

• 综述 •

腔内影像技术在冠状动脉疾病诊治中的应用研究进展

乔斌超¹ 陈小平² 司妮璐¹ 蔺新红¹ 贾永平³

[摘要] 腔内影像技术较传统冠状动脉(冠脉)造影可以更加准确评估冠脉内结构、明确斑块特征和病变类型,是指导及优化经皮冠脉介入治疗的重要辅助工具。随着腔内影像技术的不断发展,其已被广泛应用于冠脉病变的介入诊治中。本文基于国内外临床研究和指南建议,就腔内影像技术在冠脉疾病诊治中的应用研究进展进行综述。

[关键词] 腔内影像;经皮冠状动脉介入治疗;功能性评估

DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2024.08.003

[中图分类号] R541.4 **[文献标志码]** A

Research progress in the intraluminal imaging technology in the diagnosis and treatment of coronary artery diseases

QIAO Binchao¹ CHEN Xiaoping² SI Nilu¹ LIN Xinhong¹ JIA Yongping³

(¹The First Clinical Medical College of Shanxi Medical University, Taiyuan, 030001, China;

²Department of Cardiology, Taiyuan Hospital, Peking University First Hospital; ³Department of Cardiology, The First Hospital of Shanxi Medical University)

Corresponding author: JIA Yongping, E-mail: jyp1022@126.com

Abstract Intraluminal imaging technology can more accurately assess the internal structure of coronary arteries, clarify plaque characteristics and lesion types compared to traditional coronary angiography, and is an important auxiliary tool for guiding and optimizing percutaneous coronary intervention treatment. With the continuous development of intraluminal imaging technology, it has been widely used in the interventional diagnosis and treatment of coronary artery lesions. This article reviews the progress in the application of intraluminal imaging technology in the diagnosis and treatment of coronary artery diseases based on clinical research and guideline recommendations at home and abroad.

Key words intracavitary imaging; percutaneous coronary intervention; functional evaluation

目前经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)仍是冠状动脉(冠脉)疾病治疗的主要手段,但传统二维的冠脉造影(coronary angiography, CAG)无法准确评估斑块性质、复杂病变,指导并优化 PCI 效果。近年来随着腔内影像技术的快速发展,很大程度上弥补了 CAG 的不足。血管内超声(intravascular ultrasound, IVUS)和光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)通过其极高的分辨率,能够清楚地显示冠脉内结构,明确斑块性质及病变类型,并可以精准指导及优化 PCI,现已广泛应用于冠脉内病变的介入诊治^[1]。现就腔内影像技术在冠脉疾病诊治中的应用研究进展予以综述。

1 腔内影像技术

IVUS 是将安装有微型超声换能器的导管插入血管腔内,根据超声波原理对冠脉横截面产生反射图像,其轴向分辨率为 100 μm ,横向分辨率为 250 μm 。IVUS 换能器包括机械式旋转和固态(电子相控阵)两种类型。随后开发的虚拟组织学 IVUS 以传统灰阶 IVUS 为基础,根据斑块组织回声的不同进行模拟显像,结合标注的不同颜色,从而准确区分 4 种组织类型:绿色代表纤维成分、黄色代表纤维脂质成分、白色代表钙化及红色代表坏死核心,使得 IVUS 能够更加直观地对斑块内成分进行定量和定性分析^[2]。

OCT 则是将带有红外线的成像导管通过导丝送至血管腔内,根据光学成像原理来获取冠脉横截面图像,其轴向分辨率为 10 μm ,横向分辨率为 25 μm 。相较于 IVUS, OCT 的分辨率更高,能够清晰地显示冠脉内情况,特别是在识别富脂斑

¹山西医科大学第一临床医学院(太原,030001)

²北京大学第一医院太原医院心内科

³山西医科大学第一医院心内科

通信作者:贾永平, E-mail: jyp1022@126.com

块、纤维斑块及钙化斑块方面更优于 IVUS^[3]。但 OCT 组织穿透力较差,需要通过注射造影剂排空血液,可能会加重肾功能不全;而 IVUS 穿透力较

强,其评价冠脉血管壁结构较 OCT 效果好^[4]。由此可见,IVUS 和 OCT 在冠脉内的应用各有优势和局限性。IVUS 与 OCT 的比较见表 1。

表 1 IVUS 与 OCT 的比较
Table 1 Comparison between IVUS and OCT

技术手段	IVUS	OCT
成像原理	超声波反射	红外光反射
分辨率	低	高,约为 IVUS 的 10 倍
组织穿透性	强,8~10 mm	弱,1~2 mm
回撤速度	慢,1 mm/s	快,25 mm/s
造影剂	不需要	需要
识别斑块特征	斑块负荷、衰减斑块、低回声斑块	纤维斑块、脂质斑块、钙化斑块
主要应用	左主干病变、开口病变、分叉病变、慢性完全闭塞、合并肾功能不全	血栓、夹层、支架膨胀、支架贴壁、支架内膜异位性、分叉病变

