

本文引用: 张传阳, 杨建平, 唐加热克, 等. 准分子激光斑块消蚀术在膝下动脉硬化闭塞症治疗中的效果分析[J]. 中国动脉硬化杂志, 2023, 31(10): 849-854. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2023.10.004.

[文章编号] 1007-3949(2023)31-10-0849-06

· 冠状动脉解剖意义及 As 防治专栏 ·

准分子激光斑块消蚀术在膝下动脉硬化闭塞症治疗中的效果分析

张传阳^{1,2}, 杨建平¹, 唐加热克¹, 李阳阳¹, 戈小虎¹, 管圣¹

(1. 新疆维吾尔自治区人民医院血管外科, 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市 830001;

2. 河南省安阳地区医院血管科/介入中心, 河南省安阳市 455000)

[摘要] [目的] 探讨准分子激光斑块消蚀术(ELA)治疗膝下动脉粥样硬化闭塞症的临床疗效及安全性,以期作为膝下动脉硬化闭塞症患者腔内治疗方案提供更多选择。[方法] 回顾性收集2019年12月—2021年12月新疆维吾尔自治区人民医院血管外科收治的50例(计50条肢体)膝下动脉硬化闭塞症患者的临床资料,按照治疗方法的不同分为ELA组($n=25$)和普通球囊扩张术(POBA)组($n=25$),比较两组患者的临床特征、围术期有无严重手术并发症、靶血管术后随访期间一期通畅率、术后踝臂指数(ABI)改善情况、视觉模拟量表(VAS)评分、保肢(趾)率。[结果] 两组手术成功率均为100%,围术期均无严重并发症,两组患者治疗后ABI和VAS较治疗前均显著改善,且术后3天、术后6月ELA组ABI高于POBA组,差异有统计学意义($P<0.05$);术后6月ELA组VAS评分低于POBA组,差异有统计学意义($P<0.05$);随访期内ELA组一期通畅率及保肢(趾)率均高于POBA组($P<0.05$)。[结论] ELA治疗膝下动脉硬化闭塞症是安全可行的,且初步显示近期疗效优于POBA,为膝下动脉病变腔内治疗提供了更多的选择。

[关键词] 膝下动脉硬化闭塞症; 准分子激光斑块消蚀术; 普通球囊扩张术

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

Analysis of the effect of excimer laser atherectomy in the treatment of infrapopliteal arteriosclerosis occlusion

ZHANG Chuanyang^{1,2}, YANG Jianping¹, TANG Jiareke¹, LI Yangyang¹, GE Xiaohu¹, GUAN Sheng¹

(1. Department of Vascular Surgery, People's Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 830001, China; 2. Department of Interventional Radiology and Vascular Surgery, Anyang District Hospital, Anyang, Henan 455000, China)

[ABSTRACT] **Aim** To investigate the clinical efficacy and safety of excimer laser atherectomy (ELA) in the treatment of infrapopliteal arteriosclerosis occlusion, in order to provide more options for intracavitary treatment for patients with infrapopliteal arteriosclerosis occlusion. **Methods** The clinical data of 50 patients (50 limbs) with infrapopliteal arteriosclerosis occlusion treated in the Department of Vascular Surgery of People's Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region from December 2019 to December 2021 were collected retrospectively, they were divided into ELA group ($n=25$) and plain old balloon angioplasty (POBA) group ($n=25$) according to different treatment methods, the clinical characteristics, perioperative complications, primary patency rate, postoperative ankle brachial index (ABI) improvement, visual analogue scale (VAS) and limb salvage rate during follow-up of target vessels of the two groups were compared. **Results** The success rate of operation in the two groups was 100%, and there were no serious complications during the perioperative period. ABI and VAS scores in the two groups were significantly improved after treatment compared to before treatment, and the ABI in the ELA group was higher than that in the POBA group 3 days and 6 months after operation, with a statistically significant difference ($P<0.05$); at 6 months after operation, the VAS score in the ELA group was lower than that in the POBA group, with a statistically significant difference ($P<0.05$); during the follow-up period, the first-stage primary patency rate and limb (toe) salvage rate in the ELA group were higher than those in the POBA group ($P<0.05$). **Conclusion** ELA is safe and feasible for the treatment of infrapopliteal arteriosclerosis occlusion, which provides more options for intracavitary treatment of inferior genicular artery lesions.

