

冠状动脉慢性完全闭塞正向介入治疗技术进展

张颖 集铄媛 谷国强

(河北医科大学第二医院心内科, 河北 石家庄 050000)

【摘要】 正向介入治疗是临床中最常用的冠状动脉慢性完全闭塞开通策略, 正向介入技术包括导丝升级技术、平行导丝技术、正向夹层再入真腔技术和前向开通再入真腔技术。“血管结构”理念为内膜下再入真腔技术提供理论基础, 利用内膜下空间通过导丝, 恢复正向血流的正向夹层再入真腔、前向开通再入真腔技术得到应用和发展。现主要对正向介入技术的更新与发展, 国际及国内的多种推荐路径的差异及不同正向介入治疗方法的适应证做一综述, 为临床规范使用正向介入治疗技术提供理论依据。

【关键词】 慢性完全闭塞; 正向导丝升级; 平行导丝; 正向夹层再入真腔

【DOI】 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2023.02.006

Antegrade Approach to Percutaneous Coronary Intervention for Coronary Chronic Total Occlusion

ZHANG Ying, JI Shuoyuan, GU Guoqiang

(Department of Cardiology, The Second Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050000, Hebei, China)

【Abstract】 Antegrade approach to percutaneous coronary intervention (PCI) is the most commonly used chronic total occlusion crossing strategy, which includes wire escalation, parallel wiring, antegrade dissection reentry (ADR) and antegrade fenestration and reentry (AFR). The “Vessel Structure” concept is the foundation of subintimal dissection/reentry. The ADR and AFR techniques using the guide wire to cross the lesion through subintimal space of the coronary artery and restore antegrade blood flow have been widely applied and developed. To provide the theoretical basis for standardizing the using of antegrade wiring, this review summarizes the development and update of the antegrade approach to PCI, compares the difference between international and domestic crossing algorithms, and analyzes the indications of different antegrade wiring technique.

【Key words】 Chronic total occlusion; Antegrade wire escalation; Parallel wiring; Antegrade dissection reentry

冠状动脉慢性完全闭塞 (chronic total occlusion, CTO) 定义为持续 3 个月以上的冠状动脉闭塞, 前向腔内血流缺失, 即心肌梗死溶栓试验 (Thrombolysis in Myocardial Infarction, TIMI) 危险指数 0 级。由于闭塞时间不易明确, CTO 被进一步分类为闭塞时间确定的“明确的 CTO 病变”和时间不明但具有 CTO 结构特征的“可能的 CTO 病变”^[1]。与非 CTO 病变相比, CTO 病变更为复杂、成功率更低, 并发症发生率、患者死亡率更高。自 20 世纪 70 年代末首次实施 CTO 的经皮介入治疗以来, 该技术取得了显著进展。随着技术的不断更新, CTO 病变的专用器械改进, 各个国家和组织间经验的交流和积累, 流程路径的规范化, 手术成功率达到 80% ~ 90%, 安全性、可重复性提高, 并发症发生率降低^[2]。一系列随机对照研究

和前瞻性队列研究为 CTO 介入治疗的益处和风险提供了循证医学证据^[1], 促进 CTO 介入治疗的科学化决策^[3]。

CTO 病变介入路径可分为正向及逆向介入治疗两大类, 依据病变血管的解剖学特点选择适用的闭塞开通路径。正向介入路径包括正向导丝升级 (antegrade wire escalation, AWE) 技术、平行导丝技术、正向夹层再入真腔 (antegrade dissection reentry, ADR) 和前向开通再入真腔 (antegrade fenestration and reentry, AFR) 技术。本文介绍了各类正向介入治疗技术的临床应用及策略选择。其中, ADR 和 AFR 以“血管结构”理念为基础, 将斑块外、外膜内的内膜下空间视为血管的一部分, 拓展了介入治疗的导丝通过闭塞病变的路径。

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); 河北省自然科学基金精准医学联合重点项目 (H2020206409)

