



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250615

http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250615

China Journal of General Surgery, 2026, 35(6):1229-1238.

· 文献综述 ·

深静脉动脉化治疗慢性肢体威胁性缺血的研究进展

许哲锴¹, 桂亮², 邹君杰²

(1. 南京医科大学第二临床医学院, 江苏 南京 210029; 2. 南京医科大学附属第一医院/江苏省人民医院 血管外科, 江苏 南京 210029)

摘要

慢性肢体威胁性缺血 (CLTI) 是外周动脉疾病最严重的临床阶段, 部分患者因远端血管广泛闭塞而无法接受常规血运重建, 被称为无治疗选择患者, 截肢风险极高。深静脉动脉化 (DVA) 通过建立动静脉通路, 将动脉血流引入足部静脉系统, 为此类患者提供了新的保肢策略。近年来, 随着开放式、经皮及混合式 DVA 技术不断发展以及 LimFlow 等专用器械的应用, DVA 治疗的技术成功率、保肢率及创面愈合率均明显提高。本文结合近年来国内外研究进展, 对 DVA 的生理学基础、技术演进、临床疗效、器械发展及围手术期管理等方面进行综述, 并分析不同技术路径的特点及目前存在的问题, 以期 DVA 在 CLTI 患者中的规范化应用及未来研究提供参考。

关键词

外周动脉疾病; 慢性肢体威胁性缺血; 深静脉动脉化; 四肢救助; 血管重建; 综述

中图分类号: R654.3

Advances in deep vein arterialization for the treatment of chronic limb-threatening ischemia

XU Zhekai¹, GUI Liang², ZOU Junjie²

(1. The Second Clinical College of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China; 2. Department of Vascular Surgery, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University/Jiangsu Provincial People's Hospital, Nanjing 210029, China)

Abstract

Chronic limb-threatening ischemia (CLTI) represents the most advanced stage of peripheral artery disease, and a subset of patients are considered "no-option" because conventional surgical or endovascular revascularization is not feasible. Deep vein arterialization (DVA) has emerged as a promising limb salvage strategy by redirecting arterial blood into the distal venous system to improve tissue perfusion. With the continuous evolution of open, percutaneous, and hybrid DVA techniques, together with dedicated devices such as the LimFlow system, encouraging improvements have been achieved in technical success, limb salvage, and wound healing. This review summarizes the physiological basis, technical evolution, clinical outcomes, device development, perioperative management, and current challenges of DVA. The advantages and limitations of different techniques are also discussed to provide evidence for optimizing clinical application and future research in patients with

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (2023M731408); 江苏省卓越博士后基金资助项目 (2023ZB640); 江苏省自然科学基金资助项目 (BK20230731); 江苏省科教能力提升工程基金资助项目 (江苏省医学重点学科, ZDXK202222)。

收稿日期: 2025-11-04; **修订日期:** 2026-01-20。

作者简介: 许哲锴, 南京医科大学第二临床医学院本科生, 主要从事下肢动脉疾病临床方面的研究。

通信作者: 邹君杰, Email: zoujunjie@njmu.edu.cn

no-option CLTI.

Key wordsPeripheral Arterial Disease; Chronic Limb-Threatening Ischemia; Deep Vein Arterialization; Limb Salvage; Vascular Reconstruction; Review

CLC number: R654.3

外周动脉疾病（peripheral arterial disease, PAD）对全球健康和经济有重大影响。在欧美国家，45~49 岁人群患病率为 5%，85~89 岁人群患病率为 18%^[1]。根据中国外周动脉疾病研究（China Peripheral Artery Disease Study）的数据^[2]，2020 年我国 PAD 患者人数已达 4 113 万。多项国际指南指出，生活方式管理和危险因素控制，配合最佳药物治疗，可以帮助减缓和改善缺血进展，但仍有 5%~10% 的患者会发展成为慢性肢体威胁性缺血（chronic limb-threatening ischemia, CLTI），面临截肢风险^[3-4]。CLTI 是 PAD 最严重的形式，通常会出现静息痛、溃疡、坏疽等症状，显著增加截肢和死亡风险，影响患者生活质量和生存率^[5]。CLTI 患者动脉狭窄或阻塞，且不能通过侧支血液循环代偿，导致组织灌注不足、缺血加剧，因此需要通过血运重建来改善肢体血液灌注，从而降低截肢风险^[6-7]。血运重建的两种主要方式为外科旁路术和血管腔内治疗。尽管旁路术和腔内治疗在现代医

疗进程中取得了巨大的进展，但仍有高达 20% 的 CLTI 患者，因不适合进行血运重建术而成为“无治疗选择（no-option）”的患者^[8-9]，这些患者常常伴有血管钙化、糖尿病、透析^[7]和（或）长期使用皮质类固醇治疗等情况，且终将接受截肢。接受截肢手术的患者仍要面临较大的死亡风险，因 CLTI 而进行大截肢的 65 岁以上患者，截肢后 1 年内病死率可达 50%，同时伴有心血管疾病的患者 1 年内病死率更高^[10]。

深静脉动脉化（deep vein arterialization, DVA）被认为是无治疗选择的 CLTI 患者避免大截肢的最后尝试。DVA 通过在动脉和静脉之间建立连接，使动脉血流绕过严重狭窄或闭塞的区域进入静脉。这种连接将含氧血液输送到足底静脉弓和小静脉毛细血管网络，最终实现组织灌注和伤口愈合，并为患者提供肢体挽救^[11-13]。诸多研究表明，DVA 在改善 CLTI 患者肢体灌注、提高保肢率方面具有显著潜力（表 1）。

表 1 2010—2019 年有关 DVA 的临床研究汇总
Table 1 Summary of clinical studies evaluating DVA from 2010 to 2019

