

# 冠心病介入诊疗最新临床研究进展

霍勇<sup>1,2</sup> 郑博<sup>1,2</sup> 刘耀琨<sup>1</sup>

**[摘要]** 随着医疗技术突飞猛进的发展,介入治疗技术、理念等时刻都在更新与进步。通过检索近几年发表于医学综合类及心血管专类顶级学术期刊的临床研究,从腔内影像学和功能学评估、治疗策略以及介入器械等方面,对冠心病介入的最新诊疗进行分类盘点。

**[关键词]** 冠心病;经皮冠状动脉介入;腔内影像学;功能学评估

**DOI:**10.13201/j.issn.1001-1439.2023.05.001

**[中图分类号]** R541.4 **[文献标志码]** C

## The latest clinical research progress of interventional diagnosis and treatment in coronary heart disease

HUO Yong<sup>1,2</sup> ZHENG Bo<sup>1,2</sup> LIU Yaokun<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Department of Cardiovascular Medicine, Peking University First Hospital, Beijing, 100034, China;<sup>2</sup>Institute of Cardiovascular Disease, The First Hospital of Peking University)

Corresponding author: HUO Yong, E-mail: huoyong@263.net.cn

**Abstract** With the rapid development of medicine, interventional techniques and concepts are all keeping updating constantly. By searching the recent clinical studies published in the top-class international journals, we reviewed the latest research progress in the diagnosis and treatment of coronary artery disease(CAD) intervention from the aspects of intravascular imaging or coronary physiological assessment, treatment strategies and interventional devices.

**Key words** coronary heart disease; percutaneous coronary intervention; endovascular imaging; functional evaluation

目前心血管疾病仍严重威胁着我国乃至全球人类的健康,其中冠状动脉(冠脉)性心脏病(简称冠心病)是主要的一种疾病类型。经皮冠脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)是进行血运重建、改善冠心病预后的重要手段。

### 1 腔内影像学与功能学评估

#### 1.1 腔内影像学

目前,冠脉内显像技术,如血管内超声(intravascular ultrasound, IVUS)和光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)已广泛应用于冠心病临床介入诊疗中,尤其是在指导复杂、高危冠脉病变的血运重建方面具有特殊意义。众多研究显示,与冠脉造影(coronary angiography, CAG)指导PCI相比,腔内影像学技术指导PCI可显著优化支架置入效果以及降低不良心血管事件风险<sup>[1-4]</sup>。与CAG相比,腔内影像技术具有更清晰的分辨率,能清楚反映血管腔内结构,明确病变类

型和严重程度,显示某些高危斑块特征如“易损斑块”(富含脂质、薄纤维帽等)等优势<sup>[5]</sup>。哈尔滨医科大学附属第二医院于波教授开展的EROSION研究,通过OCT识别罪犯血管病变的性质和特征,证实残余狭窄<70%的由斑块侵蚀导致的急性冠脉综合征患者中,行非支架置入治疗是安全有效的<sup>[6]</sup>。之后的EROSION III研究又探讨了OCT指导急性ST段抬高型心肌梗死(ST-segment elevation myocardial infarction, STEMI)血运重建策略选择的临床意义<sup>[7]</sup>。将246例通过必要的血栓抽吸获得稳定血流后CAG显示残余直径狭窄≤70%的STEMI患者随机分为OCT指导组和CAG指导组。在OCT指导组中对发生斑块侵蚀、自发性冠脉夹层或不伴有夹层的斑块破裂患者行单纯药物治疗。主要终点显示,OCT指导组较CAG指导组支架置入率显著降低了15%(43.8% vs 58.8%)。安全性终点显示,两组患者在术后30d与1年内的主要不良心脑血管事件(major adverse cardio-cerebrovascular events, MACCE)发生率均未见显著差异。EROSION III研究打破了“置入支

<sup>1</sup>北京大学第一医院心血管内科(北京,100034)

