

多普勒超声造影在下肢淋巴管 - 静脉吻合术中 选择最优功能淋巴管截断尺寸的应用

高冬阳^{1,2}

¹延安大学医学院研究生院, 陕西 延安

²延安大学附属医院整形外科, 陕西 延安

收稿日期: 2026年8月17日; 录用日期: 2026年9月11日; 发布日期: 2026年9月20日

摘要

背景: 淋巴水肿是由淋巴系统先天发育异常, 或继发于肿瘤切除、淋巴结清扫、放疗、感染及外伤等导致的淋巴回流障碍, 使富含蛋白的淋巴液在间质异常蓄积, 引起慢性、进行性组织肿胀。该病好发于四肢, 也可累及乳房、外阴、躯干及头颈部。病情进展后可出现皮下纤维化、脂肪沉积、皮肤增厚、反复蜂窝织炎及肢体功能受限, 严重影响患者生活质量与预后。淋巴管 - 静脉吻合术(LVA)是外科治疗淋巴水肿的主要方法之一, 通过在患肢将皮下浅淋巴管与小静脉多次吻合, 绕过淋巴阻塞, 使淋巴液转入静脉循环, 具有微创、安全性高的优势。超声造影(CEUS)可实时动态显示淋巴管内造影剂流动, 清晰显示淋巴管边界与管径。CEUS定位技术的应用, 旨在满足淋巴水肿显微外科治疗向精准化、功能化发展的临床需求。目的: CEUS定位技术在LVA中的应用价值, 评估其对最优淋巴管截断尺寸、手术效率及术后疗效的影响。方法: 本研究为回顾性队列研究, 纳入2024年9月至2026年9月在延安大学附属医院烧伤整形外科接受下肢LVA手术的患者共58例。其中研究组27例(2025年9月至2026年9月), 术前采用CEUS定位最优功能淋巴管; 对照组31例(2024年9月至2025年8月), 术前使用吲哚菁绿红外显影(Indocyanine Green Lymphography, ICG-L)方式定位目标淋巴管。比较两组患者的单根淋巴管吻合时间、手术总时间、截断尺寸, 以及术前、术后3个月、术后6个月的(Lower Extremity Lymphedema Index, LELI)。结果: 两组总手术时间有统计学差异(研究组: 214.23 ± 13.54 min, 对照组: 223.34 ± 23.64 , $t = 5.347$, $P = 0.002$), 且研究组单根淋巴管吻合时间(29.89 ± 3.24 min)显著短于对照组(35.48 ± 9.66 min), $t = 3.873$, $P = 0.003$, 研究组术中吻合淋巴管的平均截断尺寸为(0.67 ± 0.06) mm, 显著大于对照组的(0.39 ± 0.13) mm, 差异具有统计学意义($P < 0.001$)。通过治疗前、术后3个月、术后6个月LELI的随访观察, 两组患者治疗前LELI无统计学差异具有可比性。术后3个月及术后6个月, 研究组LELI均显著低于对照组。重复测量方差分析显示, 对照组 $F_{\text{时间效应}} = 85.334$, $P < 0.001$; 研究组 $F_{\text{时间效应}} = 41.23$, $P < 0.001$ 。 $F_{\text{组间效应}} = 3.78$, $P = 0.001$; $F_{\text{交互}} = 5.446$, $P = 0.004$ 。结果表明, 两组患者的LELI均随时间显著下降, 但研究组下降幅度大于对照组, CEUS定位技术能够显著增强LVA手术的水肿改善效果。结论: CEUS定位技术可显著提高LVA术中最优淋巴管截断尺寸, 缩短单根淋巴管吻合时间, 提高手术效率, 改善患者术后下肢淋巴水肿程度及生活质量, 具有重要的临床应用价值。

关键词

多普勒超声造影, 淋巴水肿, 淋巴管 - 静脉吻合术

Application of Doppler Contrast-Enhanced Ultrasound in Selecting the Optimal Functional Lymphatic Vessel Ligation Size during Lower Limb Lymphaticovenular Anastomosis

Dongyang Gao^{1,2}

¹Graduate School of Medical College of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

²Department of Plastic Surgery, Yan'an University Affiliated Hospital, Yan'an Shaanxi

Received: August 17, 2026; accepted: September 11, 2026; published: September 20, 2026

