

本文引用:张辰希,严鹭慧,骆斌,眭明红,盛佑祥.微循环血流成像技术在针灸镇痛机制方面的研究进展[J].湖南中医药大学学报,2021,41(6):972-976.

## 微循环血流成像技术在针灸镇痛机制方面的研究进展

张辰希<sup>1,2</sup>,严鹭慧<sup>1,2</sup>,骆斌<sup>1,2</sup>,眭明红<sup>1,3\*</sup>,盛佑祥<sup>1\*</sup>

(1.华中科技大学协和深圳医院康复医学科,广东深圳518052;2.湖南中医药大学,湖南长沙410208;

3.中国科学院深圳先进技术研究院,广东深圳518055)

**[摘要]** 针灸镇痛机制十分复杂,是多种因素相互作用的整合过程,与微循环密切相关。血流动力学变化反映了生物组织代谢与生理功能的状态,临床上可通过测量局部组织血流动力学来反应其微循环功能状态。本文整理概括针灸镇痛改善微循环的血流成像技术,从电子显微学技术、超声多普勒成像、激光多普勒成像、激光散斑成像、近红外光成像技术方面进行分析,总结出针灸镇痛与微循环的关系以及上述检测技术的应用价值。

**[关键词]** 针灸;镇痛机制;微循环;血流成像技术;综述

**[中图分类号]**R245 **[文献标志码]**A **[文章编号]**doi:10.3969/j.issn.1674-070X.2021.06.030

### Development on Research of Microcirculation Blood Flow Imaging Technology in Analgesic Mechanism by Acupuncture and Moxibustion

ZHANG Chenxi<sup>1,2</sup>, YAN Luhui<sup>1,2</sup>, LUO Bin<sup>1,2</sup>, SUI Minghong<sup>1,3\*</sup>, SHENG Youxiang<sup>1\*</sup>

(1. Department of Rehabilitation Medicine, Huazhong University of Science and Technology Union Shenzhen Hospital, Shenzhen, Guangdong 518052, China; 2. Hunan University of Chinese Medical, Changsha, Hunan 410208, China; 3. Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, Guangdong 518055, China)

**[Abstract]** The analgesic mechanism of acupuncture and moxibustion is very complex, which is an integrated process of interaction of many factors and is closely related to microcirculation. Hemodynamic changes reflect the status of metabolism and physiological function of biological tissue, and local tissue hemodynamics can be measured to reflect the status of microcirculation function in clinic. This article summarizes the empirical of acupuncture analgesia improving the flow imaging techniques of microcirculation, by expressing electron microscopy technique, ultrasonic doppler imaging, laser doppler imaging, laser speckle imaging, near-infrared spectroscopy, analyzing and summarizing the relationship between the analgesic effect of acupuncture and moxibustion and microcirculation, and the detection technology of application value.

**[Keywords]** acupuncture and moxibustion; analgesic mechanism; microcirculation; blood flow imaging technology; review

微循环是微动脉、微静脉、毛细血管和组织管道内的血液循环,为组织提供营养和氧气,清除代谢废物,也在维持血流灌注及内环境稳定等方面发挥关键作用<sup>[1]</sup>。针刺镇痛机制十分复杂,是多种因素相互

**[收稿日期]**2020-12-18

**[基金项目]**广东省中医药局科研项目(20201314);中国科学院人机智能协同系统重点实验室开放课题(2014DP173025)。

**[作者简介]**张辰希,女,在读硕士研究生,研究方向:神经康复。

**[通信作者]\***盛佑祥,男,主任医师,硕士研究生导师,E-mail:shyx0666@163.com;眭明红,女,博士,主治医师,E-mail:meekoo@163.com。

作用的整合过程,从外周到中枢涉及整个神经系统,也与神经化学和分子生物学有关,许多生物活性物质参与镇痛,改善了微循环<sup>[2]</sup>。灸法直接作用于局部,可以加速血流量,镇痛机制也与微循环关系密切<sup>[3]</sup>。中医学认为针灸疗法的镇痛机制离不开中医基础理论,通过穴位(包括阿是穴)、经络进行调控,达到活血化瘀、通则不痛的效果<sup>[4]</sup>。

血流动力学变化反映了生物组织代谢与生理功能的状态,临床上可通过测量局部组织血流动力学来反应其微循环功能状态<sup>[5]</sup>。目前,常用电子显微学技术、超声多普勒成像、激光多普勒成像、激光散斑成像、近红外光成像等技术检测局部微循环变化。本文主要介绍微循环血流成像技术在针灸镇痛机制方面的研究进展。

