

指南与共识

膝下动脉血运重建的临床实践中国专家共识

国家心血管病专家委员会血管外科专业委员会下肢动脉疾病学组 中国医药教育协会血管外科专业委员会

摘要

膝下动脉粥样硬化常累及多支膝下动脉,且多为多节段性病变,临床上多表现为肢体慢性威胁性缺血,最终导致截肢事件发生,严重影响患者生活质量,甚至危及生命。随着腔内血管外科技术和器械的发展,其治疗理念和技术有了很大的改变,本共识根据国内近年来的临床实践经验,结合最新循证资料以及国外相关指南,提出适合中国人群特点的临床实践推荐意见,旨在为国内血管外科及相关领域医师提供最新的临床实践依据。

关键词 膝下动脉;足弓;肢体慢性威胁性缺血;血运重建;临床实践

Chinese Expert Consensus on the Standards of Practice on Below-the-knee Arteries Revascularisation

Branch of Lower Extremity Artery Disease in Professional Committee of Vascular Surgery in National Committee of Cardiovascular Experts, Vascular Surgery Committee of China Medical Education Association

Corresponding Author: JI Donghua, Email: nickji@126.com

Abstract

Infrapopliteal atherosclerosis is a multilevel disease affecting below-the-knee (BTK) arteries and is particularly associated with chronic limb-threatening ischemia (CLTI), which might seriously affect the quality of life and even endanger the lives of patients. With the development of endovascular treatment technology and instruments, the treatment concept and technology for infrapopliteal artery occlusive disease have changed greatly. According to the domestic clinical practice experience in recent years, combined with the latest evidence-based clinical data and relevant foreign guidelines, we put forward this recommendation on the diagnosis and treatment norms suitable for the Chinese patients with infrapopliteal artery occlusive disease, in order to provide the latest clinical standards of practice for Chinese doctors in vascular surgery and related fields.

Key words: below-the-knee artery; pedal arch; chronic limb-threatening ischemia; revascularization; clinical practice

(Chinese Circulation Journal, 2024, 39: 116.)

膝下动脉粥样硬化常累及多支膝下动脉,且多为多节段性病变,临床上多表现为肢体慢性威胁性缺血(chronic limb-threatening ischemia, CLTI),即静息痛、溃疡或坏疽,最终导致截肢^[1-4]。较好的膝下动脉血运重建尤其是足弓动脉重建对于创面愈合及降低截肢率尤为重要。膝下动脉血运重建的方法包括自体静脉旁路术、经皮球囊成形术、经皮支架置入术等^[5-7],虽然各种手术方式均有较好的临床疗效,但是目前的临床证据显示膝下动脉血运重建首选腔内治疗^[8]。合理选择膝下动脉血运重建的适应证、正确选择恰当的治疗技术和器械、提高治疗规范性是取得良好疗效的重要因素。国家心血管病专

家委员会血管外科专业委员会下肢动脉疾病学组联合中国医药教育协会血管外科专业委员会基于国内的临床实践提出了符合中国人群的诊疗规范推荐意见,从而为国内血管外科医师提供最新的临床实践依据。

1 流行病学与临床表现

目前全球有 2.3 亿外周动脉疾病患者,其中 11% 为 CLTI^[1]。美国医疗保险患者数据的统计分析结果显示,约 1.3% 的患者存在 CLTI,其中绝大多数患者合并糖尿病。全球糖尿病患者中糖尿病足患病率为 6.3%,而中国糖尿病足溃疡患病率为 4.1%^[9]。糖尿病足是指糖尿病患者发生下肢神经和血管病变,导

通信作者:纪东华 Email: nickji@126.com

中图分类号:R54 文献标识码:C 文章编号:1000-3614(2024)02-0116-07 DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2024.02.002

致足部溃疡、坏疽或感染的一种严重病症。2015 年全国多中心调查数据显示,我国糖尿病足大截肢率为 2.14%^[10],明显高于欧美国家(0.1%)^[11],且糖尿病足患者截肢术后的 5 年死亡率高达 40%^[12],糖尿病足已成为糖尿病患者死亡、残疾的主要原因之一。