<sup>2</sup>北京大学第一医院心血管病研究所

通信作者:霍勇, E-mail: huoyong@263.net.cn

架治疗 STEMI 罪犯血管”的传统观念,进一步强调了血管病变的病理生理机制和病变特征对病情发生发展以及预后的影响。由此可见,应用腔内影像技术精确识别病变性质和特征,不仅可避免不必要的支架植入,也可进一步评估支架置入术后的即刻效果,减少支架相关并发症的发生,为未来心血管精准介入治疗提供了重要的指导意义。

## 1.2 冠脉功能学

近年来,有创冠脉生理学技术在心肌缺血的临床评估中也发挥着重要作用。与传统基于视觉评估的 CAG 相比,基于压力导丝的冠脉生理学评估可更准确地识别缺血病变<sup>[8-9]</sup>。既往包括著名的 FAME 系列研究在内的多项临床试验均已证明,基于压力导丝的生理学评估较 CAG 指导 PCI 可更好地改善临床结局<sup>[10-11]</sup>。目前指南已将血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)指导 PCI 列为 Ia 类推荐<sup>[12-14]</sup>。但基于导丝的 FFR 也存在一些局限性,由于手术操作时间长、压力导丝器械的潜在并发症以及充血药物不良反应和高昂费用等因素,导致此项技术仍未能得到广泛应用。因此,近些年来为了克服上述不足,无创或创伤相对更小的冠脉功能学技术应运而生并蓬勃发展,如冠脉造影定量血流分数(quantitative flow ratio, QFR)、基于冠脉造影的 FFR(coronary angiography-derived fractional flow reserve, caFFR)、基于冠脉 CTA 的 FFR(CT-FFR)、瞬时无波形比率(instantaneous wave-free ratio, iFR)等,且上述技术均与传统基于导丝 FFR 技术具有高度的诊断一致性<sup>[15-19]</sup>。同时,近几年也开展了相关衍生的功能学评价指标指导 PCI 的临床研究,如 iFR-SWEDEHEART 研究<sup>[17]</sup>,5 年随访显示,与 FFR 指导 PCI 相比,iFR 指导组置入支架数量更少,两组在心血管不良事件发生率上无显著差异。但在试验过程中,iFR 组绝大多数患者无明显不适,而大部分 FFR 组患者在应用腺苷后出现了不同程度的不适症状。FAVOR III China 研究也于近期公布了 2 年随访结果<sup>[20]</sup>。该研究应用了我国原创的冠脉功能学评估参数——QFR,其无需压力导丝或血管扩张药物,可在术中实时分析、多次测量。在 2021 年公布的 1 年随访结果显示,以病变处 QFR $\leq 0.80$  作为介入干预标准,QFR 指导组主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular events, MACE)发生率为 5.8%,与造影指导组 8.8%相比,相对风险下降 35%<sup>[21]</sup>。在入组第 2 年,患者仍保持了高达 98.3%的临床随访率,2 年 MACE 发生率在 QFR 指导组为 8.5%,造影指导组为 12.5%,相对风险下降 34%。界标分析显示,QFR 指导在第 1 年内与第 1 年和第 2 年之间保持了持续的临床获益( $P_{\text{int}}=0.99$ )。这些创新的冠脉生理学评价指标由于无需使用导丝或血管扩张药物,安全性更高,患者耐受程度更好,将来有可能取代基于导丝有创

