

· 综述 ·

超微血流成像在糖尿病足胫骨搬移的应用现状[△]

王旭栋¹, 王 栋², 刘少皇¹, 张永红^{2*}

(1. 山西医科大学第二临床医学系, 山西太原 030000; 2. 山西医科大学第二医院骨科, 山西太原 030000)

摘要: 胫骨横向骨搬移技术通过调节搬移骨块诱导糖尿病足足部微血管的再生, 进而促进溃疡愈合, 保存肢体。为明确搬移过程中足部微循环变化情况, 临床常用超声进行监测。然而常规超声对于观察糖尿病足足部末梢微小血管的变化作用有限, 无法发现肢体末梢微小血管的血流灌注情况。超微血流成像技术是一种新型的无创血流成像技术, 与常规超声相比, 该技术可敏感捕捉低速血流, 在微血管病变、微血流灌注等方面具有相对优势。本文主要对超微血流成像在糖尿病足胫骨搬移中的应用现状进行综述。

关键词: 糖尿病足, 胫骨横向骨搬移技术, 超微血流成像技术, 微循环

中图分类号: R687 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2022) 21-1958-04

Current application of superb microvascular imaging in tibial transverse transport for diabetic foot // WANG Xu-dong¹, WANG Dong², LIU Shao-huang¹, ZHANG Yong-hong². 1. The Second College of Clinical Medicine, Shanxi Medical University, Taiyuan 030000, China; 2. Department of Orthopedics, The Second Hospital, Shanxi Medical University, Taiyuan 030000, China

Abstract: The tibial transverse transport technique can induce the microvascular regeneration of diabetic foot by regulating the transported bone fragments to promote ulcer healing and preserve limbs. In order to clarify the changes of foot microcirculation during transport, ultrasound is often used for monitoring in clinic. However, conventional ultrasound is often limited in observing the changes of the distal microvessels of the whole part of diabetes foot and cannot detect the blood perfusion of microvessels in the distal extremity. The superb microvascular imaging is a new non-invasive blood flow imaging technology. Compared with conventional ultrasound technology, clinical studies have found that superb microvascular imaging can sensitively capture low-velocity blood flow, and has relative advantages in terms of microvascular disease, and micro-blood perfusion. This paper reviews the application status of superb microvascular imaging in the treatment of diabetic foot by tibial transverse transport.

Key words: diabetic foot, tibial transverse transport, superb microvascular imaging, microcirculation

糖尿病足是一种与糖尿病有关的慢性并发症, 表现为组织深部的病变, 并伴有不同程度的神经系统疾病和下肢周围血管疾病, 使得足部出现缺血、感染、溃疡坏疽。糖尿病足伤口常反复破溃, 较难治愈, 经常导致截肢^[1]。值得注意的是, 糖尿病患者对截肢的恐惧往往比死亡更严重^[2]。随着横向骨搬移技术创新性地用于糖尿病足的医治, 糖尿病足的截肢率有了明显下降, 预后得到了极大改善^[3]。在骨搬移过程中, 微血管血流的变化是评估手术疗效及判断预后的重要评价指标。超微血流成像 (superb microvascular imaging, SMI) 技术是一种新的多普勒模式, 更易于检出极低速的微血流^[4], 而糖尿病足患者下肢动脉病变多

以肢体末梢的微小血管病变为主^[5], 因此应用超微血流成像技术可以观察到胫骨横向骨搬移术后足部微血流的变化以及灌注情况, 为临床诊治提供客观依据。本文就超微血流成像在糖尿病足胫骨搬移中的应用现状及前景展开综述。

1 超微血流成像的技术原理

超微血流成像技术是一种新开发的彩色多普勒技术, 用于显示小血管, 它使用先进的彩色多普勒成像超声算法来保留常规彩色多普勒或能量多普勒技术无法描绘的最细微的缓慢血流^[6], 使以前无法检测到的

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2022.21.08

[△]基金项目: 国家自然科学基金项目 (编号: 82172439)