膝下动脉硬化闭塞性缺血表现主要为膝下皮肤营养不良、肌肉萎缩、皮肤干燥弹性差、皮温下降、

色素沉着、足背动脉和(或)胫后动脉远端搏动减弱或消失,可合并下肢间歇性跛行症状。随着病变进展,可出现静息痛,趾端出现坏疽,足跟或跖趾关节受压部位出现溃疡,部分患者可合并感染。临床上对合并膝下动脉病变的下肢缺血分期以 Fontaine 分期和 Rutherford 分级为主,目前推荐采用 WIfi (Wound, Ischemia, foot Infection)分级系统评估 CLTI(表 1、2、3)^[4]。

表 1 WIfi 分级的伤口分级

伤口分级	溃疡	坏疽
0 级	无溃疡	无坏疽
1 级	足部或足远端小的浅表溃疡,无骨外露或只局限于远端趾骨	无坏疽
2 级	深部溃疡,骨、关节或肌腱外露;一般不累及足跟;足跟浅表溃疡,无跟骨受累	局限于足趾的坏疽性改变
3 级	前足和(或)中足广泛的深部溃疡;足跟部全层溃疡,有或无跟骨受累	前足和(或)中足广泛的坏疽;足跟部深度坏疽

表 2 WIfi 分级的缺血分级

缺血分级	踝臂指数	踝动脉收缩压(mmHg)	经皮 PaO ₂ (mmHg)
0 级	≥ 0.80	>100	≥ 60
1 级	0.60~0.79	70~100	40~59
2 级	0.40~0.59	50~69	30~39
3 级	≤ 0.39	<50	<30

注:1 mmHg=0.133 kPa。

表 3 WIfi 分级的感染分级

感染分级	临床表现
0 级	无临床感染症状及体征
1 级	仅局限于皮肤和皮下组织的局部感染
2 级	皮肤及皮下组织深部感染
3 级	全身炎症反应综合征

推荐

合并高危因素的患者(糖尿病、肾功能不全等)应定期到医院做足部专科检查,包括足部血管评估和保护性感觉缺失情况。

对于 CLTI 患者,建议应用 WIfi 分级系统进行临床分级及评估。

2 膝下动脉血管病变的诊断及鉴别诊断

膝下动脉血管病变的诊断依据:(1)具有下肢缺血的临床表现;(2)辅助检查提示下肢血管病变,静息时踝臂指数(ABI)<0.90,或静息时 ABI>0.90,但运动时出现下肢不适症状,平板运动试验后 ABI 降低 15%~20% 或影像检查提示血管狭窄。

血管病变检查包括:(1)体检:通过触诊,扪及股、足背动脉和(或)胫后动脉搏动了解下肢血管病变。(2)通过 Buerger 试验了解下肢缺血情况。全面

的踝部动脉搏动触诊及股动脉杂音听诊检查对于诊断或排除下肢动脉缺血性疾病的准确度高达 93.8%^[9]。(3)ABI 反映的是肢体的血运状况,正常值为 0.90~1.30,0.71~0.89 为轻度缺血,0.40~0.70 为中度缺血,<0.40 为重度缺血;当踝动脉收缩压高于 200 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)或 ABI>1.30,则高度怀疑下肢动脉钙化,此时可行趾肱指数(TBI)检查,TBI ≥ 0.70 可除外膝下动脉缺血;如果 ABI 正常但临床仍高度怀疑膝下动脉病变,可进一步进行平板运动试验或测定 TBI,必要时行动脉造影;(4)经皮 PaO₂:正常人足背经皮 PaO₂>40 mmHg;如 <30 mmHg 提示周围血液供应不足,足部易发生溃疡,或已有的溃疡难以愈合;如经皮 PaO₂<20 mmHg,足溃疡几乎没有愈合的可能;(5)血管影像检查:超声检查可以观察动脉血管内径、内中膜厚度、斑块大小、管腔狭窄或闭塞情况,同时还能显示动脉血流充盈情况及血流速度,但是因为彩色多普勒超声检查的空间分辨率差,倾向于高估血管狭窄程度;(6)CT 血管造影(CTA)是临床上常用的无创检查方法,CTA 图像可以清晰地显示斑块的分布、形态及血管狭窄程度;(7)磁共振血管成像(MRA)也是下肢动脉的无创检查方法,因为存在湍流,MRA 会高估血管狭窄程度,体内有起搏器、除颤器等铁磁性金

