

• 综述 •

高频超声在周围神经损伤中的研究进展

黄 岚, 卢惠萍[△]

(福建中医药大学第二临床医学院,福建 福州 350030)

[摘要] 周围神经损伤(PNI)是一种常见的慢性疾病,临床表现主要以疼痛和功能障碍为主。近年来,对PNI诊疗方法的研究得到了越来越多的关注。在目前相关的临床实践中,高频超声以其高分辨率及诊断率,在PNI中的应用越来越多。该文通过检索相关文献及报道内容,阐述高频超声在诊断和治疗PNI方面的原理和作用,为PNI的临床诊治提供科学依据及思路。

[关键词] 高频超声; 周围神经损伤; 超声引导; 综述

DOI: 10.3969/j.issn.1009-5519.2025.08.041 **中图法分类号:** R445.1

文章编号: 1009-5519(2025)08-1977-04 **文献标识码:** A

Research progress of high-frequency ultrasound in peripheral nerve injury

HUANG Lan, LU Huiping[△]

(The Second Clinical School of Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou, Fujian 350030, China)

[Abstract] Peripheral nerve injury (PNI) is a common chronic disease, and its clinical manifestations are mainly pain and functional impairment. In recent years, the research on the diagnosis and treatment methods of peripheral nerve injury has received increasing attention. At present, in the relevant clinical practice, high-frequency ultrasound is increasingly applied in peripheral nerve injury due to its high resolution and diagnostic rate. This article expounds the research progress of high-frequency ultrasound in peripheral nerve injury by retrieving relevant literature and report contents, and provides a scientific basis and ideas for the clinical diagnosis and treatment of PNI.

[Key words] High-frequency ultrasound; Peripheral nerve injury; Ultrasonic guidance; Review

周围神经损伤(PNI)是指大脑和脊髓以外的神经由于挤压、拉伸、切割等原因而受到的损伤,其表现为损伤的区域或神经支配的区域出现运动、感觉和自主神经功能障碍^[1]。有报道显示,近年来有大概2 000万人患有PNI,中国的发病人数每年高达60~90万^[2]。PNI后会导致损伤神经的感觉功能减退,支配的肌肉疼痛、无力、反射减退,长时间未治疗会导致肌肉萎缩,严重影响患者生活质量,所以及时诊断并治疗是至关重要的。诊断PNI,需要结合患者的临床症状、体格检查及辅助检查结果。临床目前多采用针极肌电图检查作为“金标准”^[3],但肌电图检查存在一定的局限,无法精准确定病变的具体位置^[4]。近年来,超声技术逐渐发展,高频超声因为能清晰的显现周围神经的结构及周围组织情况,所以在诊断和治疗PNI中发挥的作用越来越受重视。

1 高频超声检查PNI的原理

目前临床诊断PNI多采用神经-电生理检查,即神经肌电图^[5]。但这是一种有创性的检查方法,会导致患者疼痛,因此不能反复检查,同时这种检查方法不能直观的观察患者病变神经与周围组织的情况,导

致临床医生在判断病情方面没有更切实、精确的解剖和影像依据,在临床治疗上具有一定的盲目性^[6]。随着技术的发展,高频超声被广泛应用于各个方面,包括PNI,相较于传统的检查方式,高频超声有其特有的优势。

高频超声是应用高频超声波来诊断肌肉、骨骼、关节、神经、肌腱和韧带等部位病变的一种新兴技术^[7]。高频超声相较于神经-电生理检查,具有无创性、可反复操作性,同时可以动态成像及反映周围神经的解剖结构,从而分析周围神经的完整长度^[8]。在高频超声短轴(横向)和长轴(纵向)上,周围神经有其特殊的成像特点,因为神经束与周围神经束膜结构不同,所以在高频超声短轴上会表现出特征性的回声模式,神经束群会呈现出暗点状,而包裹神经束的周围神经束膜是高回声,就会形成典型的“蜂窝状”^[9]。周围神经在长轴成像中通常表现为由多个平行的低回声带(神经束)及高回声带(神经束膜)均匀组成的管状束样^[10],但是当PNI时,神经纤维束由于肿胀会聚集,从而降低神经束膜的回声,所以在成像上表现为均匀的低回声纹理^[11]。临幊上在治疗方面较多采用