## 1 电子显微学技术

电子显微学是一门综合电子学和光学的技术,在微循环领域中已将电子显微学技术用于研究微血管超微结构<sup>[6]</sup>,主要用于人体甲襞微循环、球结膜微循环等检测,在一定程度上能反映大循环状态<sup>[7]</sup>。

甲襞微循环是临床上常用的观察人体微循环状态的窗口,可以观察血液流态、管祥形态及祥周状态等,与血流动力学密切相关<sup>[8]</sup>。万文蓉等<sup>[9]</sup>研究针刺结合康复训练治疗脑卒中后肩手综合症的临床疗效,利用电子显微学技术,采用微循环分析仪观察患者甲襞微循环的改变,结果发现针刺结合康复训练可以明显减轻患者上肢疼痛程度,明显改善甲襞微循环,其血液流态、管祥形态及祥周状态积分均明显减少。贺金等<sup>[10]</sup>通过微循环分析仪观察到原发性痛经患者存在明显甲襞微循环障碍,可见疼痛的发生与微循环密切相关,其又通过研究发现针灸结合少腹逐瘀胶囊相比单纯用药能够有效减轻疼痛,并能改善甲襞微循环障碍。李坚将等<sup>[11]</sup>研究了三步针罐疗法治疗急性旁侧型腰椎间盘突出症患者,通过微循环显微镜检测甲襞微循环,发现三步针罐疗法较常规针刺治疗者具有明显镇痛效果,且明显改善患者微循环状态。其通过加速血液循环,改善血液微

循环,在局部可以表现为甲襞微循环障碍的改善。甲襞微循环障碍的改善既是针灸作用的结果,又是针灸取得临床疗效的重要机制之一,即微循环的改善与针灸镇痛的机制有关。

因此,若要探讨针灸镇痛与局部微观的变化,可选择电子显微学技术,该技术除了应用于人体微循环检测,也应用于动物实验<sup>[12]</sup>。

## 2 超声多普勒成像技术

超声多普勒成像技术是通过检测血液中超声散射体(红细胞等)的多普勒频移的检测,达到检测血流速度的目的<sup>[13]</sup>,相比于传统的血管造影,能够无创地记录血管的灌注<sup>[14]</sup>,即反映血管的血流动力学的改变,有人将此应用于针灸镇痛作用与疼痛相关性的研究中。

临床应用,痹证的针灸治疗常选取阿是穴<sup>[15]</sup>,阿是穴的理论基础为“以痛为腧”,唐代孙思邈《千金要方》中认为阿是穴既是疾病的反应点,又是针灸的治疗点。伍晓鸣等<sup>[16]</sup>使用高频多普勒超声成像对颈型颈椎病的阿是穴进行初步定位、定性研究,发现其血流信号和血流丰富程度均高于非穴位对照组,说明局部的疼痛与血流灌注密切相关,这也为针灸镇痛的客观评价提供了方法。杨冬梅等<sup>[17]</sup>观察温针灸对膝骨性关节炎患者的临床疗效,采用彩色超声仪检测膝关节血液循环,发现温针灸能缓解关节腔积液及滑膜增厚、改善膝关节血液循环,可能与温针灸镇痛机制有关。高雪晶等<sup>[18]</sup>研究隔药灸脐配合腹针治疗原发性痛经,并使用彩色多普勒超声检查患者的子宫动脉搏动指数和阻力指数,结果发现疼痛减轻,动脉搏动指数和阻力指数均下降,即患者子宫动脉血流状况改善,可能与疼痛的减轻有关。

可见疼痛引起患者局部血流信号改变或者相应血管流速变化均可采用超声多普勒,甚至可精准到单根血管进行血流灌注的评估,然而采用超声多普勒并不方便实时反映针灸带来的微循环改变,即多在治疗前后进行测量,不便于看到血流灌注的改变过程。

### 3 激光多普勒成像技术

激光多普勒成像技术可应用于临床无损伤监测组织中血流灌注率等血流参数,即激光多普勒血流测定(laser doppler flowmetry, LDF),在测量局部组织血流上具有无创、实时、操作简便的特点<sup>[19]</sup>,这使得研究针灸在机体微循环的作用可以做到量化。