属植入物患者不适合 MRA;(8)数字减影血管造影技术(DSA)不仅能明确下肢血管病变部位及严重程度,还能为介入手术操作提供指导。

需要与膝下动脉硬化性缺血鉴别的主要是血栓闭塞性脉管炎、免疫性血管炎、糖尿病神经性溃疡、下肢静脉淤滞性溃疡等疾病,可通过病史及下肢血管专科检查来进行鉴别。

推荐

详尽的病史采集和体格检查对 CLTI 的诊断至关重要。

对于有静息痛及足部小破溃的患者,建议先采用无创血液动力学或形态学检查,如 ABI 和下肢血管彩色多普勒超声检查。

为进一步明确病变程度,推荐进行 CTA、MRA 或 DSA 检查,以制定血运重建方案。

临床上对于有足部溃疡的患者,需注意与血管免疫性疾病、血管炎性疾病以及静脉瘀滞性溃疡等进行鉴别。

3 膝下动脉的解剖特点及膝下动脉病变的分型

3.1 膝下动脉的解剖特点

腘动脉远端分为胫前动脉、腓动脉、胫后动脉,胫前动脉为第一个分支,向前下方延续为足背动脉,足背动脉又发出足底深支,弓状动脉等;腘动脉分出胫前动脉后延续为胫腓干,胫腓干进一步分出腓动脉及胫后动脉,胫后动脉沿小腿后方,深、浅屈肌群之间下行,经内踝的后方转入足底,进而分为足底内动脉和足底外动脉两支。足背动脉多经足底深支与足底外侧动脉相连,构成足背足底动脉弓。

有关于中国人群膝下动脉血管直径的研究甚少,国外的一些临床研究提示,胫前动脉、胫后动脉的直径为 2.5~3.5 mm^[13-15]。目前,临床上手术中对膝下动脉血管直径的测定基本基于 DSA,国外的一些对比研究发现,血管内超声测量的外弹力膜间的直径比 DSA 获得的直径大 0.5~1.0 mm^[13,15]。

3.2 膝下动脉病变的分型

2015 年跨大西洋协作组织(TASC)发布了国际上首个膝下动脉病变分型——TASC II 分型^[16]。2019 年《全球慢性肢体威胁性缺血处理指南》提出新的全球肢体解剖分级系统(GLASS),其中膝下动脉病变分级(表 4)^[17]与 TASC II 分型不同, GLASS 分级更强调了完全闭塞病变是否累及胫腓干及胫动脉开口的病理特点。

表 4 膝下动脉病变的 GLASS 分级

级别	特征	图示
0 级	膝下动脉分支没有病变或轻微病变	
1 级	胫动脉狭窄 < 3 cm	
2 级	狭窄病变累及胫动脉总长度的 1/3 以下, 包括短段的闭塞性病变 (< 3 cm)、但不包括累及胫腓干和胫前动脉起始处的闭塞病变	
3 级	狭窄、闭塞病变累及胫动脉总长度的 1/3~2/3, 其中闭塞病变累及胫动脉总长度的 1/3 (可以包括胫动脉起始处但不包括胫腓干)	
4 级	弥漫性狭窄病变总长度大于胫动脉总长度的 2/3, 闭塞病变长度大于胫动脉总长度的 1/3 (包括累及胫动脉起始处的闭塞病变), 也包括胫前动脉为非靶血管的胫腓干任何部位的闭塞病变	

注:GLASS:全球肢体解剖分级系统。

4 治疗

4.1 非手术治疗

合并膝下动脉粥样硬化性病变的患者年龄大、合并症多。良好的代谢管理是基础,包括降糖、降压、调脂、抗凝、抗血小板、扩张血管等。包括扩张血管药物、抗血小板药物和抗凝药物的药物治疗是膝下动脉缺血治疗的基础,但多数严重下肢缺血患者通过药物治疗并不能达到改善症状、保肢的目的。因此,对于严重缺血而常规内科治疗无效的患者,必须血运重建治疗。