通信作者: 谷国强, E-mail: guguoqiang21@163.com

1 AWE 技术和平行导丝技术

AWE 技术是最基本、最常用的 CTO 开通策略,是正向介入治疗的起始策略^[2],但复杂的 CTO 病变使应用 AWE 技术的比例降低。2018 年的 PROGRESS 研究^[4]表明,随着 J-CTO 评分的升高,AWE 技术应用比例由 88.3% 降至 16.9%,ADR 技术应用比例由 5.8% 升至 20.2%。在腔内影像学的指导下,随着导管导丝的技术更新,AWE 不仅可应用于近端纤维帽呈锥形、病变长度较短的简单 CTO 病变,同样可作为逆向介入治疗失败或无条件行 ADR、逆向治疗的治疗路径。

多种不同类型的 CTO 专用导丝适用于各种病变特征,选择适用的导丝,在合适的时机升级/降级所用导丝是保证 CTO 经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)成功的重要条件。依据导丝穿透力、头端设计可将常用的 CTO 导丝划分为 6 类:具有锥型头端的导丝包括低穿透力导丝如 Fielder XT 系列,中穿透力导丝如 Gaia Second 和 Gaia Next Second,高穿透力导丝 Gaia Third、Gaia Next Third 和 Conquest 系列等;具有钝形头端的导丝包括低穿透力的 Pilot 50 和 Fielder FC,具有中等穿透力的 Pilot 200 和 Ultimate Bros 3g,具有高穿透力的 Miracle 12g^[5]。新的制造技术及工艺将会为临床提供更加多样、具有针对性的导丝,要求术者关注前沿技术,同时结合自身经验选择通过性、操控性俱佳的导丝完成介入治疗。

突破近端纤维帽时应当根据纤维帽形态选择结构及性能合适的导丝。近端纤维帽有无可视微孔道,是锥形残端还是钝头闭塞决定了导丝的选择。尝试突破纤维帽的过程中,应当从低硬度锥形的聚合物包裹导丝开始,升级为更坚硬、穿透能力更强的聚合物包裹导丝。指引导管应提供较强的支撑力,可采用锚定技术、应用延长导管和联合应用微导管保证顺利穿过 CTO 病变^[6]。微导管在 CTO 病变中的使用可增强导丝的控制力、穿透力,在保证导丝位置的情况下辅助导丝快速交换。可扭转微导管有助于在存在病变扭曲及钙化时将微导管旋转穿过病变。

突破近端纤维帽后,在 CTO 病变体部前进的导丝常为低至中度穿透力的导丝,突破远端纤维帽的导丝多应用中穿透力导丝,存在钙化则需升级为高穿透力导丝。突破后应当在两个正交的投照角度造影观察,或血管内超声(intravascular ultrasound, IVUS)确认导丝在管腔内。

一项多中心、随机对照临床试验^[7]比较了优先使用 AWE 组和优先应用 CrossBoss 导管组的正向介入治疗,两组在穿通 CTO 病变所需时间、成功率和主要不

良心血管事件(major adverse cardiovascular events, MACE)的发生率方面无明显差异。该临床试验表明,在不应用 CrossBoss 导管的情况下,AWE 技术穿越 CTO 病变的成功率为 50%,且未增加手术时间及并发症发生率。不依赖 CrossBoss 导管,导丝也能成功穿过内膜下间隙、进入真腔内。因此有学者认为 CrossBoss 导管在 CTO 病变的正向治疗中具有优势,但不应作为首选策略^[8]。

平行导丝技术借助双腔微导管送入两根导丝,第一根导丝进入内膜下间隙,第二根可通过侧口进入 CTO 病变。一项纳入 273 例患者的临床研究^[9]发现,应用平行导丝技术组患者与采用 CrossBoss/Stingray 器械进行 ADR 组患者相比,使用的导丝、对比剂更少,并且更少地应用 IVUS 指导,两种术式的血管开通成功率(79.8% vs 74.5%, $P > 0.05$)、院内无 MACE 发生的血管开通率(78.4% vs 70.9%, $P > 0.05$)和 1 年内中期 MACE 发生率(14.7% vs 7.3%, $P = 0.15$)无差异。另一项纳入 1 725 例患者的研究^[10]得到的结论与之有所不同,与 ADR 组相比,应用平行导丝技术组患者的血管开通成功率较低(75% vs 78%, $P = 0.046$),MACE 发生率较低(1.9% vs 3.7%, $P = 0.029$),但院内无 MACE 发生的血管开通率无差异(73% vs 75%, $P = 0.166$)。