[△] 通信作者, E-mail: 2209817116@qq.com。

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20250610.1311.004\(2025-06-10\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20250610.1311.004(2025-06-10))

高频超声探头的频率在 5~18 MHz,因为在这种频率下病变部位的神经、中小动脉及细小的针尖都可以清晰的显现出来^[12]。

2 高频超声在诊断 PNI 中的应用

2.1 神经损伤的超声表现 PNI 的原因很多,常见的有创伤、局部压迫、肿瘤等,尽早的诊断及尽快的制订正确的治疗方案是治愈 PNI 的关键。PNI 按损伤严重程度可分为 5 级^[13],不同等级在超声下呈现的影像表现不同^[14],见表 1。

表 1 PNI 不同损伤程度影像表现

损伤级别	神经结构表现	超声表现
I~Ⅲ级	外膜和束膜完整	神经无明显异常或略增粗
Ⅳ级	外膜完整,束膜内结构变性	神经内出现肿大的结节样改变
Ⅴ级	外膜和束膜断裂	神经断端之间出现间隙

2.2 卡压性 PNI 的超声表现 周围神经卡压,是神经受损中较为常见的类型,病变可发生在神经的任何位置。有研究发现,神经被卡压后,会增加束膜的通透性,蛋白质和水外渗,影响正常轴索细胞质的流动,从而引起神经束膜内压力的升高,超声表现为神经横截面的增加,神经束的“蜂窝状”会消失,受压区域出现回声增强、神经外膜增厚^[15]。在对腕管综合征的病例研究发现,正中神经增大、卡压部位的远端桡骨近端神经表现为低回声、屈肌支持带和腕管远端神经出现凹陷或平坦被称为典型的超声三联征^[16]。有研究结果表明,在使用高频超声技术比较患者和健康人卡压部位远端的尺神经和正中神经之后,发现神经损伤患者的神经横截面面积明显高于健康人,这也是高频超声诊断这类疾病的优势所在^[17]。

2.3 代谢性 PNI 的超声表现 代谢性 PNI 临幊上较为常见的是糖尿病所引起的 PNI 疾病,发病率占糖尿病总数的 40%~60%。超声影像下可以观察到病变的神经纤维体积增大和横截面增宽,其形成原因是在高血糖环境中,周围神经附近沉积了大量的山梨醇和果糖,细胞内渗透压增高,导致神经细胞水肿^[18]。唐一植等^[3]利用高频超声对糖尿病患者周围神经横截面与健康人群进行对比,结果发现,患者的最大神经束厚度、神经平均横截面积均高于健康人群,由此可见高频超声在糖尿病 PNI 的诊断中有较高的敏感性。

2.4 肿瘤性 PNI 的超声表现 肿瘤性 PNI 通常包括神经鞘瘤和神经纤维瘤,临幊上最常见的是神经鞘瘤。这类肿瘤不会损伤神经束的基本结构,而是随着肿瘤体积的增大,逐渐增大对神经束的压力,最后可以直接连接到神经干,形成特征性的“鼠尾状”征象^[19]。路易思^[20]对已确诊为神经鞘瘤的患者进行高频超声检查,结果表明,所有患者的高频超声影像均清晰地反映病变神经与肿瘤之间的关系。由此可见,高频超声对诊断肿瘤性 PNI 具有较高的应用价值。

2.5 创伤性 PNI 的超声表现 创伤性 PNI 主要临幊表现为神经离断。神经断裂后,施万细胞会在断裂处大量聚集,并进行分裂、增生,神经纤维会增厚^[21]。远端的神经残端在进行修复时,与未损伤的神经末梢形成创伤性的神经瘤,所以在高频超声下能观察神经的增粗、肿大、血肿,从而形成创伤性神经瘤^[22]。高频超声对诊断创伤性 PNI 疾病来说,操作方便、效能高。