[KEY WORDS] infrapopliteal arteriosclerosis occlusion; excimer laser atherectomy; plain old balloon angioplasty

[收稿日期] 2023-04-01

[修回日期] 2023-07-07

[基金项目] 新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目(2019D01C135)

[作者简介] 张传阳, 硕士, 住院医师, 主要从事外周血管疾病的研究, E-mail: 970139638@qq.com。通信作者管圣, 硕士, 主任医师, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事周围血管疾病的诊治及研究。

膝下动脉硬化闭塞症为全身动脉粥样硬化在膝关节以下三支血管的表现,由于动脉粥样硬化导致血管管壁变硬、管腔狭窄或闭塞,进而发展成一种远端肢体缺血性疾病。其临床表现为患肢的皮温凉、间歇性跛行、静息疼等症状,再严重者因缺血坏死导致截肢。目前膝下动脉硬化闭塞症的治疗主要通过腔内治疗,包括普通球囊扩张术(plain old balloon angioplasty, POBA)、支架植入、药物涂层球囊(drug coated balloon, DCB)、减容技术等^[1]。由于POBA费用低、创伤小等优点,目前临床应用最为广泛,但其术后1年通畅率仅为30%^[2],远期疗效不令人满意,因此需要不断地探讨各种技术,以期提高膝下动脉硬化闭塞症患者的远期通畅率及保肢率。准分子激光斑块消融术(excimer laser atherectomy, ELA)通过脉冲方式发射冷激光清除病变血管内的粥样斑块及增生组织,重新开放管腔,为膝下动脉病变的治疗方案提供了一种新的选择^[3]。近年来,ELA应用于支架内再狭窄和股腘动脉病变较多,并取得了良好的疗效^[4]。本研究回顾性分析了2019年12月—2021年12月新疆维吾尔自治区人民医院血管外科收治的50例(计50条肢体)膝下动脉硬化闭塞症患者的临床资料,按照治疗方法的不同分为ELA组($n=25$)和POBA组($n=25$),旨在探讨ELA治疗膝下动脉硬化闭塞症的近期临床疗效,以期作为膝下动脉硬化病变腔内治疗提供一种选择。

1 资料和方法

1.1 一般资料

50例(计50条肢体)膝下动脉硬化闭塞症患者,男性39例(78.0%),女性11例(22.0%),年龄为(69.96±11.21)岁。卢瑟福分级3~6级(患者跛行距离≤200 m、静息痛、肢体溃疡坏疽)。合并高血压32例(64.0%),合并糖尿病41例(82.0%),合并冠心病19例(38.0%),吸烟史30例(60.0%)。按照治疗方法的不同,将患者分为ELA组($n=25$)和POBA组($n=25$)。50例患者术前均接受下肢CTA检查,其中POBA组膝下单支血管病变1例(胫前动脉),2支血管病变12例(胫前动脉+胫后动脉7例,胫前动脉+腓动脉4例,胫后动脉+腓动脉1例),3支血管病变12例;ELA组膝下2支血管病变患者13例(胫前动脉+胫后动脉6例,胫前动脉+腓动脉5例,胫后动脉+腓动脉2例),3支血管病变12例。两组患者的术前踝臂指数(ankle brachial index, ABI)、病变长度、基线资料差异无统计学意义($P>$

