

• 论著—临床研究 •  
介入治疗冠状动脉旋磨术联合药物涂层球囊治疗冠状动脉  
严重钙化病变的疗效董昊喆<sup>1</sup> 龚深圳<sup>1</sup> 单迎光<sup>1</sup> 李然<sup>1</sup> 李一鸣<sup>1</sup> 卢旭鹏<sup>1</sup> 孙国举<sup>1</sup>

**[摘要]** **目的:**探索冠状动脉(冠脉)旋磨术(RA)联合药物涂层球囊(DCB)治疗严重冠脉钙化病变的疗效。**方法:**连续入选2018年5月—2021年7月就诊于郑州大学第一附属医院因冠脉严重钙化行RA的患者318例,根据不同治疗方案分为RA/DCB组(57例)和RA/药物洗脱支架(DES)组(261例)。比较两组一般临床资料、冠脉病变特征、术中并发症、院内不良事件、随访期间主要心脑血管不良事件(MACCE)发生率。**结果:**两组基线临床资料、术中并发症、院内不良事件均差异无统计学意义。RA/DES组较多合并左主干病变、分叉病变、弥漫性病变等复杂解剖类型(均 $P < 0.05$ )。随访期间RA/DES组MACCE(18.77% vs. 12.28%)及靶病变血运重建(13.79% vs. 7.02%)发生率较RA/DCB组升高,但差异无统计学意义。多因素Cox回归分析显示,分叉病变( $HR = 2.284, 95\%CI: 1.063 \sim 4.908, P = 0.034$ )、植入物总长度( $HR = 1.023, 95\%CI: 1.005 \sim 1.047, P = 0.014$ )、SNYTAX评分( $HR: 1.047, 95\%CI: 1.013 \sim 1.082, P = 0.006$ )是RA-PCI术后远期MACCE发生的危险因素。**结论:**RA联合DCB可对部分适合的钙化病变进行安全有效的治疗。

**[关键词]** 钙化病变;药物涂层球囊;冠状动脉旋磨术;药物洗脱支架

**DOI:**10.13201/j.issn.1001-1439.2023.02.007

**[中图分类号]** R541.4 **[文献标志码]** A

**Safety and efficacy of drug-coated balloon following rotational  
atherectomy for severe coronary artery calcification**DONG Haozhe GONG Shenzhen SHAN Yingguang LI Ran LI Yiming  
LU Xupeng SUN Guoju

(Department of Cardiology, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou, 450052, China)

Corresponding author: SUN Guoju, E-mail: heart815@126.com

**Abstract Objective:** To assess the safety and efficacy of drug-coated balloons (DCB) following rotational atherectomy (RA) for coronary artery calcification. **Methods:** A retrospective analysis was performed on 318 consecutive patients with severe coronary artery calcification who underwent RA-assisted PCI at the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University from May 2018 to July 2021. Among them, 57 patients (RA/DCB group) were treated with drug-coated balloon (DCB), and 261 patients (RA/DES group) were treated with drug-eluting stent (DES). Clinical baseline data, lesions' characteristics, intraoperative complications, in-hospital adverse events, and major adverse cardiovascular and cerebrovascular events (MACCE) throughout the follow-up were compared between the two groups. **Results:** The baseline clinical data, intra-operative complications, and in-hospital adverse events were not significantly different between the two groups. The anatomical categories included left main coronary disease, bifurcation disease, and multivessel disease in the RA/DES group were more complex and. MACCE (18.77% vs 12.28%) and target lesion revascularization (13.79% vs 7.02%) occurred more frequently in the RA/DES group than those in the RA/DCB group, but there was no statistically significant difference. Multivariate Cox regression analysis showed that bifurcation lesions ( $HR = 2.284, 95\%CI: 1.063 - 4.908, P = 0.034$ ), total length of DCB/DES ( $HR = 1.023, 95\%CI: 1.005 - 1.047, P = 0.014$ ), and SNYTAX score ( $HR = 1.047, 95\%CI: 1.013 - 1.082, P = 0.006$ ) were independent risk factors of long-term outcomes in patients with severe coronary artery calcification treated with RA. **Conclusion:** Combined application of RA and DCB can safely and effec-