2 ADR 技术

ADR 技术是 CTO 病变正向导丝技术的重要组成部分,在国内外推荐路径中占有重要地位。ADR 技术处理复杂 CTO 病变更具优势,因此,了解和掌握 ADR 技术是 CTO-PCI 术者的必备技能。

2.1 ADR 技术的发展演变

广义的 ADR 技术包含多种正向导丝经假腔重新回到远端血管真腔的操作技术。内膜下寻径及再入真腔(subintimal tracking and reentry, STAR)技术是 ADR 技术的早期雏形。由于内膜下导丝行走距离较长、导丝可控性差,操作过程中边支血管受累风险增加。此后,为改进 STAR 技术的缺点,在其基础上出现了很多衍生技术,包括 mini-STAR、对比剂引导的 STAR 技术(Carlino 技术)等。mini-STAR 技术应用尖端呈 45°角、距尖端 4 mm 处呈 15°角的塑形导丝,通过控制 Knuckle 的大小控制夹层大小。Carlino 技术通过少量注射对比剂形成前向液压修饰 CTO 内相对疏松组织,以相对温和的方式产生夹层,同时利用对比剂分辨血管走行,帮助导丝高效通过 CTO 病变^[11]。与 STAR 技术不同,Carlino 技术无需注射大量对比剂,不会导致广泛血管损伤与后续高再狭窄率,具有更高的成功率和更低的并发症发生率^[12]。限制性正向内膜

下寻径 (limited antegrade subintimal tracking, LAST) 再入真腔技术应用穿刺型导丝重回真腔, 缩短了内膜下的导丝走行长度, 降低边支丢失风险, 但技术成功率低。以上单独应用导丝进入内膜下、重入真腔的技术被统称为以导丝为基础的 ADR 技术 (W-ADR), 均存在重回真腔不可控的缺点。

以 Stingray 球囊为基础的 ADR 技术 (S-ADR) 采用 Stingray 球囊辅助导丝靶向性再入远端真腔, 具有较高的可重复性和成功率, 已得到广泛使用。为了使导管、球囊通过内膜下隧道, Stingray 球囊外径由 3.7 F 缩小至 3.2 F, 使得比 CrossBoss 导管更细的 Corsair 微导管可用于建立 Stingray 通道, 简化手术流程的同时, 未降低成功率^[13]。Recross 双腔微导管前端为椭圆形、覆盖亲水涂层, 具有可拆卸头端, 不仅形成的内膜下间隙更小, 也更有利于通过 CTO 体部, 速度快、成本低、操作简单, 但其成功率有待进一步研究^[14]。

建立内膜下通道的过程中形成的血肿大小决定了导丝重回真腔的难易程度。Knuckle 导丝技术将聚合物涂层导丝塑形, 以较小的“伞柄状”头端于内膜下穿通 CTO 病变。选用不同结构特点的导丝可控制内膜下血肿大小。Corsair/CrossBoss 导管技术应用导管在内膜下穿行, 形成的血肿更小且形状规则。由于 CrossBoss 导管更容易进入分支, Corsair 微导管更常用于内膜下假腔的开通。血肿形成后可通过在分支或近端主支内扩张球囊, 在病变体部的延长导管封堵血流入口, 后利用 Stingray 球囊中心腔进行抽吸^[15]。经导管内膜下回撤 (subintimal transcatheter withdrawal, STRAW) 技术的抽吸减压策略有效, 但需应用较大的指引导管和 OTW (over-the-wire) 球囊。改良的 STRAW 技术应用更为常见的微导管进行抽吸减压, 有利于该技术的广泛使用^[16]。血肿形成后重回真腔难度增大, 介入时间延长, 因此预防血肿形成更为重要。在内膜下通路建立前, 应用小球囊在病变近端扩张以阻断顺行血流进入内膜下间隙, 直至导丝进入真腔。扩张的小球囊不影响微导管内导丝的内膜下推进, 同时为导丝提供了额外的支撑^[17]。这一技术成功降低了血肿形成的风险。