Hsiu 等<sup>[20]</sup>采用 LDF 技术研究针刺合谷穴和附近的两个非穴位的皮肤血流信号,结果显示针刺合谷穴可显著增加血流量,但对非穴位无明显影响。这是该技术首次被用于研究针刺引起的微循环血流反应中,揭示了针刺合谷穴与附近非穴位之间可能存在的交感神经活动差异,这也为进一步研究针刺镇痛与局部微循环的关系提供了方法。Paulson 等<sup>[21]</sup>研究了针刺对实验性前臂疼痛的交感神经系统反应,测量交感神经系统的变化被认为是一种客观的疼痛测量方法,当出现疼痛时,交感神经系统以一种可预测的生理模式作出反应,包括出汗增多、皮肤循环减少、骨骼肌循环增加。以 LDF 技术测量皮肤灌注情况,发现针刺升高前臂局部血流灌注,这可能与针刺镇痛机制相关。Min 等<sup>[22]</sup>研究不同手法强度下针刺合谷穴引起局部微循环的变化,即采用 LDF 技术分析皮肤血液灌注的变化,并探讨这些变化与针刺镇痛作用的关系。该研究表明,重复针刺治疗比单次治疗或单纯将针插入能够在相关部位更大程度地增加皮肤血流灌注、减轻压力疼痛,证明局部微循环的增加可能会影响针刺的镇痛作用。

探讨疼痛与单根血管或局部多血管的血流灌注关系时均可以使用激光多普勒成像技术,但监测大面积区域血管的流速需加扫描装置,从而限制了成像的时间或空间分辨率<sup>[23]</sup>。

### 4 激光散斑成像技术

激光散斑成像(laser speckle imaging, LSI),又称为激光散斑衬比成像(laser speckle contrast imaging, LSCI),是一种无需扫描便可一次性对大范围器官或组织表面的血流进行采样的新型技术,能够实时提供血管结构像和血流功能像,无需接触,具有高

分辨率、无创、快速、操作简便等优点<sup>[24]</sup>,使其在皮肤或组织表面的微循环血流灌注的动态监测方面发挥重要作用<sup>[25]</sup>。

随着激光技术在医学领域中应用范围的不断扩展,除了对疾病的诊断和治疗外,激光散斑衬比成像技术也被应用于针灸-微循环的研究中<sup>[26]</sup>,但在针灸镇痛的研究中较少。Huang 等<sup>[27]</sup>使用 LSI 观察针刺合谷穴治疗原发性痛经的过程中血管舒缩幅度和毛细血管灌注的变化,发现疗程结束后疼痛指数和视觉模拟量表均明显降低,血流量略有下降,毛细血管舒缩幅度明显增加。张小卿等<sup>[28]</sup>运用 LSI 观察膝骨性关节炎病理性结筋病灶点血流灌注量,结筋病灶点多有压痛,常被用于针刺治疗,针刺即刻结筋病灶点的血流灌注量显著升高,这可能与针刺镇痛机制有关。刘珊珊等<sup>[29]</sup>观察艾灸对寒湿凝滞型原发性痛经患者的疗效,采用激光散斑观察循脾经阿是穴和三阴交穴区的血流灌注量变化,发现随着患者疼痛的减轻,穴区血流量代偿性趋向于正常状态,即艾灸对寒湿凝滞型原发性痛经有效,能够影响微血管的舒缩功能,使得局部的微循环障碍改善。

检测局部小范围或较大面积的血流灌注量均可以使用激光散斑,但由于成像深度受到激光在人体组织中穿透深度的限制,目前局限于组织表层的血管和血流成像。基于此,LSI 可以用于针灸、火罐、艾灸等治疗的量化评估<sup>[30]</sup>,还可以用于针灸效应、穴位特异性、经穴-脏腑相关性等方面的研究<sup>[31]</sup>。

### 5 近红外光成像技术

近红外光成像(near-infrared spectroscopy, NIRS)是一种安全、无创、简便、无污染且具有高时间分辨率的技术,对血液成分(血红蛋白等)进行无创检测,可以穿透组织 2~4 cm 的深度,检测组织灌注变化方面更为敏感<sup>[32]</sup>,已被应用于医疗技术领域疾病的诊治和病理机制的研究等<sup>[33]</sup>。

目前,NIRS 在研究针灸与肌肉组织微循环的报告较少<sup>[34]</sup>。Ohkubo 等<sup>[35]</sup>在针刺可改善肌肉疼痛的研究中,采用 NIRS 研究来比较针刺刺激斜方肌时不同区的血容量和氧合情况,发现针刺在刺激区域引

