

超声引导下腔内微波消融术治疗下肢静脉曲张的临床应用研究进展

任娜¹, 刘宗芬², 吴凯凯³, 单晓露¹, 魏鲁飞¹, 李燕¹, 刘聿秀^{4*}

¹潍坊市人民医院血管外科, 山东 潍坊

²山东第二医科大学附属医院浮烟山院区血管介入科, 山东 潍坊

³山东第二医科大学附属医院急诊科, 山东 潍坊

⁴山东第二医科大学护理学院, 山东 潍坊

收稿日期: 2025年9月14日; 录用日期: 2025年10月8日; 发布日期: 2025年10月15日

摘要

下肢静脉曲张作为常见、高发的下肢血管疾病, 其微创治疗技术革新始终是临床研究热点。超声引导下腔内微波消融术(EMA)作为新兴热消融技术, 通过导管发射能量微波产生精准热效应, 在超声实时监控下实现靶向血管闭合, 为静脉曲张治疗提供了创新性解决方案, 其临床应用日益广泛。本文对EMA技术进行全面梳理, 总结了其最新的研究进展, 对于指导临床医生选择合适的治疗方案、规范操作流程以及认识该技术的优缺点具有重要的现实意义。

关键词

腔内微波消融技术, 静脉曲张, 下肢, 超声

Advances in Clinical Application of Ultrasound-Guided Endovenous Microwave Ablation in the Treatment of Varicose Veins of Lower Extremity

Na Ren¹, Zongfen Liu², Kaikai Wu³, Xiaolu Shan¹, Lufei Wei¹, Yan Li¹, Yuxiu Liu^{4*}

¹Department of Vascular Surgery, Weifang People's Hospital, Weifang Shandong

²Department of Vascular Intervention, Fuyanshan Branch, Affiliated Hospital of Shandong Second Medical University, Weifang Shandong

³Emergency Department, Affiliated Hospital of Shandong Second Medical University, Weifang Shandong

*通讯作者。

文章引用: 任娜, 刘宗芬, 吴凯凯, 单晓露, 魏鲁飞, 李燕, 刘聿秀. 超声引导下腔内微波消融术治疗下肢静脉曲张的临床应用研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(10): 1519-1524. DOI: 10.12677/acm.2025.15102915

Abstract

As a common and highly prevalent vascular disease of the lower limbs, the innovation of minimally invasive treatment techniques for varicose veins has consistently been a focus of clinical research. As an emerging thermal ablation technology, Endovenous Microwave Ablation (EMA) under ultrasound guidance delivers energy via a catheter to generate precise thermal effects, achieving targeted vessel closure under real-time ultrasonic monitoring. This approach provides an innovative solution for the treatment of varicose veins, and its clinical applications are increasingly widespread. This article comprehensively reviews EMA technology and summarizes the latest research progress, which holds significant practical implications for guiding clinicians in selecting appropriate treatment options, standardizing operational procedures, and understanding the advantages and limitations of this technique.

Keywords

Endovenous Microwave Ablation, Varicose Vein, Lower Extremity, Ultrasonography

Copyright © 2025 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. 引言

下肢静脉曲张(Varicose veins of the lower extremities, LEVV)是血管外科常见的下肢血管慢性疾病, 常见于长时间站立、肥胖、怀孕、便秘及体力劳动的人群, 具有家族聚集性, 并呈现年轻化趋势[1]。部分患者处于慢性静脉疾病(chronic venous disease, CVD)晚期并伴有活动性的静脉溃疡, 严重者可继发感染性坏疽甚至截肢或死亡[2]。

在微创介入技术快速发展的驱动下, 下肢静脉曲张治疗模式已从传统开放手术向精准化、个体化方向演进。当前临床干预策略涵盖梯度压力治疗、静脉活性药物、硬化剂注射以及热消融手术等多模式方案[3]。其中, 超声引导下腔内微波消融术(endovenous microwave ablation, EMA)凭借其微创性、靶向精准性(超声实时导航)、更低的并发症发生率、更快的术后恢复率以及优异的中远期通畅率, 现已成为国际血管外科学界的研究前沿[4]。本文对 EMA 的生物热力学机制、临床应用及治疗策略、疗效及安全性进行综述, 探讨当前 EMA 技术的优势和不足, 以期临床实践提供循证依据。