2.2 ADR 技术的临床应用

推荐应用 ADR 技术的 CTO 病变具有以下特征: 锥型头端, 病变长度 > 20 mm, 远端血管直径大, 远端纤维帽附近无较大的侧支。远端血管严重钙化或存在弥漫性病变不利于内膜下导丝重回真腔, 在导丝重回真腔过程中较大的侧支容易丢失。CTO-PCI 手术中应用 ADR 技术占比为 20% ~ 25%, 其中 30% 为首选介入策略, 70% 为 AWE 或逆向导丝升级 (retrograde

wire escalation, RWE) 失败后的策略。J-CTO 评分高的患者中, ADR 应用比例增加^[15]。

Knuckle 导丝进入内膜下间隙, 导丝钝性分离困难时, 可应用球囊辅助内膜下介入 (balloon assisted subintimal entry, BASE) 或 “Scratch and Go” 技术借助高穿透力导丝进入内膜下, 后可选用基于导丝的 ADR 或基于器械的 ADR。专用器械的设计辅助 ADR 技术的临床应用。聚合物包裹导丝或 CrossBoss 导管可用于内膜下穿行。Recross 微导管和 Stingray 球囊可辅助导丝重回真腔。当 CTO 病变较短或存在钙化时, 选用基于 Recross 的 ADR, 病变较长且无钙化或应用 Recross 失败时应选用 CrossBoss/Stingray^[14]。

2.3 应用 ADR 技术的循证医学证据

与其他正向导丝技术、逆向介入技术相比, ADR 的成功率及预后在多项大规模注册登记研究中得到证实。2016 年的 RECHARGE 研究^[18]显示, 包括 W-ADR 和 S-ADR 技术在内, 首选 ADR 者占比 7%, 共有 23% 的患者使用该技术。随着病变复杂程度的增加, ADR 使用比例提高, J-CTO 评分 > 2 分的患者选用 ADR 技术占比增加 (27%), 其成功率高于 J-CTO 评分 > 2 分患者应用 AWE 技术的成功率 (66% vs 50%), S-ADR 成功率为 81%。同年另一项多中心临床研究^[19]显示, 虽然 ADR 组 ($n = 458$, 34.9%) 患者 J-CTO 评分更高, 但其与应用 AWE 组患者的技术成功率、手术成功率和 MACE 发生率均相似。2019 年的 PROGRESS 研究^[5]表明, 应用各类 ADR 技术的成功率为 89.7%。

ADR 技术与器械的不断改进使得 ADR 的成功率、安全性不断提高。在 98 例 ADR 失败的患者的 CTO 再通术中, 与不应用 ADR 技术患者相比, 应用 CrossBoss/Stingray 器械可提高手术成功率, 减少手术时间、对比剂用量和降低 12 个月内的 MACE 发生率^[20]。在 458 例 ADR 患者中, 53.7% 的患者使用了 CrossBoss 导管, 与仅使用导丝的 ADR 技术相比, 应用 CrossBoss 缩短操作时间、提高技术成功率^[19]。在 233 例患者中比较 STAR、LAST 和基于 CrossBoss/Stingray 的 ADR 技术, 各组间基线特征相似, STAR 组成功率为 59%, 低于 LAST 组 (96%) 和 CrossBoss/Stingray 组 (89%) 的成功率^[21]。包含了 5 项临床研究的 meta 分析^[22]再次证明应用 CrossBoss/Stingray 技术患者预后优于早期的 STAR 和 LAST 技术, 具有较低的再狭窄和靶血管血运重建发生率。在 1 项补救性 ADR 技术开通 CTO 病变的研究^[23]中, 45 例患者应用 Corsair 微导管辅助 Stingray 球囊的 ADR 技术, 其中 40 例 (88.9%) 成功开通, 2 例出现围手术期非 ST 段抬高心

肌梗死,1 例出现边支闭塞行再次血运重建,住院期间 MACE 发生率为 6.7%,随访 17 个月后,MACE 发生率为 17.4%。该研究证实了 Corsair 微导管辅助 Stingray 球囊的 ADR 技术具有较高的成功率和安全性。

3 AFR 技术

尽管基于 Stingray 的 ADR 技术的可行性、安全性与有效性已在多中心临床注册研究中得到证实,但由于器械、技术等方面的限制,ADR 在一些地区使用率较低。AFR 技术是一种成本更低,更易于操作的内膜下再入真腔技术,通过在内膜下推进与动脉直径相同的球囊到达远端纤维帽,扩张形成内膜下与真腔之间的缝隙,导丝随后进入远端真腔^[10]。一项纳入 41 例患者的多中心临床试验^[24]证明了该技术较高的成功率和较低的并发症发生率,41 例患者的平均 J-CTO 评分为 (2.5 ± 1.4) 分,27 例患者通过 AFR 技术实现了导丝重回真腔,成功率为 65.9%,未观察到与 AFR 相关的血管穿孔及围手术期心肌梗死发生。

