

# 剪切波弹性成像在周围神经及肌肉组织中的应用进展

徐 焱 冉海涛 张 花

**摘 要** 目前神经、肌肉的慢性病变如糖尿病周围神经病变等具有病程较长、损伤不可逆等特点,若未及早诊断和干预可能出现不可逆的致残、致死。CT、MRI及二维超声等常规影像学检查方法仅能在神经或肌肉出现明显形态学改变时进行观察,而在病变早期尚未发生明显形变时无法进行诊断。剪切波弹性成像作为一种超声检查新技术,具有安全、实时、定量及价廉等优点,可作为神经及肌肉组织病变检查及长期随访的方法。本文就剪切波弹性成像在神经及肌肉组织中的应用进展进行综述。

**关键词** 弹性成像;剪切波;肌肉;肌腱;神经

[中图法分类号]R445.1

[文献标识码]A

## Research progress of shear wave elastography in peripheral nerve and muscle tissue

XU Yan, RAN Haitao, ZHANG Hua

Department of Ultrasound, the Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China

**ABSTRACT** At present, chronic nerve and muscle diseases, such as diabetic peripheral neuropathy, are characterized by a long course of disease and irreversible damage. Failure to diagnose and intervene early may lead to irreversible disability and death. Conventional imaging examination methods, such as CT, MRI and two-dimensional ultrasound, can only be observed when obvious morphological changes occur in nerves or muscles. However, early diagnosis cannot be made when obvious deformation has not occurred in the early stage of lesions. Shear wave elastography, a new ultrasonographic technique, has the advantages of safety, real-time, quantification and low cost, and can be used as a method for the examination and long-term follow-up of nerve and muscle tissue lesions. This paper reviews the application and research progress of shear wave elastography in muscle and nerve tissue.

**KEY WORDS** Elastography; Shear wave; Muscle; Tendon; Nerve

剪切波弹性成像(shear wave elastography, SWE)的原理是使用瞬时脉冲在体内产生剪切波,通过测量剪切波的传播速度计算组织的弹性值,该技术是目前唯一能够实时、定量测量局部组织杨氏模量E值的方法,因剪切波速度(shear wave velocity, SWV)与剪切模量直接相关,故也可以作为一种定量检查组织硬度的方法,其以杨氏模量值表示组织的硬度,组织硬度越高,其值越高。SWE能精确定位和显示毫米分辨率的小病变的弹性,提供人体组织弹性的定量信息<sup>[1]</sup>,目前已被应用于检测浅表器官、腹部脏器、骨骼肌及神经系统等方面的病变,具有较高的临床价值。本文就SWE在周围神经及肌肉组织中的

应用进展进行综述。

### 一、SWE在周围神经组织中的应用

#### (一)SWE在正常神经组织中的应用

周围神经在运动过程中会受到牵拉,邻近组织拉长和滑动也会改变周围神经的力学特性,SWE可对运动过程中正常周围神经的力学特性进行无创量化。Andrade等<sup>[2]</sup>评估了膝关节处于弯曲(90°)和伸展(180°)时坐骨神经的SWV,结果发现膝关节伸展时坐骨神经SWV较弯曲时明显增加,且当踝关节处于背屈位时神经SWV增加仅在膝关节伸展时可见,表明可以在被动运动时对坐骨神经硬度进行非侵袭性评估,强调了膝关节和踝关

基金项目:国家自然科学基金项目(81630047)

作者单位:400010 重庆市,重庆医科大学附属第二医院超声科

通讯作者:张花, Email: zhanghua052243@126.com

节位置对坐骨神经的临床和生物力学评估的重要性。这种非侵入性技术为研究健康人群和临床患者(如特定的周围神经疾病)的神经机制提供了新的视角。

### (二)SWE在神经组织病变中的应用

SWE可对周围神经的力学特性进行无创量化,为周围神经病变的诊断和治疗提供有价值的信息<sup>[3]</sup>。因周围神经的生物力学特性与其功能相关,SWE能够通过组织硬度变化反映组织力学特性的变化,并无创量化评价周围神经病变。