由于单一的 IVUS 或 OCT 难以充分提供冠脉血管壁与斑块完整的形态学和组织学信息。利用二者互补性,融合 IVUS 和 OCT 形成了二者的多模态腔内影像技术。最早由 Li 等^[5]进行的初步体外成像显示,使用混合 IVUS-OCT 导管对冠脉粥样硬化成像是可行的。2018 年 Sheth 等^[6]报道了使用 IVUS-OCT 混合系统的首次体内成像,证明了两种成像方式在评估冠脉病变和指导介入方面的协同能力。另外由国内于波教授牵头的 IVUS-OCT 一体机已于 2022 年 5 月正式获批上市,并于同年 9 月完成全球首例应用 IVUS-OCT 一体机全程指导下心脏支架植入手术。PANOVISION 研究^[7]通过对 100 例接受 PCI 植入支架患者应用 IVUS-OCT 混合成像系统发现,混合成像系统的每种成像方式均能在支架植入后提供清晰的血管内图像,而不会引发与手术相关的不良事件;首次证实 IVUS-OCT 混合成像系统的可行性和安全性。融合成像技术的出现不仅为介入医师提供了更全面的腔内影像及血管壁的组织学形态学信息,更有助于指导及优化治疗策略,减轻整体医疗负担。

目前,腔内影像技术除了 IVUS 和 OCT,还包括近红外光谱(near infrared spectroscopy,NIRS),其通过分析近红外光在冠脉壁上的反射光谱来检测脂质成分,并通过脂质核心负荷指数(lipid core burden index,LCBI)和任何 4 mm 节段最大 LCBI(maxLCBI 4 mm)对脂质积累进行量化^[8]。虽然 NIRS 本身空间分辨率不高,无法清晰显示管腔内结构,但其可以直接且准确地识别腔内脂质核心位置并量化斑块内脂质负荷,这点已在冠脉尸检结果中得到验证^[9]。

2 腔内影像技术评估急性冠脉综合征易损斑块
冠脉易损斑块破裂继发急性血栓形成是大多

数急性冠脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)发生的主要病理机制,而通过腔内影像技术发现斑块侵蚀、钙化结节也可导致血栓形成^[10]。在评估易损斑块特征方面不同的腔内影像技术略有差异。IVUS 主要用于评估血管壁结构和斑块负荷,而 OCT 则能够检测易损斑块的重要形态特征,如薄纤维帽、大的脂质核心、巨噬细胞聚集、胆固醇结晶和斑块内出血^[11]。

最早由 Stone 等^[12]通过使用 IVUS 检测冠脉非罪犯血管中易损斑块发现,斑块负荷 $\geq 70\%$ 、最小管腔面积(minimum lumen area, MLA) $\leq 4.0 \text{ mm}^2$ 和薄纤维帽粥样硬化斑块与主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular events, MACE)的发生显著相关。PROSPECT II 研究^[13]纳入 898 例心肌梗死患者的非罪犯病变进行 IVUS,发现斑块负荷 $\geq 70\%$ 是 MACE 的独立预测因子。另一项对 1 497 例冠脉病变患者行 IVUS 检查的观察性研究表明,衰减或低回声斑块进展的患者更易患有 ACS,进一步增加了 MACE 的发生率^[14]。

临床上多使用 OCT 来评估 ACS 患者斑块破裂和侵蚀。国内于波教授团队进行的 EROSION 研究^[15],通过使用 OCT 评估由斑块侵蚀致管腔狭窄 $< 70\%$ 的 ACS 患者,表明选择抗血栓治疗而未植入支架是安全可行的。另有 CLIMA 研究^[16]通过 OCT 评估 1 003 例左前降支动脉粥样硬化患者,发现具有包括纤维帽厚度 $< 75 \mu\text{m}$ 、MLA $< 3.5 \text{ mm}^2$ 、脂质核心弧度 $> 180^\circ$ 及巨噬细胞聚集在内的高危斑块特点时,患者的主要临床终点事件风险增加,且同时存在以上 4 种特点患者 MACE 发生风险是无这些特点的 7.54 倍。考虑到不同腔内影像技术的优势,Liu 等^[17]联合使用 IVUS 和 OCT 对 56 例非罪犯血管的易损斑块进行评估,发