Abstract

Background: Lymphedema is a condition caused by impaired lymphatic drainage resulting from congenital malformations of the lymphatic system, or secondary to tumor resection, lymph node dissection, radiotherapy, infection, and trauma. This impairment leads to abnormal interstitial accumulation of protein-rich lymphatic fluid, causing chronic, progressive tissue swelling. The disease predominantly affects the extremities but may also involve the breast, vulva, trunk, and head and neck regions. As the disease progresses, patients may develop subcutaneous fibrosis, adipose deposition, skin thickening, recurrent cellulitis, and functional impairment of the affected limb, significantly compromising quality of life and long-term prognosis. Lymphaticovenular anastomosis (LVA) is one of the primary surgical treatments for lymphedema. By performing multiple anastomoses between subcutaneous superficial lymphatic vessels and small veins in the affected limb, LVA bypasses the lymphatic obstruction and diverts lymphatic fluid into the venous circulation. It offers the advantages of being minimally invasive and having a favorable safety profile. Contrast-enhanced ultrasound (CEUS) enables real-time, dynamic visualization of contrast agent flow within lymphatic vessels, clearly delineating the boundaries and diameters of lymphatic vessels. The application of CEUS-based localization techniques aims to meet the clinical demand for precision and functional advancement in microsurgical treatment of lymphedema. **Objective:** To evaluate the value of CEUS localization in LVA, specifically its impact on optimal lymphatic vessel transection diameter, surgical efficiency, and postoperative outcomes. **Methods:** This retrospective cohort study included 58 patients who underwent lower extremity LVA at the Department of Burn and Plastic Surgery, Yan'an University Affiliated Hospital, between September 2024 and September 2026. The study group comprised 27 patients (September 2025~September 2026) who received preoperative CEUS to identify optimal functional lymphatic vessels; the control group comprised 31 patients (September 2024~August 2025) who received preoperative indocyanine green lymphography (ICG-L) for target vessel localization. The two groups were compared regarding time for anastomosing a single lymphatic vessel, total operative time, transection diameter, and the Lower Extremity Lymphedema Index (LELI) measured preoperatively and at 3 and 6 months postoperatively. **Results:** The total operative time was significantly shorter in the study group (214.23 ± 13.54 min) than in the control group (223.34 ± 23.64 , $t = 5.347$, $P = 0.002$). The time for anastomosing a single lymphatic vessel was also significantly reduced in the study group (29.89 ± 3.24 min vs. 35.48 ± 9.66 min, $t = 3.873$, $P = 0.003$). The mean transection diameter of anastomosed lymphatic vessels was significantly larger in the study group (0.67 ± 0.06 mm) compared to the control group (0.39 ± 0.13 mm, $P < 0.001$).

Preoperative LELI values were comparable between groups. At 3 and 6 months postoperatively, LELI was significantly lower in the study group than in the control group. Repeated-measures ANOVA revealed significant time effects (control group: $F = 85.334$, $P < 0.001$; study group: $F = 41.23$, $P < 0.001$), between-group effect ($F = 3.78$, $P = 0.001$), and interaction effect ($F = 5.446$, $P = 0.004$), indicating a greater reduction in LELI in the study group over time. CEUS localization technique may significantly enhance the edema improvement effect of LVA surgery. Conclusion: Preoperative CEUS localization significantly increases the optimal transection diameter of lymphatic vessels in LVA, shortens the time for single-vessel anastomosis, improves surgical efficiency, and enhances postoperative reduction of lower extremity lymphedema and patients' quality of life, demonstrating substantial clinical application value.

Keywords

Doppler Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS), Lymphedema, Lymphaticovenular Anastomosis (LVA)

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 背景

1.1. 淋巴系统的生理功能与病理意义

淋巴系统是循环系统的重要辅助构成,其核心生理功能包括组织液稳态维持、大分子转运及免疫防御介导。生理状态下,毛细血管动脉端滤出的组织液约有 90%经静脉端重吸收,其余约 10%及无法直接回流入血的大分子蛋白、脂质等成分,需由淋巴管网收集,最终经胸导管与右淋巴导管回输至体循环静脉系统[1][2]。该机制对维系组织间隙压力平衡至关重要。同时,淋巴管是免疫细胞迁移的关键途径,在抗原呈递与免疫监视中具有不可替代的作用[3]。当淋巴系统因发育缺陷或继发于外科手术、放射治疗、感染等因素而受损时,淋巴回流障碍导致富含蛋白质的液体在组织间隙异常蓄积,从而形成淋巴水肿[4][5]。这一持续存在的高蛋白性水肿微环境可触发慢性炎症应答,进而刺激成纤维细胞活化增殖,加速胶原沉积,最终引发组织纤维化、脂肪沉积及皮肤增厚等不可逆性病理变化。病程晚期,患肢可呈典型的“象皮肿”外观,且常反复并发蜂窝织炎,严重损害肢体运动功能及患者整体生存质量[6][7]。

1.2. 淋巴水肿的流行病学

从流行病学角度审视,全球淋巴水肿患者约达 2.5 亿,即每 30 人中即有 1 人罹患此病,全球患病率约为 3.33%。该病早期以水肿为主要表现,通过非手术干预可有效消退水肿;而晚期则以组织纤维化、脂肪沉积及慢性炎症等增殖性病变为特征[8][9]。

1.3. 扩张型淋巴管的作用

在淋巴水肿的外科治疗中,扩张型淋巴管被公认为 LVA 中最具功能优势的淋巴管类型之一[10]。国内外研究证实,在淋巴回流障碍状态下,部分淋巴管因淋巴液持续滞留及管腔内压升高而发生代偿性扩张,管腔直径显著增粗,多数可达 0.3~0.8 mm 甚至更宽,明显大于正常或收缩型淋巴管[11][12]。较大的管径不仅便于术中显微吻合操作,更有助于提升吻合成功率和远期通畅性。同时,此类淋巴管管壁结构相对完好,纤维化程度轻微,仍保留一定程度的平滑肌收缩活性和淋巴转运功能,有利于术后维持稳

定的淋巴液向静脉系统的分流。与此形成对比的是，硬化型及缩窄型淋巴管因管壁纤维化显著、管腔狭小，通常不利于吻合实施及长期通畅维持[13]。

1.4. CEUS 技术的研究进展

CEUS 可从另一维度提供互补性信息。经皮下注入微泡超声造影剂后，该技术可实时动态观测淋巴管腔内造影剂的充盈与流动过程，清晰描绘淋巴管壁边界、管腔内径及蠕动频率，并能精确测量靶淋巴管与相邻小静脉的间距及空间毗邻关系[14]。尤其对于位置深在的淋巴管，CEUS 凭借其优异的组织穿透力与较高的空间分辨率，展现出独特的成像优势[15]-[18]。

