

·综述 General review·

腔内影像技术指导下的 PCI 精准治疗策略研究进展

王 玲, 金晓雪, 刘德敏, 崔 炜

【摘要】 腔内影像学作为三维成像,较二维的冠状动脉造影更能准确地反映血管腔内结构及识别病变斑块的性质,因此有助于介入术前支架或球囊类型和置入部位的选择,指导不同类型病变合理的预处理方式,并证实可以优化左主干及慢性完全性闭塞病变介入治疗的策略,最终减少并发症及不良事件的发生。本综述从国内外循证医学证据和指南的角度,介绍了冠脉介入治疗腔内影像学研究在优化经皮冠状动脉介入治疗中的最新进展。

【关键词】 冠心病;经皮冠状动脉介入治疗;血管内超声;光学相干断层成像

中图分类号:R541.4 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2023)-08-0816-05

Research progress in precise treatment strategies for PCI under the guidance of intraluminal imaging technology WANG Lin, JIN Xiaoxue, LIU Demin, CUI Wei. Department of Cardiology, Second Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang, Hebei Province 050000, China

Corresponding author: CUI Wei, E-mail: cuiweihb2h@163.com

【Abstract】 As a three-dimensional imaging, intracavitary imaging can not only more accurately display the structure of the vascular lumen but also more precisely identify the nature of the lesion plaque when compared with two-dimensional imaging of coronary angiography. Therefore, three-dimensional imaging is very helpful in selecting the proper type of stent or balloon as well as in determining the suitable implantation site before percutaneous coronary intervention(PCI) treatment. It can also be used to guide the rational pretreatment for different types of lesions, to optimize the interventional treatment strategy for the left main coronary artery occlusion and chronic complete occlusive lesions of coronary arteries, and to reduce the occurrence of complications and adverse events. This review, from the perspective of evidence-based medical evidences and guidelines at home and abroad, presents the latest advances in the intraluminal imaging researches of PCI for the optimization of PCI strategies. (J Intervent Radiol, 2023, 32: 816-820)

【Key words】 coronary heart disease; percutaneous coronary intervention; intravascular ultrasound; optical coherence tomography

冠状动脉造影是为人熟知评估冠脉解剖的影像学手段,并在此基础之上用于引导经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention,PCI),但二维管腔影像并不能直接评估血管的实际尺寸、斑块特征和支架植入的效果。血管内超声(intravascular ultrasound,IVUS)、光学相干断层成像(optical coherence tomography,OCT)和近红外光谱成像等腔内影像技术应运而生,以弥补冠状动脉造

影的不足。与冠状动脉造影相比,腔内影像技术因其更清晰的分辨率,能实时反映血管内结构,明确病变斑块的负荷、类型和形态,精准地指导PCI,并优化冠状动脉支架置入后近期和远期效果^[1-2]。

1 腔内影像技术在急性冠状动脉综合征血栓的识别和预处理中的应用

斑块破裂以及侵蚀是属于急性冠状动脉综合

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2023.08.019

基金项目:国家自然科学基金(82100301),河北省自然科学基金精准医学联合基金培育项目(H2021206220),河北省医学科学重点科技研究计划(20220989)

作者单位:050000 河北石家庄 河北医科大学第二医院心内科

通信作者:崔 炜 E-mail: cuiweihb2h@163.com

征(acute coronary syndrome, ACS)主要的两种表现形态,由易损性斑块继发下所形成的的血栓是 ACS 发病多见且重要的病理机制之一^[3]。此外,在一些尸检报告的研究中也已经揭示了 ACS 常见的三种病理机制,除了上述提及的斑块破裂、侵蚀还包括钙化结节^[4]。腔内影像技术可以显示不同的易损斑块特征,帮助术者选择最优的预处理策略,以降低主要不良心血管事件(major cardiovascular events, MACE)的发生。