3 高频超声在治疗 PNI 中的应用

3.1 PNI 的治疗方法

3.1.1 药物治疗 PNI 的药物治疗可分为针对病因和改善症状 2 个方面,病因治疗如:糖尿病周围神经病变需要用药物控制血糖、纠正代谢紊乱等,常用的有硫辛酸、依帕司他等^[23]。基础用药主要为营养神经类药物,如甲钴胺、B 族维生素、神经生长因子、三磷酸胞苷二钠等,都可以促进损伤神经的修复^[24]。其改善症状作用主要是止痛治疗,临幊使用较多的是普瑞巴林、加巴喷丁等,因其具有镇痛、抗惊厥功效,是临幊治疗此病引起神经痛的一线用药^[25]。

3.1.2 手术治疗 PNI 的手术治疗临幊上常用的是神经松解术和神经缝合术。神经松解术是分离切除损伤神经形成的疤痕组织,解除神经受压,有利于神经修复^[26]。神经缝合术方法有神经外膜缝合、神经束膜缝合及神经外膜束膜联合缝合 3 种^[27],其中外膜缝合方法简单,对神经、血管损伤小,因为这种方法仅缝合外膜,不缝合神经质,主要适用于周围神经近端损伤;后两者缝合都需要在显微镜下进行操作,主要适用于周围神经远端损伤缝合^[28]。

3.1.3 物理治疗 物理治疗的主要作用是改善血液循环,调节神经状态,促进损伤神经的修复,包括低频电刺激、体外冲击波、经皮神经肌电刺激等。何莲等^[29]使用低频电刺激治疗坐骨神经卡压伤模型大鼠的研究结果显示,在神经传导速度及再生程度方面,治疗组效果优于对照组。有研究表明,体外冲击波疗法可以促进 PNI 后神经再生和增强步态功能^[30]。临幊研究发现,经皮神经肌电刺激疗法通过改善血液循环,刺激神经生长修复,进而改善患者的临床症状,提高感觉和运动功能^[31]。

3.1.4 中医治疗 中医学中多将 PNI 疾病归为“痹”和“痿”的范畴,中医文献中对此类疾病的病因阐述为“邪中于经为痹,邪中于络为痿”;同时《素问·痹论》也记载到“风寒湿三气杂至,合而为痹。其风气盛者为行痹,寒气盛者为痛痹,湿气盛者为着痹也”。病机在于肝肾亏虚、气血不足、气阴两虚、气血运行不畅、脉络瘀阻等^[32]。中医治疗此类疾病以针刺和内服中药为主,内服多采用益气养血、化瘀通络功效的方药,如黄芪桂枝五物汤^[33]、补阳还五汤^[34]等。针刺作为一种传统、便捷、有效的治疗方式,广泛运用于临幊治疗 PNI。有研究表明,针刺可加快运动神经及感觉神经的传导速度^[35-36],缓解疼痛^[37],达到缩短疗程及减少费用的目的。临幊治疗取穴上多为病变部位的局

部取穴及沿神经支配的肢体经脉循行取穴。有研究发现,上肢 PNI 取穴多以合谷、曲池为主,下肢以足三里、阳陵泉、环跳、昆仑、绝骨、申脉、委中为主^[38]。同时,还可以搭配电针进行治疗,李文新等^[39]在对坐骨神经钳夹损伤模型大鼠使用不同频率电针干预的实验中发现,电针可以延缓神经元的凋亡,且低频效果优于高频。

3.2 高频超声引导下的 PNI 治疗

3.2.1 高频超声引导下的药物注射治疗 PNI 处于急性发作期时可通过服用止痛药或物理疗法缓解疼痛,但因为周围神经具有一定的自我修复和再生能力,当患者处于平稳期时可通过药物营养神经以促进恢复神经功能。李莹等^[40]应用鼠神经生长因子通过不同给药方式修复 PNI 的研究发现,在神经损伤处进行局部药物注射,因为增加了损伤处的药物浓度而具有更好的营养神经效果。随着超声技术的发展,高频超声引导下的药物注射在临床治疗 PNI 得到广泛应用。张傲秋^[41]使用超声引导下靶点注射甲钴胺治疗 PNI 的研究结果显示,治疗后损伤神经的传导速度及感觉功能均高于对照组。有研究表明,高频超声引导下注射血小板血浆可有效缓解 PNI 疼痛,促进神经修复^[42-43]。

