

冲击波球囊治疗严重钙化冠状动脉病变的临床研究



李虎^{1,*}, 刘迎雪², 黄金燕¹, 刘玉¹, 孔倩³, 许智超¹, 曹镒¹

¹解放军南部战区海军第一医院心血管内科, 广东湛江 524005

²解放军南部战区海军第一医院门诊部, 广东湛江 524005

³解放军南部战区海军第一医院导管室, 广东湛江 524005

摘要: 目的: 探讨严重钙化冠状动脉病变应用冲击波球囊治疗的有效性和注意事项。方法: 回顾 3 例应用冲击波球囊治疗严重钙化冠状动脉病变的病例, 并系统性复习关于冲击波球囊在冠状动脉介入治疗中应用的文献, 分析讨论冲击波球囊治疗的基本原理、操作方法、注意事项及独特优势。结果: 3 例患者均通过冠状动脉造影发现严重钙化冠状动脉病变, 其中 2 例应用了冠状动脉内光学相干成像进一步评估钙化部位、类型和严重程度。3 例患者均使用 1 条冲击波球囊导管帮助完成钙化病变的预处理, 并最终成功植入支架, 取得冠状动脉介入治疗临床成功。结论: 冲击波球囊是介入治疗严重钙化病变新的有效方法, 与传统方法相比, 这种方式在管腔获得、支架植入成功和降低主要不良心血管事件的风险方面具有良好的效果。

关键词: 血管内冲击波治疗; 冠状动脉钙化病变; 球囊血管成形术; 斑块修饰

DOI: [10.57237/j.wjcm.2023.03.002](https://doi.org/10.57237/j.wjcm.2023.03.002)

Intravascular Lithotripsy in Calcified Coronary Lesions: A Case Report and Review

Li Hu^{1,*}, Liu Yingxue², Huang Jinyan¹, Liu Yu¹, Kong Qian³, Xu Zhichao¹, Cao Di¹

¹Department of Cardiology, First Naval Hospital of Southern Theater Command, PLA, Zhanjiang 524005, China

²Department of Outpatient, First Naval Hospital of Southern Theater Command, PLA, Zhanjiang 524005, China

³Catheterization Lab, First Naval Hospital of Southern Theater Command, PLA, Zhanjiang 524005, China

Abstract: Objective: To investigate the effectiveness and precautions of shockwave-Intravascular Lithotripsy in severe calcified coronary artery disease. Methods: Three cases of severe calcified coronary artery disease treated with shockwave-Intravascular Lithotripsy were reviewed, and the literature on the application of shockwave-Intravascular Lithotripsy in coronary interventional therapy was systematically reviewed. Results: Severe calcified coronary artery lesions were found in all 3 patients by coronary angiography, and in 2 of them, intracoronary optical coherence imaging was used to further evaluate the location, type, and severity of calcification. All the 3 patients were treated with a shockwave-Intravascular Lithotripsy balloon catheter to help complete the pre-treatment of calcification lesions, and finally successfully implanted stents, achieving clinical success in coronary interventional therapy. Conclusion: Shockwave-Intravascular Lithotripsy is a safe and effective method for interventional treatment of severe calcification.

*通信作者: 李虎, lihu@medmail.com.cn

Keywords: Intravascular Lithotripsy; Coronary Calcified Lesion; Balloon Angioplasty; Plaque Modification

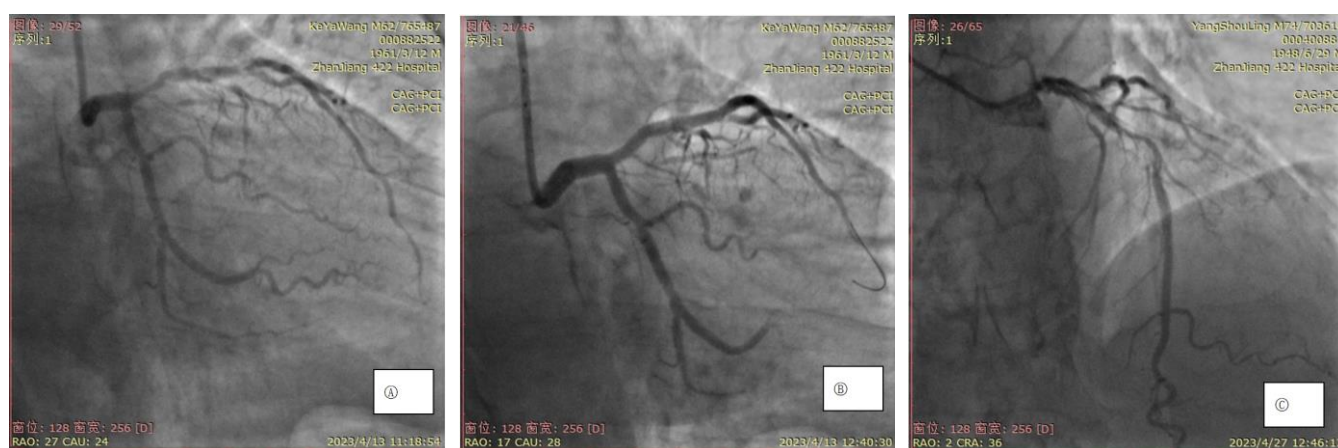
1 引言

冠状动脉钙化（CAC）是降低经皮冠状动脉介入治疗（PCI）成功预期的重要因素，其主要影响包括：器械通过困难，药物洗脱支架（DES）聚合物涂层损坏及药物损失，DES 药物洗脱动力学和药物传递改变，支架贴壁不良或膨胀不全。过去常用的应对的 CAC 的技术存在各自局限性：非顺应性高压球囊高压扩张或特殊球囊（刻痕球囊、切割球囊、棘突球囊等）不一定能够充分使环形钙化断裂，斑块消蚀技术（如旋磨、准分子激光斑块消蚀等）有较高的冠脉穿孔发生率。利用冲击波球囊的血管内碎石术（IVL）是一种新技术，与传统的肾结石碎石术类似，在传统的导管平台上安装多个冲击波发射器，传递局部脉冲声波压力波，击碎径向的钙化，从而恢复冠状动脉的可扩张性，提高 PCI 成功率[1-3]。现报告 3 例 IVL 治疗成功完成 PCI 的病例。