4.2 血运重建治疗

手术适应证:(1) 静息痛(Fontaine 3 期, Rutherford 4 级)或存在溃疡/坏疽(Fontaine 4 期, Rutherford 5~6 级);(2) 股腘动脉重建治疗中改善不佳的膝下流出道;(3) 存在药物治疗无效的足部麻木、冷感等较轻微症状且除外其他病因者可酌情行膝下动脉重建以改善局部血供。手术禁忌证:(1) 存在未纠正的全身重度感染所致血液动力学不稳定及存在无法纠正的凝血功能异常;(2) 已知的严重对比剂过敏史;(3) 近期发生心脑血管意外;(4) 存在抗血小板或肝素治疗禁忌证。

推荐

有静息痛(Fontaine 3 期, Rutherford 4 级)或存在溃疡/坏疽(Fontaine 4 期, Rutherford 5~6 级)的患者应积极血运重建。

糖尿病足患者在综合内科治疗基础上应积极行膝下动脉血运重建。

缺血合并足部严重感染者,建议清创引流、感染控制后积极血运重建。

缺血合并足部严重坏疽者,建议截肢/趾术前积极行血运重建。

4.2.1 解剖外旁路移植术

最新发表的 BEST-CLI 研究显示,以自体大隐静脉为移植物行腘动脉至足背动脉或胫后动脉及足底动脉的解剖外旁路移植术的中远期大截肢事件及死亡率低于腔内治疗^[18],故推荐术前超声检查提示具备较好条件的大隐静脉的患者,可在评估全身状况的前提下首选自体大隐静脉旁路移植术。

推荐

具备较好条件的大隐静脉的患者,如果全身

条件允许首选自体大隐静脉行腘动脉至膝下动脉旁路移植术。

4.2.2 腔内治疗

直接比较膝下动脉病变外科开放手术和腔内治疗疗效的研究并不多。尽管 BEST-CLI 研究显示应用自体大隐静脉的解剖外旁路移植术的疗效优于腔内治疗^[18],但鉴于 CLTI 患者多为高龄、高危且难以耐受开放手术、缺乏良好静脉移植植物等因素,腔内治疗方法因创伤小、恢复快、易耐受、可重复等优点日益成为膝下动脉闭塞症的首选治疗方法。随着技术和器械的发展,腔内治疗的疗效也在不断改善。

4.2.2.1 术前准备

术前准备包括了解完整的病史、全面的周围血管检查(是否存在脉搏、足部检查)以及 ABI 及 TBI(对于糖尿病或透析患者),术前要系统地分析患者的相关影像检查(足部 X 线平片、CTA 或 MRA)。CLTI 患者术前应该进行心脏检查,包括心电图和超声心动图。推荐全面的伤口评估并根据 WIfI 分级系统进行 CLTI 评估^[2]。

对于术前影像检查没有发现足部血管的病例,推荐进行选择性的血管造影,以进一步评估是否有远端目标血管。

4.2.2.2 腔内治疗入路

膝下动脉病变的处理首选患侧股动脉顺行穿刺入路,推荐标准的 18G 穿刺针和 0.035" 导丝系统。肥胖或腹股沟有瘢痕的患者也可选择对侧股动脉入路。

4.2.2.3 腔内治疗的技术要点

血运重建的主要目标是改善足部缺血创面血供,尽可能建立一条直达足部缺血创面的直线血流。

目前膝下动脉血运重建方法仍以单纯球囊扩张为主,球囊的直径可通过 DSA 测量,或运用体外超声及血管腔内成像[血管内超声(IVUS)或光学相干断层成像(OCT)]来辅助测量^[13-15]。对于狭窄病变可以采用直头或弯头的 0.014" 或 0.018" 膝下导丝进行顺行开通。

对于慢性完全闭塞(CTO)病变,应争取真腔内开通,可选择使用专用的 0.014" 或 0.018" 导丝。内膜下开通也是膝下动脉开通的常用方法。如果顺行开通尝试失败,可选择远端分支血管进行逆行穿刺、经侧支或经足背足底弓逆行开通。血运重建术中出现靶血管痉挛时,可考虑血管内推注解痉药(如硝