0.05;表1)。

表1. 两组患者基线资料及病变特点

Table 1. Baseline data and lesion characteristics of the two groups of patients

项目	ELA组 ($n=25$)	POBA组 ($n=25$)	t/χ^2	P
年龄/岁	70.28±10.16	69.64±12.38	0.20	0.843
男/女/[例(%)]	20(80.0)/ 5(20.0)	19(76.0)/ 6(24.0)	0.12	0.73
合并基础疾病/[例(%)]				
高血压	15(60.0)	17(68.0)	0.247	0.769
糖尿病	21(84.0)	20(80.0)	0.136	0.713
冠心病	9(36.0)	10(40.0)	0.085	0.771
吸烟史	16(64.0)	14(56.0)	0.333	0.564
卢瑟福分级/[例(%)]			0.971	0.335
3	12(48.0)	13(52.0)		
4	7(28.0)	8(32.0)		
5	5(20.0)	3(12.0)		
6	1(4.0)	1(4.0)		
术前CTA显示肢体 病变血管数量				
1	0	1	0.825	0.412
2	13	12		
3	12	12		
术前ABI	0.36±0.17	0.33±0.18	0.744	0.46
病变闭塞长度/cm	19.7	19.4	0.184	0.855

1.2 纳入和排除标准

纳入标准:(1)术前CTA或超声检查符合膝下动脉硬化闭塞症诊断;(2)卢瑟福分级3级及以上;(3)术后随访期间能定期来本院随访的患者。排除标准:(1)不符合膝下动脉硬化闭塞症诊断(如Buerger病或急性动脉栓塞);(2)肾功能不全及对造影剂过敏患者;(3)肢体严重感染且感染处在急性期患者;(4)对抗血小板及肝素治疗禁忌者。

1.3 术前基础治疗

因膝下动脉病变患者常合并较多基础疾病,故入院后请相关科室会诊待基础病控制稳定后(如调整血压、降低血糖、控制血脂等)再行腔内治疗。特别是对于存在溃疡、坏疽的患肢,术前给予抗炎、清创后再行手术。两组患者术前3日均给予低分子肝素钠40 mg皮下注射,联合阿司匹林100 mg口服抗血小板治疗。

1.4 手术方式

POBA组:患者取仰卧位,消毒铺巾,静脉注入3 000~

4 000 U 肝素钠,局部浸润麻醉,首选 Seldinger 技术顺穿同侧股总动脉,后置入 5/6F 动脉鞘,在 DSA 造影下明确靶血管病变位置、肢体远端流出道情况及患肢溃疡部位供支血管情况,制定路线图,以 0.035 泥鳅导丝或 V-18 导丝配合 4F 单弯顺行尝试通过病变段,若顺行开通失败,在 DSA 指引下经靶血管病变远端使用微穿针穿刺逆向开通,成功通过病变段后根据血管情况选择 2~3 mm 球囊由远心端向近心端逐段扩张病变段。

ELA 组:前期工作同 POBA 组,待 V-18 导丝通过病变段后,根据管腔大小及术者经验置入不同规格的激光导管(1.7~2.5 mm),调试能量后,对狭窄及闭塞段血管由近心端向远心端缓慢进行激光消融(在生理盐水持续冲洗下进行),激光导管移动速度 ≤ 1 mm/s。消融完成后造影根据其管腔的状态决定是否再给予 2~3 mm 普通单纯球囊扩张(图 1)。

两组手术均由同一组手术医师完成,手术成功定义为满足以下两项中任意一项:(1)开通膝下闭塞血管中的任意一支,靶血管残余管腔狭窄 $< 30\%$;(2)对于远端流出道差的肢体,踝下至少开通一侧足底弓动脉,溃疡及坏死区可见大量侧支血管。术中尽可能开通所有闭塞血管,对于存在溃疡及坏疽的肢体,按照 Angiosome 概念^[6]首要开通其溃疡及坏疽供血动脉;对于远端流出道差的肢体,则尽可能开通邻近区域的供血动脉(如腓动脉)。手术完成后穿刺点用 Starclose 缝合器闭合,局部绷带加压止血,手术 24 h 后拆除加压绷带,术后住院期间继续给予皮下注射低分子肝素抗凝治疗,患者出院后建议口服利伐沙班 5 mg(1 次/天)+阿司匹林 100 mg(1 次/天)+安步乐克 100 mg(3 次/天),改善患肢症状^[5],并嘱咐患者同时积极进行步行康复锻炼及术后按时来院复查。