研究	病例数(n)	随访时间(月)	一期通畅率(%)	保肢率(%)	伤口愈合率(%)	截肢率(%)
Sasajima, 等 ^[14] 2010	9	12	44.4	77.8	77.7	22.2
Alexandrescu, 等 ^[15] 2011	26	12	46.0	46.0	54.0	23.0
Djoric, 等 ^[16] 2012	30	6.1	80.0	91.6	87.5	16.7
Houliind, 等 ^[17] 2013	10	12	80.0	30.0	30.0	70.0
Del Giudice, 等 ^[18] 2018	5	6	40.0	60.0	40.0	20.0
Kum, 等 ^[11] 2018	7	10	28.6	71.0	71.4	28.5
Ferraresi, 等 ^[9] 2019	36	10.8	1 个月:86.1; 6 个月:20.7; 12 个月:6.9	69.0	44.0	31.0
Mustapha, 等 ^[19] 2019	10	6	1 个月:90.0; 6 个月:40.0	86.0	100.0	0.0

2006 年的一项 Meta 分析^[20]指出，接受 DVA 手术的患者术后 12 个月的保肢率为 71%，靶血管 1 年内二期通畅率为 46%。大多数患者避免了大截肢和严重不良事件，临床症状显著缓解。Schreve 等^[21]在数据库中检索了 1966 年 1 月—2016 年 1 月发表的 15 篇相关论文，共纳入 768 例因 CLTI 而接受 DVA 治疗的患者。在这项分析中，靶血管术后通

畅率为 59%~71%，1 年保肢率为 75%。由此可见，DVA 对于面临截肢的 CLTI 患者而言，是一种有效的治疗选择。中华医学会和中国医师协会专家代表联合制定的 2024 版《中国共识建议：糖尿病足溃疡并发下肢血管病变的诊断和治疗》^[22]也给出了相关建议：在截肢被视为唯一可行解决方案的情况下，DVA 被视为肢体保存的最后手段。对于

具有足够腔内通道的患者,该技术是一种微创替代方案(证据等级:B,推荐强度:中)。尽管近年来DVA相关临床研究不断增加,开放式、经皮及混合式DVA均取得了一定临床疗效,但不同技术路线的适应证、疗效差异、围手术期管理策略及专用器械的发展仍缺乏系统总结。本文围绕DVA的生理学基础、技术演进、临床应用、器械研发及术后管理等方面进行综述,以期为无治疗选择CLTI患者的保肢治疗提供参考。

1 生理学基础

DVA的原理是将动脉血流输送到足部非病变静脉床,促进创面愈合。大量的生理学证据支持DVA治疗的成立,其中最流行的理论是DVA通过刺激血管生成因子的释放来形成完整的足部毛细血管床,最终提供有效的组织灌注并刺激伤口愈合^[23-24]。

DVA术后静脉耐受高压血流的适应性改变分为急性期(0~72 h)、亚急性期(1~6周)、慢性期(>6周)三个阶段。急性期时,动脉血流突然注入低阻力的静脉系统,导致静脉壁拉伸和内皮细胞损伤,局部一氧化氮释放增加,引发静脉扩张(直径可增加30%~50%)。亚急性期时,静脉内膜发生“动脉样重塑”,即内皮细胞增殖、平滑肌细胞表型转换(从收缩型转为合成型)。动物模型显示,术后4周静脉壁厚度增加2~3倍,胶原/弹性蛋白比例趋近于动脉。血流速度逐渐稳定在40~80 cm/s(理想灌注范围)。慢性期时,完全成熟的“静脉-动脉复合体”形成,血管阻抗接近正常小动脉水平。组织学可见新生血管滋养管,提示完全内皮化。

在动物模型中,DVA术后静脉样本显示出动脉化的现象,靶组织中缺血性标志物减少。Ozek等^[25]在大鼠模型上进行DVA手术,结扎股动脉诱导肢体缺血。与对照组相比,DVA组大鼠新生血管增加,缺血性损伤减少。随后的研究^[26]表明,大鼠DVA手术后皮肤血流量增加,狗的模型试验^[27]也有类似的发现。相似的结论在人类中也有报道:Djoric等^[16]研究显示,DVA术后7 d,患者腿部血运重建良好,趾端收缩压增加至 (68.4 ± 16.21) mmHg(1 mmHg=0.133 kPa),趾肱指数增加至 0.487 ± 0.149 ,显著高于术前;DVA术后1、3、5、10 min内,氧化应激标志物和抗氧化酶的水平

均无显著变化,提示DVA未引起显著的再灌注损伤,成功实现缺血组织的再氧合。此外,DVA也被证明可以降低人体组织中缺血标志物的表达水平,缓解机体缺血症状^[28]。综上,DVA生理机制的研究表明,DVA能够改善足部血流灌注,从而缓解缺血引起的诸多临床症状。

2 DVA技术及其发展历程

DVA技术最先是由Francois-Frank提出的,他于1881年和1894年分别在狗和人身上进行了股静脉吻合,但结果显示伤口愈合和保肢率较低,还存在充血性心力衰竭和四肢水肿等并发症^[28]。1894年,DVA首次被应用于临床。1977年,Sheil^[29]将危重肢体缺血患者的大隐静脉和远端足弓静脉吻合建立DVA,6例患者中5例静息疼痛缓解,伤口愈合。1993年,Ascher和Veith使用远端浅表静脉系统动脉化获得了可接受的保肢效果。自此,大量的成功案例被陆续报道。现如今,开放式、经皮和混合式DVA已成为DVA最主流的三种技术^[30-31]。

2.1 开放式DVA

2.1.1 患者选择 Rutherford 5级或6级的CLTI患者可考虑行开放式DVA。由于此类患者患有“沙漠”足,缺乏足底动脉、足底弓、足背动脉或跗骨外侧动脉,较难进行或不适合进行开放或血管内血管重建术。此外,进行开放DVA的患者需保证深静脉弓的通畅与完整。威胁生存能力或愈合潜力的广泛组织损失是DVA的相对禁忌证。

2.1.2 手术方式 开放式DVA术前需通过血管造影进行下肢动静脉成像,以描绘解剖结构并选择理想的靶点。股总动脉、股浅动脉、腘动脉、近端胫动脉可用于DVA手术中动静脉痿建立的近端动脉靶点。远端静脉则可选择胫后静脉和足背静脉弓。连接动静脉的桥血管包括大隐静脉、带静脉补片的聚四氟乙烯或头静脉。此外,远端靶静脉和足弓处的瓣膜必须被破坏。图1展示了踝关节处胫后静脉和膝关节处腘动脉之间的连接,并标明了开放式DVA手术中动静脉连接可能需要的内容。在等待静脉系统动脉化发生时,可以使用负压治疗等常用伤口护理方法。开放式DVA完成后约5~7 d,可进行结扎胫后静脉近端以防止动脉盗血^[32]。

