2012.10.033.
- [69] van der Sijde JN, Guagliumi G, Sirbu V, et al. The OPTIS Integrated System: real-time, co-registration of angiography and optical coherence tomography[J]. *EuroIntervention*, 2016, 12(7):855-860. DOI: 10.4244/EIJV12I7A140.
- [70] Fujii K, Carlier SC, Mintz GS, et al. Stent underexpansion and residual reference segment stenosis are related to stent thrombosis after sirolimus-eluting stent implantation: an intravascular ultrasound study[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2005, 45(7):995-998. DOI: 10.1016/j.jacc.2004.12.066.
- [71] Hong MK, Mintz GS, Lee CW, et al. Intravascular ultrasound predictors of angiographic restenosis after sirolimus-eluting stent implantation[J]. *Eur Heart J*, 2006, 27(11): 1305-1310. DOI: 10.1093/eurheartj/ehi882.
- [72] Morino Y, Honda Y, Okura H, et al. An optimal diagnostic threshold for minimal stent area to predict target lesion revascularization following stent implantation in native coronary lesions[J]. *Am J Cardiol*, 2001, 88(3):301-303.
- [73] Doi H, Maehara A, Mintz GS, et al. Impact of post-intervention minimal stent area on 9-month follow-up patency of paclitaxel-eluting stents: an integrated intravascular ultrasound analysis from the TAXUS IV, V, and VI and TAXUS ATLAS Workhorse, Long Lesion, and Direct Stent Trials[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2009, 2(12): 1269-1275. DOI: 10.1016/j.jcin.2009.10.005.
- [74] Prati F, Romagnoli E, Burzotta F, et al. Clinical Impact of OCT Findings During PCI: The CLI-OPCI II Study[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2015, 8(11): 1297-1305. DOI: 10.1016/j.jcmg.2015.08.013.
- [75] Guo N, Maehara A, Mintz GS, et al. Incidence, mechanisms, predictors, and clinical impact of acute and late stent malapposition after primary intervention in patients with acute myocardial infarction: an intravascular ultrasound substudy of the Harmonizing Outcomes with Revascularization and Stents in Acute Myocardial Infarction (HORIZONS-AMI) trial[J]. *Circulation*, 2010, 122(11): 1077-1084. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.906040.
- [76] Romagnoli E, Gatto L, La Manna A, et al. Role of residual acute stent malapposition in percutaneous coronary interventions[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2017, 90(4): 566-575. DOI: 10.1002/ccd.26974.
- [77] Adriaenssens T, Joner M, Godschalk TC, et al. 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) [J]. *Circulation*, 2017, 136(11): 1007-1021. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.117.026788.
- [78] Souteyrand G, Amabile N, Mangin L, et al. Mechanisms of stent thrombosis analysed by optical coherence tomography: insights from the national PESTO French registry[J]. *Eur Heart J*, 2016, 37(15): 1208-1216. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv711.
- [79] Taniwaki M, Radu MD, Zaugg S, et al. Mechanisms of Very Late Drug-Eluting Stent Thrombosis Assessed by Optical Coherence Tomography[J]. *Circulation*, 2016, 133(7):650-660. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.019071.
- [80] Guagliumi G, Sirbu V, Musumeci G, et al. Examination of the in vivo mechanisms of late drug-eluting stent thrombosis: findings from optical coherence tomography and intravascular ultrasound imaging[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2012, 5(1): 12-20. DOI: 10.1016/j.jcin.2011.09.018.
- [81] Parodi G, La Manna A, Di VL, et al. Stent-related defects in patients presenting with stent thrombosis: differences at optical coherence tomography between subacute and late/very late thrombosis in the mechanism of stent thrombosis (MOST) study[J]. *EuroIntervention*, 2013, 9(8):936-944. DOI: 10.4244/EIJV9I8A157.
- [82] Cuesta J, Rivero F, Bastante T, et al. Optical Coherence Tomography Findings in Patients With Stent Thrombosis[J]. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*, 2017, 70(12): 1050-1058. DOI: 10.1016/j.rec.2017.04.001.
- [83] Foin N, Lu S, Ng J, et al. Stent malapposition and the risk of stent thrombosis: mechanistic insights from an in vitro model [J]. *EuroIntervention*, 2017, 13(9):e1096-1098. DOI: 10.4244/EIJ-D-17-00381.
- [84] Gutiérrez-Chico JL, Wykrzykowska J, Nüesch E, et al. Vascular tissue reaction to acute malapposition in human coronary arteries: sequential assessment with optical coherence tomography[J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2012, 5(1): 20-29, S1-8. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.111.965301.
- [85] Shimamura K, Kubo T, Akasaka T, et al. Outcomes of everolimus-eluting stent incomplete stent apposition: a serial optical coherence tomography analysis[J]. *Eur Heart J*