<sup>1</sup>郑州大学第一附属医院心血管内科(郑州, 450052)

通信作者: 孙国举, E-mail: heart815@126.com

引用本文: 董昊喆, 龚深圳, 单迎光, 等. 冠状动脉旋磨术联合药物涂层球囊治疗冠状动脉严重钙化病变的疗效[J]. 临床心血管病杂志, 2023, 39(2): 108-113. DOI: 10.13201/j.issn.1001-1439.2023.02.007.

tively treat some appropriate coronary artery calcification.

**Key words** coronary artery calcification; drug-coated balloon; rotational atherectomy; drug-eluting stent

即使在新一代药物洗脱支架(drug-eluting stent, DES)时代,冠状动脉(冠脉)钙化病变依然是经皮冠脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)的挑战之一<sup>[1]</sup>。钙化斑块难以充分预处理,增加了术中夹层和血管破裂的风险,还可能导致器械输送失败及支架膨胀不全<sup>[2]</sup>。既往研究显示,钙化病变的再狭窄率和支架血栓形成率高于非钙化病变<sup>[3]</sup>。冠脉旋磨术(rotational atherectomy, RA)是钙化病变常用辅助方案之一,可有效修饰钙化斑块,提高血管顺应性,便于器械顺利通过及支架充分扩张<sup>[4]</sup>。RA联合DES是目前冠脉严重钙化病变介入治疗的主流方式。药物涂层球囊(drug-coated balloon, DCB)通过球囊扩张均匀地向病变部位释放抗增殖药物而发挥作用,为PCI治疗提供了一种替代策略。与DES相比,DCB避免了金属物的残留并缩短双联抗血小板治疗时间,在支架内再狭窄、小血管病变、长弥漫病变、分叉病变中显示出独特的优势<sup>[5]</sup>。多项研究显示,RA联合DCB治疗外周动脉钙化病变近期及远期效果良好<sup>[6-8]</sup>。但对于冠脉钙化患者,由于缺乏相关研究,疗效并不确切。本研究旨在评估RA联合DCB治疗冠脉严重钙化病变的疗效及安全性。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

本研究为单中心回顾性研究,连续纳入2018年6月—2021年7月于郑州大学第一附属医院行RA治疗冠脉严重钙化病变的患者,根据纳入及排除标准,共318例患者纳入分析。根据治疗方法,将其分为RA/DCB组(57例)和RA/DES组(261例)。纳入标准:①年龄18~80岁,配合治疗及随访,且临床资料完整;②冠脉造影示血管狭窄 $\geq 75\%$ ,且伴有心肌缺血的客观证据;③冠脉造影提示心脏搏动和静止期间均可见清晰的钙化影,或腔内影像学检查显示钙化弧 $> 180^\circ$ 。排除标准:①1个月内急性心肌梗死;②心源性休克或血流动力学不稳定;③严重心脏瓣膜病;④严重肝肾功能不全;⑤恶性肿瘤。

### 1.2 手术过程

所有患者按照冠心病双联抗血小板治疗中国专家共识推荐规范应用围术期抗血小板药物<sup>[9]</sup>。应用Rotablator™(Boston Scientific, USA)旋磨仪进行RA,所有操作均由经验丰富的术者执行。旋磨头与参考血管直径比值为0.5~0.6,转速135 000~180 000 r/min,每次旋磨时间15 s左右,期间配制旋磨液(生理盐水、硝酸甘油、肝素)持续冲洗旋磨系统。DCB在满足残余狭窄 $< 30\%$ 及无