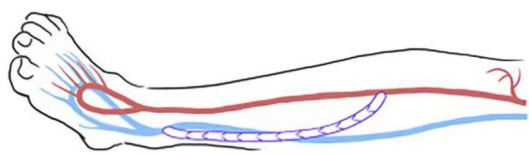


图1 开放式DVA手术示意图(从近端动脉流入远端静脉目标,选用逆行隐静脉移植、原位大隐静脉或合成导管作为桥血管)^[32]

Figure 1 Schematic of open DVA (using a proximal arterial inflow and distal venous target with a retrograde saphenous vein graft, in situ great saphenous vein, or synthetic conduit as the bypass graft)^[32]

2.1.3 治疗结果 开放性DVA术后1年桥血管、远端靶静脉的一期通畅率为44.4%~87.5%;二期通畅率术后1年为55.6%,术后25个月为72%^[33-34]。1项回顾性队列研究^[24]报道了2007—2012年接受开放式DVA或足部搭桥治疗的CLTI患者:40例患者中,21例接受了开放式DVA,19例接受了足部搭桥手术。DVA组的桥血管、远端靶静脉的早期闭塞率为15%,1年通畅率为71%,保肢率为53%。足部搭桥组的早期闭塞率为23%,1年通畅率为75%,保肢率为47%。由此可见,对于CLTI患者而言,开放式DVA和足部搭桥的治疗结果相似,短期和长期结果无显著差异,开放式DVA应被视为无治疗选择的CLTI患者的有效治疗方案之一。

2.2 经皮DVA(血管内DVA)

2.2.1 患者选择 经皮DVA的患者选择与开放式DVA相似,但有额外的入路考虑。患者需要通畅的近端胫动脉来进行顺行动脉插管,并作为经皮创建的动静脉瘘的流入靶点^[35]。

2.2.2 手术方式 胫动脉是经皮DVA手术的近端动脉靶点,而远端静脉可为胫后静脉或内踝附近的腓静脉。LimFlow (LimFlow SA,法国)是由顺行7 F动脉导管和逆行5 F静脉导管组成的血管内DVA系统,用于经皮DVA手术。根据Mustapha等^[19]早期使用该设备的经验,大多数患者在术前还需进行动脉和静脉的血管成形术。手术时,先将2个导管推进到建立动静脉瘘的目标区域,使动脉导管中的针穿出动脉穿入静脉,并在针上放置导管,然后推进专用瓣膜刀,对静脉进行远端瓣膜切开术。在用3 mm的球囊进行预处理后,植入LimFlow系

统中的7 F聚四氟乙烯锥形交叉覆盖的支架,将多个支架放置在膝关节以下的近端静脉侧以覆盖侧支循环^[32]。总的来说,手术过程包括逆行进入踝关节处胫后静脉,顺行进入胫后动脉,确定2条血管之间的最短距离,并用支架在它们之间创建1个通道(图2)。

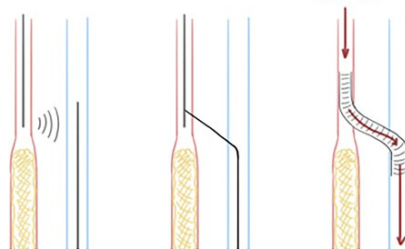


图2 经皮DVA手术示意图(采用逆行静脉通路和顺行动脉通路放置桥接支架)^[32]

Figure 2 Schematic of percutaneous DVA (using antegrade arterial access and retrograde venous access with placement of a bridging stent)^[32]

2.2.3 治疗结果 PROMISE I研究^[36]对使用LimFlow装置进行经皮DVA治疗的患者进行了随访。这是在美国展开的评估LimFlow系统安全性和有效性的前瞻性、单组、早期可行性研究。此研究共纳入32例患者,其中87%的患者将胫后动脉作为动脉靶点,71%的患者将胫后静脉作为远端静脉。技术成功率为96%,术后12个月56%的患者伤口完全愈合,术后24个月75%的患者伤口完全愈合。其中,16例患者需要再次介入治疗,包括普通球囊成形术、药物涂层球囊成形术、切割球囊成形术、药物洗脱支架置入和(或)斑块切除术。这些干预大多与动脉流入道狭窄或闭塞相关,且发生在DVA术后3个月内。1项基于4项单臂研究($n=197$)与同期CLarITI真实世界队列($n=180$)的间接比较Meta分析^[37]显示,相较于标准治疗,经皮DVA显著提高了患者的1年保肢率(79.6% vs. 55.1%)和无截肢生存率(71.0% vs. 37.3%),技术成功率达97.6%,伤口愈合率翻倍,提示其有望成为Rutherford 5/6级CLTI患者保肢治疗的重要补充甚至首选方案,但仍需随机对照或前瞻性登记研究以验证长期疗效与经济学效益。

2.3 混合式DVA

2.3.1 患者选择 大多数LimFlow装置中的血管腔内针不能穿透严重的血管钙化,使得严重的胫动

脉中膜钙沉积患者,通常是糖尿病患者和肾衰竭[终末期肾病(end-stage renal disease, ESRD)],不符合使用LimFlow技术的资格。这类患者通常使用混合式DVA治疗。

2.3.2 手术方式 采用混合式入路时,近端动脉和远端静脉吻合采用开放手术旁路,瓣膜切除和远端侧支静脉栓塞则采用介入手段完成,介入手术时机可选在术后即刻或术后1个月。这与传统的开放式DVA入路不同,在开放式入路中,静脉瓣膜在手术台上被瓣膜刀直接穿过静脉破坏,而采用混合式入路时,只有建立动静脉吻合时采用开放手术,瓣膜的破坏采用介入手段,如球囊、裸金属支架、药物洗脱支架等^[32]。