2. EMA 生物热力学机制

EMA 通过微波辐射诱导组织内极性分子(如水分子)高频振动摩擦, 产生内源性热效应。该效应可导致血管内皮及平滑肌细胞发生不可逆凝固性坏死(温度 > 60°C), 进而启动静脉壁胶原变性及纤维化闭锁进程[3]。临床研究表明, 针对大隐静脉(Great Saphenous Vein, GSV)主干与属支的解剖特征, 优化能量参数(主干 50 W, 属支 20 W)可实现选择性热损伤, 平衡血管闭合率与周围组织保护需求[5]。超声引导下腔内微波消融术(EMA)作为新兴热消融技术, 通过导管发射能量微波产生精准热效应, 在超声实时监控下实现靶向血管闭合, 为静脉曲张治疗提供了创新性解决方案。

3. EMA 的临床应用及治疗策略

EMA 治疗下肢静脉曲张主要适用于 CEAP 分级 C2~C6 级下肢慢性静脉功能不全(Chronic Venous Insufficiency, CVI)患者, 包括: 症状性静脉曲张(毛细血管扩张、网状静脉扩张、疼痛性脂性硬皮病); 大隐静脉反流(反流时间 > 0.5 s)且深静脉通畅者[6]以及静脉性溃疡(CEAP C6 级)[7]。术前需采用双功超声系统评估 GSV 直径(建议范围 3~12 mm)、反流程度及穿通静脉功能, 排除深静脉血栓(DVT)及严重动脉供血不足($ABI < 0.9$) [8]。

3.1. EMA 治疗下肢静脉曲张的基本步骤

EMA 治疗全程采用实时超声监测, 结合标准化操作流程(SOP), 可动态评估导管位置、能量分布及血管闭合效果[9]。超声引导不仅可避免血管穿孔及神经热损伤, 还能通过监测血管内血栓形成状态(如强回声影)即时调整消融参数, 显著降低术后瘀斑发生率($OR: 0.58$) [10]。

(1) 穿刺置管: 超声引导下经膝下穿刺点置入微波导管至隐股交下方 1 cm。

(2) 肿胀麻醉: 注射含 0.1%利多卡因与 1:100 万肾上腺素的肿胀液, 确保静脉-组织界面距离 ≥ 1 cm; 局麻液注射需围绕大隐静脉主干周围, 充分包绕大隐静脉主干, 在微波辐射器退出皮肤时及时停止发射, 避免烧伤穿刺处皮肤[8]。

(3) 能量释放: 50 W 脉冲模式(2 秒发射/1 秒间隔), 以 2~4 mm/s 匀速回撤导管。

(4) 联合干预: 对直径 > 3 mm 属支行泡沫硬化剂注射[11]。

(5) 术后管理: 即刻加压包扎(压力 25~30 mmHg), 并用自粘加压绷带覆盖 48 h, 以保持治疗性加压压力。需指导患者术后尽早下床, 但要避免剧烈运动以及术后穿医用压力袜(25 毫米汞柱, 脚踝, 仅日间穿着)至少 4 周[12]。

3.2. EMA 治疗下肢静脉曲张的联合治疗策略

EMA + 泡沫硬化剂: 目前, EMA 与泡沫硬化剂联合应用治疗下肢静脉曲张是常见的联合治疗手段。泡沫硬化剂是指把液体硬化剂与气体混合而成的新型泡沫状硬化剂物质, 在下肢静脉曲张诸多微创治疗中泡沫硬化剂疗法对各种静脉曲张都有治疗作用[11]。研究显示, EMA 联合泡沫硬化剂治疗下肢静脉曲张术后并发症发生率(5.41%)显著低于传统组(大隐静脉剥脱术, 33.33%) [13]。主干注射泡沫硬化剂后可用彩超监视泡沫硬化剂的扩散, 术中发现有明显泡沫硬化剂流入深静脉, 应立即暂停注射并嘱其抬高患肢, 及时挤压小腿防止泡沫硬化剂流入深静脉。酒精过敏者应禁用泡沫硬化剂, 以免出现严重的过敏性休克。

