

药物涂层球囊在冠状动脉慢性完全闭塞病变介入治疗中的应用

菲尔凯提·玉山江 蒋学俊

(武汉大学人民医院心内科 武汉大学心血管病研究所 心血管病湖北省重点实验室,湖北 武汉 430060)

【摘要】 药物涂层球囊(DCB)已成为冠状动脉介入治疗的有效手段之一,目前在支架内再狭窄、小血管病变、分叉病变中得到了广泛的应用。但在慢性完全闭塞(CTO)病变中应用的相关研究较少,现结合 DCB 的作用机制和 DCB 在 CTO 病变中应用的相关报道,阐述 DCB 在 CTO 病变中可能发挥的作用。

【关键词】 药物涂层球囊;慢性完全闭塞病变;经皮冠状动脉介入治疗

【DOI】10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2024.01.016

Application of Drug-Coated Balloon in Intervention Treatment of Chronic Total Coronary Occlusion

Feierkaiti · Yushanjiang, JIANG Xuejun

(Department of Cardiology, Renmin Hospital of Wuhan University; Cardiovascular Research Institute, Wuhan University; Hubei Key Laboratory of Cardiology, Wuhan 430060, Hubei, China)

【Abstract】 Drug-coated balloon (DCB) has become one of the main methods for coronary artery intervention therapy, and is widely used in in-stent restenosis, small vessel lesions, and bifurcation lesions. There is limited research on the use of DCB in the treatment of chronic total occlusion (CTO) lesions. Therefore, this article will discuss the potential role of DCB in CTO lesions by combining their mechanism of action and relevant studies conducted in CTO patients.

【Keywords】 Drug-coated balloon; Chronic total occlusion lesions; Percutaneous coronary intervention

慢性完全闭塞(chronic total occlusion, CTO)病变被认为是介入心脏病学中最复杂的冠状动脉病变。CTO 病变指的是冠状动脉完全(100%)闭塞,无前向血流,并且已存在至少 3 个月的时间^[1]。在接受冠状动脉造影检查的冠心病患者中,约有 20% 的冠状动脉病变类型为 CTO 病变,并且随年龄的增长发病率升高^[2]。

尽管 CTO 病变发生率较高,但由于术中操作难度大、成功率低以及并发症等问题,早期的治疗手段中行经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)进行血运重建的比例不高^[3]。随着介入心脏病学的发展,PCI 已成为 CTO 病变的治疗手段之一。然而,CTO-PCI 由于缺乏足够的循证医学证据以及支架植入术后晚期并发症等问题,CTO 病变的 PCI 存在一定的争议^[4-7]。由于药物涂层球囊(drug-coated balloon, DCB)在减少冠状动脉支架相关的不良事件和缩短双重抗血小板治疗周期方面存在潜在的优势,因此 DCB 治疗冠状动脉病变已成为一种趋

势^[8]。目前,DCB 在治疗支架内再狭窄方面已具有良好的临床效果和安全性,在小血管病变、分叉病变、大血管病变以及急性心肌梗死等疾病中也被证明是安全有效的^[9-10]。然而,DCB 治疗 CTO 病变的相关研究很少,因此有必要对此类研究进行综述,为 PCI 术者提供一些参考。

1 DCB 的作用机制

DCB 与药物洗脱支架(drug-eluting stent, DES)相比,可快速地将抗增殖药物输送到冠状动脉血管壁,不会留下永久性金属植入物,从而防止支架引起任何潜在问题。DCB 是一种涂有抗增殖药物的半顺应性球囊,充盈后通过赋形剂迅速释放^[11]。

目前临床中使用的大多数 DCB 是将紫杉醇作为涂层药物,因为它的脂溶性较强,可更好地附着在血管壁上并保持长期释放,从而提高治疗效果。紫杉醇是一种天然二萜类物质。它在有丝分裂期间结合到微管亚单位,对动脉平滑肌细胞具有局部、强效和剂量依赖性的抑制作用,防止细胞增生和迁移,从而对