2020 年 8 月发表的一项研究表明,IVUS 可以表征易损性斑块包括衰减性斑块和低回声斑块,并发现衰减性斑块/低回声斑块进展患者的 MACE 发生率高于无衰减性斑块/低回声斑块进展的患者(10.0%比 4.1%, $P<0.001$)^[5]。在最近一项 CLIMA 研究中纳入 1 003 例接受 OCT 检查左前降支并且也有冠脉造影指征的患者,发现 OCT 可通过测量最小管腔面积(minimum lumen area, MLA) $<3.5\text{ mm}^2$ 、纤维帽厚度 $<75\text{ }\mu\text{m}$ 、脂质核心角度 $>180^\circ$ 及巨噬细胞浸润来表征高危斑块,成为 MACE 的独立预测因素^[6]。富含脂质的斑块同样也是易损斑块的特征之一,近红外光谱成像可以通过分析冠状动脉斑块的近红外吸收特性来识别富含脂质的斑块并以每 4 mm 节段最大脂质核心负荷指数量化脂质积累^[4]。在 2021 年发表的 PROSPECT II 研究中,将近红外光谱与灰度超声一起使用,识别辨认来自 16 个临床研究中心患有 ST 段抬高型心肌梗死共计 898 例患者的非罪犯斑块,结果表明,同时具有斑块负荷大于且等于 70%和最大脂质核心负荷指数不小于 324.7 这两个特征的病变,其发生 MACE 的风险概率相较于其他病变表现可以远超 11 倍以上^[7]。未来的挑战在于寻找最佳的易损斑块检测方式和治疗方案。因此,Stone 等^[8]进行了名为 PROSPECT ABSORB 的试验性研究,结果发现,联合使用生物可吸收支架和指南指导的药物组患者 MLA 显著大于指南指导的药物组,且这两组的 MACE 发生率相差无几,该研究提示预防性 PCI 治疗非罪犯易损斑块是可行的。因此,合理的运用腔内影像技术有助于识别易损斑块以进一步指导不同 ACS 患者相应的药物和支架植入治疗。

2 腔内影像技术在钙化病变中的应用

钙化病变是导管室的“麻烦制造者”。Khalifa 等^[9]对 288 例使用 OCT 指导 PCI 的急性心肌梗死患者进行研究,将其分为斑块破裂、斑块侵蚀及钙化结

节组。结果显示钙化结节组患者术后最小支架面积(minimum stent area, MSA)最小,支架膨胀率最低,支架贴壁不良的发生率最高。因此,对于严重的钙化病变,应积极的预处理。Fujino 等^[10]在研究中发现最大钙角 $>180^\circ$ 的病灶中,钙化环出现裂隙较没有钙化断裂的病灶支架膨胀效果更佳。为了避免支架膨胀不足,对于 OCT 显示厚度 $<0.3\text{ mm}$ 的钙化环可以应用非顺应性、切割或者棘突球囊等进行高压扩张促使环形钙化断裂^[10]。而在 OCT 显示厚度为 0.4~0.5 mm 的环形钙化中单纯应用棘突球囊治疗也能实现钙化断裂^[11]。冠状动脉斑块旋磨术被建议应用于 OCT 提示最大角度 $>180^\circ$,最大长度 $>5\text{ mm}$,厚度 $>0.5\text{ mm}$ 的钙化病变来进行充分的预处理^[12]。

3 腔内影像学指导药物涂层球囊的应用

“介入无植入”理念的不断深入使得药物涂层球囊(drug-coated balloon, DCB)得到了人们的广泛关注。提及 DCB 治疗的重要步骤便是对病变行充分的预处理,然而,DCB 不同于对冠状动脉的病变及预处理措施要求较低的传统金属支架。为了制定与优化病变预处理策略,往往要借助腔内影像技术来清晰地显示管腔内情况,明确病变性质,因此其也被比作确保 DCB 介入治疗取得成功的“第三只眼”。