2 资料与方法

病例 1，男性，62 岁，因反复胸痛 1 月余再发 1 天在当地医院诊断为“急性非 ST 抬高型心肌梗死”，并急诊行冠状动脉造影及急诊 PCI。造影提示前降支近端弥漫性重度狭窄并高度钙化迂曲，导丝可通过病变，以

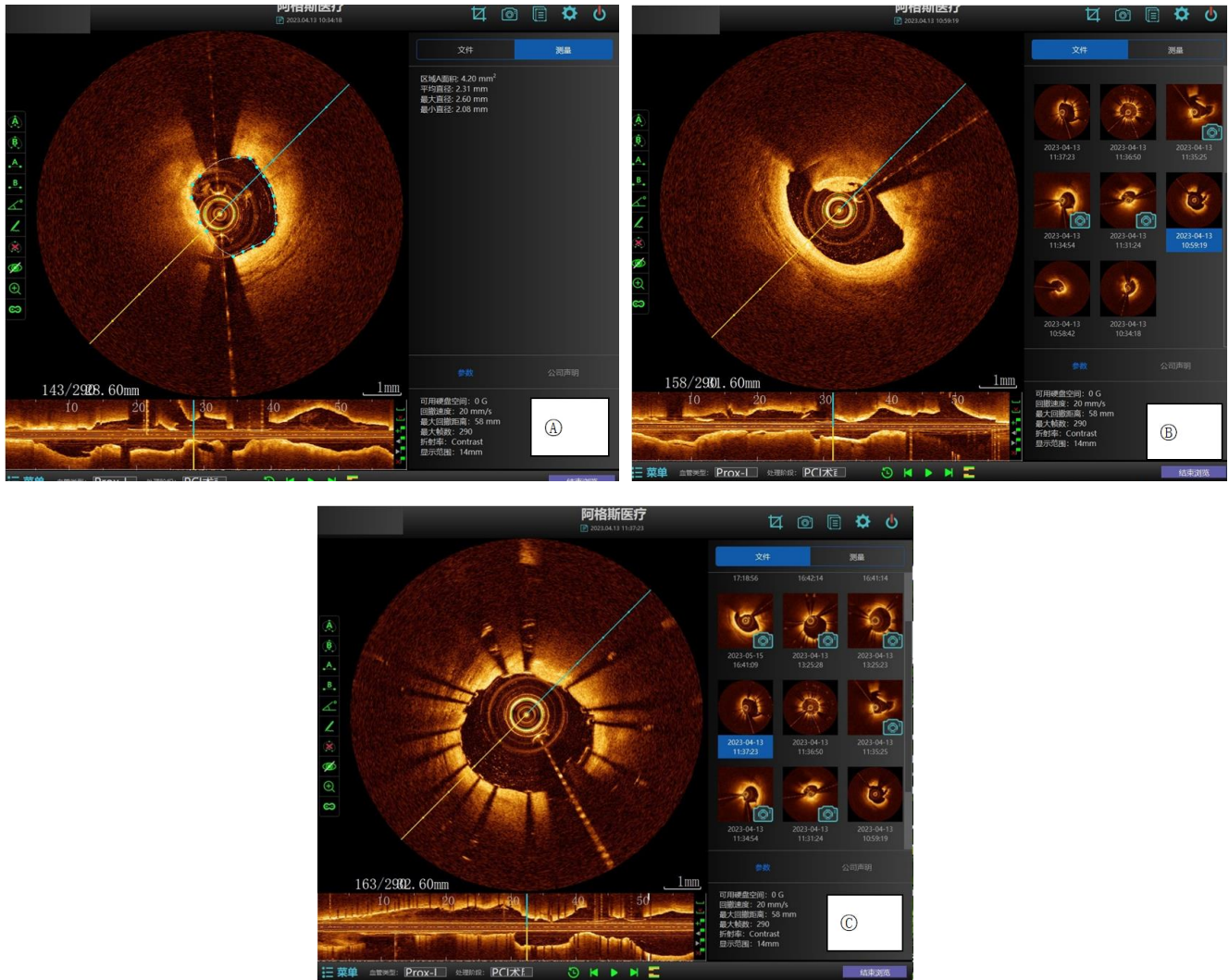
2.0×20mm 球囊反复预扩张后支架不能通过，再以 2.5×20mm 球囊反复扩张后仍不能送入支架，造影提示前降支近段可见夹层撕裂，血流 TIMI3 级，患者生命体征平稳，为进一步治疗于 2023-4-11 收入作者医院，于 2023-4-13 行再次 PCI 术。经右侧桡动脉，以 7F EBU3.5 指引导管逆行插管置于左主干开口处，造影显示前降支近中段钙化狭窄并迂曲，局部可见夹层撕裂（图 1.A.C.）。分别于前降支及第一对角支置入导丝，行 OCT 检查，见前降支弥漫性纤维斑块形成并广泛内膜下钙化（图 2.A），多处内膜撕裂，为前一次 PCI 术中球囊扩张所致，局部血管迂曲。在 4.3F 延长导管辅助下以 3.0×12mm 冲击波球囊（IVL）从远端到前降支近端依次进行扩张，共治疗 6 次，扩张 5 个部位，每次治疗先以 4atm 扩张 IVL 球囊确保贴壁，发放 10 个脉冲，治疗后立即增加压力到 6atm，观察球囊是否膨胀满意，随即复查 OCT，提示钙化环多处断裂，血管恢复可扩张性（图 2.B）。IVL 治疗后前降支顺利自远端到近端植入 3 枚支架（2.75×30mm，2.75×20mm，3.0×20mm），复查 OCT，见支架膨胀满意，贴壁良好（图 2.C），复查 CAG 显示 PCI 成功（图 1.B.D.）。