现与小型易损斑块(斑块负荷 $<70\%$)相比,大型易损斑块(斑块负荷 $\geq 70\%$)的平均斑块面积较大、MLA较小,表现为血管收缩,且随访期间出现了MACE。因此,利用不同腔内影像技术的优点评估易损斑块特征可以帮助临床医生为ACS患者选择最佳治疗方案。

3 腔内影像技术评估钙化病变

冠脉钙化病变是支架膨胀不全而引起临床疗效不佳的常见原因。腔内影像技术的应用可以高效评估钙化特点、选择合适的介入策略并预测支架膨胀情况。有研究显示,IVUS对钙化病变的检测灵敏度可达 90% ,可以识别钙化病变的位置和范围,但因其不能穿透钙化而无法计算其厚度^[18];而OCT以光学为基础能够穿透钙化病变,测量其弧度、厚度和长度。Fujino等^[19]使用OCT对133例患者支架前后进行钙化评分发现,钙化最大弧度 $>180^\circ$ 、最大长度 $>5\text{ mm}$ 及厚度 $>0.5\text{ mm}$ 的病变可能存在支架膨胀不全的风险。但该评分系统只反映了单个横截面内的钙化分布情况,无法考虑管腔的原始大小。基于此,Ma等^[20]使用OCT量化了靶病变的钙化负荷、面积和体积,发现与基于CAG的钙化分级相比,OCT测量的钙化负荷、面积和体积更有利于预测支架膨胀不全,提示使用OCT可以识别支架膨胀不全的高危患者。

此外,钙化病变也容易导致支架贴壁不良。Kyodo等^[21]使用OCT评估52例因冠脉严重钙化病变行冠脉内旋磨及支架植入术患者支架扩张和贴壁情况的观察性研究发现,支架贴壁不良的发生率高达 98% ,并且在11例有连续OCT图像的病变中发现 82% 病变处支架膨胀不全持续存在。由此可见,钙化病变的存在,特别是严重的钙化病变增加了PCI的难度、风险及效果。因而对于中重度钙化病变推荐使用IVUS或OCT进行评估,进而选择不同的预处理策略以提高患者临床预后^[22]。

4 腔内影像技术评估分叉病变

目前针对冠脉分叉病变,仍然存在如何定义区分低危人群和选择最佳处理技术等争议。近年来陆续有研究证实基于IVUS和OCT的腔内影像技术可以明确分叉病变的解剖特点以及病变的策略选择。有研究表明,针对慢性肾功能不全患者的左主干分叉病变使用IVUS指导行无需造影剂的PCI是安全可行的^[23]。Yoon等^[24]在IVUS指导下对255例左主干病变患者行单支架植入后球囊扩张发现,IVUS的使用可以显著降低左主干分叉病变患者MACE的发生。此外对于非左主干分叉病变, Kim等^[25]纳入487例患者分别行CAG和IVUS指导的PCI,结果显示IVUS指导下PCI有助于减少心肌梗死或死亡的发生率,从而改善患者长期临床预后。因此,在对分叉病变PCI时可使用

IVUS检查,尤其是在左主干分叉病变中,以确定解剖结构和决定治疗策略。

随着对OCT研究的不断深入,指南推荐其也可以指导分叉病变PCI^[26]。RENOVATE-COMPLEX-PCI研究^[27]显示,对于复杂分叉病变患者,腔内影像技术指导PCI较CAG指导的MACE发生风险更低(7.7% vs 12.3%),然而该研究未对腔内影像技术指导分叉病变PCI进行详细的规则制定。在2023年欧洲心脏病学会(European Society of Cardiology, ESC)大会上,一项迄今首个探索规范化使用OCT指导复杂分叉病变PCI的随机对照研究OCTOBER研究^[28],将1201例复杂分叉病变患者分为OCT与CAG指导组,中位随访2年后发现,OCT指导组MACE的发生率显著低于CAG指导组(10.1% vs 14.1%),表明使用OCT指导分叉病变PCI相较于传统CAG指导安全性更高,术后患者可获得更佳的临床预后。尽管既往多项研究提示OCT有助于优化分叉病变PCI,但OCTOBER研究不仅对OCT在分叉病变PCI中的使用做出详细的规则制定,包括检查时机、支架优化及治疗策略等,其结果也进一步证实了OCT指导优化有助于改善患者预后。因此临床实践中应该考虑在分叉病变PCI中常规使用OCT标准流程指导,以达到改善手术预后目的。