C型及以上夹层情况下应用,如植入后出现C型及以上夹层,则行补救性DES植入。如病变较长可序贯植入多个DCB/DES覆盖病变两端3 mm。

### 1.3 随访及研究终点

通过病例系统收集患者临床资料,包括性别、年龄、基础疾病、家族史、实验室检查、病变特征以及手术相关资料。术后对患者进行电话、门诊及住院随访,记录随访期间主要心脑血管不良事件(major adverse cardiovascular and cerebrovascular events, MACCE)发生情况,MACCE定义为全因死亡、靶病变血运重建、非致死性心肌梗死以及脑卒中。

### 1.4 统计学处理

采用SPSS 24.0软件对数据进行分析。正态分布的计量资料采用 $\bar{X} \pm S$ 表示,比较采用配对 $t$ 检验;非正态分布的计量资料采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,比较采用Wilcoxon秩和检验;计数资料用例(%)表示,采用 $\chi^2$ 检验。绘制Kaplan-Meier曲线,log-rank检验比较随访期间无MACCE生存率;Cox比例风险模型分析MACCE影响因素。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组基线临床资料比较

两组年龄、性别、高血压、糖尿病、心房颤动(房颤)、脑卒中病史、肾功能不全、高脂血症、冠脉旁路移植(CABG)史、心肌梗死病史、冠心病家族史、吸烟史、左室射血分数(LVEF)、血红蛋白、糖化血红蛋白(HbA1c)、估测肾小球滤过率(eGFR)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、SNY-TAX评分均差异无统计学意义。RA/DCB组PCI史高于RA/DES组,甘油三酯(TG)及低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)水平低于RA/DES组,均差异有统计学意义(均 $P < 0.05$ )。见表1。

### 2.2 两组病变特征及术中情况比较

两组共332处病变,手术入路、指引导管选择、CTO病变、三支病变、临时起搏器应用、主动脉内球囊反搏(IABP)辅助、旋磨头数量均差异无统计学意义。RA/DCB组左前降支(LAD)病变、血管内超声(IVUS)或光学相干断层成像(OCT)指导、最大磨头直径、磨头直径/参考血管直径高于RA/DES组,左主干(LM)病变、分叉病变、植入物数量、植入物直径、植入物总长度低于RA/DES组,均差异有统计学意义(均 $P < 0.05$ )。见表2。

### 2.3 两组术中并发症、院内不良事件及远期随访结果比较

随访截至2022年5月,RA/DCB组中位随访

时间 15.0(12.0,22.5)个月,RA/DES 组中位随访时间 22.0(15.0,30.0)个月。RA/DCB 组术中有两例患者 DCB 植入后因出现 C 型以上夹层行补救