A. 术前 CAG 提示前降支近中段弥漫性钙化狭窄并局部夹层；B. 术后 CAG 提示冲击波球囊治疗后完成支架植入，前降支近端支架膨胀满意，管腔获得满意；C. 术前造影提示前降支近中段弥漫性钙化狭窄并局部迂曲；D. 植入支架后可见支架膨胀满意，管腔获得满意

图 1 病例 1 CAG 图像

Figure 1 CAG Images of Case 1



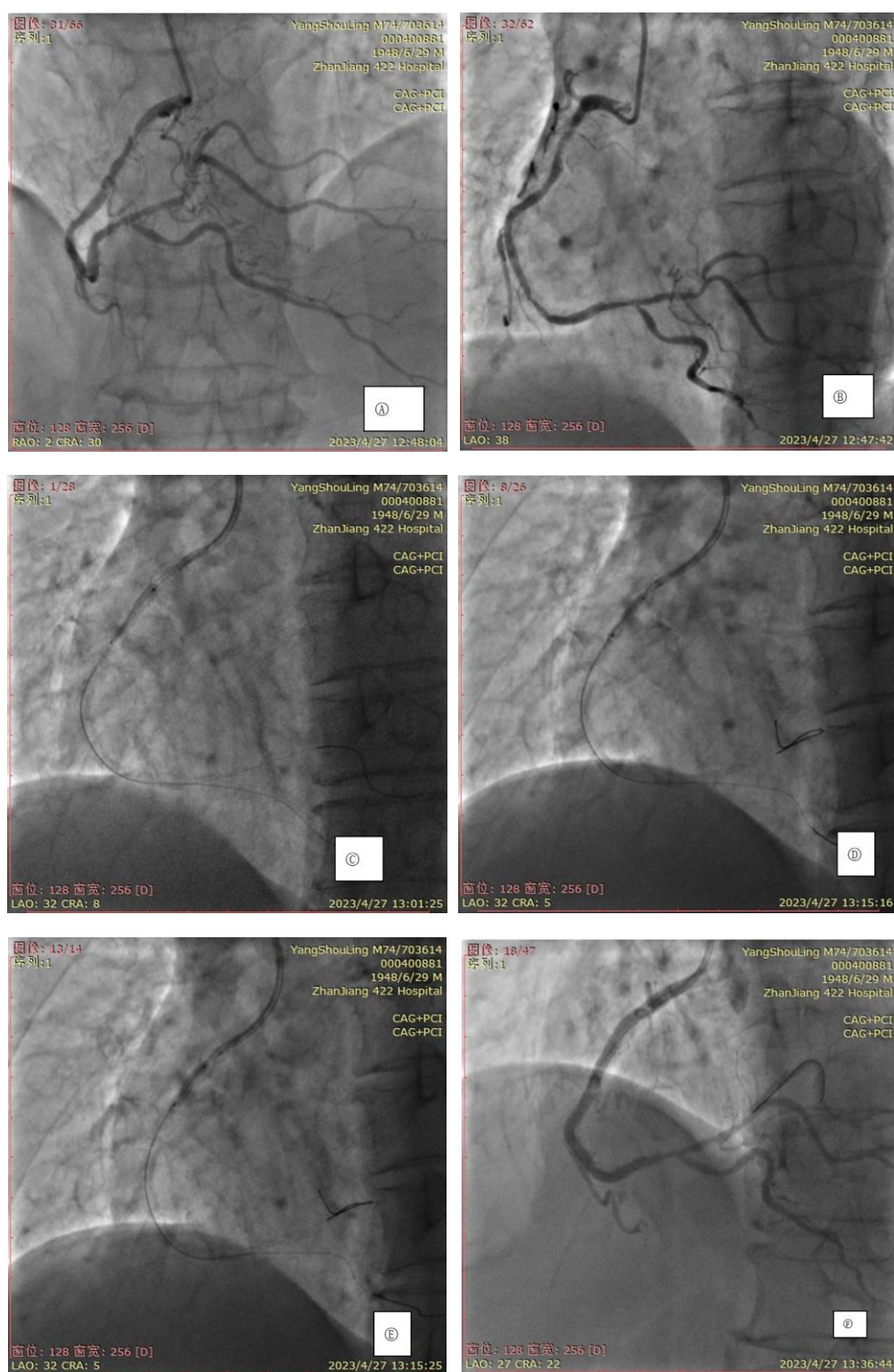
A. 术前 OCT 图像显示局部钙化弧达 270°，外院 PCI 球囊扩张未能破坏钙化弧；B. 冲击波球囊治疗后，局部显著扩张，完整钙化弧 <120°，显示血管恢复可扩张性；C. 植入支架后可见支架膨胀满意，贴壁良好

图 2 病例 1 OCT 图像

Figure 2 OCT Images of Case1

病例 2，男性，74 岁，发作性胸痛 6 月余，在当地医院以急性非 ST 抬高型心肌梗死行冠脉造影，见右冠弥漫性钙化并多处重度狭窄，右冠显著迂曲，左主干重度钙化狭窄，前降支近中段弥漫性重度钙化狭窄，回旋支较细小并弥漫性重度狭窄，未能行 PCI 术，转来我院。于 2023-4-27 行 PCI 术，经右侧桡动脉，逆行插管以 6F SAL0.75 指引导管至右冠开口，造影显示右冠病变（图 3.A.B.），送 Grandslam 导丝至右冠后侧支远端，送 Runthrough NS 导丝至右冠后降支远端，行 OCT 检查见右冠全程内膜下钙化，多处环形钙化（图 4.A.）。以