EMA + 中医外治: LEVV 术后易出现局部硬结、浅静脉回流障碍等并发症, 单纯应用西医治疗副作用较大且恢复进程缓慢。中医外治法的“从络论治”可有效缓解 LEVV 的脉络瘀阻[14]。靳立强等[15]采用中医涂剂外敷治疗 LEVV 溃疡创面和手术创口, 与对照组相比, 治疗后 1 个月观察组的炎症因子水平和静脉临床严重程度显著降低($P < 0.01$); 去腐新生膏联合庆大霉素软膏治疗 LEVV 溃疡感染可显著促进溃疡创面的恢复[16]; 赵亮等[9] [17]学者的补阳还五汤联合火针刺络法治疗 LEVV 减轻了术后疼痛和并发症的发生, 对长期复发率亦有良好的控制作用。以上研究均表明 EMA 术后联合中医外治对 LEVV 的康复具有显著且积极的促进作用。然而, 当前中西医结合治疗仍缺乏标准化方案 and 高质量 RCT 研究支持, 未来需进一步明确作用机制和优化治疗规范。

4. EMA 治疗下肢静脉曲张的疗效和优势

4.1. 内源性加热与定向能量控制

EMA 技术的热效应源于微波电场诱导组织内极性分子(如水分子)的高频振荡摩擦, 产生内源性均匀

加热[1] [3]。相较于射频消融(Radiofrequency Ablation, RFA)依赖离子电流产热的机制,微波能量在生物介质中的穿透深度更强(可达 10~15 mm),且受组织电阻率及血流散热影响较小[18]。此外,EMA 系统配备分支专用导管,通过调节微波频率(通常为 2450 MHz)和功率(10~30 W),可实现靶向血管壁的精准热损伤,同时减少对周围组织的热扩散[1] [19]。但是,不同设备间的技术参数和能量输出特性存在差异,这可能解释了为何有些研究显示 EMA 具有更好的组织穿透性和均匀加热特性,而另一些研究则发现其热损伤风险较高。

4.2. 微创性与快速康复优势

EMA 技术通过管腔内操作替代传统大隐静脉高位结扎与剥脱术,规避开放性切口,从而减少术后疼痛[20]。研究显示,较其他手术方式,EMA 的手术时间显著缩短(EMA 组 42.58 ± 15.62 分钟 vs 激光消融术组 65.46 ± 24.38 分钟, $P < 0.01$),且符合日间手术标准(术后 2 小时可离院),医疗成本显著降低[21]。射频消融术在治疗下肢浅静脉曲张方面具有显著优势,具有手术创伤更小、恢复速度更快、更好的症状改善和生活质量提升的特点[22]。

5. EMA 技术的局限性

首先,市场上微波设备类型较多,可能导致不同作用效果。其次,EMA 技术在并发症方面亦存在一定争议。部分研究显示,EMA 术后皮肤烧伤及感觉麻痹发生率高于激光消融(EVLA) [23],可能与微波能量的深层穿透特性及局部热扩散有关。但也有研究表明,两者在长期并发症(如 1 年内复发率、生活质量评分)方面并无显著差异[24]。导致结论不一致的原因可能包括微波设备参数不统一(如频率、功率、发射模式)、激光波长差异(如 1470 nm vs. 980 nm)、操作者经验以及随访时间长短等因素[25] [26]。例如,较高功率(如 50 W)联合较快回撤速度(如 3~4 mm/s)虽可提高治疗效率,但也可能增加热损伤风险[27] [28]。因此,未来研究应系统评估不同技术参数与并发症之间的量效关系,并加强操作规范化培训,以实现 EMA 疗效与安全性的最优平衡。

6. 小结与展望

腔内微波消融(EMA)技术凭借其独特的内生热效应和超声实时引导优势,在下肢静脉曲张的微创治疗中展现出良好的近期疗效与安全性。然而,该技术在设备标准化、术后疼痛控制及长期疗效证据方面仍存在局限,尤其是目前缺乏针对不同血管解剖特征的个体化能量释放策略,以及术后短期疼痛与感觉异常的有效管理方案。此外,不同微波设备之间的异质性和长期随访数据的缺乏,也限制了 EMA 技术的进一步推广和规范化应用。