FFR 成为评价冠脉生理功能和心肌缺血的“金标准”。

## 1.3 冠脉临界病变

针对冠脉临界性病变,近些年也开展了相关对比腔内影像学与功能学评估的临床研究。FLAVOUR 研究<sup>[22]</sup>旨在评估 FFR 和 IVUS 指导的 PCI 在中度狭窄患者中的安全性和有效性。研究共纳入 1 682 例 CAG 显示中度狭窄患者(直径狭窄率 40%~70%),随机接受 FFR 指导或 IVUS 指导的 PCI。进行 PCI 标准为:FFR 组 FFR $\leq 0.80$ ; IVUS 组最小管腔面积(minimum luminal area, MLA) $\leq 3 \text{ mm}^2$  或 MLA $\leq 4 \text{ mm}^2$  且斑块负荷 $> 70\%$ 。主要终点是 24 个月 MACE 事件率。研究结果显示,FFR 组患者接受 PCI 治疗比例显著低于 IVUS 组患者(44.4% vs 65.3%)。FFR 组的主要终点发生率为 8.1%,IVUS 组为 8.5%(差异 $-0.4\%$ ;非劣效  $P=0.01$ )。这些结果支持对于中度冠脉狭窄患者可首先考虑进行 FFR 指导 PCI 的合理性。FORZA 研究<sup>[23]</sup>比较了冠脉临界病变患者使用 OCT 指导 PCI 与 FFR 指导 PCI 的临床效果。该研究进行 PCI 的标准为 FFR: $< 0.80$ ; OCT:管腔狭窄面积 $> 75\%$ 或 50%~75%时 MLA $< 2.5 \text{ mm}^2$  或斑块破裂。13 个月随访发现,FFR 组接受最佳药物治疗的患者比例较高并且花费较少,而 OCT 组发生心血管不良事件及心绞痛的比例更低。但该研究为一单中心研究,未来需进一步扩大研究规模来充分评价 OCT 与 FFR 在指导临界病变治疗上的优劣势。COMBINE OCT-FFR 研究<sup>[24-25]</sup>为首个联合 OCT 检出薄纤维帽斑块(thin-cap fibroatheroma, TCFA)与 FFR 预测糖尿病患者不良预后的多中心研究。结果显示,FFR $> 0.80$  但存在 TCFA 的患者其 MACE 发生率显著高于无 TCFA 者,且与 FFR $< 0.80$  的患者相似。这表明在冠脉中度狭窄患者中,尽管有相当一部分 FFR $> 0.80$  的病变并不引起心肌缺血但因存在 TCFA 而可能处于疾病不稳定状态。因此,冠脉功能学评估联合腔内影像学检查技术有助于提高识别 FFR 正常的“高危”患者的准确性,从而及时采取针对性个体化治疗。

在 2022 第十六届东方心脏病学会议上,我国原创多模态 OCT 技术首次公开亮相。其是指在当前 OCT 平台上,融合了斑块稳定性评估——斑块光衰指数、冠脉功能学评估——虚拟血流分数、人工智能辅助诊断技术——智能钙化评估等技术,实现了多技术、多模态的有机互补和融合。使用一根 OCT 成像导管,在一次 OCT 回拉扫描后即可获取所有诊断数据,为临床介入医生提供多维度的病变信息,进而制定更优化的治疗策略。同年于波教授牵头的 OCT-IVUS 一体机也正式获批上市,其工作原理类似于多模态 OCT,将 IVUS 和 OCT 两种成像模式优势互补,提供更精准的腔内影像以及血

管壁的组织形态学信息,两种模式的血管成像信息,为临床提供更丰富的影像信息,指导并优化治疗方案,达到精准医疗的目的,并降低制造成本和操作风险。

## 2 治疗策略

对于左主干、分叉及多支血管病变等复杂冠脉病变,PCI与冠脉旁路移植(coronary artery bypass grafting, CABG)孰优孰劣一直是心内科和心外科医生所争论的话题。EXCEL研究5年结果显示,对于中低解剖复杂程度(SYNTAX评分 $\leq 32$ )的左主干病变患者来说,CABG与PCI两种治疗策略的全因死亡、心肌梗死与卒中复合终点无显著差异<sup>[26]</sup>。SYNTAX研究和PRECOMBAT研究10年随访结果也均显示,在左主干病变患者中PCI不劣于CABG,但对于合并3支病变的复杂左主干病变患者CABG可能仍是优选治疗方案<sup>[27-28]</sup>。在真实世界中,来自加拿大的一项观察性研究显示CABG是左主干病变中最常用的血运重建策略;接受PCI的患者年龄更大、基线时风险更高。经匹配后,两组患者早期(30 d内)死亡率无显著差异(5.5% vs 3.9%);但经7年的随访,PCI组的全因死亡率(53.6% vs 35.2%)和MACCE(66.8% vs 48.6%)均明显高于CABG组<sup>[29]</sup>。此研究虽为北美局部地区的观察性研究,有其天然的局限性,但真实世界中左主干病变行PCI和CABG比例以及最终的结果还是应该引起我国每个心脏团队的注意。因此,基于上述研究结果,当我们面对无保护左主干病变患者时,全面的临床和病变评估、心脏团队的充分讨论、腔内影像学/功能学技术的辅助指导以及术后长期强化的二级预防治疗将有助于改善患者远期结局。