性 DES 植入。两组术中并发症、院内累积 MACCE 发生率、远期随访累积 MACCE 发生率均差异无统计学意义,见表 3。

表 1 两组基线临床资料比较

Table 1 Baseline characteristics

例(%), $M(P_{25},P_{75})$ , $\bar{X}\pm S$ 

项目	RA/DES 组(261 例)	RA/DCB 组(57 例)	$t/\chi^2/Z$	$P$
年龄/岁	65.64±7.99	66.68±9.13	0.803	0.424
男性	154(59.00)	30(52.63)	0.779	0.377
高血压	170(65.13)	38(66.67)	0.049	0.826
糖尿病	96(36.78)	24(42.11)	0.564	0.453
房颤	12(4.59)	2(3.51)	0.000	0.995
脑卒中病史	63(24.14)	15(26.32)	0.120	0.729
肾功能不全	29(11.11)	4(7.02)	0.460	0.498
高脂血症	61(23.37)	7(12.28)	3.423	0.064
心肌梗死病史	42(16.09)	11(19.29)	0.346	0.556
冠心病家族史	72(27.59)	17(29.82)	0.116	0.733
吸烟史	78(29.89)	14(24.56)	0.645	0.422
PCI 史	29(11.11)	12(21.05)	4.068	0.044
CABG 史	3(1.15)	0(0.00)	0.003	0.954
实验室检查				
LVEF/%	62(60.00,64.00)	63(60.00,65.00)	1.084	0.278
血红蛋白/(g·L <sup>-1</sup> )	125.43±17.45	124.56±17.32	0.342	0.733
HbA1c/%	6.10(5.60,7.07)	6.10(5.70,7.19)	0.174	0.862
eGFR/[mL·min <sup>-1</sup> ·(1.73 m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ]	89.00(78.00,96.00)	87.00(76.50,96.00)	0.005	0.966
TC/(mmol·L <sup>-1</sup> )	3.38(2.95,4.04)	3.29(2.69,3.75)	1.941	0.052
TG/(mmol·L <sup>-1</sup> )	1.28(0.92,1.78)	1.08(0.83,1.39)	2.348	0.019
HDL-C/(mmol·L <sup>-1</sup> )	1.19(1.01,1.39)	1.29(1.04,1.54)	1.277	0.202
LDL-C/(mmol·L <sup>-1</sup> )	1.94(1.51,2.48)	1.78(1.26,2.12)	2.244	0.025
SYNTAX 评分	25(19,33)	25(17,30)	1.236	0.217

表 2 两组病变特征及术中情况比较

Table 2 Lesion characteristics and surgical data

处(%), $M(P_{25},P_{75})$ , $\bar{X}\pm S$ 

项目	RA/DES 组(274 处)	RA/DCB 组(58 处)	$\chi^2/Z$	$P$
手术入路			0.547	0.460
桡动脉	220(80.29)	49(84.48)		
股动脉	54(19.71)	9(15.52)		
指引导管			0.194	0.659
6F	141(51.46)	28(48.28)		
7F	133(48.54)	30(51.72)		
靶血管			24.610	<0.001
LM	67(24.45)	1(1.72)		
LAD	152(55.47)	42(72.41)		
LCX	13(4.74)	7(12.07)		
RCA	42(15.33)	8(13.79)		
CTO 病变	25(9.12)	6(10.34)	0.084	0.772
分叉病变	51(18.61)	2(3.45)	7.114	0.008
三支病变	119(43.43)	20(34.48)	1.575	0.210
IVUS/OCT 指导	106(38.69)	34(58.62)	7.800	0.005
临时起搏器	18(6.57)	2(3.45)	0.365	0.546
IABP 辅助	10(3.65)	1(1.72)	0.116	0.733
旋磨头数量/枚	1.29±0.53	1.17±0.43	1.589	0.112
最大磨头直径/mm	1.54±0.16	1.60±0.19	2.502	0.012
磨头直径/参考血管直径	0.52±0.06	0.61±0.09	7.063	<0.001
植入物数量/枚	2.17±0.79	1.57±0.65	5.406	<0.001
植入物直径/mm	2.99±0.34	2.68±0.38	5.695	<0.001
植入物总长度/mm	52.16±20.76	42.60±17.42	3.521	<0.001

注:CTO:冠脉慢性完全闭塞病变;LCX:左回旋支;RCA:右冠脉。

表 3 两组术中并发症、院内不良事件及远期随访结果比较  
 Table 3 Intraoperative complications, in-hospital adverse events and long-term follow-up results 例(%)

项目	RA/DES 组(261 例)	RA/DCB 组(57 例)	$\chi^2$	<i>P</i>
术中并发症	22(8.43)	5(8.77)	0.007	0.933
慢血流/无复流	16(6.13)	2(3.51)	0.211	0.646
穿孔/心包压塞	2(0.77)	0(0.00)	0.000	1.000
旋磨头嵌	1(0.38)	1(1.75)	0.068	0.794
导丝断裂	2(0.77)	1(1.75)	0.000	1.000
低血压	1(0.38)	1(1.75)	0.068	0.794
院内 MACCE	7(2.68)	0(0.00)	0.566	0.452
全因死亡	4(1.53)	0(0.00)	0.081	0.776
非致死性心肌梗死	2(0.77)	0(0.00)	0.000	1.000
脑卒中	1(0.38)	0(0.00)	0.000	1.000
远期随访 MACCE	49(18.77)	7(12.28)	1.359	0.244
全因死亡	4(1.53)	1(1.75)	0.000	1.000
非致死性心肌梗死	3(1.15)	0(0.00)	0.003	0.954
靶病变血运重建	36(13.79)	4(7.02)	1.386	0.239
脑卒中	6(2.29)	2(3.51)	0.004	0.951