5 腔内影像技术指导及优化PCI

5.1 支架植入

目前临床实践中应用最多的腔内影像技术IVUS和OCT指导PCI,在2018年ESC/EACTS心肌血运重建指南和2021年ACC/AHA/SCAI冠脉血运重建指南中均为IIa类推荐^[29-30],建议使用IVUS/OCT优化支架植入。越来越多的研究表明,相较于CAG指导的PCI,腔内影像技术指导PCI可以显著优化支架植入后效果以及降低MACE发生风险^[27,31-32]。ULTIMATE研究^[33]共纳入1448例植入支架患者,分为IVUS与CAG指导组,结果显示与CAG组相比,IVUS指导PCI可减少1年后靶血管的失败率(2.9% vs 5.4%),且临床驱动的靶病变血运重建或明确的支架内血栓形成在IVUS指导下降低(1.2% vs 2.6%),表明IVUS指导下的支架植入术能显著改善患者的临床预后,尤其对于采用IVUS定义的最佳手术患者。

2023年ESC大会上发布的两项重磅随机研究ILUMIEN IV研究^[34]和OCTIVUS研究^[35]更是为腔内影像技术精准指导及优化PCI提供了临床证据。ILUMIEN IV研究纳入2487例患糖尿病或复杂病变的患者,随机分为OCT指导组和CAG指导组。主要终点显示,OCT指导PCI术后最小支架面积显著高于CAG指导 $[(5.72 \pm 2.04)\text{ mm}^2 \text{ vs}]$

(5.36 ± 1.87) mm^2];随访2年两组靶血管失败率未见明显差异(7.4% vs 8.2%),可能与两组靶血管血运重建率均较低且几乎相同(1.4% vs 1.6%)及新冠疫情对纳入人数的影响有关。安全性终点显示,OCT指导组支架内血栓、手术并发症发生率较CAG组更低(0.5% vs 1.4%;3.6% vs 5.3%)。此外,OCT指导组在支架贴壁不良、大夹层、大的组织脱垂等并发症发生方面均低于CAG组。研究结果更加凸显了OCT指导复杂PCI的临床安全性优势。OCTIVUS研究旨在比较OCT与IVUS指导PCI临床事件的终点差异,将2008例接受支架植入患者随机分为IVUS指导组和OCT指导组。结果证实OCT指导不同冠脉病变PCI手术在1年靶血管失败事件发生率方面不劣于IVUS指导(2.5% vs 3.1%),提示在临床实践中,常规应用OCT指导PCI是安全且有效的选择。以上研究结果表明,IVUS和OCT两种腔内影像工具指导及优化PCI对改善患者长期预后具有重要作用。

5.2 药物涂层球囊

作为PCI的另一种有效策略药物涂层球囊(drug coated balloon, DCB)通过快速释放抗增殖药物至冠脉血管壁而不存在永久性植入物,真实反映“介入无植入”理念,现已成为治疗支架内再狭窄(in-stent restenosis, ISR)、分叉病变以及冠脉小血管病变的一种新方法^[36-38]。由于DCB对病变及预处理要求较高,而传统的CAG在评估管腔内情况、病变性质及特点方面效果不佳,腔内影像技术的出现及应用能够明确病变性质,测量病变大小和管腔面积,指导预处理及DCB的选择,有助于降低残余狭窄、严重夹层及急性血管闭塞的风险。