2018 欧洲指南及近年来一项 DCB 与药物洗脱支架对新生冠状动脉病变的随机非劣效性试验——BASKET SMALL 2 研究表明,DCB 适用于支架内再狭窄(in-stent restenosis, ISR)和冠状动脉小血管病变^[13-14]。Jung 等^[15]通过 OCT 对 ISR 的新生内膜组织进行形态学评估,发现 DCB 对异质型新生内膜 ISR 病变的疗效显著低于均质型新生内膜。因此,腔内影像学有助于精准地选择适用于 DCB 治疗的患者或靶血管。相较于单纯冠状动脉造影,腔内影像学更能明确斑块性质,因而可以达到优化病变预处理和指导球囊种类选择的目的。例如,血液流动缓慢、无复流等现象,容易因脂核成分较多加之拥有较薄纤维帽等特点的脂质斑块产生;并且发现相比于其他种类的斑块,夹层及血管闭塞的概率在 DCB 治疗后更高。因此当 DCB 预扩张时,若遇到此类病变要尽量避免施加的压力过大,并推荐在预扩张病变处使用不易滑脱移位的切割球囊,以减少并发症的发生^[16]。当普通的预扩球囊在扩张纤维或钙化斑块取得的效果不佳时,还可以选择棘突球囊或切割球囊来达到更好的预扩效果。同样进行腔内

影像学检查在 DCB 治疗术后也尤为重要,不可忽视。支架边缘夹层易被腔内影像学探识,其中 OCT 识辨夹层的能力显著高于 IVUS 被 ILUMIEN III 研究所证实,研究表明,IVUS 不及 OCT 所显示出支架边缘夹层发生率的 1/3^[17]。尽管现今在腔内影像学上依然并未有一致的论断,提示仍要续补支架的是何种夹层。但到目前为止较为公认的意见是,在 DCB 治疗后经腔内影像学发现中膜被夹层累及,或伴有壁内血肿出现等情况,血流因有入无出而持续不断地冲击血管壁,术后往往有较大的概率产生急性闭塞,支架置入补救术适用于这类夹层。

4 腔内影像学指导左主干介入治疗

与其他血管相比,左主干从主动脉窦发出时形成角度个体差异大。单纯冠状动脉造影无法对左主干病变的解剖进行精确分析,易造成误判,降低手术成功率,影响临床预后。2018 年欧洲血运重建指南推荐应用腔内影像学技术指导左主干 PCI,从而优化手术策略,减少并发症及不良事件的发生,进一步改善患者预后^[18]。

IVUS 因能识别支架与左主干开口的位置关系,所以在左主干开口病变中可以避免因开口覆盖不全而引起边缘效应的风险^[19]。不仅如此,IVUS 还可以通过精确的形态学数据指导病变处理的准备,优化支架尺寸,识别着陆区(斑块负荷<50%的区域),进而提高手术的成功率。临床上常通过 MLA 联合血管功能学指导血运重建^[20]。Kang 等^[21]在 IVUS 的指导下,还确定了与 ISR 风险相关左主干的 MSA 阈值,研究显示,左主干分叉病变术后 MSA 分别为:5.0 mm²(回旋支开口),6.3 mm²(前降支开口),7.2 mm²(分支汇合处),8.2 mm²(分支汇合处以上临近部位的左主干),即 5,6,7,8 原则。这同样也是欧洲分叉俱乐部指南推荐的标准^[22]。

在左主干病变中的 OCT 循证证据不多。Cortese 等^[23-24]的回顾性研究将 112 例远端左主干病变 PCI 患者的资料分为 OCT 指导下 PCI 治疗的实验组 55 例和非 OCT 指导下 PCI 治疗的对照组 57 例,6~12 个月后由随访发现,尽管 MACE 发生率两组类似,但术后对照组晚期丢失的管腔和内径窄小程度较实验组明显增加。前瞻性、多中心 LEMON 研究发现^[25],在接受左主干 OCT 指导下 PCI 的 70 例患者中,术中支架最佳膨胀例数占比高达 86%;术者在 OCT 指导下优化了 26% 支架植入术后患者的操作,此类患者无临床不良事件 12 个月的生存率不

低于 98.6%。因此在一定程度上表明,对除开口病变外的左主干中/远端病变行 OCT 指导的 PCI 是可以实行的。

2020 年发表在 JACC 子刊上的一项研究^[26],纳入和分析了英国心血管介入协会数据库中 11 264 例进行 PCI 术并且无保护左主干患者的临床数据,结果显示,使用腔内影像学(包括 OCT 和 IVUS)指导治疗的患者冠状动脉并发症和 MACE 的发生率降低,1 个月及 12 个月的生存率改善。另外,2020 年发表在 JAMA 上的一篇 Meta 分析研究结果显示,与造影指导相比,IVUS 指导优化支架植入可降低心血管死亡风险、心肌梗死、靶病变血运重建和支架血栓形成^[27]。