对介入医生来说,冠脉分叉病变的介入治疗始终是一大难题。分叉病变介入治疗分为单支架术式和双支架术式,其中DK-crush技术是南京市第一医院陈绍良教授研发的一种新型Crush双支架术式,其安全性和有效性已得到临床研究证实以及国内外众多介入专家的认可和推荐<sup>[30-31]</sup>。DK-crush技术是在经典Crush技术基础上,为解决经典Crush技术中边支开口有残余狭窄的局限性而提出的。该技术通过首次球囊对吻扩张,推开被挤压而封闭于边支开口的支架,并保证边支开口支架网眼的充分扩张。便于球囊顺利通过边支开口以及在最终对吻时导丝顺利从主支支架网眼进入边支。可以提高球囊最终对吻成功率和质量,从而改善边支开口受限和支架内再狭窄。此外,陈绍良教授还提出了判别复杂分叉病变的DEFINITION标准<sup>[32]</sup>,可以从造影上区分简单和复杂分叉病变,具有很强的临床指导意义。DEFINITION II研究1年随访结果首次证实了对于DEFINITION标准定义的冠脉复杂分叉病变,与Provisional术式相比,双支架术式显著降低了靶病变失败(target lesion

failure, TLF)率。其3年随访结果同样显示双支架术式组患者的事件率仍然低于Provisional术式组(TLF:10.4% vs 16.0%),但在1年至3年的随访中,两组的终点事件率无统计学差异<sup>[33]</sup>。DEFINITION II研究证实了DEFINITION标准的精准性及可靠性,对长期针对分叉病变术式选择的争议给予了重要的临床指导意义。但是研究结果显示术后1年后的额外获益并不明显,因此对于结果的判读仍需保持理性认识。另外,上述研究中腔内影像学技术的应用比例较低,且未能同时进行冠脉功能学评价,因此未来需要在更广泛的血管内成像和冠脉生理学评价技术的联合指导下,精准明确病变性质和严重程度,从而评估不同治疗策略对长期预后的影响。

在多支血管病变治疗方面,FAME 3研究<sup>[34]</sup>纳入了冠脉3支病变但不包括左主干病变的患者,随机分成FFR指导PCI组和CABG组,主要终点为1年MACE事件率。研究结果显示,与CABG组相比,FFR指导组MACE发生率未能达到非劣效检验(FFR组:10.6% vs CABG组:6.9%);但在安全性终点方面,FFR指导组发生大出血、心律失常、急性肾损伤等低于CABG组。在SYNTAX评分较低的患者中,FFR指导组1年MACE率低于CABG组(5.5% vs 8.6%)。虽然主要终点未能显示出非劣效性,但不论是PCI组还是CABG组,其均低于既往SYNTAX研究中CABG组MACE发生率(12.4%)<sup>[35]</sup>,这表明目前PCI和CABG手术技术水平都有了一定的进步和提高。但FAME 3研究也存在诸多不足,例如随访时间较短,PCI组腔内影像技术使用率较低,CABG组没有使用FFR进行功能学评价等。因此,在将来随着手术技术和诊疗设备的不断发展,无论采用PCI还是CABG治疗策略,均应充分评估病变严重程度,并尽可能应用腔内影像或功能学评价等技术,去更好地辅助和优化手术操作过程,从而选择最佳的治疗策略以达到最大的临床获益。

