

# 准分子激光冠状动脉斑块消融术应用

张瑞星 张钺

**【摘要】** 准分子激光冠状动脉斑块消融术 (ELCA) 可作为经皮冠状动脉介入术 (PCI) 中的辅助手段,对粥样硬化斑块进行激光消融。该文介绍 ELCA 的原理、应用范围、并发症、与人工智能结合后可能出现的治疗环境、治疗效果及与其他 PCI 技术相比的优势。

**【关键词】** 准分子激光冠状动脉斑块消融术;经皮冠状动脉介入术;冠状动脉粥样硬化性心脏病

doi: 10.3969/j.issn.1673-6583.2023.02.002

准分子激光冠状动脉斑块消融术 (ELCA) 应用于经皮冠状动脉介入术 (PCI), 辅助治疗冠状动脉粥样硬化性心脏病 (冠心病) 复杂病变已有近 30 年。早期由于技术的限制, ELCA 并没有表现出优于其他方法的疗效或安全性。随着导管技术的改进和安全激光技术的引入, 新一代 ELCA 的有效性和安全性明显提升<sup>[1]</sup>。

## 1 原理

目前唯一被批准用于 ELCA 的系统是第二代冷激光系统 (CVX-300), 可采用氙-氯单色化合物产生波长为 308 nm、能量密度为 30~80 mJ/mm<sup>2</sup>、脉冲频率为 25~80 Hz、穿透深度≤50 μm 的紫外光脉冲。ELCA 发射准分子激光束穿透到深层组织, 激光被血管内物质吸收并破坏其中的碳-碳双键 (光化学效应), 双键断裂使细胞内液温度升高, 导致细胞破裂, 在导管前端产生蒸汽气泡 (光热效应), 气泡的膨胀和暴缩瓦解血管内阻塞成分 (光机械效应)。3 种效应结合可消融粥样硬化斑块, 产生水、气体和细小颗粒物, 其中 90% 细小颗粒物直径<10 μm, 被网状内皮系统吞噬后不会阻塞微血管。

ELCA 中紫外光与血小板相互作用, 促进机化血栓清除, 破坏凝血前物质, 增加组织纤溶酶原<sup>[2]</sup>, 改变血小板的聚集动力学, 减少血小板聚集<sup>[3]</sup>。血液暴露于剂量递增的激光能量, 呈现出二磷酸腺苷 (ADP) 和胶原诱导血小板聚集的剂量依赖性抑制, 在更高能量下可抑制血小板收缩<sup>[4]</sup>。

## 2 临床应用范围

### 2.1 慢性完全闭塞病变和球囊不可通过病变

慢性完全闭塞 (CTO) 病变发病率越来越高。ELCA 能消融斑块, 在不更换导丝的情况下通过 CTO 病变。对导丝能通过而球囊或导管不能通过的病变, ELCA 优势更大。ELCA 导管到达病变部位后可根据斑块情况逐渐增加能量密度和脉冲频率, 精准控制激光能量, 精确消融斑块, 创造一个平滑的先导通道, 使球囊前进。CTO 病变球囊通常不可通过的发生率为 6.4%<sup>[5]</sup>。在 CTO 病变中, ELCA 能在置入支架前更好地消融斑块, 使手术成功率提高到 80% 以上<sup>[6]</sup>。此外, 联合应用旋磨术 (RA) 可完全消除钙化严重的 CTO 病变, 达到最佳治疗效果。

### 2.2 支架内再狭窄

ELCA 可改善支架下斑块, 进一步扩张现有支架, 扩大血管腔。经血管内超声 (IVUS) 和光学相干断层成像术 (OCT) 评估, 与经皮冠状动脉腔内血管成形术 (PTCA) 相比, ELCA 术后血管腔横截面积更大, 血管腔扩大效果更明显<sup>[7]</sup>。对于支架扩张不足的支架内再狭窄 (ISR) 病变, ELCA 可辅助充分扩张支架, 改善患者长期预后<sup>[8]</sup>。