绘制远期随访 Kaplan-Meier 生存率曲线,见图 1。log-rank 检验显示两组累计 MACCE 发生率无统计学差异(log-rank  $P=0.494$ )。

#### 2.4 单因素及多因素 Cox 回归分析结果

单因素 Cox 回归分析显示,CABG 史、TC 水平、左主干病变、三支病变、分叉病变、植入物数量、植入物总长度、SNYTAX 评分有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。将上述变量纳入多因素 Cox 回归分析,结果显示,分叉病变( $HR = 2.284, 95\% CI: 1.063 \sim 4.908, P = 0.034$ )、植入物总长度( $HR = 1.023, 95\% CI: 1.005 \sim 1.047, P = 0.014$ )、SNYTAX 评分( $HR = 1.047, 95\% CI: 1.013 \sim 1.082, P = 0.006$ )是 RA-PCI 术后远期 MACCE 事件发生的独立预测因素。见表 4。

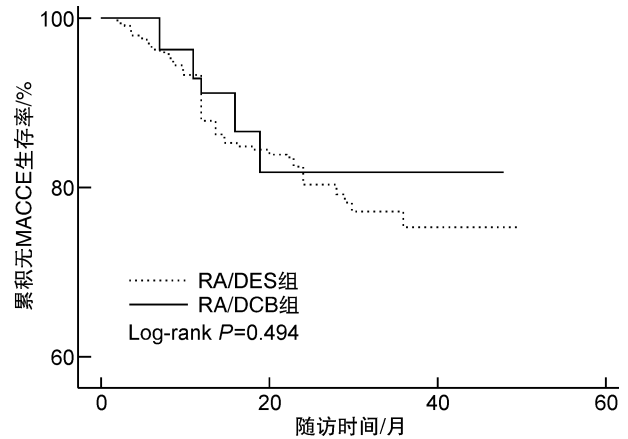


图 1 生存曲线  
 Figure 1 Curves of survival rate

表 4 单因素及多因素 Cox 回归分析  
 Table 4 Univariate and multivariate Cox regression analysis

项目	单因素分析		多因素分析	
	HR(95%CI)	<i>P</i>	HR(95%CI)	<i>P</i>
CABG 史	0.188(0.046~0.775)	0.021	1.136(0.206~6.265)	0.884
总胆固醇	1.398(1.043~1.873)	0.025	1.300(0.961~1.759)	0.089
左主干病变	0.504(0.290~0.877)	0.015	0.740(0.338~1.620)	0.451
三支病变	0.482(0.282~0.825)	0.008	1.118(0.597~2.095)	0.728
分叉病变	0.392(0.222~0.694)	0.001	2.284(1.063~4.908)	0.034
植入物数量	1.431(1.037~1.974)	0.029	0.807(0.491~1.327)	0.398
植入物总长度	1.021(1.009~1.034)	0.001	1.023(1.005~1.047)	0.014
SNYTAX 评分	1.065(1.038~1.093)	0.001	1.047(1.013~1.082)	0.006

### 3 讨论

本研究显示,即便基线病变特征差异显著,RA 后 DCB 治疗冠脉钙化的安全性及疗效与 DES 相当。多因素 Cox 回归分析显示,DCB 与 RA-PCI

术后远期 MACCE 发生无相关性,分叉病变、SNYTAX 评分、植入物总长度是术后远期 MACCE 发生的影响因素。上述指标均反映病变的严重程度,提示复杂病变类型可能影响 RA 术后远期预后。