## 3 介入治疗器械

传统金属支架作为异物永久滞留于血管腔内,可导致支架内再狭窄、晚期支架血栓形成等诸多问题<sup>[36]</sup>。为了消除支架永久滞留产生的不良影响,近年来以生物可吸收支架(bioresorbable scaffold, BRS)和药物涂层球囊(drug coated balloon, DCB)为代表的“介入无植入”新理念应运而生。然而初代BRS Absorb具有较高的血栓形成风险,导致临床不良结局<sup>[37-38]</sup>。关于BRS的探索与实践一度随着Absorb的退市陷入低谷,但FUTURE II研究<sup>[39]</sup>结果的公布再次树立起了对未来BRS研究的信心。该研究应用我国自主研发的超薄生物可吸收雷帕霉素洗脱支架Firesorb。与目前主流药物洗脱支架——XIENCE钴铬依维莫司洗脱支架(CoCr-EES)相比,Firesorb 1年时造影显示的节段

内晚期管腔丢失 (late lumen loss, LLL) 不劣于 CoCr-EES[(0.17 ± 0.27) mm vs (0.19 ± 0.37) mm]。两组在 TLF、全因死亡以及心肌梗死或任何血运重建等方面均无显著差异,且两组也未发生器械相关血栓事件。

在 DCB 研究进展方面,多项研究显示,在冠脉小血管病变、分叉病变以及支架内再狭窄病变等介入处理上,DCB 具有与传统支架同等甚至更优的安全性及有效性<sup>[40-42]</sup>。但既往关于 DCB 的临床研究主要集中在紫杉醇药物涂层球囊,而由于紫杉醇本身在安全性方面的隐患,目前在许多国家和地区的临床应用中仍存在一定争议。韩雅玲院士团队于近期公布了由我国研发的首款优美莫司药物球囊 BioRise 的临床研究——BIO-RISE CHINA<sup>[43]</sup> 结果,显示在小血管病变(参考血管直径 2.0 ~ 2.75 mm,病变长度 ≤ 25 mm)中,BioRise 组在术后 9 个月时病变节段内 LLL 水平显著低于普通球囊组[(0.16 ± 0.29) mm vs (0.30 ± 0.35) mm];同时,BioRise 组在晚期管腔扩大(正性重构)方面也有优于对照组的表现。此外,在术后 12 个月时,BioRise 组在 TLF 和临床结局方面也均显示出优势趋势。该项研究填补了雷帕霉素及其衍生物在 DCB 领域中应用的空白,大大拓展了今后 DCB 相关的临床研究领域。