抗新生内膜增生^[12]。

西罗莫司涂层球囊是介入心脏病学领域于 2016 年诞生的一种新型 DCB^[13]。西罗莫司可逆地结合 FK12 结合蛋白,并通过与哺乳动物雷帕霉素靶蛋白形成复合物,从而在有丝分裂的 G1 期和 S 期之间阻止细胞增殖,具有更持久的抗增殖作用,在低氧环境下的风险低于紫杉醇^[14-15]。但与紫杉醇涂层球囊相比,关于西罗莫司涂层球囊的临床数据仍然很少。

2 DCB 治疗 CTO 病变的临床研究

关于 DCB 治疗 CTO 病变的数据很少,无直接比较 DCB 与 DES 的随机试验,但最近 Wang 等^[16]报道了一项前瞻性、多中心、长期的观察性研究,此研究也是目前为止能找到的唯一一项关于 DCB 和 DES 在治疗新发 CTO 病变方面长期影响的研究。这项研究比较了使用较少 DES 策略(单独使用 DCB 或与 DES 联合使用)和单独使用 DES 策略治疗新生 CTO 病变。DCB 组纳入 281 例患者,147 个病变血管仅使用 DCB 治疗,其余的接受 DCB 联合 DES 治疗;DES 组纳入 310 例患者,319 个病变血管接受了单独使用 DES 的治疗。DCB 组每个病变血管的平均支架使用长度明显短于仅使用 DES 组[(21.5 ± 25.5) mm vs (54.5 ± 26.0) mm, $P < 0.001$]。DCB 组 112 例患者和 DES 组 71 例患者(38.6% vs 22.3%, $P < 0.001$)完成了 1 年的血管造影随访,DCB 组晚期管腔丢失更少[(-0.08 ± 0.65) mm vs (0.35 ± 0.62) mm, $P < 0.001$];两组支架内再狭窄发生率比较,差异无统计学意义(20.5% vs 19.7%, $P > 0.999$);两组患者 3 年的主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular event, MACE)的 Kaplan-Meier 估计值相似(11.8% vs 12.0%, Log-rank $P = 0.688$)^[16]。

除此之外,迄今为止已发表了 3 项队列研究。第一项研究是多中心队列研究^[17],共有 34 例 CTO 患者仅接受 DCB 再通策略治疗,术后 79.4% ($n = 27$)的患者被认为 DCB 扩张效果良好。该研究 34 例患者中支架内再狭窄和再闭塞发生率分别为 11.8% ($n = 4$)和 5.9% ($n = 2$),有 67.6% ($n = 23$)的患者晚期管腔增加,平均晚期管腔增大为(0.11 ± 0.49) mm。其中扩张效果良好的 27 例患者中支架内再狭窄发生率为 3.7% ($n = 1$),再闭塞发生率为 3.7% ($n = 1$)。所有患者心绞痛等级显著改善($P < 0.001$),无患者发生死亡或心肌梗死^[17]。

第二项是在韩国进行的多中心回顾性研究^[18],共有 84 例 CTO 病变患者接受了单纯 DCB 治疗,并进行了 2 年的随访。该研究 1 年后发生 MACE 的患者占 8.3%,包括心源性死亡(1.2%)和靶血管血运重建

(7.1%),无非致死性心肌梗死和靶血管血栓形成;2 年后 16.7% 的患者发生 MACE,包括心源性死亡(2.4%)、非致死性心肌梗死(3.6%)和靶血管血运重建(13.1%)。无靶血管血栓形成,平均晚期管腔丢失为(0.03 ± 0.53) mm^[18]。

第三项是在英国进行的单中心队列研究^[19],41 例患者,44 个 CTO 血管病变,所有患者均仅接受 DCB 策略治疗。该研究中 DCB 扩张效果良好的为 97.7%,15 例(34.1%)病变导致冠状动脉夹层,其中 2 例(4.5%)需支架植入。随访期约 1 年,报告 1 例患者发生非心脏性死亡,3 例患者(6.8%)进行了靶病变血运重建术,总体 MACE 发生率为 9.8%^[19]。