作者简介: 王旭栋, 硕士研究生, 研究方向: 外固定与肢体矫形, (电话) 17835127151, (电子信箱) 1092631210@qq.com

* 通信作者: 张永红, (电话) 13593141603, (电子信箱) yhzhy@139.com

微血管流动变得可视化^[7]。超微血流成像技术的原理是通过创新的过滤系统抑制运动伪影产生的噪声,运用智能化的计算方法来显示实际血流信息,并将其表示为彩色叠加图像或单色血流图像^[8],而无需去除微小血管血流产生的微弱信号。其具有较高的空间分辨率,可以在不使用任何造影剂的情况下显示微血管结构^[9],检测低速血流,弥补了常规超声对于微小血管显影不足的缺点,且其运动伪影较少,成像帧频高,更有利于显示新生血管情况,为临床诊断疾病提供重要根据。超微血流成像可以在两种模式下运行:彩色超微血流成像(colorful superb microvascular imaging, cSMI)和单色超微血流成像(monochrome superb microvascular imaging, mSMI)。cSMI模式同时显示带有彩色编码多普勒信号的常规灰度超声。mSMI模式只关注血管系统,通过消除其背景信息提高血管系统的灵敏度,输出结果为灰度图像^[10]。

2 超微血流成像的临床应用

超微血流成像技术虽然是一种新兴的临床诊断技术,但因其具有敏感性高、分辨率高、运动伪像少,且经济实用等优点,可以对血管内血流情况进行准确评估,尤其可以对细微、低速血流信号进行清晰显示,因此已被用于诊断和评估许多疾病的进展,而且在肝脏、乳腺、甲状腺、骨骼肌和颈动脉斑块中得到了广泛的临床应用^[11]。Bakdik等^[12]采用二维超声、能量多普勒超声及超微血流成像对乳腺导管内病变患者进行检测,结果发现在检测乳腺导管内病变的微血管血流和血管分布方面,超微血流成像比能量多普勒超声更敏感,可以帮助二维超声更准确地区分乳腺导管内病变。

超微血流成像技术在下肢缺血性疾病中也有应用。廖福苑等^[13]采用彩色多普勒血流显像、超微血流成像两种血流显像技术对80例糖尿病足患者的跖背动脉进行探测,结果发现在部分患者中单纯使用彩色多普勒血流显像未能探及血流,而两种血流显像技术联合使用可探测到微弱的血流信号和侧支循环,提高了跖背动脉的显示率。强嘉璘等^[14]通过超声微血管成像技术对糖尿病下肢动脉进行观察发现该技术可以显示肢体末梢动脉的血流灌注情况,并可以实时监测进行定量分析。王斌等^[15]将超微血流成像技术应用于监测12例行胫骨横向骨搬运术的下肢缺血性疾病患者,发现术后较术前相比足部有明显的新鲜血管再生及侧支的形成,肯定了手术的疗效。Sato等^[16]

利用超微血流成像对足部严重缺血患者的血管指数进行测量并对干预前后数据进行比较,结果表明与踝肱指数和皮肤灌注压一样,基于超微血流成像的血管指数也可有效地评估干预的结果,表明超微血流成像也可以简单而准确地评估足部微循环。Nas等^[17]应用超微血流成像和能量多普勒超声评价血栓闭塞性脉管炎的螺旋侧支循环,发现螺旋侧支在能量多普勒超声上以点状模式出现,而在彩色超微血流成像上能够显示连续性的流动信号,表明超微血流成像在描述和识别血栓闭塞性脉管炎的螺旋侧支循环方面优于传统的能量多普勒超声。

3 超微血流成像在糖尿病足中的探测方法及意义

临床上选取诊断为糖尿病并符合胫骨横向骨搬运术纳入标准的糖尿病足患者,通过超微血流成像技术于术前及术后不同阶段对其双侧足部进行微血管血流探查:选择超声设备,采用高频探头,探头扫描时应尽可能平滑、缓慢、轻柔,否则血管运动速度过快,会造成运动伪影,影响成像质量。检查时患者取仰卧位,充分暴露受检部位,保持双腿处于伸直状态,略微外展足部。依次从近心端向远心端探测踝部胫前动脉、胫后动脉、足背动脉、跖动脉,并在同一位置多次测量,观察足部血流动力学的变化。