#### 4 展望

经过 40 余年的探索与实践,PCI 已成为当今世界临床心血管医师诊治冠心病患者的强有力武器。介入相关器械和操作技术的进步几乎使所有类型的冠脉病变得到了成功治疗。血管内成像和功能学评价技术的广泛开展进一步优化和精准了 PCI 诊疗策略,改善了远期临床疗效。同时令人欣喜的是,越来越多来自我国的心血管原创临床研究和诊疗技术登顶国际学术舞台,这是我国心血管病学者共同努力的结果,预示着我国心血管学科发展更进一步。新冠疫情的阴霾逐渐散去,我们即将恢复往日多彩斑斓的生活。期待未来的日子,继续拼搏奋进,让新理念、新成果如雨后春笋,硕果累累。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] Andell P, Karlsson S, Mohammad MA, et al. Intravascular ultrasound guidance is associated with better outcome in patients undergoing unprotected left main coronary artery stenting compared with angiography guidance alone[J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2017, 10(5):100.
- [2] 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.
- [3] Bezerra HG, Costa MA, Guagliumi G, et al. Intracoronary optical coherence tomography: a comprehensive review clinical and research applications[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2009, 2(11):1035-1046.
- [4] Lee JM, Choi KH, Song YB, et al. Intravascular imaging-guided or angiography-guided complex PCI[J]. *New Engl J Med*, 2023 Mar 5. doi: 10.1056/NEJMoa2216607.
- [5] 折振兴,于波. 易损斑块成像进展[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2022, 30(3):208-213.
- [6] Jia H, Dai J, Hou J, et al. Effective anti-thrombotic therapy without stenting: intravascular optical coherence tomography-based management in plaque erosion (the EROSION study)[J]. *Eur Heart J*, 2017, 38(11):792-800.
- [7] Jia H, Dai J, He L, et al. EROSION III: A multicenter RCT of OCT-guided reperfusion in STEMI with early infarct artery patency[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2022, 15(8):846-856.
- [8] Park SJ, Kang SJ, Ahn JM, et al. Visual-functional mismatch between coronary angiography and fractional flow reserve[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2012, 5(10):1029-1036.
- [9] Toth G, Hamilos M, Pyxaras S, et al. Evolving concepts of angiogram: fractional flow reserve discordances in 4000 coronary stenoses[J]. *Eur Heart J*, 2014, 35(40):2831-2838.
- [10] Tonino PA, De Bruyne B, Pijls NH, et al. Fractional flow reserve versus angiography for guiding percutaneous coronary intervention[J]. *New Engl J Med*, 2009, 360(3):213-224.
- [11] Xaplanteris P, Fournier S, Pijls NHJ, et al. Five-year outcomes with PCI guided by fractional flow reserve[J]. *N Engl J Med*, 2018, 379(3):250-259.
- [12] Lawton JS, Tamis-Holland JE, Bangalore S, et al. 2021 ACC/AHA/SCAI Guideline for Coronary Artery Revascularization: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines[J]. *Circulation*, 2022, 145(3):e18-e114.
- [13] Collet JP, Thiele H, Barbato E, et al. 2020 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation[J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(14):1289-1367.
- [14] 《中国经皮冠状动脉介入治疗指南(2016)》正式发布[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2016, 24(6):315.
- [15] Li J, Gong Y, Wang W, et al. Accuracy of computational pressure-fluid dynamics applied to coronary angiography to derive fractional flow reserve: FLASH FFR[J]. *Cardiovasc Res*, 2020, 116(7):1349-1356.
- [16] Tang CX, Liu CY, Lu MJ, et al. CT FFR for ischemia-specific CAD with a new computational fluid dynamics algorithm: A Chinese Multicenter Study[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(4):980-990.
- [17] Götberg M, Berntorp K, Rylance R, et al. 5-Year Outcomes of PCI guided by measurement of instantaneous wave-free ratio versus fractional flow reserve[J]. *JACC*, 2022, 79(10):965-974.
- [18] Tu S, Westra J, Yang J, et al. Diagnostic accuracy of