5 腔内影像学指导慢性完全性闭塞介入治疗

慢性完全性闭塞(chronic total occlusions, CTO)往往提示病变具有明显而复杂的特征,包括病变长度增加、高斑块负荷、严重钙化及负性远端血管重塑^[28]。在亚太 CTO 俱乐部制定的技术流程推荐中,IVUS 指导已被视为没有合适的前向内膜下再进入技术/逆向条件或失败后的选择。研究证明,IVUS 对于指导和优化 CTO-PCI 有着关键作用^[29]。

IVUS 对于 CTO-PCI 的辅助作用贯穿始终。首先,IVUS 有助于 CTO-PCI 术前手术策略的优化。相对于血管造影只能提供有关病变的二维结构信息,IVUS 可以轻松准确地识别浅层和深层钙化区域、近端钙化区域、夹层和侧支,这些信息有助于评估手术路径,优化 PCI 手术策略,确保术中能够更有效、更可控地穿过导丝^[30-31],提高 CTO-PCI 的成功率。再次,当拟定正向介入治疗时,IVUS 能够帮助确定闭塞病变的入点,判断导丝在 CTO 病变中的位置等,同时若导丝进入内膜下区域,IVUS 可以帮助导丝重入调整位置^[30]。此外,支架置入后 IVUS 可根据支架贴壁的情况选择是否能进行后扩张,以期降低支架置入后夹层、动脉瘤等不良事件的发生率。Kalogeropoulos 等^[28,32]的研究表明,IVUS 能够指导术者进行支架直径和长度的选择,更大的支架直径以及更长的支架总长度,确保支架能够达到足够的病变覆盖率以及最佳的支架膨胀系数。Shlofmitz 等^[33]研究表明,IVUS 的应用能降低 MACE(包括靶血管血运重建、恶性心律失常、心力衰竭、心源性猝死等)的发生率,因此 IVUS 指导 CTO-PCI 能够改善 CTO 患者的预后,提高 CTO 患者的生存率^[34]。有趣的是,尽管 IVUS 指导的 CTO-PCI 手术时间相较

于血管造影指导的 PCI 手术时间更长^[35],但两种手术方式在辐射剂量、透视时间、造影剂体积等重要安全指标方面没有明显差异,且 IVUS 指导组的住院时间明显缩短^[28,33]。

Yoon 等^[36]的研究表明,通过 IVUS 指导的 DES 支架内 CTO-PCI 的长期临床效果较为良好。血管内超声指导前向主动真腔寻径(intravascular ultrasound active antegrade true-lumen seeking,IVUS-ATS)作为前向或逆向技术均不适用时的首选手段,不但能够确认导丝是否位于真腔内而发挥“诊断功能”,而且还能探明真腔的方向,根据实际情况主动调整导丝穿刺进入真腔进而开通 CTO 病变起到“治疗作用”^[37]。因此,IVUS-ATS 作为正向或逆行技术都行不通时的补充手段,既可以提高复杂 CTO 病变进行 PCI 手术的成功率,也可以有效降低复杂 CTO 开通时发生并发症的风险,进而改善复杂 CTO 患者行 PCI 术的预后。

IVUS 仍具有一定的局限性。首先,IVUS 无法在闭塞段没有分支血管以供其超声探头进入时探查近端纤维帽。其次,IVUS-ATS 面对严重钙化病变患者,其 IVUS 导管依旧难以到达 CTO 病变位置,这也会导致探测钙化后情况较难实施,同时在定向穿刺方面也存在困难。最后,IVUS 指导 CTO-PCI 需要操作者在 IVUS 影像和空间解剖关系方面有丰富的知识储备,因此需要操作者进行更多的实践,学习曲线较长^[38]。IVUS 在 CTO-PCI 中有着广泛应用,它贯穿了 CTO-PCI 手术前后整个过程,不仅能够提高 CTO-PCI 的成功率,也能有效降低 CTO-PCI 术后并发症的发生,改善 CTO 患者的预后。因此,推荐术者将 IVUS 应用于 CTO-PCI 术中使患者受益。