2.3.3 治疗结果 有关混合式DVA的文献十分有限。在有限的报道中,经混合式DVA手术的患者术后6个月的通畅率<50%,伤口愈合率为44%~46%,保肢率为46%~69%^[9, 15]。Ferraresi等^[9]对2016年5月—2018年1月35例无治疗选择的CLTI患者(36条CLTI患肢)进行了混合式DVA手术治疗。患者经该混合式DVA手术后1个月的一期通畅率为86.1%,二期通畅率为91.7%。术后10.8个月随访数据显示,25条肢体实现了肢体保存,16条肢体实现了伤口愈合,11条肢体进行了截肢,1例患者因心肌梗死死亡。研究者由此认为,混合式DVA是一种有前景的技术,能够在即将进行截肢的无治疗选择患者中实现可接受的保肢率和伤口愈合率。

2.4 DVA技术的评价

分析开放式DVA^[14, 24, 33, 38]和经皮DVA^[9, 18-19, 39]的文献可得,现有研究中,开放式DVA部分临床指标似乎优于经皮DVA,但由于缺乏直接比较研究,不同研究对象、病例选择及术式差异均可能影响结果,因此目前尚不能得出明确结论。尽管没有文献直接比较这两种方法,但笔者根据文献推测,开放式DVA显示出更好结果有以下原因:第一,血管内入路需要通过放置支架来建立动静脉连接,这可能会引发与一般外周支架置入相同的并发症,如血栓形成、支架内狭窄等,从而导致术后效果差于开放式入路。其次,开放式入路可以让医生直接看到静脉侧支和穿支,使得医生在术中能够直接结扎分支静脉来引导血液更多地流向足部,从而达到更好的效果。此外,DVA手术成功的最重要因素之一是确保静脉瓣膜的破坏。

开放式DVA能使用瓣膜切开器直接进入静脉以破坏瓣膜,而血管内DVA破坏瓣膜则不彻底^[32]。经皮DVA还具有一个十分明显的缺点,即不能动脉化足背浅静脉系统。无论是足背浅静脉系统还是足底深静脉系统,原则上都可以用于手术。经皮DVA存在这种限制的原因是近端胫动脉与足背浅静脉之间的距离太长,无法使用市场上的设备建立动静脉连接^[40]。

同样不容忽视的是,开放式DVA手术也具有一些弊端,包括感染、开放手术创伤、靶静脉瓣膜切除困难^[32]。1项PROMISE II的前瞻性、单组、多中心试验^[41]纳入了105例CLTI患者,评估应用LimFlow导管装置行腔内DVA手术的疗效和安全性,其结果表明手术成功率为99%,6个月无截肢生存率66.1%,保肢率76.0%,生存率87.1%。可见,腔内DVA在避免开放切口、保障患者安全性的同时,还能取得较好的疗效,相比于开放式DVA,具有较大的优势和更好的发展前景。

3 DVA器械

3.1 LimFlow系统

LimFlow系统是首个获得FDA批准的深静脉DVA系统,它通过在小腿近端创建动静脉瘘,将动脉血液转移到足部的静脉系统,从而改善足底微循环。该系统由四个主要部件组成:带针的动脉导管、静脉导管、7 F输送系统中的镍钛诺支架,以及超声对准系统。动脉导管和静脉导管的尖端分别有超声发射和超声接收探头,便于确定建立动静脉瘘的部位。镍钛诺支架则用来制造动静脉瘘^[42]。该系统配备了独特的推式瓣膜刀,可以切除足部的静脉瓣膜,这是该系统相对于现有设备的主要优势,提高了手术的时间效率^[43]。

2021年,PROMISE I研究^[36]确立了经皮DVA治疗无治疗选择的CLTI患者的可行性,技术成功率高达96%。2023年,PROMISE II研究^[41]拓展了这项工作,以评估LimFlow系统对患者无截肢生存率和保肢率的影响。研究结果表明,术后6个月无截肢生存率为66.1%,保肢率达76.0%。ALPS研究^[44]纳入了32例利用LimFlow系统进行治疗的CLTI患者,研究显示技术成功率为97%;在术后6、12、24个月的随访中,患者无截肢生存率分别为83.9%、71.0%和67.2%,保肢率分别为86.8%、79.8%和

79.8%。此外,患者伤口完全愈合率在术后6、12、24个月时分别为36.6%、68.2%和72.7%。PROMISE-UK研究^[45]连续纳入28例“无选择”CLTI患者,技术成功率96%;1年无截肢生存率67%,保肢率81%,创面完全/近完全愈合率100%,30 d内无器械相关死亡或重大并发症发生,43%患者需再次干预以维持通路或优化血流,为高截肢风险人群提供了安全的保肢选择。

3.2 静脉动脉化简化技术(venous arterialization simplified technique,VAST)

西班牙克鲁塞斯医院血管外科团队探索出使用球囊导管和圈套器,即VAST,为更多无治疗选择的CLTI患者,带来了更经济的治疗策略。尽管Limflow系统的技术成功率接近100%,但其高成本和有限的可用性阻碍了其广泛应用。与Limflow系统相比,VAST的主要优势在于其普适性。因为在标准的膝下动脉血管腔内手术中,几乎所有必需的材料(如22 G穿刺针、0.014/0.018"导丝、4 F支撑导管和0.014"球囊导管)都已准备在手术台上。手术的额外成本主要包括抓捕器套件、远端静脉通路以及偶尔用于静脉段的球囊导管。抓捕器的成本可以通过使用由0.014"导丝制成的自制抓捕器来最小化,动脉球囊导管也可以用导丝形成的圈套环来替代。VAST技术的创新之处在于动静脉瘘建立阶段,而其他阶段则是根据经皮DVA方法进行的。进行VAST时,首先在腔内重建膝下或踝下目标血管,将0.014"的导丝放置在不会发生交叉病变的位置,并覆盖1个2.5/3×40 mm的低外径球囊导管。超声引导下进行胫静脉或踝下静脉穿刺,并从脚踝近端插入4 F鞘管。随后将1个5 mm的GooseNeck圈套器环通过鞘管推进至与动脉球囊导管平行的位置。调整获取最佳投影角度,以同时显示圈套器环和扩张的球囊。根据血管的最终位置(静脉在前或动脉在前),采用不同的穿刺技术。若静脉在前,则使用22 G微穿刺针穿过静脉和圈套器环,再刺穿动脉球囊;若动脉在前,则先刺穿动脉球囊,再穿过圈套器环进入静脉。若静脉位于动脉前方:将针头插入,使其指向圈套器环并穿过静脉的两壁和圈套器环。此时,收紧圈套器环以确认针头已穿过。一旦针头离开静脉,便进一步推进,直至到达动脉并刺穿球囊导管。将0.018"的导丝穿过针头并置入穿刺的球囊导管内。球囊导管完全抽出,同时保持导丝卡在内部,