起非一过性的肌肉血容量和氧合的局部增加,该实验也为针刺镇痛提供了血液动力学基础。Kimura 等<sup>[36]</sup>根据电针可以改善局部血流量,在许多疾病中都可以缓解疼痛的作用原理,应用 NIRS 研究不同频率的电针对肌肉氧合的影响,得出电针促进肌肉的血流和供氧达到镇痛作用的最佳频率,说明针刺可以改善局部血流量和氧合情况。

利用 NIRS 可检测大脑和肌肉组织的微循环,因此,在针灸镇痛的局部效应或脑部血流改变方面均可使用近红外光谱<sup>[37-38]</sup>。基于 NIRS 可以测量血氧含量,可进一步探讨针灸镇痛与血氧含量之间的关系,这也是该技术的一大优势。

## 6 结语

随着科技的发展,仪器设备的不断完善,针灸镇痛与局部微循环的研究也得到了相应的发展。以上多种研究表明,疼痛影响局部微循环,针灸治疗疼痛效果明显,可以使穴区、局部或经络-脏腑相关部位血流量增加、血流速度加快等,从而改善微循环障碍。掌握不同微循环检测技术的特点,根据研究目的及内容选择合适的技术,可以从不同层面去了解针灸镇痛与局部微循环的关系,有利于进一步的研究。

## 参考文献

- [1] 田 牛.微循环学[M].北京:原子能出版社,2004.
- [2] 韩济生.针刺镇痛研究[J].针刺研究,2016,41(5):377-387.
- [3] 徐森磊,张宏如,顾一煌.艾灸温热刺激对血流量的增加作用及其相关机制探讨[J].针刺研究,2018,43(11):738-743.
- [4] 石学敏.针灸学:[英汉对照][M].北京:高等教育出版社,2007.
- [5] NADER E, SKINNER S, ROMANA M, et al. Blood rheology: Key parameters, impact on blood flow, role in sickle cell disease and effects of exercise[J]. *Frontiers in Physiology*, 2019, 10: 1329.
- [6] 陶长路,张 兴,韩 华,等.前沿生物医学电子显微技术的发展态势与战略分析[J].中国科学:生命科学,2020,50(11):1176-1191.
- [7] 林丽娇,许金森,朱小香,等.针灸影响微循环的研究进展[J].中国针灸,2015,35(2):203-208.
- [8] 田 牛,胡金麟,刘育英,等.主要常见病甲襞微循环改变重复性的研究[J].微循环学杂志,1998,8(4):1-4,59-55.
- [9] 万文蓉,王天磊,程绍鲁,等.针刺结合康复治疗中风后肩手综合征:随机对照研究[J].中国针灸,2013,33(11):970-974.
- [10] 贺 金,李仲平,熊爱莲,等.针药合用治疗对原发性痛经患者甲襞微循环的影响[J].中国中医基础医学杂志,2008,14(6):445-446.
- [11] 李坚将,李 东,刘 辉.三步针罐疗法治疗急性旁侧型腰椎间盘突出症的疗效及其对甲襞微循环的影响[J].中国全科医学,2009,12(14):1341-1343.
- [12] 肖姮,阳仁达,田浩梅,等.针刺联合亚低温对脑缺血/再灌注损伤大鼠 Bcl-2, Bax, Caspase-3 蛋白表达的影响[J].湖南中医药大学学报,2016,36(2):58-61.
- [13] OGLAT A A, SUARDI N, MATJAFRI M Z, et al. A review of suspension-scattered particles used in blood-mimicking fluid for Doppler ultrasound imaging[J]. *Journal of Medical Ultrasound*, 2018, 26(2): 68-76.
- [14] TABUCHI K, KOBAYASHI T, KUMAGAI J, et al. Evaluation of percutaneous transluminal angioplasty screening using color Doppler ultrasonography[J]. *The Journal of Vascular Access*, 2015, 16(Suppl 10): S53-S57.
- [15] 胡明岸,刘迈兰,黄河,等.从阿是穴与穴位敏化的关系探讨针灸治病选穴原则[J].中华中医药杂志,2020,35(11):5477-5479.
- [16] 伍晓鸣,田丰玮,谢昭鹏,等.颈型颈椎病阿是穴的超声影像研究[J].中国针灸,2017,37(4):395-399.
- [17] 杨冬梅,林诗彬,梁振波,等.温针灸治疗膝关节骨性关节炎疗效的超声监测[J].重庆医学,2016,45(27):3860-3862.
- [18] 高雪晶,方剑乔.隔药灸脐配合腹针治疗原发性痛经的疗效观察[J].上海针灸杂志,2019,38(7):754-757.
- [19] KUBASCH M L, KUBASCH A S, TORRES PACHECO J, et al. Laser Doppler assessment of vasomotor axon reflex responsiveness to evaluate neurovascular function[J]. *Frontiers in Neurology*, 2017, 8: 370.
- [20] HSIU H, HSU W C, HSU C L, et al. Assessing the effects of acupuncture by comparing needling the Hegu acupoint and needling nearby nonacupoints by spectral analysis of microcirculatory laser Doppler signals[J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011, 2011: 435928.
- [21] PAULSON K L, SHAY B L. Sympathetic nervous system responses to acupuncture and non-penetrating sham acupuncture in experimental forearm pair: A single-blind randomised descriptive study[J]. *Journal of the British Medical Acupuncture Society*, 2013, 31(2): 178-184.
- [22] MIN S, LEE H, KIM S Y, et al. Local changes in microcirculation and the analgesic effects of acupuncture: A laser Doppler perfusion imaging study[J]. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*