未来展望,EMA 的研究应侧重于设备与能量控制的精准化,如开发具有实时温度反馈功能的智能微波导管,建立频率-功率-组织阻抗匹配模型,以降低热损伤风险。同时,应深入探讨术后疼痛与感觉异常的机制,并通过多模态镇痛策略和中医外治技术的整合应用,如开展“EMA+ 辨证外治”的高质量 RCT 研究,系统评估其在减轻术后并发症和促进溃疡愈合方面的协同效应。此外,建议依托国家血管外科诊疗中心建立前瞻性 EMA 患者注册登记系统,重点收集 5 年以上随访数据,包括闭合静脉再通情况、生活质量指标及深静脉血栓事件,为 EMA 的长期安全性和有效性提供高级别循证依据。通过多学科深度融合与创新,EMA 技术有望逐步发展成为更个体化、标准化的静脉曲张诊疗体系,进一步提升其临床适用性与患者满意度。

基金项目

山东省医药卫生科技发展计划项目(202004130167)。

参考文献

- [1] 莫伟, 李海燕. 外周血管疾病介入护理学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2017: 598.
- [2] Davies, A.H. (2019) The Seriousness of Chronic Venous Disease: A Review of Real-World Evidence. *Advances in Therapy*, **36**, 5-12. <https://doi.org/10.1007/s12325-019-0881-7>
- [3] 金雄伟, 李宏帅, 唐石驹, 等. 大隐静脉高位结扎加腔内微波消融联合泡沫硬化剂治疗下肢静脉曲张的临床研究[J]. 中国实用医药, 2020, 15(35): 51-53.
- [4] Fan, P., Cong, L., Dong, J., Han, Y. and Yang, L. (2022) Comparison of 5-Year Outcomes and Quality of Life between Endovenous Laser (980 nm) and Microwave Ablation Combined with High Ligation for Varicose Veins. *Frontiers in Surgery*, **9**, Article 1022439. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.1022439>
- [5] Nyamekye, I.K. (2018) A Practical Approach to Tumescant Local Anaesthesia in Ambulatory Endovenous Thermal Ablation. *Phlebology: The Journal of Venous Disease*, **34**, 238-245. <https://doi.org/10.1177/0268355518800191>
- [6] Machin, M., Salim, S., Tan, M., et al. (2021) Surgical and Non-Surgical Approaches in the Management of Lower Limb Post-Thrombotic Syndrome. *Expert Review of Cardiovascular Therapy*, **19**, 191-200. <https://doi.org/10.1080/14779072.2021.1876563>
- [7] 刘玉辉, 何光伦. 超声引导下微波消融治疗下肢静脉曲张术后复发性溃疡 17 例[J]. 武警医学, 2019, 30(4): 345-347.
- [8] 董利刚, 夏兰兰, 李安泉. 静脉造影和双功彩超诊断下肢静脉疾病协同性和局限性的分析[J]. 齐齐哈尔医学院学报, 2009, 30(20): 2494-2495.
- [9] 郭洁, 姚志勇. 超声引导下微波消融术治疗下肢静脉曲张的研究进展[J]. 实用老年医学, 2022, 36(2): 118-120.
- [10] Kalaij, A.G.I., Zahrani, S., Saputro, K.B., Suwana, A.G., Taofan, Indriani, S., et al. (2025) Efficacy and Safety of Endovenous Microwave Ablation versus Endovenous Laser Ablation for Varicose Veins in Chronic Great Saphenous Vein Insufficiency: A Meta-Analysis. *Annals of Vascular Surgery*, **114**, 163-174. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2024.12.073>
- [11] 何利民, 毛建强, 邢旭峰, 等. 腔内微波联合泡沫硬化剂治疗下肢静脉曲张[J]. 中国中西医结合外科杂志, 2018, 24(2): 218-220.
- [12] Yang, L., Wang, X., Wei, Z., Zhu, C., Liu, J. and Han, Y. (2020) The Clinical Outcomes of Endovenous Microwave and Laser Ablation for Varicose Veins: A Prospective Study. *Surgery*, **168**, 909-914. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2020.06.035>
- [13] 杜学晴, 李煜, 汤浩国, 等. 超声引导下微波消融治疗下肢静脉曲张的效果探讨[J]. 影像研究与医学应用, 2024, 8(18): 182-184.
- [14] 陈乾, 严佳, 李敏毓, 等. “从络论治”视角探讨中医外治法与循序减压法治疗下肢静脉曲张的研究进展[J]. 时珍国医国药, 2019, 30(3): 677-678.
- [15] 靳立强, 郭海涛, 韩书明. 复方黄柏液涂剂外敷联合泡沫硬化治疗下肢静脉曲张性溃疡疗效及其对 TNF- α 、IL-6、CRP 水平的影响[J]. 中华中医药学刊, 2023, 41(11): 250-253.
- [16] 刘奎, 奉海军, 曹少博, 等. 去腐生新膏联合庆大霉素软膏治疗慢性下肢静脉曲张溃疡感染及对 HIF-1 α /VEGF 信号通路的影响[J]. 中华医院感染学杂志, 2024, 34(24): 3764-3768.
- [17] 赵亮, 熊伟. 补阳还五汤联合火针刺络法在气虚血瘀型下肢静脉曲张术后应用的临床观察[J]. 时珍国医国药, 2021, 32(8): 1943-1944.
- [18] 杨晓玉, 许卫国. 微波消融联合泡沫硬化术与射频消融联合泡沫硬化术治疗下肢静脉曲张的疗效对比[J]. 广州医药, 2023, 54(2): 33-37.
- [19] Yang, L., Wang, X.P., Su, W.J., Zhang, Y. and Wang, Y. (2013) Randomized Clinical Trial of Endovenous Microwave Ablation Combined with High Ligation versus Conventional Surgery for Varicose Veins. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **46**, 473-479. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2013.07.004>
- [20] Zhang, L., Lin, Y., Geng, C., Huang, W., Yang, Q., He, C., et al. (2024) Safety and Efficacy of Endovenous Microwave Ablation for Treatment of Varicose Veins of the Lower Limbs in China: A Prospective Registered Clinical Trial. *Vascular*, **33**, 1011-1019. <https://doi.org/10.1177/17085381241273225>
- [21] Zhang, J., Lin, Y., Zhang, L., et al. (2025) Comparison of One-Year Outcomes and Quality of Life between Radiofrequency Ablation and Microwave Ablation in the Treatment of Lower Extremity Varicose Veins: A Retrospective Cohort Study. *Phlebology*, **40**, 39-46. <https://doi.org/10.1177/02683555241273229>
- [22] 罗海平. 射频消融术与传统分段剥脱切除术对下肢浅静脉曲张的效果差异分析[J]. 生物医学工程学进展, 2025, 46(1): 42-48.
- [23] Mao, J., Zhang, C., Wang, Z., Gan, S. and Li, K. (2012) A Retrospective Study Comparing Endovenous Laser Ablation