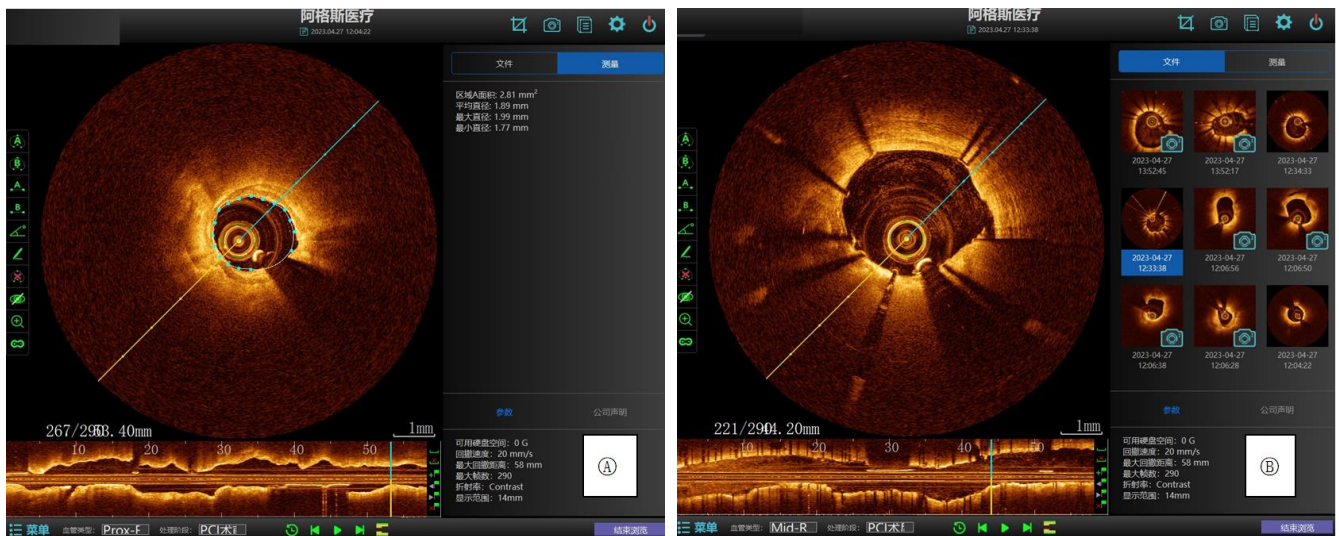
3.0×15mm 非顺应性球囊预扩张右冠近端狭窄最重处，20atm 不能膨胀满意（图 3.C.）。在 4.3F 延长导管支持下以 3.0×12mm 冲击波球囊（IVL）从右冠远端到近端依次进行扩张，共治疗 6 次，扩张 6 个部位，每次治疗先以 4atm 扩张 IVL 球囊确保贴壁，发放 10 个脉冲（图 3.D.），治疗后立即增加压力到 6atm，观察球囊是否膨胀满意（图 3.E.）。IVL 治疗后右冠顺利自远端到近端植入 4 枚支架（3.0×30mm，3.0×30mm，3.5×30mm，3.5×15mm），造影及复查 OCT，见支架膨胀满意，贴壁良好（图 3.F.，图 4.B.）。择期处理左主干-前降支。



A.B. 术前 CAG 提示右冠近中段弥漫性钙化狭窄并局部重度狭窄；C. 右冠近端球囊扩张不能充分膨胀，形成“狗骨头”效应；D. 冲击波球囊 4atm 扩张，冲击波治疗前不能充分膨胀；E. 冲击波治疗后 6atm 扩张球囊膨胀充分；F. 支架植入后见右冠近中段支架膨胀满意，管腔获得满意

图 3 病例 2 CAG 图像

Figure 3 CAG Images of Case2



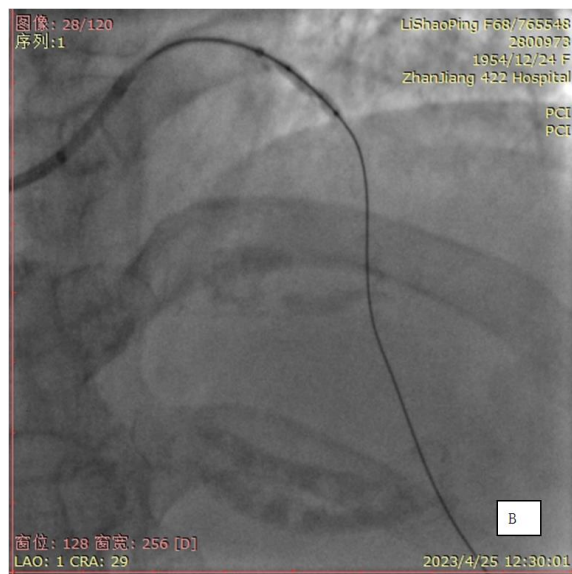
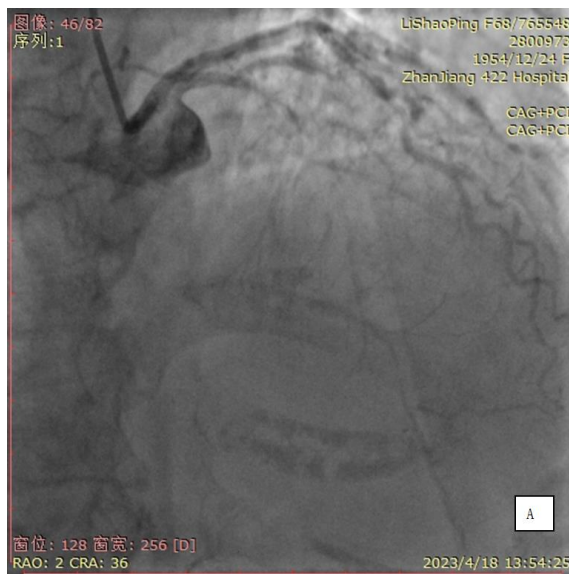
A. 术前 OCT 图像显示局部环形钙化 360°，此部位非顺应性球囊不能扩张，形成“狗骨头”效应；B. 植入支架后可见支架膨胀满意，贴壁良好，钙化环断裂充分