3.2.2 高频超声引导下的小针刀治疗 小针刀疗法是一种微创技术,将小针刀刺入病变深部,对有害组织进行剥离和切割,可以达到止痛、修复的目的^[44]。相较于传统手术治疗,小针刀的优势在于创口及损伤小,缩短了治疗和康复的周期,患者有较高的依从性^[45]。冯艳等^[46]在利用超声下细针穿刺改良小针刀治疗腕管综合征的研究发现,在高频超声引导下的小针刀治疗,具有损伤更小、疼痛更轻的优点,因为高频超声不仅可以全程实时动态观察针刀的位置和方向,还可以清晰的显现出周围的血管及神经的走向,更能精准和更快地完成治疗过程。

3.3.3 高频超声引导下的针灸治疗 针灸作为祖国传统医学技术,因其操作简单、效果好被广泛应用于临床。利用高频超声可准确显现周围神经组织损伤的范围及程度的优势,在临床应用上有助于针灸的取穴定位^[47]。严骄俊等^[48]通过超声对针刺穴位的相关研究发现,在超声引导下的取穴定位准确度更高,对病变部位的确定符合中医“以痛为腧”的标准化取穴。伍晓鸣等^[49]在利用超声对针刺得气的相关研究中表明,得气感最强的地方是当针尖位置处于肌筋膜旁及筋膜集中处,证明在超声引导下,针刺得气有效率更高。姚婕等^[50]通过对高频超声定位下火针治疗带状疱疹后遗神经痛疗效观察研究的发现,在高频超声引导下,火针针刺可以直达病变部位,迅速松解粘连的神经,促进神经修复,缓解疼痛。

4 小结与展望

传统检查技术在诊断 PNI 时,由于无法反映病变神经状态及周围组织情况,存在局限性。高频超声作

为新兴技术,在诊断 PNI 领域提供了新方法,不仅可以对不同类型的损伤进行诊断,还可以在超声引导下对 PNI 进行治疗。但超声诊断能否替代肌电图检查诊断 PNI 还缺少实验验证和存在临床争议。同时,关于超声引导下治疗 PNI 的临床研究较少,且缺乏大样本的人体试验数据支持,所以目前还没有规范治疗的指南或专家共识。希望未来有进一步进行大样本、多中心、长时间的临床研究,为后续治疗 PNI 疾病提供更加科学的依据。

参考文献

- [1] PALOMBELLA S, GUIOTTO M, HIGGINS G C, et al. Human platelet lysate as a potential clinical-translatable supplement to support the neurotrophic properties of human adipose-derived stem cells[J]. Stem Cell Res Ther, 2020, 11(1): 432.
- [2] CHU X, SONG X, LI R, et al. Multielectrode array-based percutaneous nerve stimulation strategy with ultrasound guidance for ulnar nerve injury[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2023, 31: 1502-1510.
- [3] 唐一植,陈伟,靳丽嘉,等.高频超声结合剪切波弹性成像在诊断糖尿病周围神经病变中的应用价值[J].四川医学,2020,41(12): 1217-1222.
- [4] 汤家益,倪华栋,姚明.神经电生理检测技术在带状疱疹诊断及治疗中的应用进展[J].现代实用医学,2023,35(2): 148-152.
- [5] TANET A, SERRANOKC P, BHATTIP B, et al. Quantitative MRI differentiates electromyography severity grades of denervated muscle in neuropathy of the brachial plexus[J]. J Magn Reson Imaging, 2022, 56(4): 1104-1115.
- [6] 邹云华,侯晓东,范桃红.高频超声和神经电生理对 2 型糖尿病受检者下肢周围神经病变的评价[J].云南医药,2020,41(3): 240-242.
- [7] 邵微刚,祁文,李哲榕,等.肌肉骨骼超声技术在临床疾病诊治的作用研究进展[J].辽宁中医药大学学报,2023,25(11): 132-138.
- [8] SCHOLZ J, FINNERUP N B, ATTAL N, et al. The IASP classification of chronic pain for ICD-11: chronic neuropathic pain[J]. Pain, 2019, 160(1): 53-59.
- [9] HUJM A, JINXQ P, JIANGYY B, et al. Ultrasound image characteristic analysis of sciatic nerve and main branches in third trimester[J]. World Neurosurg, 2021, 149: 316-324.
- [10] HOLZGREFE R E, WAGNER E R, SINGER A D, et al. Imaging of the peripheral nerve: concepts and future direction of magnetic resonance neurography and ultrasound[J]. J Hand Surg Am, 2019, 44(12): 1066-1079.
- [11] MOLLER I, MIGUEL M, BONG D A, et al. The peripheral nerves: update on ultrasound and magnetic resonance imaging[J]. Clin Exp Rheumatol, 2018, 36 Suppl 114(5): 145-158.
- [12] 林冬喜,田力,王建明,等.超声引导下中西医结合治疗中老年肌肉骨骼疼痛进展[J].中国医学影像技术,2023,39