1.5. 研究目的及意义

本研究术前使用 CEUS 实现最优功能淋巴管精准定位，指导术中筛选高活性功能性淋巴管，缩短术中探查耗时、改良显微手术策略，进而优化手术疗效、改善肢体淋巴水肿远期预后。

2. 研究方法

2.1. 研究对象

研究组：包括在 2024 年 9 月至 2025 年 8 月在延安大学附属医院烧伤整形外科接受单侧淋巴小体下四切口入路下肢 LVA 手术的患者。所有患者在手术前接受 CEUS 检查，以准确定位适合的淋巴管进行 LVA。

对照组：包括在 2025 年 9 月至 2026 年 9 月在延安大学附属医院烧伤整形外科接受单侧淋巴小体下四切口入路下肢 LVA 手术的患者。对照组患者术前接受 ICG-L 检查，以准确定位适合的淋巴管进行 LVA。

本研究共收集 58 例患者，其中对照组 31 人，研究组 27 人，一般资料收集：根据纳入及排除标准于我院淋巴水肿病例库中选取患者的临床资料包括：年龄、性别、体重指数(Body Mass Index, BMI)、淋巴水肿病因、患病时间、受累患肢、有无基础疾病(高血压、糖尿病及其他慢性疾病)、是否进行放化疗、ISL 分期等。所有患者都能坚持至少 6 个月的随访。

2.2. 纳入标准

为确保研究结果的代表性与科学性，所有参与者必须符合以下纳入标准：

- 1) 淋巴水肿的类型：患者必须为下肢淋巴水肿，且符合原发性或继发性淋巴水肿的诊断标准。淋巴水肿的诊断将依据国际淋巴水肿学会(ISL)分期标准为II期患者进行。
- 2) 手术适应症：所有患者必须符合 LVA 手术的适应症，且能够耐受该手术的麻醉和体力要求。
- 3) 患者同意：患者及其家属必须书面同意参与本研究，并且愿意接受术前的 ICG 和超声造影检查。
- 4) 术者要求：所有纳入病例的外科手术操作均由同一术者独立完成，联合术者参与手术的病例予以剔除。

2.3. 排除标准

为了避免可能的混杂因素和不必要的风险，本研究将排除以下情况的患者：

- 1) 临床数据不全：无法提供完整临床病史或影像学检查结果的患者。
- 2) 急慢性并发症：存在严重急性或慢性并发症(如急性感染、心衰、肾衰竭等)患者。
- 3) 妊娠或哺乳期女性：此类患者由于药物使用和麻醉的特殊性，可能影响手术安全，因此排除。
- 4) 无法耐受手术的患者：如存在严重的手术禁忌症(如重度感染、恶性肿瘤远处转移等)，不能耐受手术者。

5) 深静脉疾病：如存在深静脉疾病的患者，可能影响淋巴回流和手术效果，因此排除。

2.4. 手术方法

2.4.1. 术前定位

对照组：通过 ICG 注射后进行近红外荧光成像，具体方法：将 25 mg 吲哚菁绿冻干粉溶于 5 mL 无菌注射用水中，充分振荡至完全溶解，配制成浓度为 2.5 mg/mL 的吲哚菁绿溶液。抽取 0.5 mL 该溶液，于患肢第一趾蹼处行皮内注射，注射深度为 0.2~0.3 mm。荧光成像时，将红外摄像头垂直于肢体表面，保持 25~30 cm 的成像距离，借助动态近红外成像技术实时捕捉淋巴管的线性显影，共标记线性长度超过 5 cm 的淋巴管 8 根。

研究组：采用六氟化硫微泡(声诺维, Sulphur Hexafluoride Microbubbles, SHM)作为超声造影剂，按说明书向冻干粉瓶内注入 5 mL 生理盐水，充分振摇至形成均质乳白色悬浊液。将该溶液分别注射于第一趾蹼、足背中外侧及膝关节上外侧，每处注射 0.5 mL。使用西门子 Sequoia 超高端彩超全身机(线阵探头 18L6, 频率 18 MHz, 机械指数 0.06~0.08, 深度设置为 2.2 cm)，于注射后 5 分钟沿肢体长轴分别在下肢三组淋巴小体区域内扫查，筛选走行正常、管腔内淋巴液流速较快(1 分钟内呈线性显影于可视区域，长度 > 5 cm)且存在收缩蠕动现象的显影淋巴管，共计 8 根。测量并记录目标淋巴管的管径、距皮肤深度，同时在体表进行定位标记，并记录其邻近小静脉的走行方向。