以便静脉通路的导丝可以通过股动脉鞘向外伸出。4 F支撑导管通过导丝向前推进至静脉,引入第2根0.014"导丝至导管并推进,直至它清楚地定位于静脉腔内,以确认血管腔内的位置。若静脉位于动脉后方:将针头插入,使其指向球囊(作为动脉位置的标志),并穿过球囊的两壁。一旦针头离开动脉,便进一步向圈套器环的中心推进,直至其完全刺穿通过圈套器环的静脉。收紧圈套器环以确认针头已穿过,将0.018"的导丝推进。撤出针头,回撤圈套器环,以便抓住导丝并通过静脉通路引出体外。轻轻撤出刺穿的球囊导管,并在静脉鞘管中引入1根4 F支撑导管,然后沿静脉中的导丝将其推进至动脉。最后,将第2根0.014"导丝引入导管并推进,直至其明确位于动脉腔内。同样,通过注入造影剂来确认血管通路。然后,完全撤出第1根导丝和动脉球囊导管,并通过4 F静脉鞘管扩张动静脉吻合口。一旦动静脉瘘建立,通过造影剂确认静脉流出道。必要时,对侧支静脉进行球囊血管成形术。最后,通过手动压迫实现远端穿刺点的止血。

初步的临床经验^[46]显示,在5例截肢高风险的糖尿病患者中,通过该技术成功创建了动静脉瘘,且未发生主要并发症。尽管1例患者因无法跨越远端瓣膜和术中病情恶化而无法完成整个静脉动脉化程序,但其他4例患者均成功实现了伤口完全愈合和静息痛缓解。这证明了该技术在无治疗选择CLTI患者中的潜在应用价值。但还需要更大规模的研究和长期随访来确认该技术的安全性和有效性。此外,还需进一步探索如何最小化辐射暴露和手术时间,并优化材料选择以降低成本。

3.3 OUTBACK Re-entry导管和Viabahn支架

来自中国台湾的研究团队在未使用LimFlow装置的情况下,仅使用OUTBACK Re-entry导管和Viabahn支架,通过经皮DVA治疗成功挽救患者肢体,并取得了令人满意的长期疗效^[47]。首先将6 F鞘顺行插入左股总动脉(LCFA),使用CXI支持导管推送PT2导丝至左胫后动脉(LPTA),改用V18导丝增强支撑性。接着,在超声引导下于踝部向左胫后静脉(LPTV)置入5 F鞘管,置入5 mm×80 mm Pacific球囊。建立通路时,使用V18导丝及OUTBACK Re-entry装置,经LPTA穿刺-LPTV,导丝延伸至足底静脉弓和左胫前静脉,造影确认。以10 atm(1 atm=101.325 kPa)压力使用4 mm×80 mm

Pacific 球囊预扩张 LPTV 和左足底深静脉。随后分别于 LPTA-LPTV 动静脉分流处、LPTV 和足底深静脉置入 5 mm × 50 mm、5 mm × 150 mm、5 mm × 100 mm Viabahn 肝素涂层覆膜支架。使用 4 mm × 120 mm 和 5 mm × 80 mm Pacific 球囊在 16 atm 压力下对支架进行后扩张。术后患者伤口愈合良好,且随访 1 年超声复查显示各动脉及动脉化静脉血流良好,Viabahn 覆膜支架通畅,患者术后 3 年内未发生左下肢截肢^[47]。该病例仅使用了 Viabahn 覆膜支架,取代了瓣膜刀和静脉分支的栓塞,此举不仅简化了手术步骤,降低了潜在并发症发生风险,而且通过覆膜支架的优异性能,确保了治疗效果的稳定与持久。

3.4 血管内超声 (intravascular ultrasound, IVUS) 引导的 Pioneer Plus 导管

Pioneer Plus 导管是一种集成了 IVUS 和可控方向穿刺功能的导管,主要用于微创血管介入手术,特别是在 DVA 手术过程中创造动静脉瘘。术前通过同侧股动脉顺行穿刺建立 6 F 导管鞘 (10 cm)。使用数字减影血管造影确定最佳的胫动脉位置,以创建动静脉瘘。将导丝尽可能推进到远端胫动脉,进行经皮腔内血管成形术,使用 3 mm 球囊扩张,确保动静脉瘘可创建在最远端的胫骨动脉段。采用 IVUS 评估动静脉之间的解剖结构,选择最少钙化、静脉直径合适的部位建立吻合口。IVUS 还可测量动脉和静脉之间的距离,以确定穿刺针需要推进的毫米数。在 IVUS 指导下,使用 Pioneer Plus 导管从动脉穿刺进入相邻静脉。当导丝成功进入静脉后,置入 BeGraft Coronary 冠脉覆膜支架 (Bentley Innomed 公司,德国)。支架远端扩张进入静脉,形成稳定的动静脉瘘。在胫骨和足部静脉内进行静脉瓣膜切开,防止血流反流,确保动脉化血流顺利到达足部。采用 5 mm 球囊扩张或 4 F 导丝式静脉瓣膜切开器 (Andravalvulotome, Andamed GmbH),但需注意该瓣膜切开器不适用于顺行使用^[48]。自 2017 年 5 月以来,共有 7 例患者接受了这种治疗,手术成功率为 100%。随访期间 (207 ± 76) d,有 2 例患者完全愈合,4 例患者伤口改善,1 例患者进行了主要截肢^[49]。

上述器械分别代表了当前 DVA 技术发展的不同方向:LimFlow 体现专用系统化平台的发展趋势;VAST 强调低成本、普适化策略;OUTBACK 及 Pioneer 则充分利用现有腔内器械完成 DVA 操作,