酸甘油 100~200 μg)或局部球囊延时扩张。

技术允许下, 尝试多支血管的血运重建是可行的, 但仍要根据具体情况而定并基于风险 / 获益来评估。总的来说, 正常的膝下动脉分支足部供血分区 (Angiosome) 体系及术中造影评判的足部缺血区域充分完整的血管染色获得 (Angiographosome) 体系指导下血运重建对于缩短创面愈合时间均有益, 两者对糖尿病患者的保肢效果相近^[19-21]。

4.2.2.4 足背足底弓成形术

足背足底弓成形术是指在开通膝下主干动脉的同时应尽可能开通踝下的足背足底弓, 以改善足部血流灌注, 促进缺血创面愈合, 提高保肢率^[22-25]。建议使用有亲水涂层的 0.014"/300 cm 导丝及直径为 1.5~2.0 mm 的球囊进行扩张。

4.2.2.5 膝下动脉管腔获得及维持的一些特殊器械

因膝下动脉病变的病理改变与股腘动脉不同^[26], 且缺乏适合膝下动脉应用的支架, 为更好地获得管腔可以尝试应用一些特殊球囊。特殊球囊根据作用原理可分为“压力聚焦扩张”和“控制性扩张”等几类。“压力聚焦扩张”是使用刻痕球囊、切割球囊等对病变进行扩张, 从而减少夹层的形成。“控制性扩张”是利用“巧克力球囊”表面的导丝束缚形成的相对低压区所产生的缓冲作用来减少对血管内膜的损伤, 减少夹层的形成。对于严重钙化病变, 应用血管内碎石技术的冲击波球囊有助于更好地获得管腔^[27]。腔内减容装置 (定向旋切、激光消融等) 也可以用于膝下动脉病变^[28-29], 但需谨慎选择适应证。

在做好充分靶病变血管准备的基础上, 适合膝下动脉的药物 (紫杉醇或雷帕霉素) 涂层球囊对提高膝下动脉 12 个月的一期通畅率有帮助^[30-33], 但是尚需更多的临床研究数据证实。对于膝下动脉短段病变或出现严重弹性回缩及限流性夹层病变, 已有临床证据显示, 药物洗脱支架 (雷帕霉素) 可以获得较好的一期通畅率^[34], 同时点状支架也可以用于局部夹层的处理^[35]。

4.3 术中足部灌注评估

术中利用二维 / 三维灌注血管造影实时量化腔内治疗过程中的足部灌注是可行的, 尤其是可以量化评估间接血管开通对于远端足部灌注改善的价值, 为术中决策提供支持^[36-38]。

推荐

糖尿病患者的膝下动脉血运重建应积极开通

直达足部缺血区的血流。

完整的足弓重建对创面愈合有重要意义, 条件允许可应用足背足底弓成形术重建足弓。

膝下动脉血运重建首选普通球囊扩张, 有条件时可选择特殊球囊、减容装置、药物涂层球囊及支架等。

如果条件允许, 术中尽量利用二维 / 三维灌注血管造影实时量化足部灌注情况, 进而提高中远期疗效。

4.4 药物治疗和术后护理

术后建议双联抗血小板治疗 (75 mg 氯吡格雷和 100 mg 阿司匹林)^[39-41]。对于低出血风险且伴有冠状动脉疾病的 CLTI 患者, 也可考虑使用利伐沙班 2.5 mg, 2 次 /d 和阿司匹林 100 mg, 1 次 /d^[42]。同时应优化降脂治疗, 并积极控制动脉粥样硬化的危险因素^[43]。包括辨证施治的各类内服方剂和外用洗剂的中药治疗在缓解症状、术后调补等方面具有一定作用, 尤其是在肢体缺血或感染性创面的处理方面, 中医中药具有独到的方法和优势。

4.5 术后随访管理

局部存在创面的患者应在专门的创面治疗中心或门诊进行创面护理。患者情况允许时应鼓励进行适度锻炼。建议术后 1、3、6、12 个月进行规范的门诊复诊, 包括临床症状改善情况、伤口检查以及脉搏、ABI、经皮 PaO_2 (组织灌注监测) 和多普勒超声检查。在临床随访期间应监测患者药物治疗的依从性。