Kim等^[39]通过OCT评估67例DCB治疗ISR患者的新生内膜特征发现,DCB治疗前均质和分层新生内膜在治疗后大多表现为均质,而异质新生内膜在治疗前后大多保持不变,且病变疗效和患者生存率显著低于非异质新生内膜。另有Lee等^[40]同样使用OCT观察DCB治疗ISR病变发现,异质性新生内膜病变的MACE发生率明显高于非异质性新生内膜病变。因此在行DCB治疗时腔内影像技术可以帮助选择适合的病变。此外,DCB治疗会不可避免地引起冠脉夹层,腔内影像技术特别是拥有高分辨率的OCT在识别夹层时优势更为明显。Her等^[41]使用OCT评估21例行DCB治疗的冠脉病变发现,所有病变均可见夹层,而CAG仅发现2例。ILUMIEN III研究^[42]显示,OCT发现支架边缘夹层较IVUS至少高出3倍。由此看来,无论是ISR或是夹层,在腔内影像技术的选择上OCT应用最多,但同时也要重视IVUS在评估病变血管壁、斑块负荷、左主干PCI及慢性肾功能不全病变方面的优势,这在一定程度上提示腔内影像

技术在指导DCB治疗策略方面仍值得更多研究去发掘总结。

6 腔内影像技术与冠脉功能学评估

目前临床上主要根据CAG及腔内影像技术评估冠脉狭窄程度,然而血管狭窄病变,特别是中度狭窄的临界病变对所供心肌区域血流功能学的影响无法获得。因此冠脉功能学评估应运而生,其中以指南Ia类推荐的血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)应用最多^[30,43-44]。FLAVOUR研究^[45]探讨了FFR或IVUS指导PCI策略在临床结局方面的性别差异。共纳入1619例冠脉中度狭窄患者(30%为女性),研究结果显示,与男性相比,女性的MLA、斑块负荷较小,FFR较高;但女性的PCI成功率较低,主要归因于FFR指导的PCI而非IVUS指导。此外无论性别如何,FFR和IVUS指导的PCI策略临床结局相似。Koo等^[46]将1682例冠脉中度狭窄患者分为FFR指导组和IVUS指导组,结果显示与IVUS组相比,FFR组患者行PCI比例及MACE发生率均较低(44.4% vs 65.3%;8.1% vs 8.5%),提示临床实践中对于冠脉中度狭窄患者可优先考虑在FFR指导下行PCI。但也有部分研究(如FORZA研究^[47])认为FFR指导临界病变PCI相较于腔内影像技术指导并未明显改善患者临床预后,因此仍需要大量临床研究进一步评价两者的优劣。

另外,近年来,基于腔内影像技术衍生的FFR方法被开发并逐渐应用于临床。包括基于OCT的FFR(optical coherence tomography derived FFR, OFR)和基于IVUS的FFR(intravascular ultrasound derived FFR, UFR)。2018年由国内涂圣贤教授团队完成首例OFR评估,其结果显示测量相同病变的OFR值与FFR值结果相近(0.86 vs 0.85)^[48]。随后Yu等^[49]以 $\text{FFR} \leq 0.80$ 为标准,使用OFR对118例患者共125条冠脉血管进行分析,结果显示OFR对心肌缺血的诊断准确率为90%。一项前瞻性研究结果同样发现,OFR与FFR高度相关($r=0.83$);OFR诊断心肌缺血准确率达93%,敏感性和特异性分别为92%和93%^[50]。另有一项回顾性研究对比了94例患者共167条血管的UFR和FFR,结果显示UFR与FFR显著正相关($r=0.87$),且UFR鉴别 $\text{FFR} \leq 0.80$ 的诊断准确性、敏感性及特异性分别为92%、91%及96%^[51]。以上结果表明,使用OFR、UFR对心肌缺血功能性评估整体诊断效能较好。但目前关于OFR和UFR的临床研究仍较少且多为小样本回顾性研究,因此需要大规模前瞻性研究进一步验证。