6 结语

腔内影像学评估在 PCI 围手术期的诊断和决策制定方面发挥的作用日益受到重视,在临床实践中积累了相当丰富的循证医学证据,但对某些冠脉病变腔内影像学检测仍需结合功能性评估,以提供更加精准的治疗策略,在引导治疗策略选择的临床和成本效益方面还需要进一步的研究。

[参考文献]

[1] Raber L, Mintz GS, Koskinas KC, et al. Clinical use of intracoronary imaging. Part 1: guidance and optimization of coronary interventions. An expert consensus document of the European Association of

Percutaneous Cardiovascular Interventions[J]. Eur Heart J, 2018, 39: 3281-3300.

[2] Johnson TW, Raber L, di Mario C, et al. Clinical use of intracoronary imaging. Part 2: acute coronary syndromes, ambiguous coronary angiography findings, and guiding interventional decision-making: an expert consensus document of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions[J]. Eur Heart J, 2019, 40: 2566-2584.

[3] Mushenkova NV, Summerhill VI, Zhang D, et al. Current advances in the diagnostic imaging of atherosclerosis: insights into the pathophysiology of vulnerable plaque[J]. Int J Mol Sci, 2020, 21: 2992.

[4] Kubo T, Terada K, Ino Y, et al. Combined use of multiple intravascular imaging techniques in acute coronary syndrome[J]. Front Cardiovasc Med, 2021, 8: 824128.

[5] 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: 2965-2973.

[6] 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: 383-391.

[7] 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: 985-995.

[8] Stone GW, Maehara A, Ali ZA, et al. Percutaneous coronary intervention for vulnerable coronary atherosclerotic plaque[J]. J Am Coll Cardiol, 2020, 76: 2289-2301.

[9] Khalifa AKM, Kubo TKH, Ino Y, et al. Optical coherence tomography comparison of percutaneous coronary intervention among plaque rupture, erosion, and calcified nodule in acute myocardial infarction[J]. Circ J, 2020, 84: 911-916.

[10] Fujino A, Mintz GS, Lee T, et al. Predictors of calcium fracture derived from balloon angioplasty and its effect on stent expansion assessed by optical coherence tomography[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2018, 11: 1015-1017.

[11] Sugawara Y, Ueda T, Soeda T, et al. Plaque modification of severely calcified coronary lesions by scoring balloon angioplasty using lacrosse non-slip element: insights from an optical coherence tomography evaluation[J]. Cardiovasc Interv Ther, 2019, 34: 242-248.

[12] Riley RF, Henry TD, Mahmud E, et al. SCAI position statement on optimal percutaneous coronary interventional therapy for complex coronary artery disease[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2020, 96: 346-362.

[13] Yerasi C, Case BC, Forrestal BJ, et al. Drug-coated balloon for de novo coronary artery disease: JACC state-of-the-art review[J]. J Am Coll Cardiol, 2020, 75: 1061-1073.

[14] 胡学俊, 马小林, 刘冰, 等. 药物涂层球囊治疗新生冠状动脉病变 45 例临床分析[J]. 介入放射学杂志, 2020, 29: 1258-1261.