ELCA 处理 ISR 病变成功率高达 90% 以上<sup>[7,9]</sup>。Li 等<sup>[10]</sup>的研究发现, ELCA 术后冠状动脉造影 (CAG) 显示冠状动脉血流良好, 患者围手术期并发症和 9 个月主要不良心脑血管事件 (MACCE) 发生率较未行 ELCA 的患者无明显增加, 说明 ELCA 应用于治疗 ISR 病变有效、安全。

ELCA 消融斑块的程度与患者预后有关。Dahm 等<sup>[9]</sup>的研究显示, ELCA 术后 ISR 病变残

作者单位: 730000 兰州大学第一临床医学院 (张瑞星);  
730000 兰州大学第一医院心脏中心 (张钺)  
通信作者: 张钺, E-mail: zhangccu@163.com

留直径小于血管腔直径的 30% 时 ISR 复发率和 MACCE 发生率较低,提示 ISR 病变初次消融是 ELCA 术后获得良好预后的关键。

### 2.3 支架扩张不足病变

支架扩张不足是 ISR<sup>[11]</sup> 和支架内血栓形成<sup>[12]</sup> 的重要危险因素。ELCA 能在不破坏支架结构的情况下改变潜在的顽固性斑块,改善支架扩张,降低 ISR 形成风险,改善支架内皮化<sup>[8,13]</sup>。无论支架状态如何,ELCA 都能改变斑块形状,促进支架扩张,在支架扩张不足的 ISR 中具有突出的应用价值。

Karacsonyi 等<sup>[14]</sup> 报道的 LAVA 多中心研究显示,ELCA 在支架扩张不足病变中应用时较其他几类适应证有更高的技术成功率和手术成功率。

### 2.4 钙化病变

钙化病变是 PCI 的主要挑战,可阻碍导丝前进和支架输送,限制球囊和支架扩张<sup>[15-16]</sup>,导致最小支架面积(MSA)减小,使药物分布不均<sup>[17]</sup>,较小的 MSA 与 MACCE 发生率增加相关<sup>[18]</sup>。即使手术成功率可观,钙化病变也与随访时再次进行 PCI 概率增加<sup>[19]</sup> 和患者生存率降低<sup>[20]</sup> 独立相关。ELCA 很少被用作严重钙化病变的一线治疗,但当出现导丝不能通过的病变及 RA 或轨道旋切术(OA)不能在病变部位开展时,它是唯一选择。在进行 RA 前采用 ELCA 消融严重钙化病变可创建一个足够导丝通过的通道,使 RA 更易在远端冠状动脉开展。这一过程被称为 RA 联合 ELCA(RASER),其可行性和有效性已被证实<sup>[6]</sup>。

Protty 等<sup>[21]</sup> 对 2006—2016 年英国心血管介入学会数据库中的病例进行分析发现,在接受过 PCI 的患者中有 0.02% 采用了 RASER。RASER 虽然使动脉并发症、慢血流和休克发生率增加,但并没有增加 MACCE、大出血或死亡的风险。这进一步验证了 RASER 的安全性,明确了 RASER 的治疗效果。

### 2.5 分叉处病变

分叉处病变一直是 PCI 的难点,与 RA 和 OA 等技术相比,ELCA 用时更短、手术更安全。此外,具有血栓负荷的分叉处病变高危患者可通过应用 ELCA 保留重要分支<sup>[22]</sup>。

ELCA 导管可在处理角度特殊的分叉处病变时灵活调整。Madyoon 等<sup>[22]</sup> 报道了 3 例将 ELCA 应用于分叉处病变的患者,这 3 例都诊断为不稳定型心绞痛(UA),病变分别为位于左旋支(LCX)

近钝缘支(OM)处的 90% 狭窄、位于近分叉处 LCX 的 90% 狭窄和位于近分叉处左前降支(LAD)的 70% 狭窄及对角支的 90% 长狭窄,应用 ELCA 消融分叉处病变,术后均无明显并发症。

通过旋转 ELCA 也可轻松地同一部位向各个方向消融斑块。Hada 等<sup>[23]</sup> 报道了 1 例 ST 段抬高型心肌梗死(STEMI)患者,OCT 显示左主干(LMT)远端的 LAD 和 LCX 存在大量血栓。应用 ELCA 自 LMT 向 LAD、LCX 和 OM 等 3 个方向进行消融。术后 OCT 复查提示血栓减少,无明显斑块破裂或钙化,因而未置入支架,降低了患者医疗开支。