冠脉钙化是 PCI 治疗的难点之一。钙化斑块的存在增加了病变预处理的难度,降低手术成功率,导致更多并发症出现并影响远期结果<sup>[3]</sup>。目前,使用 RA 行钙化斑块修饰,后续非顺应球囊高压预扩张并植入 DES 是严重钙化病变的标准 PCI 策略。然而 DES 在冠脉钙化的应用中存在一定局限性。首先,钙化斑块损伤支架小梁及聚合物涂层,并限制支架的输送及精准定位,降低手术成功率及治疗效果。其次,在支架扩张时,钙化小结的存在易导致支架膨胀不全及不规则变形,增加支架内血栓形成风险。尽管支架内血栓形成较少见,但一旦发生,死亡率非常高。研究显示,当 RA 术后仍因残余钙化斑块导致支架膨胀不良时,支架内血栓形成的风险显著增加<sup>[10]</sup>。此外,严重钙化病变常合并弥漫性长病变,需多个支架重叠植入以达到完全覆盖。本研究中也较多合并弥漫性病变,RA/DES 组植入物总长度高达(52.16±20.76) mm。支架植入过长影响冠脉正常舒缩,促进新生动脉粥样硬化,还限制了再次血运重建。既往研究显示,过长的 DES 植入是支架内再狭窄及血栓形成的危险因素,与远期不良预后相关<sup>[11]</sup>。

RA 联合 DCB 治疗钙化病变存在诸多潜在优势。首先,RA 能均匀裂解钙化环,降低因高压扩张引起的血管夹层的风险;另外,旋磨后的病变血管不易发生弹性回缩(钙化环的机械支撑作用)。既往研究中,65%~27%的非钙化血管 DCB 植入后因严重夹层或弹性回缩行补救性 DES 植入<sup>[12]</sup>。其次,DCB 术后无金属异物残留,缩短了双联抗血小板时间,避免了支架内血栓形成的风险。第三,在合并弥漫性长病变的钙化病变中,DCB 的应用避免了较长支架的植入,不影响再次血运重建的进行。Costopoulos 等<sup>[13]</sup>进行的一项回顾性研究显示,DCB 与 DES 在弥漫性病变中安全性及疗效相当。第四,相对于 DES,DCB 植入术式往往更简单,耗时更少,特别是对于合并开口病变、分叉病变、弥漫性长病变等复杂解剖结构的患者。

先前关于 RA 后植入 DES 的研究显示,靶血管血运重建率为 6.8%~11.7%<sup>[14-16]</sup>。本研究中 RA/DES 组靶血管血运重建率为 13.79%,略高于既往报道。另一方面,RA/DCB 组靶血管血运重建率为 7.02%,与既往 RA 联合 DES 研究的结果相似。Rissanen 等<sup>[17]</sup>报道,RA 联合 DCB 治疗结果显示靶血管血运重建率极低(12 个月时为 1.5%)。考虑其低靶血管血运重建率可能与低造影随访率有关。3 项来自日本的小样本研究显示,靶血管血运重建率为 6%~16%,与本研究结果相似<sup>[18-20]</sup>。目前关于 DCB 治疗冠脉钙化的国内外研究较少,一项回顾性研究指出,行 DCB 治疗后,钙化组与非钙化组远期 MACCE 发生率、靶血管血运重建率及远期管腔丢失无明显差异<sup>[12]</sup>。在安全性

方面,需要指出的是,本研究仅小部分患者植入 DCB,更多预处理后出现严重夹层或高度残余狭窄的患者植入了 DES。在应用 DCB 的患者中,两例患者因 DCB 植入后严重夹层行补救性支架植入,无急性闭塞发生。术中并发症及院内不良事件与 RA/DES 组无显著差异,安全性良好。因此,在 RA 有效减轻钙化斑块负荷且无明显严重夹层时,后续的 DCB 植入安全性良好。