7 小结与展望

经过20多年的探索和实践,腔内影像技术逐

渐成为辅助临床医师完成介入诊治的重要工具,并已被广泛应用于研究冠脉疾病,指导及优化 PCI。随着关于腔内影像技术指导 PCI 的大型临床研究的不断发布,更是为其在冠脉病变中的普及和应用、精准指导及优化 PCI、改善患者临床预后提供了丰富且极具说服力的循证支持,推荐等级有望从 IIa 到 I 类推荐。IVUS 和 OCT 孰轻孰重目前尚无定论,但对指导 PCI 价值优于传统 CAG 指导毋庸置疑。此外,腔内影像技术结合冠脉功能学评估从多角度分析进一步提高了心肌缺血、临界病变的准确性,但其临床收益和医疗成本方面仍需进一步研究。总之,腔内影像技术指导下的精准 PCI 是未来冠脉疾病介入诊治方面的必然趋势,期待可以为更多患者带来获益。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 霍勇,郑博,刘耀琨. 冠心病介入诊疗最新临床研究进展[J]. 临床心血管病杂志, 2023, 39(5): 327-331.
- [2] Olender ML, Athanasiou LS, Michalis LK, et al. A domain enriched deep learning approach to classify atherosclerosis using intravascular ultrasound imaging [J]. IEEE J Sel Top Signal Process, 2020, 14(6): 1210-1220.
- [3] Roland R, Veselka J. Optical coherence tomography of the coronary arteries [J]. Int J Angiol, 2021, 30(1): 29-39.
- [4] Baruš P, Modrzewski J, Gumięzna K, et al. Comparative appraisal of intravascular ultrasound and optical coherence tomography in invasive coronary imaging: 2022 update [J]. J Clin Med, 2022, 11(14): 4055.
- [5] Li BH, Leung AS, Soong A, et al. Hybrid intravascular ultrasound and optical coherence tomography catheter for imaging of coronary atherosclerosis [J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2013, 81(3): 494-507.
- [6] Sheth TN, Pinilla-Echeverri N, Mehta SR, et al. First-in-human images of coronary atherosclerosis and coronary stents using a novel hybrid intravascular ultrasound and optical coherence tomographic catheter [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2018, 11(23): 2427-2430.
- [7] Jia H, Zhao C, Yu H, et al. Clinical performance of a novel hybrid IVUS-OCT system: a multicentre, randomised, non-inferiority trial (PANOVISION) [J]. Euro Intervention, 2023, 19(4): e318-e320.
- [8] Kubo T, Terada K, Ino Y, et al. Combined use of multiple intravascular imaging techniques in acute coronary syndrome [J]. Front Cardiovasc Med, 2022, 8: 824128.
- [9] Madder RD, Goldstein JA, Madden SP, et al. Detection by near-infrared spectroscopy of large lipid core plaques at culprit sites in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2013, 6(8): 838-846.
- [10] Bergmark BA, Mathenge N, Merlini PA, et al. Acute coronary syndromes [J]. Lancet, 2022, 399(10332): 1347-1358.
- [11] van Veelen A, van der Sangen N, Henriques J, et al. Identification and treatment of the vulnerable coronary plaque [J]. Rev Cardiovasc Med, 2022, 23(1): 39.
- [12] Stone GW, Maehara A, Lansky AJ, et al. A prospective natural-history study of coronary atherosclerosis [J]. N Engl J Med, 2011, 364(3): 226-235.
- [13] Erlinge D, Maehara A, Ben-Yehuda O, et al. Identification of vulnerable plaques and patients by intracoronary near-infrared spectroscopy and ultrasound (PROSPECT II): a prospective natural history study [J]. Lancet, 2021, 397(10278): 985-995.
- [14] Shishikura D, Kataoka Y, Di Giovanni G, et al. Progression of ultrasound plaque attenuation and low echogenicity associates with major adverse cardiovascular events [J]. Eur Heart J, 2020, 41(31): 2965-2973.
- [15] 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.
- [16] Prati F, Romagnoli E, Gatto L, et al. Relationship between coronary plaque morphology of the left anterior descending artery and 12 months clinical outcome: the CLIMA study [J]. Eur Heart J, 2020, 41(3): 383-391.
- [17] Liu X, Sun C, Tian J, et al. Shrinkage as a potential mechanism of recurrent clinical events in patients with a large vulnerable plaque [J]. J Cardiovasc Med (Hagerstown), 2019, 20(8): 518-524.
- [18] Zaidan M, Alkhalil M, Alaswad K. Calcium modification therapies in contemporary percutaneous coronary intervention [J]. Curr Cardiol Rev, 2022, 18(1): e281221199533.
- [19] Fujino A, Mintz GS, Matsumura M, et al. A new optical coherence tomography-based calcium scoring system to predict stent underexpansion [J]. Euro Intervention, 2018, 13(18): e2182-e2189.
- [20] Ma W, Wang Q, Wang B, et al. Novel predictors of stent under-expansion regarding calcified coronary lesions assessed by optical coherence tomography [J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2022, 99 Suppl 1: 1473-1481.
- [21] Kyodo A, Okura H, Okamura A, et al. Incidence and characteristics of incomplete stent apposition in calcified lesions: an optical coherence tomography study [J]. Cardiovasc Revasc Med, 2022, 41: 55-60.
- [22] 王伟民, 霍勇, 葛均波. 冠状动脉钙化病变诊治中国专家共识(2021 版) [J]. 中国介入心脏病学杂志, 2021, 29(5): 251-259.
- [23] Kumar P, Jino B, Roy S, et al. Absolute zero-contrast percutaneous coronary intervention under intravascular ultrasound guidance in chronic kidney disease pa-