专家组成员 (按姓氏汉语拼音排序): 包俊敏 (海军军医大学第一附属医院), 曹文东 (山西白求恩医院), 陈兵 (浙江大学医学院附属第二医院), 顾洪斌 (战略支援部队特色医疗中心), 郭连瑞 (首都医科大学宣武医院), 何菊 (南开大学附属第一医院), 纪东华 (大连医科大学附属第一医院), 李拥军 (北京医院), 刘暴 (中国医学科学院北京协和医院), 刘冰 (哈尔滨医科大学附属第一医院), 罗明尧 (中国医学科学院阜外医院), 沈晨阳 (首都医科大学附属北京天坛医院), 舒畅 (中国医学科学院阜外医院), 吴巍巍 (北京清华长庚医院), 杨敏 (北京大学第一医院), 张艳 (暨南大学附属第一医院)

执笔专家: 纪东华 (大连医科大学第一附属医院), 刘暴 (中国医学科学院北京协和医院)

利益冲突: 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Aday AW, Matsushita K. Epidemiology of peripheral artery disease and polyvascular disease[J]. Circ Res, 2021, 128(12): 1818-1832.

- DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.121.318535.
- [2] Westin GG, Armstrong EJ, Bang H, et al. Association between statin medications and mortality, major adverse cardiovascular event, and amputation-free survival inpatients with critical limb ischemia[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 63(7): 682-690. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.09.073.
 - [3] Shammass AN, Jeon-Slaughter H, Tsai S, et al. Major limb outcomes following lower extremity endovascular revascularization in patients with and without diabetes mellitus[J]. *J Endovasc Ther*, 2017, 24(3): 376-382. DOI: 10.1177/1526602817705135.
 - [4] Mills JL Sr, Conte MS, Armstrong DG, et al. The Society for Vascular Surgery Lower Extremity Threatened Limb Classification System: risk stratification based on Wound, Ischemia, and foot Infection (WIfI)[J]. *J Vasc Surg*, 59(1): 220-34.e1-2. DOI: 10.1016/j.jvs.2013.08.003.
 - [5] Chi YW, Jaff MR. Optimal risk factor modification and medical management of the patient with peripheral arterial disease[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2008, 71(4): 475-489. DOI: 10.1002/ccd.21401.
 - [6] Faglia E, Dalla Paola L, Clerici G, et al. Peripheral angioplasty as the first-choice revascularization procedure in diabetic patients with critical limb ischemia: prospective study of 993 consecutive patients hospitalized and followed between 1999 and 2003[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2005, 29(6): 620-627. DOI: 10.1016/j.ejvs.2005.02.035.
 - [7] van Overhagen H, Spiliopoulos S, Tsetis D. Below-the-knee interventions[J]. *Cardiovasc Interv Radiol*, 2013, 36(2): 302-311. DOI: 10.1007/s00270-013-0550-1.
 - [8] Hicks CW, Canner JK, Lum YW, et al. Long-term outcomes of an endovascular-first approach for diabetic patients with predominantly tibial disease treated in a multidisciplinary setting[J]. *Ann Vasc Surg*, 2019, 60: 315-326.e2. DOI: 10.1016/j.avsg.2019.04.001.
 - [9] Zhang P, Lu J, Jing Y, et al. Global epidemiology of diabetic foot ulceration: a systematic review and meta-analysis [J]. *Ann Med*, 2017, 49(2): 106-116. DOI: 10.1080/07853890.2016.1231932.
 - [10] Jiang Y, Ran X, Jia L, et al. Epidemiology of type 2 diabetic foot problems and predictive factors for amputation in China [J]. *Int J Low Extrem Wounds*, 2015, 14(1): 19-27. DOI: 10.1177/1534734614564867.
 - [11] Goodney PP, Tarulli M, Faerber AE, et al. Fifteen-year trends in lower limb amputation, revascularization, and preventive measures among medicare patients[J]. *JAMA surgery*, 2015, 150(1): 84-86. DOI: 10.1001/jamasurg.2014.1007.
 - [12] Li X, Xiao T, Wang Y, et al. Incidence, risk factors for amputation among patients with diabetic foot ulcer in a Chinese tertiary hospital [J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2011, 93(1): 26-30. DOI: 10.1016/j.diabres.2011.03.014.
 - [13] Kuku KO, Garcia-Garcia HM, Finizio M, et al. Comparison of angiographic and intravascular ultrasound vessel measurements in infra-popliteal endovascular interventions: the below-the-knee calibration study[J]. *Cardiovasc Revasc Med*, 2022, 35: 35-41. DOI: 10.1016/j.carrev.2021.09.004.