- and Microwave Ablation for Great Saphenous Varicose Veins. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, **16**, 873-877.
- [24] Nesbitt, C., Bedenis, R., Bhattacharya, V. and Stansby, G. (2014) Endovenous Ablation (Radiofrequency and Laser) and Foam Sclerotherapy versus Open Surgery for Great Saphenous Vein Varices. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, No. 7, CD005624. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd005624.pub3>
- [25] Lu, W., Jiang, J., Wu, H., Chen, G., Zhang, Q. and Yang, G. (2024) Endovenous Microwave Ablation versus Laser Ablation for Small Saphenous Vein Varicosis. *Advances in Therapy*, **41**, 2342-2351. <https://doi.org/10.1007/s12325-024-02854-5>
- [26] Zhao, N., Guo, H., Zhang, Y., Hu, X., He, J., Wang, D., *et al.* (2024) Comparison of Endovenous Microwave Ablation versus Radiofrequency Ablation for Lower Limb Varicose Veins. *Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders*, **12**, Article ID: 101662. <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2023.03.022>
- [27] Yang, X., Li, J., Bai, X., Zhou, L. and Xu, W. (2024) Endovenous Microwave Ablation versus Radiofrequency Ablation for the Treatment of Lower Limb Varicose Veins. *Annals of Vascular Surgery*, **98**, 301-308. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2023.06.024>
- [28] Li, Y., Wu, W., Li, Y., Li, J. and Sun, M. (2022) Efficacy and Safety of Endovenous Microwave Ablation versus Laser Ablation for Great Saphenous Vein Varicosis: Study Protocol for a Multicentre, Randomised Controlled Non-Inferiority Trial. *BMJ Open*, **12**, e059213. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-059213>