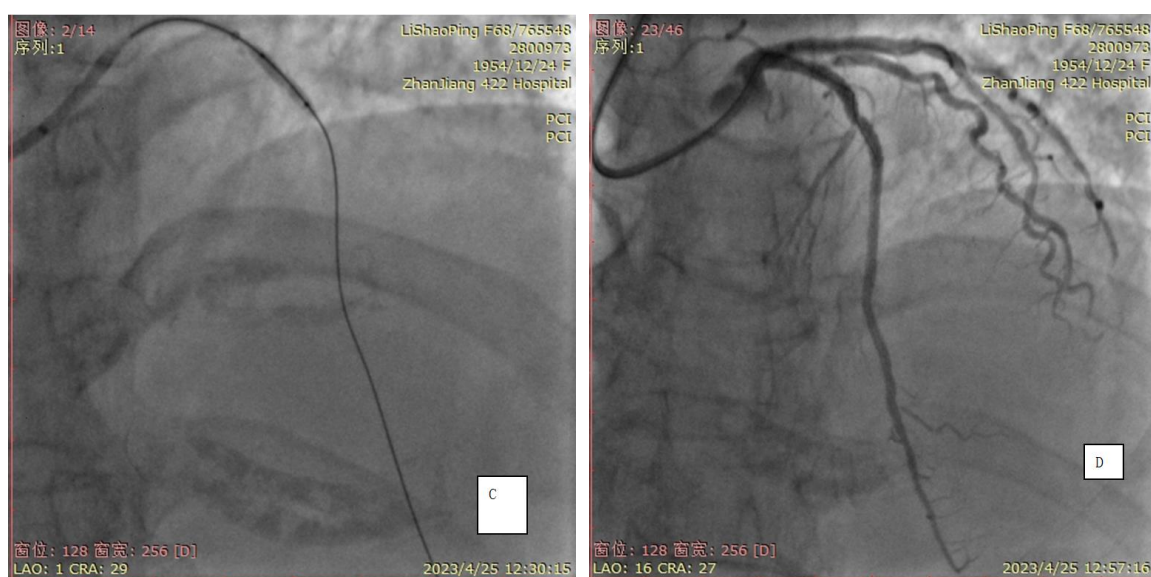
图 4 病例 1 OCT 图像

Figure 4 OCT Images of Case 1

病例 3，女性，68 岁，反复胸痛 3 年余加重 1 周入院，既往外院冠脉造影提示前降支慢性闭塞病变未处理，于 2023-4-18 行冠脉造影，提示右冠近端局限性重度狭窄，近乎闭塞，前降支中段闭塞，先处理右冠近端病变并植入支架，于 2023-4-27 再次 PCI 处理前降支。经右侧桡动脉，逆行插管送 6F EBU3.5 指引导管至左主干开口，造影充分显示前降支闭塞病变及同向侧枝循环（图 5.A.），在微导管支持下以 Fielder XTR 导丝通过闭塞段进入前降支远端，1.0×10mm 球囊及

1.5×15mm 球囊反复扩张闭塞处后以 2.0×15mm 扩张，见球囊膨胀不全。以 2.5×12mm 冲击波球囊（IVL）从前降支远端到近端依次进行扩张，共治疗 7 次，扩张 5 个部位，每次治疗先以 4atm 扩张 IVL 球囊确保贴壁，发放 10 个脉冲，治疗后立即增加压力到 6atm，观察球囊是否膨胀满意（图 5.B.C.）。随后以 2.0×20mm 球囊扩张远端病变。顺利自远端到近端植入 4 枚支架（2.25×26mm，2.5×35mm，3.0×25mm，3.5×25mm），造影提示支架膨胀完全，贴壁满意（图 5.D.）。





A. 术前 CAG 提示前降支中段闭塞，有同向侧枝循环，远端血管分布广泛；B. 近端原闭塞前血管迂曲，冲击波球囊 4atm 扩张时可见“狗骨头”效应；C. 冲击波治疗后 6atm 扩张球囊，可见扭曲减轻，球囊膨胀满意，提示钙化环断裂充分；D. 支架植入后见前降支支架膨胀满意，管腔获得满意

图 5 病例 3 CAG 图像

Figure 5 CAG Images of Case2

3 讨论

3.1 钙化病变对冠状动脉介入治疗的不 良影响和应对钙化病变的技术

高达 30%接受经皮冠状动脉介入治疗（PCI）的患者存在钙化病变[4]。严重钙化仍然是 PCI 成功的主要挑战，严重钙化增加了死亡率、主要不良心血管事件（mace）、靶血管失败和支架血栓形成（ST）。病变准备不良、支架扩张不充分和支架错位的是导致不良结果的主要原因[5]。

过去曾发展了多种病变预处理技术用于应对钙化病变[6-8]。非顺应性球囊和超高压球囊是利用提高扩张压力的同时保持球囊的相对均匀膨胀，减少“狗骨头”效应，但部分环形钙化球囊扩张压力不足以使钙化环断裂，非环形钙化病变钙化斑不可被扩张，增加了同节段非钙化部分管壁过度扩张导致血管穿孔甚至破裂的风险，钙化斑块也有导致球囊破裂的风险。各类具有斑块修饰作用的球囊，如双导丝球囊、刻痕球囊、棘突球囊、切割球囊等，利用球囊外附加的结构增加局部压强，有望提高将钙化环或钙化斑断裂的能力，但通过性常远低于常规球囊，且常不能利用更高压力