### 2.6 急性冠脉综合征

ELCA 治疗急性冠脉综合征(ACS)的优点是促凝血反应物蒸发,可快速清除血栓,降低远端栓塞风险,并消除潜在斑块,ELCA 中紫外光也可减少血小板聚集<sup>[3]</sup>。

Topaz 等<sup>[24]</sup> 的 CARMEL 多中心研究和 Nishino 等<sup>[25]</sup> 的 ULTRAMAN 多中心研究都证实了 ELCA 治疗 ACS 的可行性和有效性。其中 ULTRAMAN 研究中手术成功率更高,这可能与 10 余年间相关技术进步和术者操作水平提升有关。此外,在 ULTRAMAN 研究中,与常规治疗相比,应用 ELCA 治疗的 ACS 患者 1 个月后 MACCE 发生率更低<sup>[26]</sup>。

Shibata 等<sup>[27]</sup> 利用核素心肌灌注显像证实了对于初始心肌梗死溶栓试验(TIMI)血流为 0~1 级、起病至球囊时间(OBT) < 6 h 的 STEMI 患者,ELCA 是一种可行的治疗方案。该研究还发现,ELCA 可降低心肌损害,挽救缺血心肌。

### 2.7 大隐静脉移植物病变

Giugliano 等<sup>[28]</sup> 的 CORAL 中心研究评估了在缺乏远端保护装置(DPD)的情况下,在置入支架前对严重病变的大隐静脉移植物(SVG)进行 ELCA 的可行性和有效性,与 Baim 等<sup>[29]</sup> 进行的 SAFER 多中心随机对照研究相比,在缺乏 DPD 时对病变严重的 SVG 进行 ELCA,术后 MACCE 发生率增加,其可能与栓塞碎片形成有关。因此,应使用 DPD 来防止宏观和微观栓塞以减少术后 MACCE 发生率。Mohandes 等<sup>[30]</sup> 报道了 2 例冠状动脉大隐静脉旁路移植术后合并 CTO 病变的患者,均采用 ELCA 辅助再通 SVG,并辅以 DPD。在整个 SVG 内置入支架后,复查 CAG 显示手术成功,

住院期间均未发生 MACCE。这证实了 ELCA 与 DPD 联合使用可减少甚至防止远端栓塞发生。

### 2.8 无复流

无复流是 PCI 术后严重并发症,可导致患者左室功能下降,严重者可发生心源性休克或死亡<sup>[31]</sup>。无复流产生的机制包括微血管功能障碍、心肌水肿、血栓或坏死斑块引起远端栓塞。虽然已有许多预防无复流的策略,但尚无策略能完全消除远端栓塞的发生风险。

Ebisawa 等<sup>[31]</sup>报道了 1 例伴有严重左室功能障碍的广泛前壁心肌梗死的患者,PCI 术中将 ELCA 用于右冠状动脉(RCA)防止无复流的发生。CAG 显示患者 RCA 近段放置的支架被阻塞,RCA 远段充满了来自 LAD 的侧支血流。导丝成功穿越病变后用球囊扩张病变部位,此时 CAG 显示广泛充盈缺损,RCA 的 TIMI 血流为 1 级,IVUS 显示支架内有大量血栓。用 ELCA 消融血栓后,CAG 显示 RCA 的 TIMI 血流为 2 级,随后用球囊再次扩张病变部位后置入支架。术后 CAG 显示 RCA 的 TIMI 血流为 3 级,手术效果良好。

### 2.9 其他应用

Kadohira 等<sup>[32]</sup>报道了 1 例应用 ELCA 成功取出已释放冠状动脉支架与严重钙化血管壁之间导丝的患者。在尝试常规方法无效后,用 ELCA 以 80 mJ/mm<sup>2</sup> 的能量密度、80 Hz 的脉冲频率 7 次通过已释放的支架,生理盐水冲洗速度约为 1 mL/s,ELCA 术后支架外观保持不变。随后,将球囊放置在导丝上,并深入支架与血管壁之间的间隙,球囊充液后导丝被顺利取出。该操作不会造成血管损伤,回收的导丝也没有明显损坏。