- (8):1265-1267.
- [13] 连文琦, 黄启顺. 周围神经损伤的分类及潜在治疗方法 [J]. 华中科技大学学报(医学版), 2023, 52(1): 123-127.
- [14] 孟祥龙, 尹维田. 超声技术在周围神经损伤中的应用及研究进展 [J]. 中国实验诊断学, 2023, 27(12): 1489-1493.
- [15] 代建成, 罗平平, 梁键锋, 等. 2 型糖尿病下肢周围神经病变的超声形态参数与密歇根神经病变筛查评分系统的关系研究 [J]. 中国医学工程, 2018, 26(9): 30-33.
- [16] 王天琦, 李国忠, 钟镝. 常见周围神经病变的超声表现分析 [J]. 神经损伤与功能重建, 2023, 18(2): 103-105.
- [17] 周诗力. 二型糖尿病周围神经病变胫神经的横截面积与弹性成像的应用分析 [D]. 衡阳: 南华大学, 2020.
- [18] 赵阳, 文珂, 沈全明. 2 型糖尿病周围神经病变高频超声声像图特征与神经电生理参数的相关性 [J]. 临床与病理杂志, 2021, 41(12): 2923-2929.
- [19] ABREU E, AUBERT S, WAVREILLE G, et al. Peripheral tumor and tumor-like neurogenic lesions [J]. Eur J Radiol, 2013, 82(1): 38-50.
- [20] 路易思. 高频超声在周围神经病变诊断中的应用及进展 [J]. 现代医用影像学, 2023, 32(2): 240-243.
- [21] KELE H. Ultrasonography of the peripheral nervous system [J]. Perspectives in Medicine, 2012, 18(4): 417-421.
- [22] TOIA F, GAGLIARDO A, D'ARPA S, et al. Preoperative evaluation of peripheral nerve injuries: what is the place for ultrasound? [J]. J Neurosurg, 2016, 125(3): 603-614.
- [23] 柏秀玲. α -硫辛酸与甲钴胺治疗 2 型糖尿病周围神经病变临床效果对比 [J]. 糖尿病新世界, 2022, 25(3): 188-191.
- [24] 李慧芳. 糖尿病周围神经病变药物治疗进展 [J]. 海峡药学, 2023, 35(8): 1-4.
- [25] 尤兴正. 普瑞巴林治疗带状疱疹后神经痛患者的临床效果 [J]. 中国医药指南, 2021, 19(31): 89-91.
- [26] 韩秀月. 周围神经损伤的手术治疗进展 [J]. 实用手外科杂志, 2007, 21(2): 103-105.
- [27] 彭徐云, 陶治. 周围神经损伤修复的研究进展 [J]. 沈阳医学院学报, 2020, 22(2): 174-178.
- [28] 刘耿, 张红星, 胡雷鸣, 等. 神经外膜与神经束膜吻合术在尺神经损伤修复中的应用效果 [J]. 中国实用神经疾病杂志, 2016, 19(20): 36-37.
- [29] 何莲, 吕名萱, 阮琳, 等. 低频电刺激促进周围神经再生和功能恢复的动物实验研究 [J]. 河北医科大学学报, 2019, 40(4): 396-400.
- [30] PARK H J, HONG J, PIAO Y B, et al. Extracorporeal shockwave therapy enhances peripheral nerve remyelination and gait function in a crush model [J]. Adv Clin Exp Med, 2020, 29(7): 819-824.
- [31] 谭润. 对周围神经损伤患者经皮神经肌电刺激治疗的临床效果分析 [J]. 中国现代药物应用, 2018, 12(4): 57-59.
- [32] 张新龙, 兰垂世, 刘建平, 等. 中西医结合治疗桡神经损伤研究进展 [J]. 现代临床医学, 2022, 48(1): 78-80.