为资源受限地区提供了更多选择。

4 并发症与术后管理

肢体肿胀和胫骨前疼痛是 DVA 手术主要的并发症,后者的临床表现类似骨膜炎,可能与骨膜血管压力增加有关。术后肿胀通常持续 3~4 周,是静脉系统适应动脉血流的正常反应。然而,24~48 h 内的无法控制的疼痛需要考虑新发缺血的可能性,需及时进行影像学评估。疼痛管理是术后管理的重点,适当的镇痛治疗不仅能提高患者舒适度,还能促进功能恢复。

如果 DVA 手术后不能提供足够的组织灌注,患者可能出现动脉盗血而导致足部缺血进一步恶化。因此,术后应立即对肢体进行双功能超声检查。该检查旨在评估进入动静脉回路的血流情况,并测定系统内血流量。理想情况下,血流量应维持在 150~600 mL/min 区间。超过此范围可能提示动脉系统存在“盗血”风险。此外,还需重点评估下肢原有动脉供血状况,确保未介入处理的动脉仍能维持向肢体远端的前向血流,且其供血量至少足以维持足部稳定性。若经足背动脉的血流过低,应密切监测,因为早期失效的可能性很高,尤其当血流量低于 100 mL/min 时。当血流量超过 600 mL/min 时,需确保血液优先输送至足远端,且足底静脉系统中不存在早期分支将血流提前送回下肢静脉系统^[50]。

在术后早期,静脉高压导致进行性浅静脉坏疽的病例也有报道^[51]。因此术后需要每天评估趾端颜色、水疱、渗出、剧痛,并在术后 48 h 内行足部超声或术中造影。若发现瓣膜闭锁、静脉扩张即可判定为静脉高压性坏疽。此时应立即抬高患肢 30°,切口放置主动引流,并行负压吸引,减少静脉血淤积和血肿。避免早期锐性清创,仅行保守敷料;若趾端出现张力性水疱,可做小切口减压,但保留痂皮。如坏疽边界仍有进展,可考虑在 2~4 周内行“挽救性”经趾或经跖截肢^[51]。

DVA 术后伤口出血并不罕见,术后至少 2 周内避免清创。在此阶段,应选择其他方式来进行伤口护理,如在手术部位进行局部压迫、在闭合的手术切口上使用负压伤口治疗,有利于控制水肿、静脉充血和血肿的形成。此外,封闭的抽吸引流也具有一定的优势,能帮助预防血肿的形成。

将手术肢体持续抬高尽管通常是PAD患者的禁忌,但其有利于防止静脉充血和早期血肿形成。此外,静脉应用抗生素对此类患者而言也是有益的,即使没有潜在的软组织感染,继发于血管内支架的感染也是不容忽视的因素^[52]。术后3~4个月时,动脉化的静脉血液流入增加,可以开始清创或截肢。如不得已进行跨跖骨截肢,应尽可能在远端进行,以避免损伤足静脉环。这些操作可以通过使用真皮替代物和较低设置的真空辅助治疗来补充。真皮替代物的使用使真皮层沿着伤口生长。一旦发现足够的肉芽组织,就可以完成皮肤移植以覆盖伤口。

综上所述,DVA为无治疗选择CLTI患者提供了重要的保肢机会,是近年来血管外科领域的重要突破。随着专用器械不断完善、围手术期管理不断规范及循证医学证据不断积累,DVA有望成为无治疗选择CLTI患者的重要标准治疗策略之一。然而,目前仍缺乏高质量随机对照研究及长期随访数据,其适应证、最佳技术路径及成本效益仍需进一步验证。未来应加强多中心临床研究及国产器械研发,推动DVA技术规范、标准化发展。

作者贡献声明:许哲锴负责论文撰写与修改;桂亮负责论文构思与修改;邹君杰负责论文构思、修改与指导。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] Fowkes FG, Aboyans V, Fowkes FJ, et al. Peripheral artery disease: epidemiology and global perspectives[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2017, 14(3):156-170. doi:10.1038/nrcardio.2016.179.
- [2] Song P, Rudan D, Wang M, et al. National and subnational estimation of the prevalence of peripheral artery disease (PAD) in China: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Glob Health*, 2019, 9(1):010601. doi:10.7189/jogh.09.010601.
- [3] Gollidge J, Drovandi A. Evidence-based recommendations for medical management of peripheral artery disease[J]. *J Atheroscler Thromb*, 2021, 28(6):573-583. doi:10.5551/jat.62778.
- [4] Lane R, Ellis B, Watson L, et al. Exercise for intermittent claudication[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2014(7):CD000990. doi:10.1002/14651858.CD000990.pub3.
- [5] 刘一博, 慈红波. 动脉钙化与下肢动脉硬化闭塞症的关联及临床研究进展[J]. *中国普通外科杂志*, 2025, 34(6):1275-1281. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.240656.
- [6] Liu YB, Ci HB. Association between arterial calcification and lower extremity atherosclerotic occlusive disease and its clinical research progress[J]. *China Journal of General Surgery*, 2025, 34(6):1275-1281. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.240656.
- [7] Conte SM, Vale PR. Peripheral arterial disease[J]. *Heart Lung Circ*, 2018, 27(4):427-432. doi:10.1016/j.hlc.2017.10.014.
- [8] Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, et al. Inter-society consensus for the management of peripheral arterial disease (TASC II)[J]. *J Vasc Surg*, 2007, 45(Suppl S): S5-S67. doi: 10.1016/j.jvs.2006.12.037.
- [9] Duff S, Mafilios MS, Bhounsule P, et al. The burden of critical limb ischemia: a review of recent literature[J]. *Vasc Health Risk Manag*, 2019, 15:187-208. doi:10.2147/VHRM.S209241.
- [10] Ferraresi R, Casini A, Losurdo F, et al. Hybrid foot vein arterialization in no-option patients with critical limb ischemia: a preliminary report[J]. *J Endovasc Ther*, 2019, 26(1): 7-17. doi: 10.1177/1526602818820792.
- [11] Kristensen MT, Holm G, Kirketerp-Møller K, et al. Very low survival rates after non-traumatic lower limb amputation in a consecutive series: what to do? [J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2012, 14(5):543-547. doi:10.1093/icvts/ivr075.
- [12] Kum S, Huizing E, Schreve MA, et al. Percutaneous deep venous arterialization in patients with critical limb ischemia[J]. *J Cardiovasc Surg*, 2018, 59(5): 665-669. doi: 10.23736/S0021-9509.18.10569-6.
- [13] Yan Q, Prasla S, Carlisle DC, et al. Deep venous arterialization for chronic limb threatening ischemia in atherosclerosis patients-a meta-analysis[J]. *Ann Vasc Surg*, 2022, 81: 1-21. doi: 10.1016/j.avsg.2021.10.059.
- [14] Houliand K, Christensen JK, Jepsen JM. Vein arterialization for lower limb revascularization[J]. *J Cardiovasc Surg*, 2016, 57(2): 266-272.
- [15] Sasajima T, Azuma N, Uchida H, et al. Combined distal venous arterialization and free flap for patients with extensive tissue loss[J]. *Ann Vasc Surg*, 2010, 24(3): 373-381. doi: 10.1016/j.avsg.2009.07.001.
- [16] Alexandrescu V, Ngongang C, Vincent G, et al. Deep calf veins arterialization for inferior limb preservation in diabetic patients with extended ischaemic wounds, unfit for direct arterial reconstruction: preliminary results according to an angiosome model of perfusion[J]. *Cardiovasc Revasc Med*, 2011, 12(1):10-19. doi:10.1016/j.carrev.2009.12.002.
- [17] Djoric P, Zeleskov-Djoric J, Stanisavljevic DM, et al. Distal venous arterialization and reperfusion injury: focus on oxidative status[J].