- fast computational approaches to derive fractional flow reserve from diagnostic coronary angiography: the international multicenter FAVOR Pilot Study[J]. *JACC Cardiovasc Intervent*, 2016, 9(19):2024-2035.
- [19] 余作忠, 杨人强. 基于影像学的血流储备分数衍生指标研究进展[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2021, 29(3):164-168.
- [20] Song L, Xu B, Tu S, et al. 2-year outcomes of angiographic quantitative flow ratio-guided coronary interventions[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2022, 80(22):2089-2101.
- [21] Xu B, Tu S, Song L, et al. Angiographic quantitative flow ratio-guided coronary intervention (FAVOR III China): a multicentre, randomised, sham-controlled trial[J]. *Lancet*, 2021, 398(10317):2149-2159.
- [22] Koo BK, Hu X, Kang J, et al. Fractional flow reserve or intravascular ultrasonography to guide PCI[J]. *N Engl J Med*, 2022, 387(9):779-789.
- [23] Burzotta F, Leone AM, Aurigemma C, et al. Fractional flow reserve or optical coherence tomography to guide management of angiographically intermediate coronary stenosis: a single-center trial[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(1):49-58.
- [24] Kedhi E, Berta B, Roleder T, et al. Thin-cap fibroatheroma predicts clinical events in diabetic patients with normal fractional flow reserve: the COMBINE OCT-FFR trial[J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(45):4671-4679.
- [25] 沈迎, 王伟民, 张奇, 等. 经皮冠状动脉介入治疗 2022 年度临床研究进展[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2023, 31(1):25-32.
- [26] Stone GW, Kappetein AP, Sabik JF, et al. Five-year outcomes after PCI or CABG for left main coronary disease[J]. *N Engl J Med*, 2019, 381(19):1820-1830.
- [27] Thuijs D, Kappetein AP, Serruys PW, et al. Percutaneous coronary intervention versus coronary artery bypass grafting in patients with three-vessel or left main coronary artery disease: 10-year follow-up of the multicentre randomised controlled SYNTAX trial[J]. *Lancet*, 2019, 394(10206):1325-1334.
- [28] Park DW, Ahn JM, Park H, et al. Ten-year outcomes after drug-eluting stents versus coronary artery bypass grafting for left main coronary disease: extended follow-up of the PRECOMBAT Trial[J]. *Circulation*, 2020, 141(18):1437-1446.
- [29] Tam DY, Fang J, Rocha RV, et al. Real-world examination of revascularization strategies for left main coronary disease in Ontario, Canada[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2023, 16(3):277-288.
- [30] Chen SL, Santoso T, Zhang JJ, et al. A randomized clinical study comparing double kissing crush with provisional stenting for treatment of coronary bifurcation lesions: results from the DKCRUSH-II (Double Kissing Crush versus Provisional Stenting Technique for Treatment of Coronary Bifurcation Lesions) trial[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2011, 57(8):914-920.
- [31] Chen X, Li X, Zhang JJ, et al. 3-year outcomes of the DKCRUSH-V trial comparing DK Crush with provisional stenting for left main bifurcation lesions[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2019, 12(19):1927-1937.
- [32] Chen SL, Sheiban I, Xu B, et al. Impact of the complexity of bifurcation lesions treated with drug-eluting stents: the DEFINITION study (Definitions and impact of complex bifurcation lesions on clinical outcomes after percutaneous coronary intervention using drug-eluting stents) [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2014, 7(11):1266-1276.
- [33] Kan J, Zhang JJ, Sheiban I, et al. 3-year outcomes after 2-stent with provisional stenting for complex bifurcation lesions defined by DEFINITION Criteria [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2022, 15(13):1310-1320.
- [34] Fearon WF, Zimmermann FM, De Bruyne B, et al. Fractional Flow Reserve-Guided PCI as compared with coronary bypass surgery [J]. *N Engl J Med*, 2022, 386(2):128-137.
- [35] Serruys PW, Morice MC, Kappetein AP, et al. Percutaneous coronary intervention versus coronary-artery bypass grafting for severe coronary artery disease[J]. *N Engl J Med*, 2009, 360(10):961-972.
- [36] Indolfi C, De Rosa S, Colombo A. Bioresorbable vascular scaffolds-basic concepts and clinical outcome [J]. *Nat Rev Cardiol*, 2016, 13(12):719-729.
- [37] 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.
- [38] Kereiakes DJ, Ellis SG, Metzger DC, et al. Clinical outcomes before and after complete everolimus-eluting bioresorbable scaffold resorption: five-year follow-up from the ABSORB III Trial[J]. *Circulation*, 2019, 140(23):1895-1903.
- [39] Song L, Xu B, Chen Y, et al. Thinner strut sirolimus-eluting BRS Versus EES in patients with coronary artery disease: FUTURE-II Trial[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2021, 14(13):1450-1462.
- [40] Latib A, Colombo A, Castriota F, et al. A randomized multicenter study comparing a paclitaxel drug-eluting balloon with a paclitaxel-eluting stent in small coronary vessels: the BELLO (Balloon Elution and Late Loss Optimization) study [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 60(24):2473-2480.
- [41] Unverdorben M, Vallbracht C, Cremers B, et al. Paclitaxel-coated balloon catheter versus paclitaxel-coated stent for the treatment of coronary in-stent restenosis [J]. *Circulation*, 2009, 119(23):2986-2994.
- [42] 陈韵岱, 王建安, 刘斌, 等. 药物涂层球囊临床应用中国专家共识[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2016, 24(2):61-67.
- [43] Xu K, Fu G, Tong Q, et al. Biolimus-coated balloon in small-vessel coronary artery disease: the BIO-RISE CHINA Study[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2022, 15(12):1219-1226.