冠脉造影为二维图像,对于钙化病变的评估存在一定局限性,而腔内影像学检查能够准确评估斑块性质、管腔直径及病变长度,指导旋磨头大小的选择及旋磨方案的制定,评估预处理效果<sup>[21]</sup>。研究显示,腔内影像学指导可增加 PCI 成功率,实现更大的管腔获得并改善远期预后<sup>[22]</sup>。另一方面,相较于 DES,DCB 对预处理结果的要求更高,腔内影像学辅助可准确判断预处理情况,选择合适的球囊规格并精准定位以充分贴壁及完全覆盖病变。此外,DCB 植入后夹层的产生通常不可避免。研究表明,不影响血流的轻中度夹层是安全的,而且能够促进药物更好地渗透血管壁从而促进远期管腔增大<sup>[23]</sup>。冠脉造影对夹层的敏感性低,常遗漏并低估夹层的存在<sup>[24]</sup>。腔内影像学检查可及时发现累及中膜、合并壁内血肿等可导致急性闭塞的高危夹层,并指导补救性支架植入。本研究中 RA/DCB 组 58.62% 的患者在腔内影像学辅助下完成手术,高于支架组的 38.69%,其中 1 例患者术后 IVUS 发现高危夹层行补救性 DES 植入术。

本研究存在一定局限性。首先,这是一项单中心回顾性研究,旋磨后植入 DCB 或 DES 由术者决定,存在选择偏倚。第二,只比较了单纯 DCB 和单纯 DES 两种治疗方式的疗效,未纳入同时联用 DCB 及 DES 的患者。第三,DCB 组患者较少,术后冠脉造影随访病例有限,临床随访事件跨度较大。期待更多大样本随机对照研究明确 RA 联合 DCB 在冠脉严重钙化病变中的安全性与疗效。

总之,在一些特定场景下,RA 联合 DCB 为严重冠脉钙化病变的介入治疗提供了一种可行的替代方案,未来可能是一种有前景的介入治疗手段。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] Huang BT, Huang FY, Zuo ZL, et al. Target lesion calcification and risk of adverse outcomes in patients with drug-eluting stents. A meta-analysis[J]. Herz, 2015,40(8):1097-1106.
- [2] 滕伟利,曹成富,李琪,等. 冠状动脉斑块旋磨术治疗严重钙化病变的临床结果及影响因素分析[J]. 中国介入心脏病学杂志,2021,29(11):601-606.
- [3] Madhavan MV, Tarigopula M, Mintz GS, et al. Coronary artery calcification: pathogenesis and prognostic implications[J]. J Am Coll Cardiol, 2014, 63(17): 1703-1714.