尽管 DCB 在冠状动脉和外周动脉疾病中显示出有希望的结果,但它们在慢性闭塞性疾病中的疗效并未得到很好地验证。专门针对慢性闭塞性疾病的临床研究有限,缺乏有力的证据支持 DCB 在 CTO 病变中的常规应用。这可能是多种原因造成的:首先慢性闭塞性疾病涉及动脉粥样硬化斑块的形成过程较复杂,通常涉及大量斑块负荷、钙化和慢性炎症。在这些复杂病变中,DCB 的疗效可能会受限。其次 DCB 通常通过扩张在动脉狭窄或闭塞的部位传递抗增殖药物(如紫杉醇)到目标位置。然而,慢性闭塞性疾病通常涉及长段和弥漫性的病变动脉,单独使用 DCB 治疗可能具有挑战性^[20-21]。病变的长度和位置可能限制药物在血管壁中的分布和接触持续时间,从而降低所期望的治疗效果。

3 DCB 治疗 CTO 病变的特点

在 CTO 血运重建中,细致的 CTO-PCI 操作和病变预处理对于提高 DCB 的作用效果以及减少支架植入都有非常重要的意义^[22]。对于 DCB 的运用,病变准备一直是被重点强调的,理想的病变准备必须平衡急性血管扩张、斑块修饰、急性血管事件和长期预后的利益和风险。非顺应性和切割球囊在 DCB 治疗中的使用,可获得足够的血流和腔隙,这可以增加 DCB 表面和血管内膜之间的接触面积,有助于输送抗增殖药物^[23]。理论上,对病变预处理后残余狭窄越少越好;然而,过度的病变准备伴随着严重的血管内皮剥离,会增加夹层的风险。目前国际 DCB 专家共识^[10]建议,在 DCB 扩张前的病变准备应满足残余狭窄度 < 30%,但对于治疗 CTO 病变的最佳病变准备标准缺乏足够的证据。目前,关于 DCB 治疗 CTO 病变的研究中,预处理病变理想状态为 TIMI 血流 3 级^[17-19]。

血管内超声成像(intravascular ultrasound imaging, IVUS)和光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)已成为冠状动脉介入手术中主流的

血管内成像工具。目前大多数研究^[24-25]认为,DCB 应在足够的 CTO 开通和病变准备之后进行,使用所有必要的工具实现最佳结果,以确定血管确切大小并提高输送能力。

IVUS 在干预病变之前可提供关于 CTO 病变的详细信息,包括斑块的长度、直径、组成和形态。这些信息有助于指导选择适当的 DCB 尺寸,确定最佳的治疗策略。并且可使用 IVUS 引导预扩张策略,可使切割球囊或高压球囊发挥更好的预扩张作用。IVUS 可在 DCB 介入后用于评估即时的治疗结果。它可发现残余狭窄、血管剥离相关问题并实时反馈。这种评估有助于识别潜在的并发症,并指导随后的临床决策^[26-27]。

OCT 可在术中提供高分辨率的横断面图像,并且可详细地评估斑块的特征信息,包括纤维帽厚度、脂质含量以及钙化的存在。除此之外,OCT 可精确地测量血管直径和 CTO 段长度。这些信息有助于选择合适尺寸的 DCB,确保适当的病变覆盖并将血管损伤的风险降至最低。OCT 也可识别易损斑块特征,如富含脂质或坏死核心、纤维帽变薄或明显的钙化点。了解斑块负荷和组成有助于确定是否需要额外的治疗策略或辅助疗法与 DCB 联合使用。在 DCB 介入过程中,OCT 可指导球囊的定位,确保准确部署在目标部位。它有助于可视化球囊的贴合度,评估球囊膨胀的充分性并验证是否完全覆盖病变。这种指导提高了 DCB 治疗的精确性和疗效^[28-29]。

4 总结

总的来说,DCB 作为 CTO 的治疗手段之一是很有前途的。目前大部分患有 CTO 的患者伴有多血管病变,其中不少患者合并高出血风险,使用 DCB 可能在这些高危人群中发挥重要作用。对于较复杂的 CTO 病变,DCB 和 DES 的联合应用可能有效地减少使用支架的长度,从而降低并发症的风险。