增加效率，失败率较高。斑块消融技术如旋磨术和激光斑块消融术能有效的消融钙化斑块，但为了获得满意的管腔，常需要逐渐增加器械直径，显著增加了手术的花费，且更大直径的器械显著增加冠脉穿孔的风险。因此需要新的应对钙化病变的技术以提高钙化病变的成功率和安全性，并简化手术操作。

冠状动脉造影经常低估或者漏诊钙化，光学相干成像（OCT）因其空间分辨率高和可测量钙化厚度的能力，应作为首选的成像方式[9, 10]。血管内超声成像（IVUS）对钙化敏感，是有效的替代方法。

3.2 冲击波球囊的技术原理、基本操作方法和应用价值

经皮冠状动脉血管内冲击波能量钙化碎裂术（Intravascular Lithotripsy, IVL）应用冲击波球囊，以局部声压波破坏钙化斑块，获得结果改善并最大限度地减少并发症。冲击波球囊治疗原理为脉冲发生器发送电信号，通过连接电缆将信号传输至冲击波球囊，球囊内的换能器将电信号转化为冲击波，完成电能向机械能转换。冲击波脉冲时程短至 1 微秒，压力可高至 50atm，因液体可将压强均匀传递给球囊贴合的血管壁，而非聚焦于某个方向或部位，瞬时的高压使钙化环断裂或钙化斑块

变的松散,对深层和表浅的钙化都有明显作用,提高血管壁的可扩张性。软组织对瞬时的冲击波无明显反应,减少了对非钙化组织损伤的风险[7]。

冲击波球囊治疗系统 (Shockwave-Intravascular Lithotripsy, S-IVL) 由可充电脉冲发生器、连接电缆、冲击波球囊导管组成。冲击波球囊导管具有两个冲击波发生器。连接电缆和冲击波球囊通过磁吸连接,使用简便。连接电缆末端具有治疗手柄,具有治疗按键,且有可治疗指示灯。使用连接电缆连接冲击波球囊和脉冲发生器后,脉冲发生器会识别球囊并计数可治疗次数,冠脉内使用的冲击波球囊导管可发放 80 次脉冲。治疗时先将准备好的冲击波球囊导管的球囊送达靶病变部位,冲击波球囊兼容 0.014" 指引导丝和 6F 及以上的指引导管。定位后将其充气至 4 个大气压,目的是使球囊贴合病变而非扩张治疗[11]。S-IVL 系统能够传递 8 个周期的冲击波,每个周期 10 个脉冲,每秒一个脉冲,持续 1 微秒[11]。通常一次扩张发放 10 个脉冲,故每个冲击波球囊可完成 8 次治疗,可治疗多个部位,必要时可对同一部位重复治疗。完成 1 个治疗周期后立即将球囊充盈压力提高到 6atm,既可以通过球囊是否充盈良好判断治疗效果,又可以通过低压力扩张增加管腔面积。10s 后使球囊泄压,恢复血流。冲击波治疗未通过心电触发,故可落于心动周期的任何时间,可能会产生电机械耦合,有一过性心律失常风险,治疗期间需严密监测心电活动和压力曲线,并做好电击除颤准备[5-8]。

2017 年, S-IVL 获得了欧洲 CE 标志批准,用于治疗钙化斑块。一项多中心前瞻性研究 Disrupt CAD I 在 7 个国家招募了 60 名严重钙化血管患者,残余直径狭窄为 $13.3\% \pm 1.6\%$,所有患者均成功植入支架[12]。另一项前瞻性试验 Disrupt CAD II [12, 13] 研究了来自 9 个国家的 120 例广泛钙化病例,残余狭窄 $7.8 \pm 8.7\%$,均成功植入支架。多个观察性研究中 S-IVL 均取得类似的有效结果。此外, S-IVL 后的急性管腔获得在不同的研究和报告中的 $0.89-2.1\text{mm}$ 。PCI 术后管腔获得增加有助于降低再狭窄风险,因此 S-IVL 预处理可能会增加血管直径并确保有效的支架放置,增加远期成功率。Disrupt CAD I 和 Disrupt CAD II 试验的光学相干成像子研究显示 $42.9-78.7\%$ 的钙化斑块出现了断裂。Disrupt CAD II 还报告, S-IVL 和支架置入术后管腔钙角从基线时的 266.3 ± 77.1 显著降低至 215 ± 69.4 ($p < 0.001$) [12]。Burneikaite 等[2]一项 meta 分析进一步证实了 S-IVL 的临床获益,包括运动能力增加, NYHA

分级改善,心绞痛频率降低等。Disrupt CAD III 研究[13] 纳入了 431 例患者,显示 30 天无 MACE 生存高达 92.2% ,进一步证实了 S-IVL 的有效性和安全性。

S-IVL 的操作中和操作后均可能出现并发症。操作中并发症可能包括慢血流、无复流、远端栓塞、穿孔和冠状动脉夹层。在 Disrupt CAD I 研究[12]和 Aksoy 等[14]的研究中,有 9 例冠状动脉夹层,而在 Disrupt CAD II 研究中只有 11 例患者发生 B 型和 C 型夹层[12, 13]。S-IVL 的临床成功取决于残余直径和主要心脏不良事件 (MACE),包括死亡、心肌梗死和冠状动脉血运重建。In Disrupt CAD I 研究显示,无 30 天内的 MACE 事件,6 个月有包括 3 例心肌梗死和 2 例心脏猝死, MACE 发生率 8.5% [12]。Sattar 等[15]报告 24 例 S-IVL 治疗病例中有 6 例发生并发症,最终 3 例死亡。Disrupt CAD II 研究报告了相对较高的 MACE 发生率 (7.6%),包括 8 例心肌梗死,1 例死亡和 1 例再次血管重建。Aksoy 等报告未发生住院期间 MACE 事件。