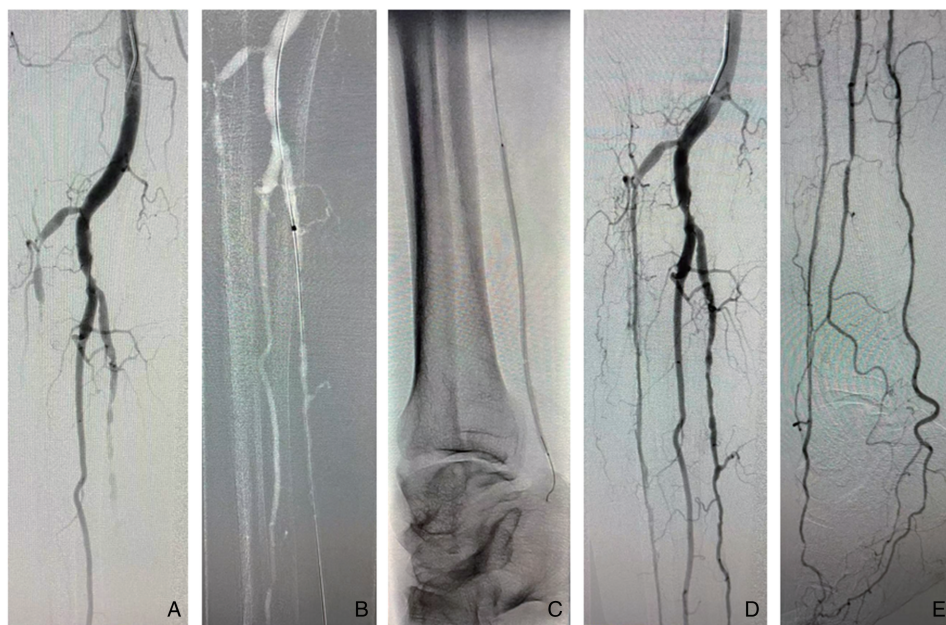


图 1. ELA 消融手术过程

A 为 DSA 造影示胫前动脉及胫后动脉闭塞,B 为闭塞段行 1.7 mm 激光导管消融治疗,C 为消融后行 2.0 mm 普通单纯球囊扩张,D 为造影示闭塞段全程开通,E 为足底外侧动脉及足背动脉均显影。

Figure 1. ELA ablation procedure

1.5 随访观察及疗效评价

通过门诊复查或者电话随访的方式比较两组患者术后安全性和有效性指标,有效性指标包括术后 3 天、3 个月、6 个月 ABI、视觉模拟量表(visual analogue scale, VAS)评分、保肢(趾)率、一期通畅率;一期通畅率定义为术后靶血管狭窄 $< 50\%$ 或术后随访期间未行截肢(趾)或再次手术治疗。安全性指标包括手术成功率、围手术期有无严重并发症。

1.6 统计学分析

应用 SPSS 26.0 统计软件对数据进行统计分析,符合正态分布且方差齐性的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用两独立样本 t 检验;计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验;一期通畅率及保肢(趾)率用 Kaplan-Meier 生存曲线表示, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者手术成功率及手术入路选择

两组患者手术成功率均为 100%。ELA 组术中顺行开通 23 例,经足背动脉逆行开通胫前动脉 1 例,经胫后动脉足踝部逆行开通胫后动脉 1 例;POBA 组术中顺行开通 22 例,经足背动脉逆行开通胫前动脉 2 例,经胫后动脉足踝部逆行开通胫后动脉 1 例。

2.2 围手术期间并发症

ELA 组围手术期间 5 例出现并发症:1 例术中出现急性动脉血栓形成,当即给予 2.5 mm POBA,术后血流恢复通畅;2 例术中出现血管痉挛,给予罂粟碱解痉后恢复通畅;1 例术中考虑血管穿孔(造影见造影剂外渗),给予 2.5 mm POBA 压迫处理并继续开通其他动脉,30 min 后再次造影提示出血停止;1 例术中出现限制性夹层,给予 3.0 mm POBA 贴壁后,夹层消失。POBA 组围手术期间 6 例出现并发症:1 例术中开通胫后动脉时导丝成襻,考虑穿出血管,给予 2.5 mm POBA 压迫 20 min 后止血;2 例术中出现急性动脉血栓形成,给予尿激酶溶栓治疗后恢复通畅;2 例术中远端血管痉挛,腔内注射罂粟碱后症状缓解;1 例术后当夜出现穿刺点血肿,给予普通绷带持续加压 24 h 后未见明显异常。