2.4.2. 手术步骤

在本研究中的手术操作采用超显微外科技术，在 20~40 倍显微放大系统辅助下实施精准的淋巴管-静脉吻合，具体的手术步骤如下：1) 切口的设计与暴露：沿术前标记区域切开皮肤，切口长度为 2~3 厘米，切口深度浅于术前探查到的目标淋巴管约 3~4 mm，且要足以暴露浅表的淋巴管和小静脉。在切开皮肤时需谨慎，避免损伤周围皮下组织。采用分层钝性分离技术，逐层分离浅筋膜。在此过程中，要注意保留患者筋膜内的穿支血管网，并且最大程度地保证淋巴管和静脉的功能完整；2) 显微镜下淋巴管与静脉的定位：切口暴露后，在显微视野下，寻找目标的淋巴管和静脉；3) 淋巴管与静脉的吻合：在目标的淋巴管与静脉被定位后，采用 11-0/12-0 单丝尼龙线对淋巴管和静脉进行吻合，主要的吻合方式有“端-端”“端-侧”“套索”式。同时在手术中保证对吻合部位的精细处理，使得血管和淋巴管的对接更加精准；4) 吻合口通畅性检查与功能性验证：通过显微镜观察吻合口是否通畅，如果发现吻合口闭塞或血管回流不畅，需立即重新调整吻合；5) 术后缝合与包扎：术后常规吻合伤口，并应用高弹绷带加压包扎。加压包扎有助于减少术后肿胀和淋巴液积聚，促进淋巴液的回流。此外，弹力绷带的应用有助于稳定伤口，防止术后出现感染或其他并发症，术后护理的质量也将直接影响患者的恢复速度和治疗效果。

2.5. 观察指标

单根淋巴管吻合时间、手术总时间、截断尺寸，以及术前、术后 3 个月、术后 6 个月的 LELI (Lower Extremity Lymphedema Index, 下肢淋巴水肿指数)。

LELI：是一种用于评估下肢淋巴水肿严重程度的客观量化指标，计算公式为 $LEL\ index = (C_1^2 + C_2^2 + C_3^2 + C_4^2 + C_5^2)/BMI$ ，五个测量点包括：髌骨上缘、髌骨上 10 cm、髌骨下 10 cm、外踝、足背，其中 $C_1 \sim C_5$ 为各测量点周径(cm)见图 1。通过收集两组患者治疗前、术后 3 个月和术后 6 个月的 LELI 值，对比 LELI 值在不同时间点的变化趋势能够量化 LVA 手术的治疗效果，该指数的核心优势在于通过 BMI 校正消除了个体体型差异对周径测量的影响，使不同患者间的水肿程度具有可比性进而客观地评估手术对患者肢体体积的改善作用。

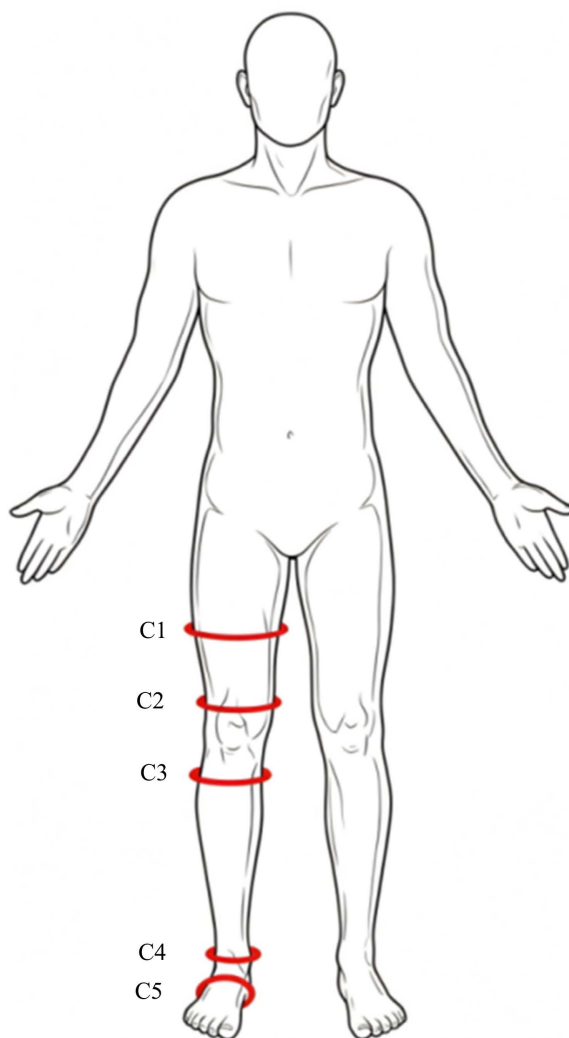


Figure 1. Schematic diagram of limb circumference at measurement points C1~C5
图 1. C1~C5 为各测量点周径示意图

3. 研究结果

3.1. 一般资料

本研究共纳入 58 例下肢淋巴水肿的患者，其中对照组 31 例，研究组 27 例，其中 3 人失访，研究组最终纳入 27 人，对照组最终纳入 28 人，两组最终纳入 55 人(见图 2)。研究组患者和对照组患者的平均年龄分别为 54.32 ± 11.23 岁和 53.58 ± 12.38 岁；研究组的男性患者和女性患者分别为 8 例和 19 例，对照组的男性患者和女性患者分别为 7 例和 21 例；研究组患者和对照组患者的平均 BMI 分别为 24.34 ± 3.21 kg/m^2 和 25.65 ± 3.02 kg/m^2 ；研究组患者和对照组患者的水肿时长分别为 61 (6, 77) 月和 58 (12, 87) 月；研究组患者 ISL 分期为 II 期有 27 人，对照组患者 ISL 分期 II 期有 28 人。研究组患者患肢受累：左侧 15 (55.56%)、右侧 12 (44.44%)。对照组患者患肢受累：左侧 15 (53.57%)、右侧 13 (46.43%)。研究组患者放、化疗史：有 20 (74.07%)、无 7 (25.93%)。对照组患者放、化疗史：有 21 (75.00%)、无 7 (25.00%)。两组患者一般资料(年龄、BMI、水肿时长、ISL 分期、受累患肢、放、化疗史)对比均未见明显统计学差异($P > 0.05$ ，见表 1)，具有可比性。