糖尿病可改变周围神经的微结构,引起糖尿病周围神经病变(diabetic peripheral neuropathy, DPN)。He等<sup>[4]</sup>研究结果表明,与健康志愿者比较,DPN患者的正中神经和胫骨神经硬度均更高,SWV诊断胫骨神经和正中神经DPN的最佳截断值分别为4.11 m/s和4.06 m/s,具有良好的敏感性(81.3%、80%)和特异性(88.7%、85%)。穆晶晶等<sup>[5]</sup>也应用SWE对2型糖尿病患者的腓肠神经进行了评估,认为SWV诊断糖尿病腓肠神经病变的最佳截断值为51.65 kPa。上述研究结果为DPN的早期诊断和治疗提供了很好的参考价值。

目前已有学者将SWE用于视神经病变的评估。Sahan等<sup>[6]</sup>应用SWE检查发现偏头痛患者视神经的杨氏模量值较健康志愿者更高( $P<0.05$ ),且偏头痛患者视神经的杨氏模量值与病程呈正相关( $r=0.496, P<0.01$ ),但由于该研究样本量较小和难以区分选取的患者有无视觉征兆,且并无同类型的研究进行对比,因此其结果仍需进一步验证。Inal等<sup>[7]</sup>对白塞病患者的视神经弹性特征进行了研究,结果显示白塞病患者的视神经杨氏模量值为 $(32.10\pm 13.90)$ kPa,明显大于健康志愿者 $(11.50\pm 5.6)$ kPa,差异有统计学意义(均 $P<0.001$ ),当患者视神经的杨氏模量值 $>16.50$  kPa时,SWE具有较高的敏感性和特异性(87%、87%)。此外,还有学者<sup>[8-10]</sup>对多发性硬化症、青光眼及子痫前期患者的视神经行SWE检查,结果均表明患者视神经的硬度高于健康志愿者,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ ),为SWE作为一种视神经检查手段进行了验证,但目前研究样本量较小,仍需对其可靠性及安全性进行进一步探讨。

## 二、SWE在肌肉及肌腱组织中的应用

以往对肌肉及肌腱病变的诊断主要使用常规超声、功率多普勒超声和MRI,目前SWE已被广泛应用于肌肉及肌腱病变检查中,通过实时量化组织硬度,以此评估肌肉及肌腱组织的机械性能。

### (一)SWE在正常肌肉组织中的应用

随着肌纤维的激活和肌肉长度的增加,肌肉的硬度也会发生改变。Wang等<sup>[11]</sup>对SWE能否用于区分主动与被动进行了研究,结果发现在主动和被动力的产生过程中,相速度的变化明显不同,在主动收缩时,粘度与弹性之比几乎保持不变,而在被动力增加时则显著降低,表明SWE可以区分主动和被动力。

### (二)SWE在肌肉及肌腱病变中的应用

内分泌眼眶病以眼眶旁、球后间隙炎症为主要表现,炎症会导致组织结构发生改变,从而表现在组织硬度上。Zemanova等<sup>[12]</sup>应用SWE评估内分泌眼眶病患者动眼肌的变化,发现其动

眼肌总弹性、水肿期及纤维化期弹性与健康成人比较,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。郑乙等<sup>[12]</sup>探讨了实时SWE技术在评价膝关节炎患者股四头肌生物性能改变中的价值,结果提示观察组治疗前的肌肉弹性模量均值均低于对照组(均 $P<0.05$ ),表明SWE技术可用于定量评估膝关节炎患者肌肉生物力学性能,为膝骨关节炎的诊断及疗效评定提供了新的观察依据。以往对类风湿性关节炎肌病的研究主要采用肌肉组织活检,而肌病的发生与炎性细胞浸润、肌肉纤维萎缩和纤维大小变异有关,炎症、萎缩、肌无力和较低的肌肉密度等因素的共同作用可能导致类风湿性关节炎患者肌肉硬度改变。Alfuraih等<sup>[13]</sup>应用SWE探讨了类风湿性关节炎中肌肉僵硬与肌无力的关系,结果表明,与健康对照组比较,类风湿性关节炎组肌肉僵硬程度较低,但差异无统计学意义,这表明类风湿性关节炎患者虽然表现出明显的肌无力,但与肌肉硬度并无关系。Yun等<sup>[14]</sup>比较了特发性肩周炎组与对照组冈上肌腱和冈下肌腱的弹性,并探讨了年龄与肌腱弹性的关系,结果提示肩周炎患者无论年龄大小,冈上肌腱及冈下肌腱的杨氏模量值均较正常肩关节升高(均 $P<0.05$ ),表明常规定量评估冈上肌腱和冈下肌腱的弹性,可能有助于肩周炎患者的早期诊断。Wada等<sup>[15]</sup>也应用SWE对肩周炎患者的肩关节囊、肩袖肌腱和肌肉、肩胛韧带和肱二头肌的硬度和形态特征进行了评价,结果发现患侧肩上述结构的硬度较健侧明显增加(均 $P<0.05$ ),进一步验证了SWE可作为肩周炎患者的一种检查手段。Yurdaisik等<sup>[16]</sup>应用SWE检测髌骨肌腱病变,并与MRI结果比较,结果表明SWE评价髌骨肌腱病变的结果与MRI的临床评分一致,证实了SWE可以作为一种非侵入性和定量的成像方法用于检测髌骨肌腱病变,但仍需更多研究来探讨SWE在肌肉病变中的潜在作用和应用价值。