2.3 开通血管数量

ELA 组 25 例患肢共 62 条病变血管,开通 46 条血管,其中开通 1 支病变血管 9 例(5 例开通经前动脉,3 例开通胫后动脉,1 例开通腓动脉);开通 2 支病变血管 11 例(胫前动脉+腓动脉 4 例,胫前动脉+胫后动脉 6 例,胫后动脉+腓动脉 1 例);开通 3 支病变血管 5 例;POBA 组 25 例患肢共 61 条病变血管,开通 37 条,其中开通 1 支病变血管 15 例(8 例开通经前动脉,5 例开通胫后动脉,2 例开通腓动脉);开通 2 支病变血管 8 例(胫前动脉+腓动脉 3 例,胫前动脉+胫后动脉 3 例,胫后动脉+腓动脉 2 例);开通 3 支病变血管 2 例。ELA 组开通病变血管数高于 POBA 组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2.4 ABI 及 VAS 评分比较

术后 3 天、术后 3 月、术后 6 月 ELA 组 ABI 与术前相比均显著提高,POBA 组 ABI 与术前相比也明显提高(均 $P < 0.05$);两组术前 ABI 差异无统计学意义($P > 0.05$),而术后 3 天、术后 6 月 ELA 组 ABI 高于 POBA 组,差异有统计学意义($P < 0.05$;表 2)。

术后 3 天、术后 3 月、术后 6 月两组 VAS 评分与术前相比均明显降低,差异有统计学意义(均 $P <$

0.05);术前、术后 3 天、术后 3 月两组 VAS 评分差异不大,但术后 6 月 ELA 组 VAS 评分低于 POBA 组,差异有统计学意义($P < 0.05$;表 3)。

表 2. 两组 ABI 值比较

Table 2. Comparison of ABI values between the two groups

分组	术前	术后 3 天	术后 3 月	术后 6 月
ELA 组	0.36±0.17	0.84±0.20 ^{ab}	0.77±0.22 ^a	0.72±0.24 ^{ab}
POBA 组	0.33±0.18	0.72±0.21 ^a	0.65±0.21 ^a	0.59±0.20 ^a

注:a 为 $P < 0.05$,与同组术前比较;b 为 $P < 0.05$,与 POBA 组比较。

表 3. 两组 VAS 评分比较

Table 3. Comparison of VAS scores between the two groups

分组	术前	术后 3 天	术后 3 月	术后 6 月
ELA 组	5.96±1.21	2.60±0.91 ^a	1.88±1.54 ^a	0.83±0.78 ^{ab}
POBA 组	5.88±1.33	2.84±1.46 ^a	2.30±1.11 ^a	1.33±0.66 ^a

注:a 为 $P < 0.05$,与同组术前比较;b 为 $P < 0.05$,与 POBA 组比较。

2.5 保肢(趾)率和一期通畅率比较

ELA 组术后 3 天、术后 3 月、术后 6 月保肢(趾)率分别为 100% (25/25)、96% (24/25)、96% (24/25),其中,1 条患肢因术前溃疡面积较大且术中造影远端流出道差,开通病变血管后仍未见明显血流信号,术后第 64 天转本院烧伤科行坏疽的足趾(踝关节面以下)进行清创截趾处理。POBA 组术后 3 天、术后 3 月、术后 6 月保肢(趾)率分别为 96% (24/25)、88% (22/25)、80% (20/25),其中,1 条患肢因术前溃疡面积较大且术中造影远端流出道差,开通病变血管后仍未见明显血流信号,术后第 3 天转本院烧伤科行坏疽的足趾(踝关节面以下)进行清创截趾处理;2 例患者术后 25 天、术后 48 天因术后溃疡面未明显好转,已行踝关节面以下截肢;2 例患者术后 94 天、术后 115 天、术后 141 天因感染控制不佳,给予膝关节面以下截肢。