- [4] Sharma SK, Tomey MI, Teirstein PS, et al. North American Expert Review of Rotational Atherectomy [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2019, 12(5):e007448.
- [5] 韩旭飞, 刘恒道, 邢军辉, 等. 单纯使用药物涂层球囊治疗冠状动脉慢性完全闭塞性病变的临床疗效分析 [J]. *临床心血管病杂志*, 2021, 37(7):604-609.
- [6] Rodoplu O, Oztas DM, Meric M, et al. Efficacy of Rotational Atherectomy Followed by Drug-coated Balloon Angioplasty for the Treatment of Femoropopliteal Lesions-Comparison with Sole Drug-coated Balloon Revascularization: Two-year Outcomes [J]. *Ann Vasc Surg*, 2021, 73:222-233.
- [7] Foley TR, Cotter RP, Kokkinidis DG, et al. Mid-term outcomes of orbital atherectomy combined with drug-coated balloon angioplasty for treatment of femoropopliteal disease [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2017, 89(6):1078-1085.
- [8] Cai Z, Guo L, Qi L, et al. Midterm Outcome of Directional Atherectomy Combined with Drug-Coated Balloon Angioplasty Versus Drug-Coated Balloon Angioplasty Alone for Femoropopliteal Arteriosclerosis Obliterans [J]. *Ann Vasc Surg*, 2020, 64:181-187.
- [9] 中华医学会心血管病学分会动脉粥样硬化与冠心病学组, 中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组, 中国医师协会心血管内科医师分会血栓防治专业委员会, 等. 冠心病双联抗血小板治疗中国专家共识 [J]. *中华心血管病杂志*, 2021, 49(5):432-454.
- [10] Cheneau E, Leborgne L, Mintz GS, et al. Predictors of subacute stent thrombosis: results of a systematic intravascular ultrasound study [J]. *Circulation*, 2003, 108(1):43-47.
- [11] Díaz Fernández JF, Camacho Freire SJ, Fernández Guerrero JC, et al. Everolimus drug-eluting stent performance in patients with long coronary lesions: The multicenter Longprime registry [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2018, 92(7):E493-E501.
- [12] Ito R, Ueno K, Yoshida T, et al. Outcomes after drug-coated balloon treatment for patients with calcified coronary lesions [J]. *J Interv Cardiol*, 2018, 31(4):436-441.
- [13] Costopoulos C, Latib A, Naganuma T, et al. The role of drug-eluting balloons alone or in combination with drug-eluting stents in the treatment of de novo diffuse coronary disease [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2013, 6(11):1153-1159.
- [14] Abdel-Wahab M, Baev R, Dieker P, et al. Long-term clinical outcome of rotational atherectomy followed by drug-eluting stent implantation in complex calcified coronary lesions [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2013, 81(2):285-291.
- [15] Abdel-Wahab M, Richardt G, Joachim Büttner H, et al. High-speed rotational atherectomy before paclitaxel-eluting stent implantation in complex calcified coronary lesions: the randomized ROTAXUS (Rotational Atherectomy Prior to Taxus Stent Treatment for Complex Native Coronary Artery Disease) trial [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2013, 6(1):10-19.
- [16] Tian WJ, Mahmoudi M, Lhermusier T, et al. Clinical outcomes of first-and second-generation drug-eluting stents in patients undergoing rotational atherectomy for heavily calcified coronary lesions [J]. *Cardiovasc Revasc Med*, 2015, 16(3):147-150.
- [17] Rissanen TT, Uskela S, Siljander A, et al. Percutaneous coronary intervention of complex calcified lesions with drug-coated balloon after rotational atherectomy [J]. *J Interv Cardiol*, 2017, 30(2):139-146.
- [18] Nagai T, Mizobuchi M, Funatsu A, et al. Acute and mid-term outcomes of drug-coated balloon following rotational atherectomy [J]. *Cardiovasc Interv Ther*, 2020, 5(3):242-249.
- [19] Shiraishi J, Kataoka E, Ozawa T, et al. Angiographic and clinical outcomes after stent-less coronary intervention using rotational atherectomy and drug-coated balloon in patients with de novo lesions [J]. *Cardiovasc Revasc Med*, 2020, 21(5):647-653.
- [20] Ueno K, Morita N, Kojima Y, et al. Safety and long-term efficacy of drug-coated balloon angioplasty following rotational atherectomy for severely calcified coronary lesions compared with new generation drug-eluting stents [J]. *J Interv Cardiol*, 2019:9094178.
- [21] 郑琦, 段继坤, 杨帆, 等. 应用光学相干断层扫描技术探究点状钙化特征与斑块稳定性的关系 [J]. *临床心血管病杂志*, 2021, 37(12):1117-1120.
- [22] Teng W, Li Q, Ma Y, et al. Comparison of optical coherence tomography-guided and intravascular ultrasound-guided rotational atherectomy for calcified coronary lesions [J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2021, 21(1):290.
- [23] Cortese B, Silva Orrego P, Agostoni P, et al. Effect of Drug-Coated Balloons in Native Coronary Artery Disease Left With a Dissection [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2015, 8(15):2003-2009.
- [24] 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.

(收稿日期:2022-09-19)