患者纳入、排除、失访及分析流程图

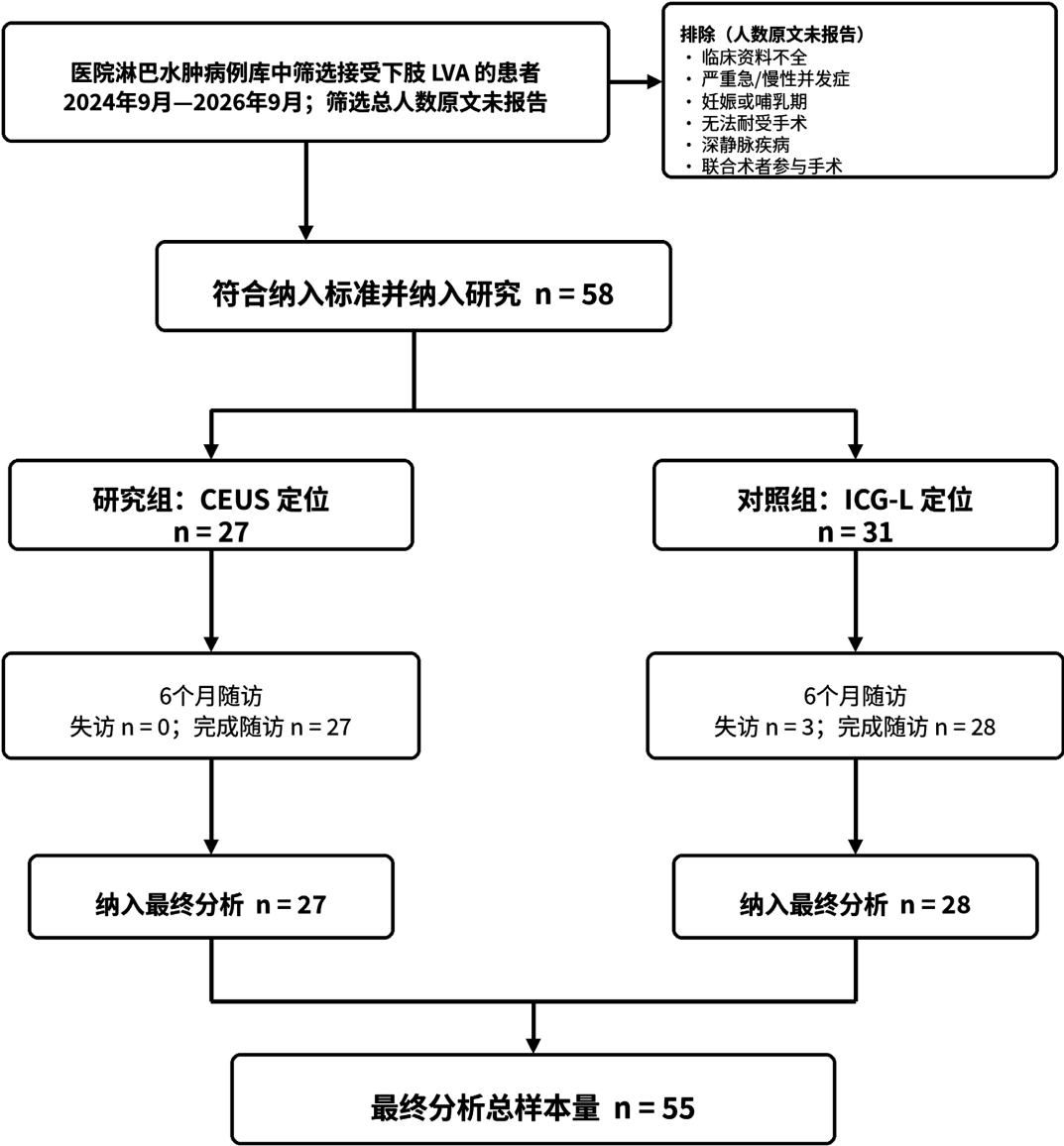


Figure 2. Flowchart of patient inclusion, exclusion, loss to follow-up, and analysis
图 2. 患者纳入、排除、失访及分析流程图

Table 1. Comparison of general baseline data between the two groups (n = 55)
表 1. 两组患者一般资料的对比(n = 55)

一般资料	研究组(n = 27)	对照组(n = 28)	t/z	P
年龄(岁)	54.32 ± 11.23	53.58 ± 12.38	t = 0.453	0.594
BMI (kg/m ²)	24.34 ± 3.21	25.65 ± 3.02	t = 0.577	0.467
水肿时长(月)	57 (6, 65)	58 (10, 85)	z = 1.397	0.128
ISL 分期				
II 期	27	28	z = 0.722	0.734

续表

受累患肢				
左	15 (55.56%)	15 (53.57%)	z = 0.185	0.458
右	12 (44.44%)	13 (46.43%)		
放、化疗史				
有	20 (74.07%)	21 (75.00%)	z = 0.224	0.537
无	7 (25.93%)	7 (25.00%)		