Savvoulidis 等<sup>[33]</sup>报道了 1 例应用 ELCA 成功取出 PTCA 术中不能放液球囊的患者。由于无法在未放液时将球囊拽出,在尝试进一步充液使球囊破裂、用导丝硬后端刺穿球囊,甚至将导丝与充液球囊近端接触并连接到电烙器上多次输注 50 W 的能量等方法后,均未成功使球囊破裂。最终用 ELCA 以 40 mJ/mm<sup>2</sup> 的能量密度、40 Hz 的脉冲频率进行时长分别为 5、10、30 s 的 3 次激光照射后,观察到球囊内部造影剂影开始消散。术后复查 CAG 未见血管穿孔。次日患者出院,1 个月内未出现并发症。

以上 2 例特殊病例呈现了 ELCA 在 PCI 中意外情况出现时发挥的特殊作用,进一步展示了

ELCA 应用的灵活性。

## 3 与人工智能结合

Almasoud 等<sup>[34]</sup>首次报道 ELCA 成功在机器人 PCI 中应用。激光导管是目前快速交换系统中唯一可用的粥样硬化消融设备,很容易集成在机器人 PCI 中。该报道展示了机器人 ELCA-PCI 对 2 例患者分别在 LMT 远段的分叉处病变和严重 ISR 病变中的应用。这些病变通常十分复杂,常规 PCI 术者需长时间穿着铅围裙并面对较高放射剂量;患者长时间暴露于射线会使早期死亡率、紧急冠状动脉旁路移植术和造影剂肾病等发生率增高<sup>[35]</sup>。机器人辅助 ELCA 可有效降低术者所受辐射剂量和疲劳程度。此外,机器人操作能精确控制导管推进速度并保持相对稳定,提高手术精准度,使手术效果更理想。

## 4 并发症

ELCA 在手术过程中的并发症有血管壁穿孔、血流缓慢/无复流、动脉夹层、支架内再狭窄、血栓、侧支闭塞、远端栓塞和血管痉挛等<sup>[21]</sup>。可能与手术相关的并发症有心房颤动<sup>[36]</sup>。与器械相关的并发症包括导管尖端脱落、导丝尖端烧伤、导管套破裂等<sup>[36]</sup>。其中,血管壁穿孔最为常见。SVG 穿孔虽不会引起心包填塞,但持续渗血会引起血流动力学不稳定,也应予以足够重视<sup>[30]</sup>。

## 5 小结

ELCA 是用激光对斑块进行消融,使斑块形状发生改变。除常规应用外,ELCA 越来越多地应用于处理 PCI 术中意外情况,为解决常规技术不能应对的情况提供选择和思路,发挥特殊功能。与 RA 和 OA 等技术相比,ELCA 不需要专用导丝,也不存在远端导丝丢失的风险,有利于技术开展和普及。随着手术机器人应用和人工智能时代到来,将 ELCA 与二者结合,可有效节约手术时间,减少 MACCE 发生率,提高手术效果,降低心血管内科介入医生的辐射风险。若搭上飞速发展的 5G 通信技术的便车,还可不受时空限制地开展远程 ELCA。

ELCA 作为一种适应性强、操作相对简单的技术,受到介入医生青睐。ELCA 目前在我国的临床应用还处于起步阶段,少数医院已有 ELCA 成功开展的病例报道,并取得了令人满意的手术效果。今后 ELCA 或将迎来快速发展,成为冠心病复杂病变治疗及相关手术意外处理的有力工具。