ELA 组术后第 79 天,1 例患者因疼痛症状未明显改善再次来本院行腔内治疗,故术后 3 月一期通畅率为 92% (23/25);术后第 108 天,1 例患者因患肢疼痛来本科室行 POBA 治疗;术后第 124 天,1 例患者因跛行距离较近(<200 m)再次来本院行腔内手术,故术后 6 月一期通畅率为 84% (21/25)。POBA 组术后第 61 天,1 例患者因疼痛症状未明显改善再次来本院行腔内治疗;术后第 80 天,1 例患者因疼痛症状未明显改善再次来本院行腔内治疗,故术后 3 月一期通畅率为 76% (19/25);术后第 112

天,1 例患者因患肢疼痛来本科室行 POBA 治疗,术后第 127 天,1 例患者因患肢溃疡不愈合来本科室行 POBA 治疗,术后第 164 天,1 例患者因跛行距离较短 (<200 m) 再次来院行腔内手术,故术后 6 月一期通畅率为 56% (14/25)。ELA 组术后 6 月患肢一期通畅率高于 POBA 组 ($P < 0.05$; 表 4 和图 2)

表 4. 两组术后随访比较

项目	ELA 组 (n=25)	POBA 组 (n=25)	χ^2	P
术后 3 月				
保肢(趾)率	24(96)	22(88)	1.087	0.297
一期通畅率	23(92)	20(80)	2.381	0.123
术后 6 月				
保肢(趾)率	24(96)	19(76)	4.150	0.042
一期通畅率	21(84)	14(56)	4.667	0.031

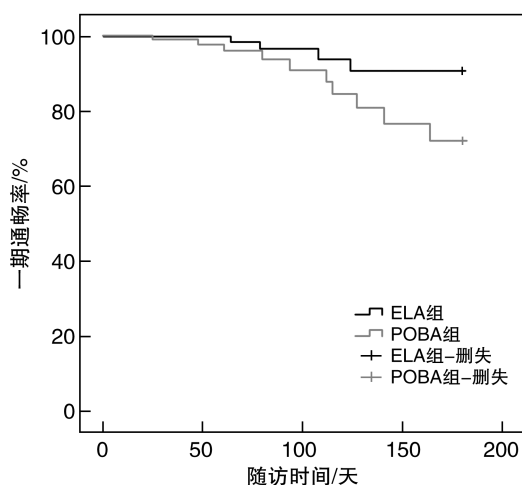


图 2. 两组术后随访期间一期通畅率

Figure 2. Primary patency rate during postoperative follow-up in the two groups

3 讨论

由于膝下动脉管腔细、离心脏远、动脉压小、硬化程度较膝上动脉更严重等特点,使膝下动脉硬化闭塞症患者发生较高的截肢率和死亡率。近些年来,越来越多的患者因接受腔内治疗而获益^[7]。POBA 作为当前应用最广泛的腔内治疗手段,通过球囊扩张病变段达到重新开放血管的目的,但膝下动脉钙化斑块坚硬,不易扩张、扩张后的弹性回缩及术中常出现限流性夹层等问题^[8],导致其远期通