- [33] 高明. 中西医结合治疗肱骨骨折合并桡神经损伤的临床观察 [J]. 中国中医药现代远程教育, 2019, 17(2): 115-117.
- [34] 罗贤红, 卢敏, 李雄, 等. 加味补阳还五汤治疗外伤性周围神经损伤脉络瘀阻证 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(9): 167-171.
- [35] 李桂云, 张雅琼, 刘攀云, 等. 针灸结合常规西药治疗糖尿病周围神经病变的临床效益探讨 [J]. 中国医药, 2021, 16(6): 861-864.
- [36] 王栋才. 针灸辅助治疗糖尿病周围神经病变对神经功能恢复及预后的影响 [J]. 上海针灸杂志, 2017, 36(12): 1439-1442.
- [37] 舒文, 冉津川, 陈炳力, 等. 针刺荥俞合穴治疗 2 型糖尿病周围神经病变疗效观察 [J]. 中国针灸, 2021, 41(8): 866-870.
- [38] 巫燕芬, 刘心悦, 马子骞, 等. 基于数据挖掘探讨针灸治疗化疗所致周围神经病变的取穴规律 [J]. 北京中医药, 2021, 40(3): 291-295.
- [39] 李文新, 陈怡然, 伊娜, 等. 电针不同频率对坐骨神经损伤大鼠脊髓 Bcl-2, Bax 及 p53 表达的影响 [J]. 中华中医药学刊, 2020, 38(8): 75-78.
- [40] 李莹, 于培河. 鼠神经生长因子不同给药方式修复周围神经损伤的效果观察 [J]. 中国药物滥用防治杂志, 2021, 27(4): 606-608.
- [41] 张傲秋. 超声引导下靶点注射甲钴胺对周围神经损伤康复效果分析 [J]. 华夏医学, 2024, 37(1): 83-88.
- [42] 朱亚琼, 金壮, 汪靖, 等. 超声引导注射富血小板血浆修复坐骨神经挤压伤 [J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(20): 3196-3201.
- [43] MALAHIAS M A, JOHNSON E O, BABIS G C, et al. Single injection of platelet-rich plasma as a novel treatment of carpal tunnel syndrome [J]. Neural Regen Res, 2015, 10(11): 1856-1859.
- [44] 柏天山, 赵秀凤, 黎明明. 56 例手部狭窄性腱鞘炎患者药物封闭后行 12 号注射针头运用小针刀原理治疗效果及 VAS 评分观察 [J]. 湖南师范大学学报: 医学版, 2020, 17(6): 210-213.
- [45] HANJH S, LEEH J, WOOSH O, et al. Effectiveness and safety of acupotomy on lumbar spinal stenosis a pragmatic randomized controlled pilot clinical trial a study protocol [J]. J Medicine Baltimore, 2021, 100(51): e28175.
- [46] 冯艳, 秦昕, 邢瑞林, 等. 超声下细针穿刺改良小针刀在腕管综合征治疗中的应用效果 [J]. 影像科学与光化学, 2022, 40(5): 1051-1055.
- [47] 刘洋, 车艳玲, 徐亦乐, 等. 超声辅助针刺治疗 [J]. 中国介入影像与治疗学, 2024, 21(3): 179-181.
- [48] 严骄俊, 蔚朗, 王政研, 等. 多模态超声成像对针刺温溜穴空间及生物力学特异度的研究 [J]. 中国超声医学杂志, 2019, 35(3): 275-278.
- [49] 伍晓鸣, 毛翔, 周熙, 等. 用肌骨超声技术探索针刺足三里穴“得气”相关的局部组织特征 [J]. 针刺研究, 2017, 42(5): 444-448.
- [50] 姚婕, 史敏娜, 景慧玲, 等. 高频超声定位下火针治疗带状疱疹后遗神经痛的疗效观察 [J]. 中国中医急症, 2024, 33(1): 133-135.