3.3 冲击波球囊应用的经验和注意事项

冲击波球囊系统准备时需要妥善的排空球囊内的空气。严格按照对比剂和生理盐水 1:1 配制充盈球囊的液体。在冲击波球囊末端侧孔处安装一个三通,应使用仅关闭一个方向三通 (即“指哪哪通”,而非“指哪关哪”)。先用 10ml 以上的注射器吸取 2mL 左右配置好的充盈液,连接三通后自球囊抽负压,在排气妥善后保持负压,关闭三通的球囊方向,取下注射器,连接压力泵 (保持约 8-10mL 充盈液,妥善排气),开启球囊-压力泵方向后压力泵抽负压,待确认排气妥善后关闭三通的球囊方向,将压力泵再次排气后开启球囊-压力泵方向后压力泵抽负压,重复压力泵负压-排气过程,直至确认球囊-压力泵系统内完全排气,常需重复至少三次。

冲击波球囊整体外径较大,使用 6F 指引导管时不能容纳第二条球囊或微导管,故预计需要容纳更多器械时建议使用更大尺寸的指引导管。其自身通过病变能力较弱,必要时使用强支撑导丝、延长导管、锚定等增加支撑力的以增加器械通过率。对预计不能直接通过的病变可以采用小直径球囊预扩张、旋磨等预处理措施。因冲击波球囊可通过病变则预期成功率高,常不需要更大尺寸的旋磨导管。

为了避免多个冲击波球囊的使用,建议按照与预

期植入支架 1:1 直径选择冲击波球囊。病例 1 和病例 2 遵循了该原则, 植入支架后不需要非顺应性球囊高压后扩张, 减少了手术操作事件, 降低了并发症风险。病例 3 因术前为慢性闭塞病变, 远端血管萎缩, 使用了 2.5×12mm 冲击波球囊预处理病变, 但植入 2.75mm 直径支架, 并需要 3.0mm 非顺应性球囊高压后扩张。该病例因病变长, 球囊预处理产生多处夹层, 为了避免推注造影剂导致远端壁内血肿, 未进行 OCT 检查, 增加了器械尺寸选择难度。

冲击波球囊到位后以 4atm 充盈使球囊贴合血管壁, 对更狭窄的部位也可以用略低的压力充盈球囊, 尤其选择较大尺寸球囊时。随即电影记录未治疗前的球囊形态, 然后尽快开始按压治疗手柄上的治疗按钮, 并密切观察心电监护和压力曲线变化。治疗前应与学生沟通, 告知有不适感及时反馈。心电监护可见间隔 1s 出现的类似起搏信号的波形。如出现停搏>3s 或持续的快速性室性心律失常, 或出现血压快速降低, 应立即中止治疗(放开按钮即可)并使球囊泄压恢复冠脉血流。如未出现上述情况, 则建议完成 1 个周期(10 个脉冲)的治疗。1 个周期完成后即使不放开按钮治疗也已中止。完成治疗后立即充盈球囊至 6atm, 持续至少 10s。我中心经验此时以两个垂直体位观察并记录球囊充盈的形态有利于即刻准确评估治疗效果。随后立即球囊泄压, 恢复血流。3 例患者术中均未出现停搏或快速性室性心律失常, 2 例患者治疗中有单发的室性早搏。均未提及显著的不适。每套球囊可完成 8 个周期的治疗, 3 例均使用了 6 个周期。

对环形钙化, 冲击波治疗可以使钙化环充分断裂, 病例 2 的 OCT 显示术后支架植入后支架膨胀及贴壁良好, 显示了冲击波球囊对恢复血管的可扩张性有显著作用。病例 1 的钙化多处为非环形钙化, OCT 显示冲击波治疗后钙化断裂, 但与环形钙化相比断裂较少, 考虑与环形钙化可以更好的反射冲击波, 增加冲击波的机械效能, 而非环形钙化仅依靠冲击波自身, 无反射波加强, 故效能低于环形钙化。但病例 1 也可获得满意的支架贴壁和支架膨胀, 显示非环形钙化也是冲击波球囊良好的适应证。

4 结论

冠状动脉钙化对急性冠状动脉综合征(ACS)表现出的总体疾病负担有显著影响, 需要立即就医和 PCI

治疗。S-IVL 是一种安全有效的治疗方法, 通过局部的、周向的声压波来破坏血管钙化。与传统方法相比, 这种方式需要最少的训练, 并且在管腔获得、支架植入成功和降低主要不良心血管事件的风险方面具有良好的效果。3 例患者的有限经验和观察结果需要在未来的随机临床试验中得到充分证实。