### (三)SWE在肌肉及肌腱病变治疗后疗效评价中的应用

肌腱及肌肉组织的力学特性在术后和病理状态下,可能因炎症和血管增生而改变,因此SWE可被用于评价肌肉及肌腱病变的治疗效果。Quack等<sup>[17]</sup>应用SWE评估了全膝关节置换术后膝关节肌腱硬度变化,结果表明术后膝关节肌腱硬度降低,提示肌腱硬度可能是机械性能改变的替代指标。Gao等<sup>[18]</sup>应用SWE评价骨疗手法治疗后腰大肌改变的可行性,结果显示骨疗手法治疗后,放松肌肉的平均SWV明显降低。Alfuraih等<sup>[19]</sup>研究了口服大剂量糖皮质激素治疗巨细胞动脉炎患者肌肉硬度的变化,发现患者在前6个月内近端腿部肌肉僵硬程度明显减轻,但该研究需要未来对更大样本的患者进行长时间的随访研究,以确定肌肉僵硬程度减轻是否先于糖皮质激素诱发的肌病症状。另外,Yoshida等<sup>[20]</sup>应用SWE随访了腓肠肌肌肉损伤患者的愈合过程,结果显示受伤一侧肌肉的弹性值在愈合8~12周时明显高于4周时。

## 三、展望及不足

现阶段MRI仍为肌肉及神经系统病变的主要检查手段,SWE作为一项新技术,减少了检查者依赖性、增强可重复操作性,已经被很多学者验证可作为神经、肌肉组织损伤及性能评价的技术,同时具有安全、实时、定量等优点,且消除了部分患

者因幽闭恐怖症而不能进行MRI检查的情况,在此方面具有潜在价值。与其他超声弹性成像技术比较,其实时扫查能力明显提高,操作步骤简化,检查时间减少。尽管如此,SWE技术仍然具有局限性,其有许多包括感兴趣区大小和位置、不同的兴奋脉冲、肌纤维方向、肌肉紧张状态及“骨邻近”硬化伪影等在内的影响因素<sup>[21-22]</sup>,使得SWE检查过程中的质量控制较困难,在使用过程中需要尽量减少影响因素带来的偏差,进一步提高研究的可重复性与再现性。此外,今后还需要更多样本量来验证SWE技术的可靠性。