- tients-From despair to hope? [J]. *Int J Cardiol Heart Vasc*, 2022, 40: 101052.
- [24] Yoon JY, Lee JH, Choi H, et al. Impact of intravascular ultrasound and final kissing balloon dilatation on long-term clinical outcome in percutaneous revascularization with 1-stent strategy for left main coronary artery stenosis in drug-eluting stent era[J]. *Coron Artery Dis*, 2022, 31(1): 9-17.
- [25] Kim JS, Hong MK, Ko YG, et al. Impact of intravascular ultrasound guidance on long-term clinical outcomes in patients treated with drug-eluting stent for bifurcation lesions: data from a Korean multicenter bifurcation registry[J]. *Am Heart J*, 2011, 161(1): 180-187.
- [26] Takagi K, Nagoshi R, Kim BK, et al. Efficacy of coronary imaging on bifurcation intervention[J]. *Cardiovasc Interv Ther*, 2021, 36(1): 54-66.
- [27] Lee JM, Choi KH, Song YB, et al. Intravascular imaging-guided or angiography-guided complex PCI[J]. *N Engl J Med*, 2023, 388(18): 1668-1679.
- [28] Holm NR, Andreasen LN, Neghabat O, et al. OCT or angiography guidance for PCI in complex bifurcation lesions[J]. *N Engl J Med*, 2023, 389(16): 1477-1487.
- [29] Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization[J]. *Eur Heart J*, 2019, 40(2): 87-165.
- [30] 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.
- [31] 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): e004813.
- [32] Hong SJ, Mintz GS, Ahn CM, et al. Effect of intravascular ultrasound-guided drug-eluting stent implantation: 5-year follow-up of the IVUS-XPL Randomized Trial[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(1): 62-71.
- [33] Zhang J, Gao X, Kan J, et al. Intravascular ultrasound versus angiography-guided drug-eluting stent implantation: The ULTIMATE Trial[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 72(24): 3126-3137.
- [34] Ali ZA, Landmesser U, Maehara A, et al. Optical coherence tomography-guided versus angiography-guided PCI[J]. *N Engl J Med*, 2023, 389(16): 1466-1476.
- [35] Kang DY, Ahn JM, Yun SC, et al. Optical coherence tomography-guided or intravascular ultrasound guided percutaneous coronary intervention: The OCTIVUS Randomized Clinical Trial[J]. *Circulation*, 2023, 148(16): 1195-1206.
- [36] Kleber FX, Rittger H, Ludwig J, et al. Drug eluting balloons as stand alone procedure for coronary bifurcational lesions: results of the randomized multicenter PEPCAD-BIF trial[J]. *Clin Res Cardiol*, 2016, 105(7): 613-621.
- [37] Jeger RV, Farah A, Ohlow MA, et al. Drug-coated balloons for small coronary artery disease (BASKET-SMALL 2): an open-label randomised non-inferiority trial[J]. *Lancet*, 2018, 392(10150): 849-856.
- [38] 陈韵岱, 邱春光, 唐强, 等. 药物涂层球囊临床应用中国专家共识(第二版)[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2023, 31(6): 413-426.
- [39] Kim HO, Jung HW, Lee JH, et al. Neointima characteristics as a prognostic marker for drug-coated balloon angioplasty in patients with in-stent restenosis: an optical coherence tomography study[J]. *Coron Artery Dis*, 2020, 31(8): 694-702.
- [40] Lee JH, Jung HW, Kim JS, et al. Different neointimal pattern in early vs. late in-stent restenosis and clinical outcomes after drug-coated balloon angioplasty-an optical coherence tomography study[J]. *Circ J*, 2018, 82(11): 2745-2752.
- [41] Her AY, Shin ES, Chung JH, et al. Plaque modification and stabilization after paclitaxel-coated balloon treatment for de novo coronary lesions[J]. *Heart Vessels*, 2019, 34(7): 1113-1121.
- [42] Ali ZA, Maehara 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.
- [43] 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.
- [44] Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes[J]. *Eur Heart J*, 2020, 41(3): 407-477.
- [45] Zhang J, Jiang J, Hu X, et al. Sex Differences in Fractional Flow Reserve or Intravascular Ultrasound-Guided Percutaneous Coronary Intervention[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2023, 16(19): 2426-2435.
- [46] 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.
- [47] 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.