 - [14] Pliagas G, Saab F, Stavroulakis K, et al. Intravascular ultrasound imaging versus digital subtraction angiography in patients with peripheral vascular disease[J]. *J Invasive Cardiol*, 2020, 32(3): 99-103.
 - [15] Shammass NW, Shammass WJ, Jones-Miller S, et al. Optimal vessel sizing and understanding dissections in infrapopliteal interventions: data from the idissection below the knee study[J]. *J Endovasc Ther*, 2020, 27(4): 575-580. DOI: 10.1177/1526602820924815.
 - [16] Jaff MR, White CJ, Hiatt WR, et al. An update on methods for revascularization and expansion of the TASC lesion classification to include below-the-knee arteries: a supplement to the Inter-Society consensus for the management of peripheral arterial disease (TASC II) [J]. *J Endovasc Ther*, 2015, 22(5): 663-677. DOI: 10.1177/1526602815592206.
 - [17] Conte MS, Bradbury AW, Kolh P, et al. Global vascular guidelines on the management of chronic limb-threatening ischemia[J]. *J Vasc Surg*, 2019, 69(6S): 3S-125S. e40. DOI: 10.1016/j.jvs.2019.02.016.
 - [18] Farber A, Menard MT, Conte MS, et al. Surgery or endovascular therapy for chronic limb-threatening ischemia[J]. *N Engl J Med*, 2022, 387(25): 2305-2316. DOI: 10.1056/NEJMoa2207899.
 - [19] 纪东华, 张涛, 李城, 等. Angiosome 指导下膝下动脉成形术治疗合并糖尿病的 Fontaine IV 级下肢动脉缺血[J]. *中国微创外科杂志*, 2013, 13(9): 789-792.
 - [20] 刘震, 潘涛, 张涛, 等. 膝下靶动脉重建新理念“Angiographosome”临床应用效果 [J]. *介入放射学杂志*, 2021, 30(10): 994-997. DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2021.10.006.
 - [21] Palena LM, Garcia LF, Brigato C, et al. Angiosomes: how do they affect my treatment[J]. *Tech Vasc Interv Radiol*, 2014, 17(3): 155-169. DOI: 10.1053/j.tvir.2014.08.004.
 - [22] Rashid H, Slim H, Zayed H, et al. The impact of arterial pedal arch quality and angiosome revascularization on foot tissue loss healing and infrapopliteal bypass outcome[J]. *J Vasc Surg*, 2013, 57(5): 1219-1226. DOI: 10.1016/j.jvs.2012.10.129.
 - [23] Kawarada O, Fujihara M, Higashimori A, et al. Predictors of adverse clinical outcomes after successful infrapopliteal intervention[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2012, 80(5): 861-871. DOI: 10.1002/ccd.24370.
 - [24] Iida O, Soga Y, Yamauchi Y, et al. Anatomical predictors of major adverse limb events after infrapopliteal angioplasty for patients with critical limb ischaemia due to pure isolated infrapopliteal lesions[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2012, 44(3): 318-324. DOI: 10.1016/j.ejvs.2012.05.011.
 - [25] Higashimori A, Iida O, Yamauchi Y, et al. Outcomes of one straight-line flow with and without pedal arch in patients with critical limb ischemia[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2016, 87(1): 129-133. DOI: 10.1002/ccd.26164.
 - [26] Torii S, Mustapha JA, Narula J, et al. Histopathologic characterization of peripheral arteries in subjects with abundant risk factors: correlating imaging with pathology[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(8Pt 1): 1501-1513. DOI: 10.1016/j.jcmg.2018.08.039.
 - [27] Adams G, Soukas PA, Mehrle A, et al. Intravascular lithotripsy for treatment of calcified infrapopliteal lesions: results from the disrupt PAD III observational study[J]. *J Endovasc Ther*, 2022, 29(1): 76-83. DOI: 10.1177/15266028211032953.
 - [28] Shammass NW, Lam R, Mustapha J, et al. Comparison of orbital atherectomy plus balloon angioplasty vs. balloon angioplasty alone in patients with critical limb ischemia: results of the CALCIUM 360 randomized pilot trial[J]. *J Endovasc Ther*, 2012, 19(4): 480-488. DOI: 10.1583/J EVT-12-3815MR.1.