- Cardiovasc Imaging, 2015,16(1): 23-28. DOI: 10.1093/ehjci/jeu174.
- [86] Sotomi Y, Onuma Y, Dijkstra J, et al. 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[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2018,19(1):59-66. DOI: 10.1093/ehjci/jew329.
- [87] Cheneau E, Leborgne L, Mintz GS, et al. Predictors of subacute stent thrombosis: results of a systematic intravascular ultrasound study[J]. Circulation, 2003, 108(1): 43-47. DOI: 10.1161/01.CIR.0000078636.71728.40.
- [88] Hong YJ, Jeong MH, Ahn Y, et al. Plaque prolapse after stent implantation in patients with acute myocardial infarction: an intravascular ultrasound analysis[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2008, 1(4): 489-497. DOI: 10.1016/j.jcmg.2008.04.004.
- [89] Hong YJ, Jeong MH, Choi YH, et al. Impact of tissue prolapse after stent implantation on short-and long-term clinical outcomes in patients with acute myocardial infarction: an intravascular ultrasound analysis[J]. Int J Cardiol, 2013, 166(3):646-651. DOI: 10.1016/j.ijcard.2011.11.092.
- [90] Sugiyama T, Kimura S, Akiyama D, et al. Quantitative assessment of tissue prolapse on optical coherence tomography and its relation to underlying plaque morphologies and clinical outcome in patients with elective stent implantation[J]. Int J Cardiol, 2014, 176(1): 182-190. DOI: 10.1016/j.ijcard.2014.07.005.
- [91] Soeda T, Uemura S, Park SJ, et al. Incidence and clinical significance of poststent optical coherence tomography findings: one-year follow-up study from a multicenter registry [J]. Circulation, 2015, 132(11): 1020-1029. DOI: 10.1161 / CIRCULATIONAHA.114.014704.
- [92] Kawamori H, Shite J, Shinke T, et al. Natural consequence of post-intervention stent malapposition, thrombus, tissue prolapse, and dissection assessed by optical coherence tomography at mid-term follow-up[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2013,14(9):865-875. DOI: 10.1093/ehjci/jes299.
- [93] Radu MD, Räber L, Heo J, et al. Natural history of optical coherence tomography-detected non-flow-limiting edge dissections following drug-eluting stent implantation[J]. EuroIntervention, 2014,9(9):1085-1094. DOI: 10.4244/EIJV9I9A183.
- [94] Karanasos A, Van Mieghem N, van Ditzhuijzen N, et al. Angiographic and optical coherence tomography insights into bioresorbable scaffold thrombosis: single-center experience[J]. Circ Cardiovasc Interv, 2015, 8(5). DOI: 10.1161 / CIRCINTERVENTIONS.114.002369.
- [95] Räber L, Brugaletta S, Yamaji K, et al. Very Late Scaffold Thrombosis: Intracoronary Imaging and Histopathological and Spectroscopic Findings[J]. J Am Coll Cardiol, 2015, 66(17): 1901-1914. DOI: 10.1016/j.jacc.2015.08.853.
- [96] Suwannasom P, Sotomi Y, Ishibashi Y, et al. The Impact of Post-Procedural Asymmetry, Expansion, and Eccentricity of Bioresorbable Everolimus-Eluting Scaffold and Metallic Everolimus-Eluting Stent on Clinical Outcomes in the ABSORB II Trial[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2016, 9(12): 1231-1242. DOI: 10.1016/j.jcin.2016.03.027.
- [97] Goto K, Zhao Z, Matsumura M, et al. Mechanisms and Patterns of Intravascular Ultrasound In-Stent Restenosis Among Bare Metal Stents and First-and Second-Generation Drug-Eluting Stents[J]. Am J Cardiol, 2015,116(9):1351-1357. DOI: 10.1016/j.amjcard.2015.07.058.
- [98] Kang SJ, Mintz GS, Akasaka T, et al. Optical coherence tomographic analysis of in-stent neoatherosclerosis after drug-eluting stent implantation[J]. Circulation, 2011, 123(25): 2954-2963. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.988436.
- [99] Alfonso F, Suárez A, Angiolillo DJ, et al. Findings of intravascular ultrasound during acute stent thrombosis[J]. Heart, 2004,90(12):1455-1459. DOI: 10.1136/hrt.2003.026047.
- [100] Lee CW, Kang SJ, Park DW, et al. Intravascular ultrasound findings in patients with very late stent thrombosis after either drug-eluting or bare-metal stent implantation[J]. J Am Coll Cardiol, 2010, 55(18): 1936-1942. DOI: 10.1016/j.jacc.2009.10.077.
- [101] Wykrzykowska JJ, Kraak RP, Hofma SH, et al. Bioresorbable Scaffolds versus Metallic Stents in Routine PCI[J]. N Engl J Med, 2017,376(24):2319-2328. DOI: 10.1056/NEJMoa1614954.
- [102] Ali ZA, Serruys PW, Kimura T, et al. 2-year outcomes with the Absorb bioresorbable scaffold for treatment of coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis of seven randomised trials with an individual patient data substudy[J]. Lancet, 2017,390(10096):760-772. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31470-8.
- [103] Ali ZA, Gao R, Kimura T, et al. Three-Year Outcomes With the Absorb Bioresorbable Scaffold: Individual-Patient-Data Meta-Analysis From the ABSORB Randomized Trials[J]. Circulation, 2018, 137(5): 464-479. DOI: 10.1161 / CIRCULATIONAHA.117.031843.
- [104] Cuculi F, Puricel S, Jamshidi P, et al. Optical Coherence Tomography Findings in Bioresorbable Vascular Scaffolds Thrombosis[J]. Circ Cardiovasc Interv, 2015, 8(10): e002518. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.114.002518.
- [105] Yamaji K, Ueki Y, Souteyrand G, et al. Mechanisms of Very Late Bioresorbable Scaffold Thrombosis: The INVEST Registry [J]. J Am Coll Cardiol, 2017,70(19):2330-2344. DOI: 10.1016/j.jacc.2017.09.014.
- [106] Alberti A, Giudice P, Gelera A, et al. Understanding the economic impact of intravascular ultrasound (IVUS)[J]. Eur J Health Econ, 2016, 17(2): 185-193. DOI: 10.1007 / s10198-015-0670-4.
- [107] van der Sijde JN, Karanasos A, van Ditzhuijzen NS, et al. Safety of optical coherence tomography in daily practice: a comparison with intravascular ultrasound[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2017,18(4):467-474. DOI: 10.1093/ehjci/jew037.

(收稿日期:2018-11-16)

(本文编辑:干岭 卢全)