左心室辅助装置植入同期干预主动脉瓣反流的现状与研究进展*

王志华¹ 胡俊龙¹ 程兆云¹

[摘要] 主动脉瓣反流(aortic regurgitation, AR)是终末期心力衰竭(心衰)患者接受左心室辅助装置(left ventricular assist device, LVAD)植入前评估和植入后管理的重要考虑因素。AR可在LVAD植入前即存在,也可在LVAD支持期间出现。AR通常是一种进行性疾病,可导致LVAD疗效降低和再发心衰症状。越来越多的研究显示,严重的AR会导致LVAD患者的血流动力学恶化、再入院率和死亡率增加。本文就接受LVAD植入的终末期心衰患者合并AR的发生率、病理生理学、危险因素、手术时机及方式、手术预后及指南、术后预防及管理的现状与研究进展进行综述。

[关键词] 心力衰竭;左心室辅助装置;主动脉瓣反流;手术干预

DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2024.08.004

[中图分类号] R541.6 **[文献标志码]** A

Current status and research progress of left ventricular assist device implantation with concomitant intervention of aortic regurgitation

WANG Zhihua HU Junlong CHENG Zhaoyun

(Department of Cardiac Surgery, Central China Fuwai Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou, 451464, China)

Corresponding author: CHENG Zhaoyun, E-mail: Chengzhy@zzu.edu.cn

Abstract Aortic regurgitation(AR) is an important consideration in the pre-implantation evaluation and post-implantation management of patients with end-stage heart failure undergoing left ventricular assist device (LVAD). AR can be pre-existing prior to LVAD implantation or present during LVAD support. AR is usually a progressive disease that can lead to reduced LVAD efficacy and recurrent heart failure symptoms. A growing number of studies have shown that significant AR leads to hemodynamic deterioration, increased readmission rates and mortality in patients with LVAD. This review updated the progress in the incidence, pathophysiology, risk factors, timing and method of surgery, surgical prognosis and guidelines, and postoperative prevention and management of comorbid AR in patients with end-stage heart failure who underwent LVAD implantation.

Key words heart failure; left ventricular assist device; aortic regurgitation; surgical intervention

主动脉瓣反流(aortic regurgitation, AR)是终末期心力衰竭(心衰)患者接受左心室辅助装置

(left ventricular assist device, LVAD)植入前评估和植入后管理的重要考虑因素^[1-2]。LVAD的生理功能对于主动脉瓣的结构和功能具有重要影响^[3]。AR可在LVAD植入前即存在,也可在LVAD支持期间出现^[4]。AR通常是一种进行性疾病,其严重程度和发病率会随LVAD支持时间的增加而增加,可

*基金项目:河南省重点研发专项(No:221111310300);河南省医学科技攻关计划项目(No: LHGJ20220111、SBGJ202101005)

¹郑州大学华中阜外医院心外科(郑州,451464)

通信作者:程兆云, E-mail: Chengzhy@zzu.edu.cn

引用本文:王志华,胡俊龙,程兆云.左心室辅助装置植入同期干预主动脉瓣反流的现状与研究进展[J].临床心血管病杂志,2024,40(8):623-627. DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2024.08.004.

[48] Tian F, Yu W, Huang J, et al. First presentation of integration of intravascular optical coherence tomography and computational fractional flow reserve[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2019, 35(4):601-602.

[49] Yu W, Huang J, Jia D, et al. Diagnostic accuracy of intracoronary optical coherence tomography-derived fractional flow reserve for assessment of coronary stenosis severity[J]. Euro Intervention, 2019, 15(2):189-197.

[50] Gutiérrez-Chico JL, Chen Y, Yu W, et al. Diagnostic

accuracy and reproducibility of optical flow ratio for functional evaluation of coronary stenosis in a prospective series[J]. Cardiol J, 2020, 27(4):350-361.

[51] Yu W, Tanigaki T, Ding D, et al. Accuracy of intravascular ultrasound-based fractional flow reserve in identifying hemodynamic significance of coronary stenosis [J]. Circ Cardiovasc Interv, 2021, 14(2):e009840.

(收稿日期:2023-09-17)