糖尿病足患者常常会伴有下肢动脉的粥样硬化改变,以及血管内皮的损伤,最终导致足部微血管病变及微循环障碍,影响足部的微血流灌注,造成足部供血出现问题,对肢体构成极大威胁^[18]。糖尿病足血管病变涉及大血管、微血管,以更远端、更微小血管病变为其特征性改变。研究证实胫骨横向骨搬运术用于糖尿病足的治疗可刺激微血管的再生,形成微小血管网,改善微循环,达到保肢的疗效^[19]。鲁玉州等^[20]通过胫骨横向骨搬运术联合封闭引流术治疗糖尿病足患者,于术后3个月行血管彩超观察到小腿动脉开放,侧支循环较术前明显增多,膝下血管的狭窄和闭塞均有不同程度的恢复。欧栓机等^[21]对胫骨横向骨搬运术后的患者行血管造影也观察到患肢截骨块周围和足部的侧支小动脉明显增多,血流速度明显加快,提示足部微循环得到了明显的改善。而彩色多普勒超声能准确观察到糖尿病足下肢动脉管腔情况及管壁结构的变化,超微血流成像能清晰显示足部微血管信息、微血流灌注及侧支的形成^[15],通过动态监测血流指标的变化,从而为行胫骨横向骨搬运术的糖尿病足患者的术前术后血管血流动力学改变及是否形成侧

枝提供有价值的信息, 评估手术的疗效, 判断病情的预后。

4 超微血流成像的优势与局限性

目前, 临床上辅助诊断糖尿病下肢血管病变的影像学方法有: 数字减影血管造影 (digital subtraction angiography, DSA)、计算机断层扫描血管成像 (computed tomography angiography, CTA)^[22], 通过造影增强血管形态的影像学方法为血管的病变情况提供了重要线索, 但亦有缺点限制其应用, 如造影剂的成本高, 碘造影剂可能引发或加重老年患者的肾功能衰竭, 并可能诱发超敏反应等^[23]。而CTA对于肢体远端微小动脉的显影不清, 成像质量相对较差^[24]。相比于以上检查, 超声在下肢血管病变的应用中有众多优势, 可以通过超声探头有效显示血管的走向、血管内膜、血流动力学以及有无斑块与狭窄等情况, 同时可以观察糖尿病足患者下肢动脉的血流情况及血管硬化程度, 而且有研究显示其诊断准确性、敏感度与DSA相似, 具有操作简便、可重复检查、费用低廉等优点, 更易于被患者所接受^[25、26]。

在病变的特征性表现中, 血管血流变化常常是反映疾病变化情况的一个重要评价指标。在某些临床情况下, 可以通过彩色多普勒超声观察是否存在血流以及血管有无病变等来决定是否需要治疗或进一步的影像学研究^[27]。然而, 常规超声对于探测低速血流和小血管的敏感性有限, 难以区分复杂疾病和识别某些病变的细微变化^[28], 容易遗漏某些新生的血管侧支, 很难获得微小血管和低速血流的完整信息^[29], 因此常规超声对于观察糖尿病足足部末梢微小血管的变化作用有限。

研究及临床应用发现超微血流成像技术可以显示更多浅表病变的微血管信息, 描绘更多的微血管结构细节^[30], 评估微血管的数量, 显示血流的分布, 克服常规超声的局限性, 并显示真实的血流, 从而为医生判断病情提供更详细的病变信息。超微血流成像技术的另一个优点是它可以通过利用目前无法在彩色多普勒血流显像上进行的血管指数参数进行定量数据分析, 从而提供更客观的血流灌注信息^[31]。运用超微血流成像技术可以看到小血管, 包括它们的分支, 而目前只有使用超声造影才能显示这些血管, 在所有超声机器上使用这种新型附加技术可能会使一些计算机断层扫描变得不必要^[32]。

但超微血流成像技术也存在一些局限性, : (1)