## 参 考 文 献

- [1] Deckelbaum LI, Natarajan MK, Bittl JA, et al. Effect of intracoronary saline infusion on dissection during excimer laser coronary angioplasty: a randomized trial. The Percutaneous Excimer Laser Coronary Angioplasty (PELCA) Investigators[J]. J Am Coll Cardiol, 1995, 26(5):1264-1269.
- [2] Topaz O, Das T, Dahm J, et al. Excimer laser revascularisation: current indications, applications and techniques[J]. Lasers Med Sci, 2001, 16(2):72-77.
- [3] Bittl JA, Sanborn TA, Yardley DE, et al. Predictors of outcome of percutaneous excimer laser coronary angioplasty of saphenous vein bypass graft lesions. The Percutaneous Excimer Laser Coronary Angioplasty Registry[J]. Am J Cardiol, 1994, 74(2):144-148.
- [4] Topaz O, Shah R, Mohanty PK, et al. Application of excimer laser angioplasty in acute myocardial infarction[J]. Lasers Surg Med, 2001, 29(2):185-192.
- [5] Patel SM, Pokala NR, Menon RV, et al. Prevalence and treatment of "balloon-uncrossable" coronary chronic total occlusions[J]. J Invasive Cardiol, 2015, 27(2):78-84.
- [6] Fernandez JP, Hobson AR, McKenzie D, et al. Beyond the balloon: excimer coronary laser atherectomy used alone or in combination with rotational atherectomy in the treatment of chronic total occlusions, non-crossable and non-expandable coronary lesions[J]. EuroIntervention, 2013, 9(2):243-250.
- [7] Mehran R, Mintz GS, Satler LF, et al. Treatment of in-stent restenosis with excimer laser coronary angioplasty: mechanisms and results compared with PTCA alone[J]. Circulation, 1997, 96(7):2183-2189.
- [8] Rawlins J, Din JN, Talwar S, et al. Coronary intervention with the excimer laser: review of the technology and outcome data[J]. Interv Cardiol, 2016, 11(1):27-32.
- [9] Dahm JB, Kuon E, Vogelgesang D, et al. Relation of degree of laser debulking of in-stent restenosis as a predictor of restenosis rate[J]. Am J Cardiol, 2002, 90(1):68-70.
- [10] Li H, Ai H, Li L, et al. The therapeutic effects of excimer laser coronary atherectomy therapy for in-stent restenosis chronic total occlusions[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2021, 21(1):399.
- [11] Sonoda S, Morino Y, Ako J, et al. Impact of final stent dimensions on long-term results following sirolimus-eluting stent implantation: serial intravascular ultrasound analysis from the sirius trial[J]. J Am Coll Cardiol, 2004, 43(11):1959-1963.
- [12] 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.
- [13] Lam SCC, Bertog S, Sievert H. Excimer laser in management of underexpansion of a newly deployed coronary stent[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2014, 83(1):E64-E68.
- [14] Karacsonyi J, Armstrong EJ, Truong HTD, et al. Contemporary use of laser during percutaneous coronary interventions: insights from the laser veterans affairs (LAVA) multicenter registry[J]. J Invasive Cardiol, 2018, 30(6):195-201.
- [15] Moussa I, Di Mario C, Moses J, et al. Coronary stenting after rotational atherectomy in calcified and complex lesions. Angiographic and clinical follow-up results[J]. Circulation, 1997, 96(1):128-136.
- [16] Gilutz H, Weinstein JM, Ilia R. Repeated balloon rupture during coronary stenting due to a calcified lesion: an intravascular ultrasound study[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2000, 50(2):212-214.
- [17] Nakano MST, Otsuka F, Yahagi K, et al. Human autopsy study of drug-eluting stents restenosis: histomorphological predictors and neointimal characteristics[J]. Eur Heart J, 2013, 34(42):3304-3313.
- [18] Fujii K, Carlier SG, Mintz GS, et al. Stent underexpansion and residual reference segment stenosis are related to stent thrombosis after sirolimus-eluting stent implantation: an intravascular ultrasound study[J]. J Am Coll Cardiol, 2005, 45(7):995-998.
- [19] G  n  reux P, Madhavan MV, Mintz GS, et al. Ischemic outcomes after coronary intervention of calcified vessels in acute coronary syndromes. Pooled analysis from the HORIZONS-AMI (Harmonizing Outcomes With Revascularization and Stents in Acute Myocardial Infarction) and ACUITY (Acute Catheterization and Urgent Intervention Triage Strategy) TRIALS[J]. J Am Coll Cardiol, 2014, 63(18):1845-1854.
- [20] Bourantas CV, Zhang YJ, Garg S, et al. Prognostic implications of coronary calcification in patients with obstructive coronary artery disease treated by percutaneous coronary intervention: a patient-level pooled analysis of 7 contemporary stent trials[J]. Heart, 2014, 100(15):1158-1164.
- [21] Protty MB, Gallagher S, Farooq V, et al. Combined use of rotational and excimer LASER coronary atherectomy (RASER) during complex coronary angioplasty—an analysis of cases (2006-2016) from the British Cardiovascular Intervention Society database[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2021, 97(7):E911-E918.
- [22] Madyoon H, Croushore L. Application of excimer laser coronary angioplasty (ELCA) in bifurcation lesions[J]. Lasers Med Sci, 2001, 16(2):108-112.
- [23] Hada M, Sugiyama T, Kanaji Y, et al. Primary percutaneous coronary intervention for a left main bifurcation lesion without stenting using excimer laser with optical coherence tomography guidance: a case report[J]. Eur Heart J Case Rep, 2020, 4(1):1-6.
- [24] Topaz O, Ebersole D, Das T, et al. Excimer laser angioplasty in acute myocardial infarction (the CARMEL multicenter trial) [J]. Am J Cardiol, 2004, 93(6):694-701.
- [25] Nishino M, Mori N, Takiuchi S, et al. Indications and outcomes of excimer laser coronary atherectomy: efficacy and safety for thrombotic lesions—the ULTRAMAN registry[J]. J Cardiol, 2017, 69(1):314-319.