参考文献

- [1] Galassi AR, Werner GS, Boukhris M, et al. Percutaneous recanalisation of chronic total occlusions:2019 consensus document from the EuroCTO Club[J]. *EuroIntervention*,2019,15(2):198-208.
- [2] Fefer P, Knudtson ML, Cheema AN, et al. Current perspectives on coronary chronic total occlusions: the Canadian Multicenter Chronic Total Occlusions Registry[J]. *J Am Coll Cardiol*,2012,59(11):991-997.
- [3] Azzalini L, Jolicœur EM, Pighi M, et al. Epidemiology, management strategies, and outcomes of patients with chronic total coronary occlusion [J]. *Am J Cardiol*,2016,118(8):1128-1135.
- [4] Tajti P, Kampalotis D, Alaswad K, et al. The hybrid approach to chronic total occlusion percutaneous coronary intervention:update from the PROGRESS CTO registry[J]. *JACC Cardiovasc Interv*,2018,11(14):1325-1335.
- [5] Mahadevan K, Cosgrove C, Strange JW, et al. Factors influencing stent failure in chronic total occlusion coronary intervention[J]. *Interv Cardiol*,2021,16:e27.
- [6] Kato M, Kimura T, Morimoto T, et al. Comparison of five-year outcome of sirolimus-eluting stent implantation for chronic total occlusions versus for non-chronic total occlusion (from the j-Cypher registry) [J]. *Am J Cardiol*,2012,110(9):1282-1289.
- [7] Brilakis ES, Mashayekhi K, Tsuchikane E, et al. Guiding principles for chronic total occlusion percutaneous coronary intervention [J]. *Circulation*,2019,140(5):420-433.
- [8] Cortese B, Buccheri D, Piraino D, et al. Drug-coated balloon angioplasty: an intriguing alternative for the treatment of coronary chronic total occlusions [J]. *Int J Cardiol*,2015,187:238-239.
- [9] Giacoppo D, Alfonso F, Xu B, et al. Drug-coated balloon angioplasty versus drug-eluting stent implantation in patients with coronary stent restenosis [J]. *J Am Coll Cardiol*,2020,75(21):2664-2678.
- [10] Jeger RV, Eccleshall S, Wan Ahmad WA, et al. Drug-coated balloons for coronary artery disease: third report of the International DCB Consensus Group [J]. *JACC Cardiovasc Interv*,2020,13(12):1391-1402.
- [11] Tesfamariam B. Local arterial wall drug delivery using balloon catheter system [J]. *J Control Release*,2016,238:149-156.
- [12] Cortese B, Bertolotti A. Paclitaxel coated balloons for coronary artery interventions: a comprehensive review of preclinical and clinical data [J]. *Int J Cardiol*,2012,161(1):4-12.
- [13] Clever YP, Peters D, Calisse J, et al. Novel sirolimus-coated balloon catheter: in vivo evaluation in a porcine coronary model [J]. *Circ Cardiovasc Interv*,2016,9(4):e003543.
- [14] Madanchi M, Cioffi GM, Attinger-Toller A, et al. Metal free percutaneous coronary interventions in all-comers: first experience with a novel sirolimus-coated balloon [J]. *Cardiol J*,2022,29(6):906-916.
- [15] Linn YL, Choke ETC, Yap CJQ, et al. Utility of sirolimus coated balloons in the peripheral vasculature—A review of the current literature [J]. *CVIR Endovasc*,2022,5(1):29.
- [16] Wang X, Yang X, Lu W, et al. Long-term outcomes of less drug-eluting stents by the use of drug-coated balloons in *de novo* coronary chronic total occlusion intervention: a multicenter observational study [J]. *Front Cardiovasc Med*,2023,10:1045859.
- [17] Köln PJ, Scheller B, Liew HB, et al. Treatment of chronic total occlusions in native coronary arteries by drug-coated balloons without stenting—A feasibility and safety study [J]. *Int J Cardiol*,2016,225:262-267.
- [18] Jun EJ, Shin ES, Teoh EV, et al. Clinical outcomes of drug-coated balloon treatment after successful revascularization of *de novo* chronic total occlusions [J]. *Front Cardiovasc Med*,2022,9:821380.
- [19] Wickramarachchi U, Corballis NH, Maart CA, et al. 24 Drug coated balloon-only angioplasty in chronic total occlusions, a UK single centre experience [J]. *Br Heart J*,2017,103(suppl 7):A11.
- [20] Azzalini L, Kampalotis D, Santiago R, et al. Contemporary issues in chronic total occlusion percutaneous coronary intervention [J]. *JACC Cardiovasc Interv*,2022,15(1):1-21.
- [21] Buccheri D, Lombardo RM, Cortese B. Drug-coated balloons for coronary artery disease: current concepts and controversies [J]. *Future Cardiol*,2019,15(6):437-454.
- [22] Alfonso F, Scheller B. State of the art: balloon catheter technologies—Drug-coated balloon [J]. *EuroIntervention*,2017,13(6):680-695.
- [23] Konishi H, Habara M, Nasu K, et al. Impact of optimal preparation before drug-coated balloon dilatation for *de novo* lesion in patients with coronary artery disease [J]. *Cardiovasc Revasc Med*,2022,35:91-95.