- tary Medicine, 2015, 21(1): 46-52.
- [23] RAJAN V, VARGHESE B, LEEUWEN T G, et al. Review of methodological developments in laser Doppler flowmetry[J]. Lasers in Medical Science, 2009, 24(2): 269-283.
- [24] 李晨曦,陈文亮,蒋景英,等.激光散斑对比血流成像技术研究进展[J].中国激光,2018,45(2):92-101.
- [25] HEEMAN W, STEENBERGEN W, VAN DAM G, et al. Clinical applications of laser speckle contrast imaging: a review[J]. Journal of Biomedical Optics, 2019, 24(8): 1-11.
- [26] LIN Y Y, YAO T T, ZHENG L, et al. Application of laser speckle contrast imaging technology to researches on acupuncture and microcirculation[J]. Acupuncture Research, 2020, 45(6): 513-516.
- [27] HUANG T, YANG L J, JIA S Y, et al. Capillary blood flow in patients with dysmenorrhea treated with acupuncture[J]. Chung i Tsa Chih Ying Wen Pan, 2013, 33(6): 757-760.
- [28] 张小卿,董宝强,林星星,等.基于激光散斑成像技术观察健康人筋结点与 KOA 患者结筋病灶点血流灌注量的变化[J].北京中医药大学学报,2018,41(7):611-616.
- [29] 刘姗姗,陈唯依,于佳乐,等.艾灸对寒湿凝滞型原发性痛经患者疗效及穴区血流量的影响[J].中国中西医结合杂志,2020,40(9): 1132-1134.
- [30] 贾亚威,杨 晖,李 然,等.激光散斑血流成像对中医理疗功效的检测[J].光学精密工程,2017,25(6):1410-1417.
- [31] 周 洁,蔡定均,周玉梅,等.激光散斑成像技术在针灸影响微循环研究中的应用分析[J].时珍国医国药,2016,27(5):1193-1195.
- [32] BEC K B, GWABSKA J, HUCK C W. Near-Infrared Spectroscopy in Bio-Applications[J]. Molecules, 2020, 25(12): 2948.
- [33] SAKUDO A. Near-infrared spectroscopy for medical applications: Current status and future perspectives[J]. Clinica Chimica Acta, 2016, 455: 181-188.
- [34] LO M Y, ONG M W, CHEN W Y, et al. The effects of acupuncture on cerebral and muscular microcirculation: A systematic review of near-infrared spectroscopy studies[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2015, 2015: 839470.
- [35] OHKUBO M, HAMAOKA T, NIWAYAMA M, et al. Local increase in trapezius muscle oxygenation during and after acupuncture[J]. Dynamic Medicine, 2009, 8(1): 1-8.
- [36] KIMURA K, RYUJIN T, UNO M, et al. The effect of electroacupuncture with different frequencies on muscle oxygenation in humans[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2015, 2015: 620785.
- [37] FELDMANN A, SCHMITZ R, ERLACHER D. Near-infrared spectroscopy-derived muscle oxygen saturation on a 0% to 100% scale: reliability and validity of the Moxy Monitor[J]. Journal of Biomedical Optics, 2019,24(11):1-11.
- [38] SCHOLKMANN F, KLEISER S, METZ A J, et al. A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology[J]. Neuroimage, 2014, 85: 6-27.

(本文编辑 匡静之)