畅率较低。本研究中,POBA 组术后 6 月的一期通畅率仅为 56%。目前 DCB 应用于膝下动脉闭塞症也逐渐增多,其原理同 POBA,但在球囊表面上附着一层细胞毒性药物,在球囊扩张的同时释放该药物,通过抑制血管平滑肌细胞增殖,减轻内膜增生,进而达到治疗目的。DCB 已被证实能提高膝下病变远期靶血管通畅率, Jia^[9] 对 60 例膝下动脉硬化闭塞症患者行 DCB 治疗,术后 6 月一期通畅率为 75.0%。但 Katsanos 等^[10] 的一项 Meta 分析表示 DCB 会增加膝下动脉硬化闭塞症患者的死亡率,该方法的安全性引起了人们的争议。且 DCB 的本质仍是通过球囊高压扩开通路,而扩张后的弹性回缩问题并未得到真正的解决。减容装置的出现及血管准备理念的提出为膝下动脉的治疗打开了一种新的思路。目前常用的减容装置包括血栓抽吸术 (percutaneous aspiration thrombectomy, PAT)、定向旋切术 (directional atherectomy, DA)、ELA 等。PAT 适用于新鲜血栓减容,而对于动脉粥样硬化斑块不适用。OASIS 研究使用 DA 治疗膝下动脉硬化闭塞症,术后 6 月期间死亡率、患肢的截肢率和靶血管再狭窄率共计为 10.4%^[11]。Rastan 等^[12] 使用 Silver-Hawk 斑块旋切治疗 189 例膝下严重肢体缺血 (critical limb ischemia, CLI) 患者,术后随访 1 年,患肢一期通畅率为 78%,但膝下病变远端血管较细,常不满足 DA 收集仓所需的长度和直径,并且收集仓容积较小,术中常需取出收集仓内碎屑,明显增加手术时长^[13]。ELA 通过冷激光将粥样硬化斑块消融成小分子碎片进而重新开放管腔^[14],解决了球囊扩张引起的弹性回缩和限流性夹层等问题^[15],并减少了膝下动脉支架植入及相关并发症的发生。本研究中,ELA 组 25 例患者术中均未使用支架。Yang 等^[16] 使用 ELA 联合 DCB 治疗 35 例糖尿病足膝下病变患者 24 个月,其靶血管通畅率为 80%,溃疡愈合率为 88.6%。李扬等^[17] 对 21 例膝下动脉硬化闭塞症患者 (其中 CLI 患者占 2/3) 行 ELA 治疗,术后 3 月一期通畅率为 86.7%,术后 6 月一期通畅率为 80.0%。本研究中,ELA 组 25 例患者手术成功率为 100%,并发症发生率为 20%,但无围手术期死亡病例,随访期间患者的 ABI 及 VAS 评分较术前均明显改善,术后 3 月一期通畅率为 92%,保肢(趾)率为 96%,术后 6 月一期通畅率为 84%,保肢(趾)率为 96%,与文献^[18] 报道相近,进一步证实了 ELA 治疗膝下动脉硬化闭塞性病变的安全性及有效性。

综上,ELA 用于治疗膝下动脉病变,可重新开放管腔,改善膝下血供,缓解患者症状,减少截肢

(趾)率,近期疗效较 POBA 好,可作为治疗膝下动脉病变的一种安全有效的方法。但由于单纯膝下动脉闭塞较股浅动脉合并膝下动脉闭塞发病率低,导致病例数量较少^[19]。又由于部分患者未能定期随访,造成随访时间较短。其靶血管远期通畅率有待多中心、大样本、长时间随访研究结果进一步证实。

[参考文献]