对操作者的经验和手法要求较高, 受主观因素影响大; (2) 缺乏具体的诊断标准, 对某些疾病的鉴别诊断仍存在较多的争议。此外, 超微血流成像和疾病进展之间的相关性、超微血流成像在预测预后和选择治疗方案等方面仍需要更多的多中心临床研究。

5 小结

近年来, 超微血流成像介导的微血管可视化研究的迅速发展, 拓宽了对各种微血管疾病的认识。与其他无创检查相比, 超微血流成像技术作为新兴的无创检查技术, 在评估微血管方面具有明显优势, 可以详细地显示血管分布特征, 因此胫骨横向骨搬运术配合超微血流成像技术有助于评估糖尿病足患者治疗前后下肢动脉血流动力学变化情况, 同时为指导后续治疗过程、判断病情预后提供重要参考依据。这种经济有效且方便的技术为患者提供了益处。但超微血流成像仍然存在一些局限性。因此, 关于超微血流成像技术的研究还有待进一步深入, 其价值有待进一步验证。

参考文献

- [1] Fu XL, Ding H, Miao WW, et al. Global recurrence rates in diabetic foot ulcers: a systematic review and meta-analysis [J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2019, 35 : e3160.
- [2] Armstrong DG, Swerdlow MA, Armstrong AA, et al. Five year mortality and direct costs of care for people with diabetic foot complications are comparable to cancer [J]. *J Foot Ankle Res*, 2020, 13 (1) : 16.
- [3] 花奇凯, 秦泗河, 赵良军, 等. Ilizarov 技术胫骨横向骨搬运术治疗糖尿病足 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2017, 25 (4) : 303-307.
- [4] Batur A, Alpaslan M, Özkaçmaz S, et al. Assessment of optic nerve vascularity in healthy eyes using superb microvascular imaging: a preliminary study [J]. *Acta Radiol*, 2022, 63 (1) : 93-99.
- [5] 杨小春, 刘若川. 彩色多普勒超声在糖尿病足胫骨横向骨搬运术中的应用进展 [J]. *广西医科大学学报*, 2017, 34 (4) : 615-618.
- [6] Gao J, King J, Chatterji M, et al. Superb microvascular imaging-based vascular index to assess adult hepatic steatosis: a feasibility study [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2022, 48 (2) : 480-487.
- [7] 程方圆, 刘文莹, 张玫. 超微血管成像技术的临床研究进展 [J]. *泰山医学院学报*, 2020, 41 (3) : 234-237.
- [8] Gong Y, Li S. Diagnostic value of color doppler ultrasound combined with superb microvascular imaging in the detection of small renal tumors less than 3 cm treated with JinkuiShenqi pills [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2021, 2021 : 5327331.
- [9] Ahn HS, Lee JB, Seo M, et al. Distinguishing benign from malignant thyroid nodules using thyroid ultrasonography: utility of adding superb microvascular imaging and elastography [J]. *Radiol*