- [26] AbuShady MM, Mohamady Y, Enany B, et al. Prevalence of prediabetes in patients with acute coronary syndrome: impact on in-hospital outcomes[J]. Intern Med J, 2015, 45(2):183-188.
- [27] Shibata N, Takagi K, Morishima I, et al. The impact of the excimer laser on myocardial salvage in ST-elevation acute myocardial infarction via nuclear scintigraphy[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2020, 36(1):161-170.
- [28] Giugliano GR, Falcone MW, Mego D, et al. A prospective multicenter registry of laser therapy for degenerated saphenous vein graft stenosis: the COronary graft Results following Atherectomy with Laser (CORAL) trial[J]. Cardiovasc Revasc Med, 2012, 13(2):84-89.
- [29] Baim DS, Wahr D, George B, et al. Randomized trial of a distal embolic protection device during percutaneous intervention of saphenous vein aorto-coronary bypass grafts[J]. Circulation, 2002, 105(11):1285-1290.
- [30] Mohandes M, Rojas S, Torres M, et al. Percutaneous coronary intervention of chronically occluded saphenous vein grafts using excimer laser atherectomy as an adjuvant therapy[J]. Cardiovasc Revasc Med, 2017, 18(6S1):2-6.
- [31] Ebisawa S, Miyashita YSE, Saigusa T, et al. Successful prevention of no-reflow phenomenon in a high-risk patient using excimer laser coronary atherectomy[J]. Cardiovasc Interv Ther, 2013, 28(4):422-425.
- [32] Kadohira T, Schwarcz AI, De Gregorio J. Successful retrieval of an entrapped guide wire between a deployed coronary stent and severely calcified vessel wall using excimer laser coronary atherectomy[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2015, 85(2):E39-E42.
- [33] Savvoulidis P, Bagur R, Ybarra LF. Retrieval of undeplatable stent balloon using laser energy[J]. Cardiovasc Revasc Med, 2021, 28S:136-139.
- [34] Almasoud A, Walters D, Mahmud E. Robotically performed excimer laser coronary atherectomy: proof of feasibility[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2018, 92(4):713-716.
- [35] Nikolsky E, Pucelikova T, Mehran R, et al. An evaluation of fluoroscopy time and correlation with outcomes after percutaneous coronary intervention[J]. J Invasive Cardiol, 2007, 19(5):208-213.
- [36] Bansal A, Gupta S, Jain V, et al. Adverse events related to excimer laser coronary atherectomy: analysis of the FDA MAUDE database[J]. Cardiovasc Revasc Med, 2021, 27: 88-89.

( 收稿:2022-02-26 修回:2023-02-02 )

( 本文编辑:王雨婷 )

**NO NSOMKING**  
THE LIFE WILL BE MORE BEAUTIFUL

不吸烟，生活更美好