- 中西医结合心血管病电子杂志, 2021, 9(15): 34-36.
- [9] Writing Committee Members, Lawton JS, Tamis-Holland JE, 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]. *J Am Coll Cardiol*, 2022, 79(2): e21-e129.
- [10] 郭超, 杨昊翰, 王心宇, 等. 主动脉内球囊反搏置入时机对急性心肌梗死合并心源性休克患者预后的影响[J]. *中国循环杂志*, 2022, 37(8): 782-788.
- [11] Grandin EW, Nunez JJ, Willar B, et al. Mechanical left ventricular unloading in patients undergoing venoarterial extracorporeal membrane oxygenation[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2022, 79(13): 1239-1250.
- [12] 国家心血管病医疗质量控制中心专家委员会体外循环与体外生命支持专家工作组, 吉冰洋. 2021 年中国体外生命支持医疗质量控制报告[J]. *中国循环杂志*, 2022, 37(12): 1195-1201.
- [13] 廖付军, 鲍海龙, 韦波, 等. VA-ECMO 联合 IABP 在急性心肌梗死 PCI 术后并发难治性心源性休克中的应用[J]. *临床心血管病杂志*, 2021, 37(11): 992-997.
- [14] 张华忠, 武澎, 陈旭峰, 等. 体外膜肺氧合治疗急性心肌梗死合并心源性休克的临床研究[J]. *中华急诊医学杂志*, 2021, 30(9): 1058-1063.
- [15] Fried JA, Griffin JM, Masoumi A, et al. Predictors of survival and ventricular recovery following acute myocardial infarction requiring extracorporeal membrane oxygenation therapy[J]. *ASAIO J*, 2022, 68(6): 800-807.
- [16] 解衍博, 侯剑峰, 刘盛, 等. 静脉-动脉模式体外膜肺氧合机械辅助在心脏外科手术围术期的应用[J]. *中国循环杂志*, 2021, 36(4): 360-366.
- [17] 杨超, 彭桂林, 杨汉宇, 等. 肺移植术中体外膜肺氧合插管方式及应用策略[J]. *中华移植杂志(电子版)*, 2020, 14(5): 290-293.
- [18] Keller SP. Management of peripheral venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in cardiogenic shock[J]. *Crit Care Med*, 2019, 47(9): 1235-1242.
- [19] Iner H, Gokalp O, Besir Y, et al. Afterload increase in veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Artif Organs*, 2018, 42(1): 106.
- [20] Pineton de Chambrun M, Bréchet N, Combes A. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in cardiogenic shock: indications, mode of operation, and current evidence[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2019, 25(4): 397-402.
- [21] McGugan PL. The role of venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in postcardiotomy cardiogenic shock[J]. *Crit Care Nurs Clin North Am*, 2019, 31(3): 419-436.
- [22] 赵举, 崔勇丽, 刘刚. ECMO 中的抗凝管理[J]. *中国急救医学*, 2021, 41(7): 607-609.
- [23] Guimbertière G, Anselmi A, Roisne A, et al. Prognostic impact of blood product transfusion in VA and VV ECMO[J]. *Perfusion*, 2019, 34(3): 246-253.
- [24] Esper SA, Wallisch WJ 4th, Ryan J, et al. Platelet transfusion is associated with 90-day and 1-year mortality for adult patients requiring veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Vox Sang*, 2021, 116(4): 440-450.
- [25] Thomas J, Kostousov V, Teruya J. Bleeding and thrombotic complications in the use of extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Semin Thromb Hemost*, 2018, 44(1): 20-29.
- [26] 张海涛, 高润霖, 胡盛寿, 等. 中国心脏重症镇静镇痛专家共识[J]. *中华医学杂志*, 2017, 97(10): 726-734.
- [27] Chow SY, Hwang NC. Update on anesthesia management for explantation of veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation in adult patients[J]. *Ann Card Anaesth*, 2019, 22(4): 422-429.
- [28] 闵苏, 黄宇光, 米卫东, 等. 不同情况下成人体外膜肺氧合临床应用专家共识(2020 版)[J]. *中国循环杂志*, 2020, 35(11): 1052-1063.
- [29] Lüsebrink E, Stremmel C, Stark K, et al. Update on weaning from veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation[J]. *J Clin Med*, 2020, 9(4): 992.
- [30] Wagner JF, Abfalterer H, Özpeker C, et al. Benefit of extracorporeal membrane oxygenation in myocardial infarction-induced cardiogenic shock[J]. *J Cardiovasc Surg(Torino)*, 2023, 64(2): 207-214.
- [31] 芮子傲, 戴东普, 郭影影, 等. 主动脉内球囊反搏联合体外膜肺氧合对于急性心肌梗死合并心源性休克患者的疗效及相关影响因素分析[J]. *中国全科医学*, 2022, 25(21): 2597-2604.
- [32] 许智晶, 孙荣青, 刘瑞芳. 静脉-动脉体外膜肺氧合与主动脉内球囊反搏对心源性休克患者血流动力学的影响[J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2021, 28(1): 55-59.
- [33] Ouwenel DM, Schotborgh JV, Limpens J, et al. Extracorporeal life support during cardiac arrest and cardiogenic shock: a systematic review and meta-analysis[J]. *Intensive Care Med*, 2016, 42(12): 1922-1934.
- [34] Ahmad S, Ahsan MJ, Ikram S, et al. Impella versus extracorporeal membranous oxygenation (ECMO) for cardiogenic shock: a systematic review and meta-analysis[J]. *Curr Probl Cardiol*, 2023, 48(1): 101427.
- [35] Djordjevic I, Deppe AC, Sabashnikov A, et al. Concomitant ECMO and IABP support in postcardiotomy cardiogenic shock patients[J]. *Heart Lung Circ*, 2021, 30(10): 1533-1539.
- [36] 邱承杰, 陈玉善, 解金红, 等. 体外膜肺氧合联合主动脉内球囊反搏对急性心肌梗死合并心源性休克患者直接经皮冠状动脉介入治疗临床预后的影响[J]. *中国心血管杂志*, 2021, 26(3): 257-261.
- [37] Murakami T, Sakakura K, Jinnouchi H, et al. Complications related to veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation in patients with acute myocardial infarction: VA-ECMO complications in AMI[J]. *J Cardiol*, 2022, 79(2): 170-178.
- [38] 廉波, 李劼, 陈彧, 等. 股动静脉途径插管体外膜式氧合循环辅助的学习曲线[J]. *中国微创外科杂志*, 2018, 18(3): 209-212.