- [15] Jung HW, Lim C, Bae HJ, et al. Association between in-stent neointimal characteristics and native coronary artery disease progression[J]. PLoS One, 2021, 16: e0247359.
- [16] Almeda FQ, Klein LW. Cutting balloon angioplasty: to cut is to cure?[J]. J Invasive Cardiol, 2002, 14: 725-727.
- [17] 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: 2618-2628.
- [18] Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, et al. 2018 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization[J]. Eur Heart J, 2019, 40: 87-165.
- [19] 张蛟,段媛媛,魏玉杰,等. 支架影像增强显影指导冠状动脉开口病变介入治疗临床应用[J]. 介入放射学杂志, 2015, 24: 662-667.
- [20] Park SJ, Ahn JM, Kang SJ, et al. Intravascular ultrasound-derived minimal lumen area criteria for functionally significant left main coronary artery stenosis[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2014, 7: 868-874.
- [21] 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: 562-569.
- [22] Lassen JF, Burzotta F, Banning AP, et al. Percutaneous coronary intervention for the left main stem and other bifurcation lesions: 12th consensus document from the European Bifurcation Club[J]. EuroIntervention, 2018, 13: 1540-1553.
- [23] Cortese B, Burzotta F, Alfonso F, et al. Role of optical coherence tomography for distal left main stem angioplasty[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2020, 96: 755-761.
- [24] 沈卫峰,丁风华,张瑞岩. 冠状动脉腔内影像学指导左主干病变介入治疗[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2021, 29:481-483.
- [25] Amabile N, Range G, Souteyrand G, et al. Optical coherence tomography to guide percutaneous coronary intervention of the left main coronary artery: the LEMON study[J]. EuroIntervention, 2021, 17: e124-e131.
- [26] Kinnaird T, Johnson T, Anderson R, et al. Intravascular imaging and 12-month mortality after unprotected left main stem PCI: an analysis from the British cardiovascular intervention society database[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2020, 13: 346-357.
- [27] Darmoch F, Alraies MC, Al-Khadra Y, et al. Intravascular ultrasound imaging-guided versus coronary angiography-guided percutaneous coronary intervention: a systematic review and meta-analysis[J]. J Am Heart Assoc, 2020, 9: e013678.
- [28] Kalogeropoulos AS, Alsanjari O, Davies JR, et al. Impact of intravascular ultrasound on chronic total occlusion percutaneous revascularization[J]. Cardiovasc Revasc Med, 2021, 33: 32-40.
- [29] de la Torre Hernandez JM. Intravascular ultrasound in percutaneous coronary intervention for in-stent chronic total occlusion: guidance for long-term success[J]. EuroIntervention, 2020, 16: e445-e447.
- [30] Prasad M, Maehara A, Ahmad Y, et al. Intravascular ultrasound in chronic total occlusion percutaneous coronary intervention: solving ambiguity and improving durability[J]. Interv Cardiol Clin, 2021, 10: 75-85.
- [31] Sanidas EA. IVUS in CTO lesions: "Rolling Into Deep"[J]. JACC Case Rep, 2020, 2: 966-967.
- [32] Hong SJ, Kim BK, Kim YJ, et al. Incidence, predictors, and outcomes of distal vessel expansion on follow-up intravascular ultrasound after recanalization of chronic total occlusions using new-generation drug-eluting stents: data from the CTO-IVUS randomized trial[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2020, 95: 154-164.
- [33] Shlofmitz E, Torguson R, Zhang C, et al. Impact of intravascular ultrasound on outcomes following percutaneous coronary intervention in complex lesions(iOPEN complex)[J]. Am Heart J, 2020, 221: 74-83.
- [34] Mashayekhi K, Behnes M. The role of intravascular ultrasound in the treatment of chronic total occlusion with percutaneous coronary intervention[J]. Cardiol J, 2020, 27: 4-5.
- [35] Vemmu E, Khatri J, Doing AH, et al. Impact of intravascular ultrasound utilization for stent optimization on 1-year outcomes after chronic total occlusion percutaneous coronary intervention[J]. J Invasive Cardiol, 2020, 32: 392-399.
- [36] Yoon YH, Lee PH, Lee SW, et al. Clinical outcomes after percutaneous coronary intervention for in-stent chronic total occlusion[J]. EuroIntervention, 2020, 16: e472-e479.
- [37] 杨跃进,宋雷,李向东,等. 血管内超声指导前向主动真腔寻径(IVUS-ATS):一种开通复杂冠状动脉慢性完全闭塞病变的创新技术[J]. 中国循环杂志, 2019, 34:417-421.
- [38] 宋雷,张晗,杨跃进. 血管内超声在慢性完全闭塞病变介入治疗中的价值[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2021, 29:515-519.

(收稿日期:2022-06-06)

(本文编辑:茹实)