双导丝球囊装置在 AFR 中的应用将 AFR 技术的成功率由 71% 提高到 86%,且将透视时间控制在 (29.3 ± 5.1) min,为其他正向导丝技术失败的 CTO 病变提供了另一种可行方案^[25]。简化的 AFR 技术将 AFR 与逆行介入技术相结合,以逆向导丝作为真腔的标记引导正向导丝进入真腔,从而将逆向介入治疗快速转变为正向介入治疗,减少手术及射线暴露时间^[26]。

4 国内外 CTO 流程中正向介入治疗的策略选择

CTO 开通策略的制定依赖于双侧血管造影所展现的 CTO 解剖结构及闭塞近端与远端血管形态^[27]。双侧造影过程中需关注的影像特点包括:近端纤维帽的位置和形态,闭塞段长度、钙化及迂曲程度,远端血管状况、侧支血管特点^[28]。影响手术难度的远端血管状况包括直径、有无弥漫性病变和是否累及分支血管(存在较大的分支血管或远端终止于分叉病变处)。评估侧支血管应重点关注其来源、直径和迂曲程度,与供体及受体血管的成角,受体血管开口处与闭塞段远端的距离^[29]。近端纤维帽结构清晰、远端血管着陆区无较大分支和存在可利用侧支,这 3 个主要问题是决定启动正向介入路径的重要因素。当近端纤维帽结构清晰时,国内外指南均推荐首选正向介入策略。近端纤维帽显示不清时,Hybrid 路径推荐逆向开通^[30]。随着腔内影像技术的应用和发展,IVUS 识别血管及斑块结构的特性被广泛应用于指引导丝通过 CTO 病变。亚太 CTO 俱乐部(APCTO)慢性完全闭塞路径^[31]和中国冠状动脉慢性闭塞病变介入治疗俱乐部(CTOCC)推荐路径更新版^[32]建议,首选 IVUS 引

导,当 IVUS 无法探及 CTO 近端纤维帽入口或无法穿透近端纤维帽时,则采用逆向技术。内膜下通过技术在 ADR 技术中广泛用于跨越 CTO 体部,还被应用于“移除”纤维帽。欧洲 CTO 俱乐部推荐首选 IVUS 或 BASE、Scratch and Go 等内膜下通过技术跨越纤维帽,次选逆向技术^[33]。全球 CTO 开通共识^[28]则推荐依据不同病变的解剖学特点,优先选择安全且成功率高的手术策略。近端纤维帽显示不清且无合适边支血管行 IVUS 引导,但有良好的侧支血管,首选逆向策略;存在合适边支血管,则首选 IVUS 引导的近端纤维帽穿刺策略;若无明显边支及侧支血管,可使用内膜下进入技术。

当正向导丝进入闭塞段后,术者可依据病变体部及远端血管特点选择 AWE、ADR 或平行导丝技术。Hybrid 推荐路径单独依靠闭塞长度(≥ 20 mm)决策使用 AWE 技术或 ADR 技术。CTOCC 建议^[32]在闭塞段 ≤ 20 mm 时选择导丝更替技术, >20 mm 或 AWE 未成功则应用 ADR 或平行导丝技术。远端血管条件好,无严重的弥漫性病变且不累及较大的分支血管,则推荐应用 ADR 技术开通病变;远端血管条件不佳,推荐应用平行导丝技术。而 APCTO 和欧洲 CTO 俱乐部推荐路径则综合考虑了闭塞长度和其他指标,如血管迂曲和钙化。APCTO 推荐当 CTO 走行不明或走行迂曲,存在严重钙化时首选 Stingray 辅助的 ADR 技术;CTO 病变长度 >20 mm 或既往尝试开通失败则次选 ADR 技术^[31]。欧洲 CTO 俱乐部建议首选 AWE 技术,导丝进入内膜下后可酌情行平行导丝技术、基于导丝的 ADR 技术和基于 Stingray 的 ADR 技术^[33]。