- Eur Surg Res, 2012, 48(4):200–207. doi:10.1159/000338619.
- [17] Houliand K, Christensen J, Hallenberg C, et al. Early results from an angiosome-directed open surgical technique for venous arterialization in patients with critical lower limb ischemia[J]. Diabet Foot Ankle, 2013, 4:22713. doi:10.3402/dfa.v4i0.22713.
- [18] Del Giudice C, Van Den Heuvel D, Wille J, et al. Percutaneous deep venous arterialization for severe critical limb ischemia in patients with no option of revascularization: early experience from two European centers[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2018, 41(10):1474–1480. doi:10.1007/s00270-018-2020-2.
- [19] Mustapha JA, Saab FA, Clair D, et al. Interim results of the PROMISE I trial to investigate the LimFlow system of percutaneous deep vein arterialization for the treatment of critical limb ischemia[J]. J Invasive Cardiol, 2019, 31(3): 57–63. doi: 10.25270/jic/18.00340.
- [20] Lu XW, Idu MM, Ubbink DT, et al. Meta-analysis of the clinical effectiveness of venous arterialization for salvage of critically ischaemic limbs[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2006, 31(5): 493–499. doi:10.1016/j.ejvs.2005.12.017.
- [21] Schreve MA, Vos CG, Vahl AC, et al. Venous arterialisation for salvage of critically ischaemic limbs: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2017, 53(3):387–402. doi: 10.1016/j.ejvs.2016.11.007.
- [22] Wang K, Wang Y, Shi W, et al. Diagnosis and treatment of diabetic foot ulcer complicated with lower extremity vasculopathy: Consensus recommendation from the Chinese Medical Association (CMA), Chinese Medical Doctor Association (CMDA)[J]. Diabetes Metab Res Rev, 2024, 40(3):e3776. doi:10.1002/dmrr.3776.
- [23] Uccioli L, Meloni M, Izzo V, et al. Critical limb ischemia: current challenges and future prospects[J]. Vasc Health Risk Manag, 2018, 14:63–74. doi:10.2147/VHRM.S125065.
- [24] Schreve MA, Minnee RC, Bosma J, et al. Comparative study of venous arterialization and pedal bypass in a patient cohort with critical limb ischemia[J]. Ann Vasc Surg, 2014, 28(5): 1123–1127. doi:10.1016/j.avsg.2013.08.010.
- [25] Ozek C, Zhang F, Lineaweaver WC, et al. Arterialization of the venous system in a rat lower limb model[J]. Br J Plast Surg, 1997, 50(6):402–407. doi:10.1016/S0007-1226(97)90326-X.
- [26] Sasajima T, Kikuchi S, Ishikawa N, et al. Skin temperature in lower hind limb subjected to distal vein arterialization in rats[J]. Adv Exp Med Biol, 2014, 812: 361–368. doi: 10.1007/978-1-4939-0620-8_48.
- [27] Kopelman D, Hirshhorn G, Hashmonai M. Prevention of limb loss in critical ischaemia by arterialization of the superficial venous system: an experimental study in dogs[J]. Cardiovasc Surg, 1998, 6(4):384–388. doi:10.1016/s0967-2109(98)00013-1.
- [28] Szilagyi DE, Jay GD 3rd, Munnell ER. Femoral arteriovenous anastomosis in the treatment of occlusive arterial disease[J]. AMA Arch Surg, 1951, 63(4): 435–451. doi: 10.1001/archsurg.1951.01250040445003.
- [29] Sheil GR. Treatment of critical ischaemia of the lower limb by venous arterialization: an interim report[J]. Br J Surg, 1977, 64(3): 197–199. doi:10.1002/bjs.1800640314.
- [30] Spiliopoulos S, Davoutis E, Arkoudis NA, et al. Percutaneous deep venous arterialization for limb salvage in no option patients with chronic limb-threatening ischemia[J]. J Clin Med, 2023, 12(23): 7324. doi:10.3390/jcm12237324.
- [31] Darling JD, Li SL, Lee A, et al. Outcomes following deep venous arterialization in Medicare patients with chronic limb-threatening ischemia[J]. J Vasc Surg, 2025, 82(3): 1007–1013. doi: 10.1016/j.jvs.2025.04.003.
- [32] Ho VT, Gologorsky R, Kibrik P, et al. Open, percutaneous, and hybrid deep venous arterialization technique for no-option foot salvage[J]. J Vasc Surg, 2020, 71(6): 2152–2160. doi: 10.1016/j.jvs.2019.10.085.
- [33] Engelke C, Morgan RA, Quarmby JW, et al. Distal venous arterialization for lower limb salvage: angiographic appearances and interventional procedures[J]. RadioGraphics, 2001, 21(5): 1239–1248. doi:10.1148/radiographics.21.5.g01se281239.
- [34] Lengua F, Nuss JM, Lechner R, et al. Arterialization of the venous network of the foot through a bypass in severe arteriopathic ischemia[J]. J Cardiovasc Surg, 1984, 25(4):357–360.
- [35] Satam K, Aboian E, Huttler J, et al. Eligibility of patients with chronic limb threatening ischemia for deep venous arterialization[J]. Ann Vasc Surg, 2022, 86:260–267. doi:10.1016/j.avsg.2022.04.051.
- [36] Clair DG, Mustapha JA, Shishehbor MH, et al. PROMISE I: Early feasibility study of the LimFlow System for percutaneous deep vein arterialization in no-option chronic limb-threatening ischemia: 12-month results[J]. J Vasc Surg, 2021, 74(5):1626–1635. doi:10.1016/j.jvs.2021.04.057.
- [37] Boya MN, Cieri IF, Rodriguez Alvarez AA, et al. Evidence for transcatheter arterialization of deep veins in poor-option chronic limb-threatening ischemia: a systematic review and meta-analysis[J]. J Vasc Surg, 2026, 83(2): 482–492. doi: 10.1016/j.jvs.2025.08.055.
- [38] Ozbek C, Kestelli M, Emrehan B, et al. A novel approach: ascending venous arterialization for atherosclerosis obliterans[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2005, 29(1): 47–51. doi: 10.1016/j.ejvs.2004.09.027.
- [39] Cormican DS, Healy DA, Chess BA. Too early to PROMISE: a comment on transcatheter arterialization of deep veins in chronic