参考文献

- [1] Gardiner R, Muradagha H, Kiernan TJ. Intravascular lithotripsy during percutaneous coronary intervention: current concepts. *Expert Rev Cardiovasc Ther.* 2022 Apr; 20 (4): 323-338. doi: 10.1080/14779072.2022.2069561. Epub 2022 Apr 25. PMID: 35466834.
- [2] Hill JM, Kereiakes DJ, Shlofmitz RA, Klein AJ, Riley RF, Price MJ, Herrmann HC, Bachinsky W, Waksman R, Stone GW; Disrupt CAD III Investigators. Intravascular Lithotripsy for Treatment of Severely Calcified Coronary Artery Disease. *J Am Coll Cardiol.* 2020 Dec 1; 76 (22): 2635-2646. doi: 10.1016/j.jacc.2020.09.603. Epub 2020 Oct 15. PMID: 33069849.
- [3] Honton B, Monsegu J. Best Practice in Intravascular Lithotripsy. *Interv Cardiol.* 2022 Jan 28; 17: e02. doi: 10.15420/icr.2021.14. PMID: 35154381; PMCID: PMC8826142.
- [4] Kereiakes DJ, Ali ZA, Riley RF, Smith TD, Shlofmitz RA. Intravascular Lithotripsy for Treatment of Calcified Coronary Artery Disease. *Interv Cardiol Clin.* 2022 Oct; 11 (4): 393-404. doi: 10.1016/j.iccl.2022.02.004. Epub 2022 Sep 24. PMID: 36243485.
- [5] Sreenivasan J, Shah A, Riangwiwat T, Jayasree Rajendran R, Vazquez Sosa CE, Gupta R, Frishman WH, Timmermans RJ, Ahmad H, Aronow WS, Ahmad Y. Coronary Intravascular Lithotripsy. *Cardiol Rev.* 2022 Dec 5. doi: 10.1097/CRD.0000000000000502. Epub ahead of print. PMID: 36541962.
- [6] Mousa MAA, Bingen BO, Amri IA, Digiacomo S, Karalis I, Jukema JW, Montero-Cabezas JM. Bailout Intravascular Lithotripsy for the Treatment of Acutely Underexpanded Stents in Heavily Calcified Coronary Lesions: A Case Series. *Cardiovasc Revasc Med.* 2022 Jul; 40: 189-194. doi: 10.1016/j.carrev.2021.12.002. Epub 2022 Jan 11. PMID: 35063371.
- [7] Jazar DA, Thakker R, Salehin S, Hasan SM, Jabri A, Albaeni A, Addasi Y, Gandhi S, Gilani S, Motiwala A, Khalife W. Use of Coronary Intravascular Lithotripsy: A Comprehensive Review of Literature. *Curr Probl Cardiol.* 2022 Nov; 47 (11): 101076. doi: 10.1016/j.cpcardiol.2021.101076. Epub 2021 Nov 27. PMID: 34843807.

- [8] Butt N, Arshid A, Javed H, Kayani WT, Ahmad SA, Khalid N. Intravascular Lithotripsy Facilitated Cardiovascular Interventions. *Angiology*. 2021 Jan; 72 (1): 97. doi: 10.1177/0003319720956484. Epub 2020 Sep 10. PMID: 32911953.
- [9] Wang X, Matsumura M, Mintz GS, Lee T, Zhang W, Cao Y, Fujino A, Lin Y, Usui E, Kanaji Y, Murai T, Yonetsu T, Kakuta T, Maehara A. In Vivo Calcium Detection by Comparing Optical Coherence Tomography, Intravascular Ultrasound, and Angiography. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2017 Aug; 10 (8): 869-879. doi: 10.1016/j.jcmg.2017.05.014. PMID: 28797408.
- [10] Blachutzik F, Honton B, Escaned J, Hill JM, Werner N, Banning AP, Lansky AJ, Schlattner S, De Bruyne B, Di Mario C, Dörr O, Hamm C, Nef HM. Safety and effectiveness of coronary intravascular lithotripsy in eccentric calcified coronary lesions: a patient-level pooled analysis from the Disrupt CAD I and CAD II Studies. *Clin Res Cardiol*. 2021 Feb; 110 (2): 228-236. doi: 10.1007/s00392-020-01737-3. Epub 2020 Sep 18. PMID: 32948882; PMCID: PMC7862504.
- [11] Teng W, Li Q, Ma Y, Cao C, Liu J, Zhao H, Lu M, Hou C, Wang W. Comparison of optical coherence tomography-guided and intravascular ultrasound-guided rotational atherectomy for calcified coronary lesions. *BMC Cardiovasc Disord*. 2021 Jun 11; 21 (1): 290. doi: 10.1186/s12872-021-02103-5. PMID: 34116631; PMCID: PMC8193877.
- [12] Ali ZA, Nef H, Escaned J, Werner N, Banning AP, Hill JM, De Bruyne B, Montorfano M, Lefevre T, Stone GW, Crowley A, Matsumura M, Maehara A, Lansky AJ, Fajadet J, Di Mario C. Safety and Effectiveness of Coronary Intravascular Lithotripsy for Treatment of Severely Calcified Coronary Stenoses: The Disrupt CAD II Study. *Circ Cardiovasc Interv*. 2019 Oct; 12 (10): e008434. doi: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.119.008434. Epub 2019 Sep25. PMID: 31553205.
- [13] Burneikaitė G, Shkolnik E, Čelutkienė J, Zuoženė G, Butkuvienė I, Petrauskienė B, Šerpytis P, Laucevičius A, Lerman A. Cardiac shock-wave therapy in the treatment of coronary artery disease: systematic review and meta-analysis. *Cardiovasc Ultrasound*. 2017 Apr 12; 15 (1): 11. doi: 10.1186/s12947-017-0102-y. PMID: 28403861; PMCID: PMC5389112.
- [14] Aksoy A, Salazar C, Becher MU, Tiyerili V, Weber M, Jansen F, Sedaghat A, Zimmer S, Leick J, Grube E, Gonzalo N, Sinning JM, Escaned J, Nickenig G, Werner N. Intravascular Lithotripsy in Calcified Coronary Lesions: A Prospective, Observational, Multicenter Registry. *Circ Cardiovasc Interv*. 2019 Nov; 12 (11): e008154. doi: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.119.008154. Epub 2019 Nov 11. PMID: 31707803.
- [15] Sattar Y, Ullah W, Virk HUH, Doshi R, Rauf H, Desai H, Panchal A, Nasir M, Almas T, Ullah I, Pacha HM, Zaher N, Alraies MC. Coronary intravascular lithotripsy for coronary artery calcifications- systematic review of cases. *J Community Hosp Intern Med Perspect*. 2021 Mar 23; 11 (2): 200-205. doi: 10.1080/20009666.2021.1883219. PMID: 33889320; PMCID: PMC8043535.