- Med, 2018, 123 (2) : 260-270.
- [10] Xiao XY, Chen X, Guan XF, et al. Superb microvascular imaging in diagnosis of breast lesions: a comparative study with contrast-enhanced ultrasonographic microvascular imaging [J]. Br J Radiol, 2016, 89 (1066) : 20160546.
- [11] Jiang ZZ, Huang YH, Shen HL, et al. Clinical applications of superb microvascular imaging in the liver, breast, thyroid, skeletal muscle, and carotid plaques [J]. J Ultrasound Med, 2019, 38 : 2811-2820.
- [12] Bakdik S, Arslan S, Oncu F, et al. Effectiveness of superb microvascular imaging for the differentiation of intraductal breast lesions [J]. Med Ultrason, 2018, 20 (2) : 306-312.
- [13] 廖福苑, 李娜, 黄志平, 等. 高频血管超声联合 SMI 技术对糖尿病足跖背动脉的应用研究 [J]. 中国医学创新, 2020, 17 (34) : 138-141.
- [14] 强嘉璘, 蒋天安, 谢秀静. 微血管成像在糖尿病下肢末端动脉血流灌注评估中的应用 [J/CD]. 中华医学超声杂志 (电子版), 2020, 17 (10) : 1006-1010.
- [15] 王斌, 李娟, 张永红, 等. 超微血流成像监测横向骨搬运中血管再生的初步研究 [J]. 中华骨科杂志, 2021, 41 (11) : 677-686.
- [16] Sato W, Suto Y, Yamanaka T, et al. An advanced ultrasound application used to assess peripheral vascular diseases: superb microvascular imaging [J]. J Echocardiogr, 2021, 19 (1) : 150-157.
- [17] Nas OF, Kandemirli SG, ErdemliGursel B, et al. Diagnostic utility of superb microvascular imaging in depiction of corkscrew collaterals in Buerger's disease [J]. J Clin Ultrasound, 2021, 49 (1) : 129-134.
- [18] Sharma S, Schaper N, Rayman G. Microangiopathy: is it relevant to wound healing in diabetic foot disease [J]. Diabetes Metab Res Rev, 2020, (Suppl 1) : e3244.
- [19] Zhang X, Dong T, Yao S, et al. Application of transverse tibial bone transport and microcirculation reconstruction in the treatment of diabetic foot ulcer: a case report [J]. Ann Palliat Med, 2021, 10 (7) : 8358-8364.
- [20] 鲁玉州, 吴亚东, 吴成强, 等. 胫骨横向骨搬运联合封闭引流治疗糖尿病足溃疡 [J]. 中国矫形外科杂志, 2021, 29 (1) : 46-50.
- [21] 欧栓机, 齐勇, 孙鸿涛, 等. 经皮微创胫骨截骨横向骨搬运术治疗糖尿病足 [J]. 中国矫形外科杂志, 2018, 26 (15) : 1385-1389.
- [22] 李志恒, 简华刚. 周围血管病变的检查方法及进展 [J]. 检验医学与临床, 2015, 12 (8) : 1146-1148.
- [23] Normahani P, Agrawal R, Sounderajah V, et al. Arterial spectral waveform analysis in the prediction of diabetic foot ulcer healing [J]. Perfusion, 2021, 36 (7) : 751-756.
- [24] 叶欣, 毛培军, 李洁, 等. CTA、MRA 检查对糖尿病足下肢动脉病变的诊断价值及病变的影响因素分析 [J]. 现代生物医学进展, 2021, 21 (17) : 3252-3255, 3294.
- [25] 邱萍. 彩色多普勒超声在糖尿病患者下肢血管病变的诊断价值 [J]. 实用医学影像杂志, 2017, 18 (5) : 393-395.
- [26] Sumpio BE, Lee T, Blume PA. Vascular evaluation and arterial reconstruction of the diabetic foot [J]. Clin Podiatr Med Surg, 2003, 20 (4) : 689-708.
- [27] Fu Z, Zhang J, Lu Y, et al. Clinical applications of superb microvascular imaging in the superficial tissues and organs: a systematic review [J]. Acad Radiol, 2021, 28 (5) : 694-703.
- [28] Li Q, Hu M, Chen Z, et al. Meta-analysis: contrast-enhanced ultrasound versus conventional ultrasound for differentiation of benign and malignant breast lesions [J]. Ultrasound Med Biol, 2018, 44 (5) : 919-929.
- [29] Bonacchi G, Becciolini M, Seghieri M. Superb microvascular imaging: a potential tool in the detection of FNH [J]. J Ultrasound, 2017, 20 (2) : 179-180.
- [30] Machado P, Segal S, Lyschchik A, et al. A novel microvascular flow technique: initial results in thyroids [J]. Ultrasound Q, 2016, 32 (1) : 67-74.
- [31] Chae EY, Yoon GY, Cha JH, et al. Added value of the vascular index on superb microvascular imaging for the evaluation of breast masses: comparison with grayscale ultrasound [J]. J Ultrasound Med, 2021, 40 (4) : 715-723.
- [32] Artul S, Nseir W, Armaly Z, et al. Superb microvascular imaging: added value and novel applications [J]. J Clin Imaging Sci, 2017, 7 (1) : 45.

(收稿:2021-12-09 修回:2022-06-29)

(同行评议专家: 康庆林)

(本文编辑: 宁 桦)