远端血管质量是决定介入策略的重要因素,评价指标包括闭塞段远端血管有无严重弥漫性病变和着陆区是否累及较大分支。26.4%~30.0%的 CTO 病变为分叉病变,其中 52.0%病变远端为分叉病变。当闭塞节段远端有较大分支血管,尤其是当分支靠近闭塞节段(<2 mm),由于组织结构的影响,正向导丝推进困难,甚至可导致分支顶端受损和边支丢失。闭塞节段内有钙化或纤维斑块,闭塞近端和远端呈 h 或倒 h 形,导丝将难以通过到达着陆区,导丝易通过相对薄弱点进入侧支,增加手术时间和 X 射线暴露量,冠状动脉夹层、假腔扩张、侧支丢失或心脏压塞风险增加^[34]。上述情况均建议启动逆向治疗。

5 结语

随着器械与技术的进步,CTO 病变的介入治疗得到了极大的发展。针对具有不同解剖特征的病变血管,新策略不断出现,老方法得到改良。本文综述了 CTO 正向介入治疗技术领域的进展,并总结了几项得

到广泛认可的 CTO 介入路径,以期为术者选择介入治疗策略提供参考。

参考文献

- [1] Ybarra LF, Rinfret S, Brilakis ES, et al. Definitions and clinical trial design principles for coronary artery chronic total occlusion therapies; CTO-ARC consensus recommendations[J]. *Circulation*, 2021, 143(5): 479-500.
- [2] di Mario C, Mashayekhi KA, Garbo R, et al. Recanalisation of coronary chronic total occlusions[J]. *EuroIntervention*, 2022, 18(7): 535-561.
- [3] Azzalini L, Karpaliotis D, Santiago R, et al. Contemporary issues in chronic total occlusion percutaneous coronary intervention[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2022, 15(1): 1-21.
- [4] Tajti P, Karpaliotis 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] Wu EB, Tsuchikane E, Lo S, et al. Chronic total occlusion wiring; a state-of-the-art guide from the Asia Pacific Chronic Total Occlusion Club[J]. *Heart Lung Circ*, 2019, 28(10): 1490-1500.
- [6] 葛雷, 葛均波. 进一步规范冠状动脉慢性完全闭塞病变介入治疗常用技术操作[J/OL]. *中华心血管病杂志(网络版)*, 2022, 5: e1000124 (2022-08-22). http://www.cvjcn.org.cn/index.php/Column/columncon/article_id/302. DOI:10.3760/cma.j.cn116031.2022.1000124.
- [7] Karacsonyi J, Tajti P, Rangan BV, et al. Randomized comparison of a CrossBoss first versus standard wire escalation strategy for crossing coronary chronic total occlusions; the CrossBoss first trial[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2018, 11(3): 225-233.
- [8] Rinfret S, Ybarra LF. Antegrade chronic total occlusion crossing: CrossBoss first or last? [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2018, 11(3): 234-236.
- [9] Qin Q, Chang S, Xu R, et al. Device-based antegrade dissection re-entry versus parallel wire techniques for the percutaneous revascularization of coronary chronic total occlusions[J]. *Cardiol J*, 2022 Mar 4. DOI: 10.5603/CJ.a2022.0008. Epub ahead of print.
- [10] Simsek B, Kostantinis S, Karacsonyi J, et al. Antegrade dissection and re-entry versus parallel wiring in chronic total occlusion percutaneous coronary intervention; insights from the PROGRESS-CTO registry[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2022, 100(5): 723-729.
- [11] Carlinio M, Ruparel N, Thomas G, et al. Modified contrast microinjection technique to facilitate chronic total occlusion recanalization [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2016, 87(6): 1036-1041.
- [12] Azzalini L, Uretsky B, Brilakis ES, et al. Contrast modulation in chronic total occlusion percutaneous coronary intervention [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2019, 93(1): E24-E29.
- [13] 陈根锐, 高好考, 王琼, 等. BridgePoint 系统开通冠状动脉慢性完全闭塞病变的临床疗效[J]. *中华心血管病杂志*, 2020, 48(3): 236-243.
- [14] Berkhout T, Claessen BE, Dirksen MT. Advances in percutaneous coronary intervention for chronic total occlusions; current antegrade dissection and reentry techniques and updated algorithm[J]. *Neth Heart J*, 2021, 29(1): 52-59.
- [15] 赵林, 汝磊生, 柳景华. 正向夹层再入真腔技术在慢性完全闭塞病变介入治疗中的应用体会[J]. *临床心血管病杂志*, 2021, 37(10): 879-881.
- [16] Vo MN, Brilakis ES, Pershad A, et al. Modified subintimal transcatheter withdrawal; a novel technique for hematoma decompression to facilitate distal reentry during coronary chronic total occlusion recanalization [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2020, 96(1): E98-E101.