- [29] 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. DOI: 10.1002/ccd.26145.
- [30] 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 Endovasc Ther*, 2021, 28(2): 215-221. DOI: 10.1177/1526602820969681.
- [31] Liistro F, Angioli P, Ventoruzzo G, et al. Randomized controlled trial of acotec drug-eluting balloon versus plain balloon for below-the-knee angioplasty[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(19): 2277-2286. DOI: 10.1016/j.jcin.2020.06.045.
- [32] Matsuoka EK, Hasebe T, Ishii R, et al. Comparative performance analysis of interventional devices for the treatment of ischemic disease in below-the-knee lesions: a systematic review and meta-analysis[J]. *Cardiovasc Interv Ther*, 2022, 37(1): 145-157. DOI: 10.1007/s12928-021-00758-7.
- [33] Liistro F, Reccia MR, Angioli P, et al. Drug-eluting balloon for below the knee angioplasty: five-year outcome of the DEBATE-BTK randomized clinical trial[J]. *Cardiovasc Interv Radiol*, 2022, 45(6): 761-769. DOI: 10.1007/s00270-022-03104-3.
- [34] Katsanos K, Spiliopoulos S, Diamantopoulos A, et al. Systematic review of infrapopliteal drug-eluting stents: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Cardiovasc Interv Radiol*, 2013, 36(3): 645-658. DOI: 10.1007/s00270-013-0578-2.
- [35] Brodmann M, Wissgott C, Holden A, et al. Treatment of infrapopliteal post-PTA dissection with tack implants: 12-month results from the TOBA-BTK study[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2018, 92(1): 96-105. DOI: 10.1002/ccd.27568.
- [36] Shao J, Ma J, Lai Z, et al. Impaired pedal arch affects the treatment effect in patients with single tibial artery revascularization demonstrated by intraoperative perfusion[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2022, 12(6): 3204-3321. DOI: 10.21037/qims-21-801.
- [37] Rogers RK, Montero-Baker M, Biswas M, et al. Assessment of foot perfusion: overview of modalities, review of evidence, and identification of evidence gaps[J]. *Vasc Med*, 2020, 25(3): 235-245. DOI: 10.1177/1358863X20909433.
- [38] Reekers JA, Koelemay MJ, Marquering HA, et al. Functional imaging of the foot with perfusion angiography in critical limb ischemia[J]. *Cardiovasc Interv Radiol*, 2016, 39(2): 183-189. DOI: 10.1007/s00270-015-1253-6.
- [39] Katsanos K, Spiliopoulos S, Saha P, et al. Comparative efficacy and safety of different antiplatelet agents for prevention of major cardiovascular events and leg amputations in patients with peripheral arterial disease: a systematic review and network meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2015, 10(8): e0135692. DOI: 10.1371/journal.pone.0135692.
- [40] Lemesle G, Schurtz G, Bauters C, et al. High on-treatment platelet reactivity with ticagrelor versus prasugrel: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Thromb Haemost*, 2015, 13(6): 931-942. DOI: 10.1111/jth.12907.
- [41] Spiliopoulos S, Katsanos K, Pastromas G, et al. Initial experience with ticagrelor in patients with critical limb ischemia and high onclopidogrel platelet reactivity undergoing complex peripheral endovascular procedures[J]. *Cardiovasc Interv Radiol*, 2014, 37(6): 1450-1457. DOI: 10.1007/s00270-014-0852-y.
- [42] Bonaca MP, Bauersachs RM, Anand SS, et al. Rivaroxaban in peripheral artery disease after revascularization[J]. *N Engl J Med*, 2020, 382(21): 1994-2004. DOI: 10.1056/NEJMoa2000052.
- [43] Gerhard-Herman MD, Gornik HL, Barrett C, et al. AHA/ACC guideline on the management of patients with lower extremity peripheral artery disease: executive summary[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017, 69(11): 1465-1508. DOI: 10.1016/j.jacc.2016.11.008.
- (收稿日期: 2023-06-06)
(编辑: 许菁)