- limb-threatening ischemia[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2023, 37(11):2188–2190. doi:10.1053/j.jvca.2023.07.021.
- [40] Migliara B, Cappellari TF, Mirandola M, et al. Percutaneous saphenous vein arterialization[J]. J Endovasc Ther, 2021, 28(6): 823–827. doi:10.1177/15266028211030530.
- [41] Shishchikhov MH, Powell RJ, Montero-Baker MF, et al. Transcatheter arterialization of deep veins in chronic limb-threatening ischemia[J]. N Engl J Med, 2023, 388(13): 1171–1180. doi:10.1056/NEJMoa2212754.
- [42] Kum S, Tan YK, Schreve MA, et al. Midterm outcomes from a pilot study of percutaneous deep vein arterialization for the treatment of no-option critical limb ischemia[J]. J Endovasc Ther, 2017, 24(5):619–626. doi:10.1177/1526602817719283.
- [43] Karimi A, Lauria AL, Aryavand B, et al. Novel therapies for critical limb-threatening ischemia[J]. Curr Cardiol Rep, 2022, 24(5):513–517. doi:10.1007/s11886-022-01669-6.
- [44] Schmidt A, Schreve MA, Huizing E, et al. Midterm outcomes of percutaneous deep venous arterialization with a dedicated system for patients with no-option chronic limb-threatening ischemia: the ALPS multicenter study[J]. J Endovasc Ther, 2020, 27(4):658–665. doi:10.1177/1526602820922179.
- [45] Zayed H, Saratzis A, Moxey P, et al. Transcatheter arterialization of the deep veins: 1-year outcomes of PROMISE-UK study[J]. Br J Surg, 2024, 111(7):znae188. doi:10.1093/bjs/znae188.
- [46] Ysa A, Lobato M, Mikellarena E, et al. Homemade device to facilitate percutaneous venous arterialization in patients with no-option critical limb ischemia[J]. J Endovasc Ther, 2019, 26(2):213–218. doi:10.1177/1526602819830983.
- [47] Chang HW, Hsu CH, Jhang YC, et al. Percutaneous deep vein arterialization for a chronic limb-threatening ischemia patient in Taiwan[J]. Acta Cardiol Sin, 2021, 37(4): 434–437. doi:10.6515/ACS.202107_37(4).20210310A.
- [48] Migliara B, Cappellari TF. A novel technique to create an arteriovenous fistula during total percutaneous deep foot venous arterialisation using an IVUS guided catheter[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2018, 55(5):735. doi:10.1016/j.ejvs.2018.02.031.
- [49] Migliara B, Feriani G, Mirandola M, et al. Percutaneous deep venous arterialization using an IVUS-guided technique in no-option patients with chronic limb-threatening ischemia: 24-month results[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2024, 47(12): 1727–1736. doi:10.1007/s00270-024-03828-4.
- [50] Janda L, Clair D. Transcatheter arterialization of the deep veins for limb salvage[J]. Ann Vasc Surg, 2024, 107:154–161. doi:10.1016/j.avsg.2024.01.025.
- [51] Zaman N, Rundback J. Deep venous arterialization: background, patient selection, technique, outcomes and follow-up, and future implementation[J]. Semin Intervent Radiol, 2023, 40(2): 183–192. doi:10.1055/s-0043-57264.
- [52] So SE, Chan YC, Cheng SW. Efficacy and durability of percutaneous deep vein arterialization: a systematic review[J]. Ann Vasc Surg, 2024, 105:89–98. doi:10.1016/j.avsg.2024.01.008.

(本文编辑 宋涛)

本文引用格式: 许哲锴, 桂亮, 邹君杰. 深静脉动脉化治疗慢性肢体威胁性缺血的研究进展[J]. 中国普通外科杂志, 2026, 35(6):1229–1238. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250615

Cite this article as: Xu ZK, Gui L, Zou JJ. Advances in deep vein arterialization for the treatment of chronic limb-threatening ischemia[J]. Chin J Gen Surg, 2026, 35(6):1229–1238. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250615



微信扫一扫
关注该公众号

敬请关注《中国普通外科杂志》官方微信平台

《中国普通外科杂志》官方公众微信正式上线启动(订阅号: ZGPTWKZZ), 我们将通过微信平台定期或不定期推送本刊的优秀文章、工作信息、活动通知以及国内外最新研究成果与进展等。同时, 您也可在微信上留言, 向我们咨询相关问题, 并对我们的工作提出意见和建议。《中国普通外科杂志》公众微信号的开通是我们移动互联网时代背景下的创新求变之举, 希望能为广大读者与作者带来更多的温馨和便利。

欢迎扫描二维码, 关注《中国普通外科杂志》杂志社官方微信服务平台。

中国普通外科杂志编辑部