- [17] Ma Y, Song X, Kong L, et al. A novel use of small balloons to reduce the risk of subintimal hematoma formation during recanalization of chronic total occlusion; two case reports[J]. *BMC cardiovasc Disord*, 2022, 22(1): 71.
- [18] Maeremans J, Walsh S, Knaapen P, et al. The hybrid algorithm for treating chronic total occlusions in Europe; the RECHARGE Registry [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 68(18): 1958-1970.
- [19] Danek BA, Karatasakis A, Karpaliotis D, et al. Use of antegrade dissection re-entry in coronary chronic total occlusion percutaneous coronary intervention in a contemporary multicenter registry[J]. *Int J Cardiol*, 2016, 214: 428-437.
- [20] Wu X, Zhang D, Liu H, et al. A clinical analysis of the treatment of chronic coronary artery occlusion with antegrade dissection reentry [J]. *Front Surg*, 2021, 8: 609403.
- [21] Azzalini L, Dautov R, Brilakis ES, et al. Procedural and longer-term outcomes of wire- versus device-based antegrade dissection and re-entry techniques for the percutaneous revascularization of coronary chronic total occlusions [J]. *Int J Cardiol*, 2017, 231: 78-83.
- [22] Karatasakis A, Danek BA, Karacsonyi J, et al. Mid-term outcomes of chronic total occlusion percutaneous coronary intervention with subadventitial vs. intraplaque crossing; a systematic review and meta-analysis [J]. *Int J Cardiol*, 2018, 253: 29-34.
- [23] 陈根锐, 高好考, 王欢, 等. Corsair 微导管辅助 Stingray 球囊正向夹层再进入技术开通冠状动脉慢性完全闭塞病变的应用研究[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2022, 30(2): 129-134.
- [24] Azzalini L, Alaswad K, Uretsky BF, et al. Multicenter experience with the antegrade fenestration and reentry technique for chronic total occlusion recanalization[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2021, 97(1): E40-E50.
- [25] Galassi AR, Vadala G, Testa G, et al. Dual guidewire balloon antegrade fenestration and re-entry technique for coronary chronic total occlusions percutaneous coronary interventions [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2022, 100(4): 492-501.
- [26] Azzalini L, Carlino M. A new combined antegrade and retrograde approach for chronic total occlusion recanalization; facilitated antegrade fenestration and re-entry [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2021, 98(1): E85-E90.
- [27] Brilakis ES, Mashayekhi K, Tsuchikane E, et al. Guiding principles for chronic total occlusion percutaneous coronary intervention [J]. *Circulation*, 2019, 140(5): 420-433.
- [28] Wu EB, Brilakis ES, Mashayekhi K, et al. Global chronic total occlusion crossing algorithm; JACC state-of-the-art review [J]. *J Am Coll of Cardiol*, 2021, 78(8): 840-853.
- [29] 葛均波, 霍勇, 汝磊生. 正向夹层再入真腔技术在冠状动脉慢性完全闭塞病变介入治疗中应用中国专家共识[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2021, 29(10): 541-547.
- [30] Brilakis ES, Grantham JA, Rinfret S, et al. A percutaneous treatment algorithm for crossing coronary chronic total occlusions [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2012, 5(4): 367-379.
- [31] Harding SA, Wu EB, Lo S, et al. A new algorithm for crossing chronic total occlusions from the Asia Pacific Chronic Total Occlusion Club [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2017, 10(21): 2135-2143.
- [32] 葛均波, 葛雷, 霍勇, 等. 中国冠状动脉慢性完全闭塞病变介入治疗推荐路径更新[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2021, 29(6): 302-305.
- [33] 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.
- [34] Zhang XJ, Zhang ZX, Wang Y, et al. Revascularization of coronary artery chronic total occlusion by active antegrade reverse wire technique [J]. *J Interv Cardiol*, 2021, 2021: 8893946.

收稿日期: 2022-11-03