收稿日期: 2023-05-31

(上接第 64 页)

- [24] Cortese B, Sanchez-Jimenez E. Back to the future: DCB use instead of DES for the treatment of complex, native coronary artery disease[J]. *Eur Heart J Suppl*, 2021, 23(suppl E): E63-E67.
- [25] Cortese B, Berti S, Biondi-Zoccai G, et al. Drug-coated balloon treatment of coronary artery disease: a position paper of the Italian Society of Interventional Cardiology[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2014, 83(3): 427-435.
- [26] Iosif X, Peter T, Dimitri K, et al. Intravascular imaging for chronic total occlusion intervention[J]. *Curr Cardiovasc Imaging Rep*, 2018, 11(12): 1-11.
- [27] Kang J, Cho YS, Kim SW, et al. Intravascular ultrasound and angiographic predictors of in-stent restenosis of chronic total occlusion lesions[J]. *PLoS One*, 2015, 10(10): e0140421.
- [28] Cortese B, di Palma G, Guimaraes MG, et al. Drug-coated balloon versus drug-eluting stent for small coronary vessel disease: PICCOLETO II randomized clinical trial[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(24): 2840-2849.
- [29] Xhepa E, Cassese S, Rroku A, et al. Subintimal versus intraplaque recanalization of coronary chronic total occlusions: mid-term angiographic and OCT findings from the ISAR-OCT-CTO registry[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2019, 12(19): 1889-1898.

收稿日期: 2023-04-27