- [1] SCHEINERT D, KATSANOS K, ZELLER T, et al. A prospective randomized multicenter comparison of balloon angioplasty and infrapopliteal stenting with the sirolimus-eluting stent in patients with ischemic peripheral arterial disease: 1-year results from the ACHILLES trial[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 60: 2290-2295.
- [2] LIISTRO F, PORTO I, ANGIOLI P, et al. Drug-eluting balloon in peripheral intervention for below the knee angioplasty evaluation (DEBATE-BTK): a randomized trial in diabetic patients with critical limb ischemia[J]. *Circulation*, 2013, 128(6): 615-621.
- [3] BEGGS S, SHORT J, RENGIFO-PARDO M, et al. Applications of the excimer laser: a review[J]. *Dermatol Surg*, 2015, 41(11): 1201-1211.
- [4] KANSAL A, LONG C A, PATEL M R, et al. Endovascular treatment of femoro-popliteal lesions[J]. *Clin Cardiol*, 2019, 42(1): 175-183.
- [5] EIKELBOOM J W, BOSCH J J, CONNOLLY S J, et al. Major bleeding in patients with coronary or peripheral artery disease treated with rivaroxaban plus aspirin[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 74(12): 1519-1528.
- [6] ALEXANDRESCU V A, BROCHIER S, SCHOENEN S, et al. Grades of below-the-ankle arterial occlusive disease following the angiosome perfusion: a new morphological assessment and correlations with the inframalleolar GVG stratification in CLTI patients[J]. *Ann Vasc Surg*, 2022, 81: 358-377.
- [7] 谷涌泉, 郭建明. 糖尿病膝下动脉病变腔内治疗的新进展[J]. *中国微创外科杂志*, 2017, 17(4): 289-293.
GU Y Q, GUO J M. Noval progress of endovascular treatment of diabetic below knee arteries lesions [J]. *Chin J Min Inv Surg*, 2017, 17(4): 289-293.
- [8] 张温温, 史洪涛, 吴延庆, 等. 定向斑块旋切治疗下肢股浅动脉硬化闭塞症[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2022, 30(2): 147-151.
ZHANG W W, SHI H T, WU Y Q, et al. Directional atherectomy for the treatment of lower extremity superficial femoral arteriosclerosis obliterans[J]. *Chin J Arterioscler*, 2022, 30(2): 147-151.
- [9] JIA X, ZHUANG B, WANG F, et al. Drug-coated balloon angioplasty compared with uncoated balloons in the treatment of infrapopliteal artery lesions (AcoArt II-BTK)[J]. *J EndovascTher*, 2021, 28(2): 215-221.
- [10] KATSANOS K, SPILIOPOULOS S, KITROU P, et al. Risk of death and amputation with use of paclitaxel-coated balloons in the infrapopliteal arteries for treatment of critical limb ischemia: a systematic review and Meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2020, 31(2): 202-212.
- [11] SAFIAN R D, NIAZI K, RUNYON J P, et al. Orbital atherectomy for infrapopliteal disease: device concept and outcome data for the OASIS trial[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2009, 73: 406-412.
- [12] RASTAN A, MCKINSEY J F, GARCIA L A, et al. One-year outcomes following directional atherectomy of infrapopliteal artery lesions: subgroup results of the prospective, multicenter DEFINITIVE LE trial[J]. *J Endovasc Ther*, 2015, 22: 839-846.
- [13] KATSANOS K, SPILIOPOULOS S, REPPAS L, et al. Debulking atherectomy in the peripheral arteries: is there a role and what is the evidence[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2017, 40(7): 964-977.
- [14] SINGH R, EBERSOLE K C, YANG X. A feasibility study on removing lipid deposition in atherosclerotic plaques with ultrasound-assisted laser ablation[J]. *Phys Med Biol*, 2023. DOI: 10.1088/1361-6560/ach9d1.
- [15] Leyla S. DEEPER LIMUS study update: the bare temporary spur stent system for the treatment of infrapopliteal arterial disease[J]. *J Vasc Surg*, 2023, 77(4S).
- [16] YANG S, LI S, HOU L, et al. Excimer laser atherectomy combined with drug-coated balloon versus drug-eluting balloon angioplasty for the treatment of infrapopliteal arterial revascularization in ischemic diabetic foot: 24-month outcomes[J]. *Lasers Med Sci*, 2022, 37(3): 1531-1537.
- [17] 李杨, 谷涌泉, 郭连瑞, 等. 准分子激光消融辅助普通球囊扩张治疗膝下动脉病变临床研究[J]. *介入放射学杂志*, 2020, 29(1): 5.
LI Y, GU Y Q, GUO L R, et al. Excimer laser atherectomy-assisted plain old balloon angioplasty for the treatment of arteriosclerosis obliteration below the knee: a clinical study[J]. *J Intervent Radiol*, 2020, 29(1): 5.
- [18] PIYASKULKAEW C, PARVATANENI K, BALLOUT H, et al. Laser in infrapopliteal and popliteal stenosis 2 study (LIPS2): long-term outcomes of laser-assisted balloon angioplasty versus balloon angioplasty for below knee peripheral arterial disease[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2015, 86(7): 1211-1218.
- [19] 周思远, 蒋小浪, 鞠帅, 等. 准分子激光消融治疗糖尿病足膝下动脉病变效果分析[J]. *中华外科杂志*, 2022, 60(6): 599-605.
ZHOU S Y, JIANG X L, JU S, et al. Early outcomes of excimer laser atherectomy for below the knee lesions in patients with diabetic foot[J]. *Chin J Surg*, 2022, 60(6): 599-605.

(此文编辑 文玉珊)