注：数据以(M ± SD)或 M (P25, P75)或[例(%)]表示；定量资料采用 t 检验或 Mann-Whitney 检验；定性资料采用 χ^2 检验。

3.2. 分析数据

3.2.1. 术中找到单根淋巴管的平均时间和总手术时间的对比

在对两组患者总手术时间及术中找到单根淋巴管的平均时间进行统计分析时，首先验证了数据的分布特性符合正态分布，采用独立样本 t 检验，结果显示两组患者的总手术时间有统计学差异($t = 5.347$, $P = 0.002$, 表 2)，单根淋巴管的平均时间有统计学差异($t = 3.873$, $P = 0.003$, 表 2)。

Table 2. Comparison between the mean time required for intraoperative localization of a single lymphatic vessel and the overall operative duration

表 2. 术中找到单根淋巴管的平均时间和总手术时间的对比

疗效指标	研究组(n = 27)	对照组(n = 28)	t	P
总手术时间	214.23 ± 13.54	223.34 ± 23.64	t = 5.347	0.002
单根淋巴管的平均时间	223.34 ± 23.64	35.48 ± 9.66	t = 3.873	0.003

3.2.2. 术中吻合淋巴管级平均截断尺寸的对比

在对两组患者术中吻合淋巴管级平均截断尺寸进行统计分析时，首先验证了数据的分布特性符合正态分布，采用独立样本 t 检验，结果显示两组患者的平均截断尺寸有统计学差异($t = 10.347$, $P < 0.001$, 表 3)。

Table 3. Comparison of the mean transection diameter of intraoperatively anastomosed lymphatic vessels by grade

表 3. 术中吻合淋巴管级平均截断尺寸的对比

疗效指标	研究组(n = 37)	对照组(n = 35)	t	P
平均截断尺寸	0.67 ± 0.06	0.39 ± 0.13	t = 10.347	<0.001

3.2.3. 不同时间点术后分析数据情况比较

两组患者治疗前、术后 3 个月及术后 6 个月 LELI 的比较见(表 4)。术前两组 LELI 差异无统计学意义(研究组 243.33 ± 28.47 , 对照组 276.55 ± 29.32 , $t = 0.423$, $P = 0.612$)。术后 3 个月，研究组 LELI (241.55 ± 26.45)显著低于对照组(257.13 ± 28.73) ($t = 2.004$, $P = 0.025$)；术后 6 个月，研究组 LELI (234.54 ± 22.57)仍显著低于对照组(247.43 ± 30.22) ($t = 3.378$, $P < 0.001$)。重复测量方差分析显示，时间效应显著(对照组 $F = 85.334$, $P < 0.001$ ；研究组 $F = 41.23$, $P < 0.001$)，组间效应($F = 3.78$, $P = 0.001$)及交互效应($F = 5.446$, $P = 0.004$)均有统计学意义，提示研究组 LELI 下降幅度大于对照组。

Table 4. Comparison of LELI index at different time points between two groups of patients
表 4. 两组患者不同时间点 LELI 指数情况比较

	对照组(n = 35)	研究组(n = 37)	t 值	P 值
治疗前	243.33 ± 28.47	276.55 ± 29.32	0.423	0.612
术后 3 个月	276.55 ± 29.32	241.55 ± 26.45	2.004	0.025
术后 6 个月	247.43 ± 30.22	234.54 ± 22.57	3.378	<0.001
F 值	F = 85.334	F = 41.23		
P 值	P < 0.001	P < 0.001		
组间效应		F = 3.65, P = 0.002		
组内效应		F = 47.25, P < 0.001		
组内*组间		F = 5.335, P = 0.005		

4. 讨论

本研究中, 研究组采用 CEUS 定位, 对照组采用 ICG-L 定位。结果显示, 两组总手术时间有统计学差异(研究组: 214.23 ± 13.54 min, 对照组: 223.34 ± 23.64 , $t = 5.347$, $P = 0.002$), 且研究组单根淋巴管吻合时间(29.89 ± 3.24 min)显著短于对照组(35.48 ± 9.66 min), $t = 3.873$, $P = 0.003$, 这一结果与 Wang 等[19]的研究趋势一致, 分析其原因, ICG 提供了宏观的淋巴回流路径图, 帮助术者快速定位潜在的淋巴管区域; 而 CEUS 则对目标淋巴管进行微观结构和功能确认, 包括管径测量、深度定位、以及流速判断。更加微观的确定目标淋巴管, 避免了术中盲目探查和无效分离, 从而显著提高了手术效率。Jang 等[16]的研究也证实, CEUS 能够在 ICG 失败的情况下仍识别淋巴管, 58%的吻合仅由 CEUS 定位完成。

研究组术中吻合淋巴管的平均截断尺寸为(0.67 ± 0.06) mm, 显著大于对照组的(0.39 ± 0.13) mm, 差异具有统计学意义($P < 0.001$)。上述结果提示, 术前应用 CEUS 进行靶淋巴管筛选, 能够有效选择管径较粗、引流功能较好的淋巴管作为吻合对象。既往研究亦表明, 较大的淋巴管管径与 LVA 术后更佳的临床结局密切相关。CEUS 可有效识别适合吻合的靶淋巴管。由此可见, 术前 CEUS 精准定位不仅有助于筛选管径理想的功能性淋巴管, 还可提高手术效率, 对改善患者术后预后具有积极的临床价值。

本研究通过治疗前、术后 3 个月、术后 6 个月 LELI 的随访观察, 评估 CEUS 定位技术对 LVA 手术疗效的影响。结果显示, 两组患者治疗前 LELI 无统计学差异具有可比性。术后 3 个月及术后 6 个月, 研究组 LELI 均显著低于对照组。重复测量方差分析显示, 对照组 $F_{\text{时间效应}} = 85.334$, $P < 0.001$; 研究组 $F_{\text{时间效应}} = 41.23$, $P < 0.001$ 。 $F_{\text{组间效应}} = 3.78$, $P = 0.001$; $F_{\text{交叉}} = 5.446$, $P = 0.004$ 。结果表明, 两组患者的 LELI 均随时间显著下降, 但研究组下降幅度大于对照组, CEUS 定位技术能够显著增强 LVA 手术的水肿改善效果。

本研究系统性统计了 CEUS 定位技术与传统单纯 ICG 定位在 LVA 术中的应用价值。建立了 CEUS 的微观定位模式。ICG-L 虽提供淋巴网络的整体脉络, 可帮助术者快速确定淋巴管分布区域; 但 CEUS 则对目标区域淋巴管进行结构和功能精准评估, 包括管径测量、深度定位、蠕动频率观察及流速判断。这种应用模式充分发挥了其精进的选择优势, 克服了宏观成像的固有局限。本研究也验证了 CEUS 定位技术可帮助术者筛选高功能性的靶淋巴管。其次量化了 CEUS 定位技术对手术效率的优化效应。通过 LELI 结局指标, 证实双重定位技术能够增强 LVA 手术的远期疗效, 改善患者生活质量。为 LVA 手术提供了更为精准的术前评估和术中引导方案, 有助于提高手术成功率, 降低术中探查的盲目性和创伤性, 缩短

手术时间,增加高截断尺寸淋巴管数量,从而改善患者预后。

5. 结论

历经多年探索,淋巴水肿 LVA 手术的操作技术虽已趋于成熟,但如何快速、精准地定位适宜吻合的淋巴管仍是临床难题。本研究为广大临床工作者提供了新的解决思路。术前 CEUS 定位技术能够精准筛选功能良好的扩张型淋巴管,优化吻合靶点的选择策略,在增大吻合管径的同时缩短手术耗时,并显著改善患者术后下肢淋巴水肿程度及生活质量[20]。CEUS 作为一种安全、无辐射、可重复实施的影像学评估手段,在 LVA 术前规划中具有重要的临床应用价值,值得在淋巴水肿外科治疗领域进一步推广应用[18]。然而,本研究为单中心回顾性设计,存在以下局限性:其一,样本量相对有限。本研究共纳入 58 例患者(研究组 27 例,对照组 31 例),虽满足统计学基本要求,但样本量仍偏小,可能影响亚组分析与多因素回归分析的检验效能。其二,研究设计层面的固有缺陷。淋巴管的选择并非完全随机化,术者在术中根据 CEUS 结果结合肉眼观察及触诊综合判断阶段尺寸,这使得“CEUS 指导”与“非 CEUS 指导”之间的比较存在明确的适应证混杂。即使我们在分析中尝试对部分协变量进行调整,仍无法排除未测量的混杂因素(如术者经验的学习曲线效应、患者基础疾病负担的差异等)对结局的影响。因此,本研究仅能提供探索性的关联证据,尚不足以支持将 CEUS 作为 LVA 术中淋巴管选择的常规决策工具[21]。同时,CEUS 在临床推广中同样面临挑战:其一,设备成本。具备高分辨率高频探头和造影功能的超声设备本身价格较高,对于需要反复评估的慢性病人而言,可能构成较大的经济负担。其二,技术门槛与学习曲线。对腹股沟区集合淋巴管进行高质量的 CEUS 评估,要求操作者同时具备浅表器官超声的精细操作能力和淋巴系统解剖功能的基础知识。CEUS 虽可通过造影剂充盈模式加以区分细小淋巴管与周围小静脉,但判断收缩功能仍依赖操作者的经验积累。这一学习曲线意味着该技术短期内难以在基层或非专科中心普及[22]。

声 明

本研究通过延安大学附属医院烧伤整形外科伦理委员会批准,所有患者均对此研究知情,并在治疗前均被告知造影及手术相关风险,并签署了相关知情同意书。

参考文献

- [1] Thomas, S.N., Rohner, N.A. and Edwards, E.E. (2016) Implications of Lymphatic Transport to Lymph Nodes in Immunity and Immunotherapy. *Annual Review of Biomedical Engineering*, **18**, 207-233. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-101515-014413>
- [2] Razavi, M.S., Munn, L.L. and Padera, T.P. (2025) Mechanics of Lymphatic Pumping and Lymphatic Function. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, **15**, a041171. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a041171>
- [3] Øien, A.H., Tenstad, O. and Wiig, H. (2025) Models of Hydration Dependent Lymphatic Opening, Interstitial Fluid Flows and Ambipolar Diffusion. *Microcirculation*, **32**, e12894. <https://doi.org/10.1111/micc.12894>
- [4] Wu, T., Pu, J., Yao, Q., Chen, S., Yao, Y., Chang, S., et al. (2025) Advances in Etiology, Pathophysiology, Diagnosis, and Management of Lymphedema: A Comprehensive Review. *Frontiers in Medicine*, **12**, Article 1666522. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1666522>
- [5] Warren, A.G., Brorson, H., Borud, L.J. and Slavin, S.A. (2007) Lymphedema: A Comprehensive Review. *Annals of Plastic Surgery*, **59**, 464-472. <https://doi.org/10.1097/01.sap.0000257149.42922.7e>
- [6] Johnson, L.A. (2021) In Sickness and in Health: The Immunological Roles of the Lymphatic System. *International Journal of Molecular Sciences*, **22**, Article 4458. <https://doi.org/10.3390/ijms22094458>
- [7] Luo, Z., Xiao, S. and Deng, C. (2026) Research Progress of Lymphaticovenous Anastomosis in Treatment of Secondary Lymphedema. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, **40**, 321-327.
- [8] Brenner, E., Hägerling, R., Schacht, V., Schrader, K. and Wilting, J. (2025) Definition, Epidemiology and Pathophysiology of Lymphoedema. *Cells*, **14**, Article 1955. <https://doi.org/10.3390/cells14241955>

- [9] Rodriguez, J.R., Hsieh, F., Huang, C., Tsai, T., Chen, C. and Cheng, M. (2020) Clinical Features, Microbiological Epidemiology and Recommendations for Management of Cellulitis in Extremity Lymphedema. *Journal of Surgical Oncology*, **121**, 25-36. <https://doi.org/10.1002/jso.25525>
- [10] Hara, H. and Mihara, M. (2017) Usefulness of Preoperative Echography for Detection of Lymphatic Vessels for Lymphaticovenous Anastomosis. *SAGE Open Medical Case Reports*, **5**, 2050313X17745207. <https://doi.org/10.1177/2050313X17745207>
- [11] Wang, J., Hu, M.X., Lu, M. and Li, X. (2025) Application of Percutaneous Lymphatic Contrast-Enhanced Ultrasound in Lymphovenous Anastomosis Microsurgery. *PLOS ONE*, **20**, e0330773. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0330773>
- [12] Chiewvit, S. and Kummerdnakta, S. (2017) Lymphoscintigraphic Findings That Predict Favorable Outcome after Lymphaticovenous Anastomosis. *Lymphology*, **50**, 1-8.
- [13] Weber, E., Aglianò, M., Bertelli, E., Gabriele, G., Gennaro, P. and Barone, V. (2022) Lymphatic Collecting Vessels in Health and Disease: A Review of Histopathological Modifications in Lymphedema. *Lymphatic Research and Biology*, **20**, 468-477. <https://doi.org/10.1089/lrb.2021.0090>
- [14] Zhao, Q., Huang, X., Chen, W., Xiao, Y., Zhang, J., Liu, Y., et al. (2025) Microsurgical Treatment of Breast Cancer-Related Lymphedema under Contrast-Enhanced Ultrasound Guidance: A Case Report and Literature Review. *Frontiers in Oncology*, **15**, Article 1677050. <https://doi.org/10.3389/fonc.2025.1677050>
- [15] Chao, A.H., Schulz, S.A. and Povoski, S.P. (2021) The Application of Indocyanine Green (ICG) and Near-Infrared (NIR) Fluorescence Imaging for Assessment of the Lymphatic System in Reconstructive Lymphaticovenular Anastomosis Surgery. *Expert Review of Medical Devices*, **18**, 367-374. <https://doi.org/10.1080/17434440.2021.1900725>
- [16] Jang, S., Lee, C.U., Hesley, G.K., Knudsen, J.M., Brinkman, N.J. and Tran, N.V. (2022) Lymphatic Mapping Using US Microbubbles before Lymphaticovenous Anastomosis Surgery for Lymphedema. *Radiology*, **304**, 218-224. <https://doi.org/10.1148/radiol.212351>
- [17] Bustos, S.S., Rios, M., Jang, S., Hesley, G.K., Lee, C.U., Tran, N.V., et al. (2025) Comparative Evaluation of Contrast-Enhanced Ultrasound and Indocyanine Green Lymphography for Lymphatic Mapping: A Retrospective Study. *Plastic and Reconstructive Surgery—Global Open*, **13**, e7022. <https://doi.org/10.1097/gox.0000000000007022>
- [18] Mo, Y.W., Lee, S.J., Lee, D.W., Lee, W.J., Im, S.H. and Suh, Y.C. (2024) Contrast-Enhanced Ultrasonography as an Adjunctive Method to ICG Lymphography for Functional Lymphaticovenous Anastomosis. *Journal of Surgical Oncology*, **129**, 965-974. <https://doi.org/10.1002/jso.27576>
- [19] Wang, C., Li, B., Zhong, Z., et al. (2024) The “Overlapping” Lymphaticovenous Anastomosis: An Overlapped End-to-End Anastomosis Supermicrosurgical Technique. *BMC Surgery*, **24**, 277. <https://doi.org/10.1186/s12893-024-02568-z>
- [20] Breslin, J.W. (2023) Edema and Lymphatic Clearance: Molecular Mechanisms and Ongoing Challenges. *Clinical Science*, **137**, 1451-1476. <https://doi.org/10.1042/cs20220314>
- [21] 周煦川, 苏学峰, 马戈甲, 等. 吲哚菁绿红外显像联合亚甲蓝染色精确定位在下肢淋巴管-静脉吻合术中的应用[J]. 中国美容医学, 2024, 33(3): 41-44.
- [22] 刘长瑞, 王鹤君, 王莹莹, 等. 超显微外科淋巴管静脉吻合术在肢体淋巴水肿中的应用[J]. 组织工程与重建外科, 2025, 21(1): 77-82.