### 参考文献

- [1] Zemanova M. Usage of shear wave elastography for diagnosis of changes of oculomotor muscles in endocrine orbitopathy [J]. *Cesk Slov Oftalmol*, 2019, 75(1): 14-24.
- [2] Andrade RJ, Nordez A, Hug F, et al. Non-invasive assessment of sciatic nerve stiffness during human ankle motion using ultrasound shear wave elastography [J]. *J Biomech*, 2016, 49(3): 326-331.
- [3] Neto T, Freitas SR, Andrade RJ, et al. Noninvasive measurement of sciatic nerve stiffness in patients with chronic low back related leg pain using shear wave elastography [J]. *J Ultrasound Med*, 2019, 38(1): 157-164.
- [4] He Y, Xiang X, Zhu BH, et al. Shear wave elastography evaluation of the median and tibial nerve in diabetic peripheral neuropathy [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2019, 9(2): 273-282.
- [5] 穆晶晶,陈斌娟,逯雪峰,等.剪切波弹性成像在2型糖尿病腓肠神经病变中的应用[J].*中国康复理论与实践*, 2019, 25(2): 213-216.
- [6] Sahan MH, Dogan A, Inal M, et al. Evaluation of the optic nerve by strain and shear wave elastography in patients with migraine [J]. *J Ultrasound Med*, 2019, 38(5): 1153-1161.
- [7] Inal M, Tan S, Demirkan S, et al. Evaluation of optic nerve with strain and shear wave elastography in patients with behcet's disease and healthy subjects [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2017, 43(7): 1348-1354.
- [8] Inal M, Tan S, Yumusak EM, et al. Evaluation of the optic nerve using strain and shear wave elastography in patients with multiple sclerosis and healthy subjects [J]. *Med Ultrason*, 2017, 19(1): 39-44.
- [9] Guazzaroni M, Ferrari D, Lamacchia F, et al. Biomechanical properties of optic nerve and retrobulbar structures with 2D and 3D shear wave elastography in patients affected by glaucoma [J]. *Clin Imaging*, 2020, 61(5): 106-114.
- [10] Asal N, Sayan CD, Gokcinar NB, et al. Evaluation of the optic nerve using strain and shear-wave elastography in pre-eclampsia [J]. *Clin Radiol*, 2019, 74(10): 811-813.
- [11] Wang AB, Perreault EJ, Royston TJ, et al. Changes in shear wave propagation within skeletal muscle during active and passive force generation [J]. *J Biomech*, 2019, 94(20): 115-122.
- [12] 郑乙,陈国材,邹玉婵,等.剪切波弹性成像评价女性膝骨关节炎患者股四头肌弹性模量变化[J].*河北医学*, 2019, 25(10): 1634-1638.
- [13] Alfuraih AM, Tan AL, O'Connor P, et al. Muscle stiffness in rheumatoid arthritis is not altered or associated with muscle weakness: a shear wave elastography study [J]. *Mod Rheumatol*, 2020, 30(4): 617-625.
- [14] Yun SJ, Jin W, Cho NS, et al. Shear-wave and strain ultrasound elastography of the supraspinatus and infraspinatus tendons in patients with idiopathic adhesive capsulitis of the shoulder: a prospective case-control study [J]. *Korean J Radiol*, 2019, 20(7): 1176-1185.
- [15] Wada T, Itoigawa Y, Yoshida K, et al. Increased stiffness of rotator cuff tendons in frozen shoulder on shear wave elastography [J]. *J Ultrasound Med*, 2020, 39(1): 89-97.
- [16] Yurdaisik I. Comparison of two-dimensional shear wave elastography and point shear wave elastography techniques with magnetic resonance findings in detection of patellar tendinopathy [J]. *Ekleml Hastalik Cerrahisi*, 2019, 30(3): 275-281.
- [17] Quack V, Betsch M, Hellmann J, et al. Evaluation of postoperative changes in patellar and quadriceps tendons after total knee arthroplasty—a comprehensive analysis by shear wave elastography, power Doppler and B-mode ultrasound [J]. *Acad Radiol*, 2020, 27(6): 148-157.
- [18] Gao J, Caldwell J, McIn K, et al. Ultrasound shear wave elastography to assess osteopathic manipulative treatment on the iliocostalis lumborum muscle: a feasibility study [J]. *J Ultrasound Med*, 2020, 39(1): 157-164.
- [19] Alfuraih AM, Tan AL, O'Connor P, et al. Reduction in stiffness of proximal leg muscles during the first 6 months of glucocorticoid therapy for giant cell arteritis: a pilot study using shear wave elastography [J]. *Int J Rheum Dis*, 2019, 22(10): 1891-1899.
- [20] Yoshida K, Itoigawa Y, Maruyama Y, et al. Healing process of gastrocnemius muscle injury on ultrasonography using B-mode imaging, power Doppler imaging, and shear wave elastography [J]. *J Ultrasound Med*, 2019, 38(12): 3239-3246.
- [21] Ruby L, Mutschler T, Martini K, et al. Which confounders have the largest impact in shear wave elastography of muscle and how can they be minimized? An elasticity phantom, ex vivo porcine muscle and volunteer study using a commercially available system [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2019, 45(10): 2591-2611.
- [22] Bortolotto C, Turpini E, Felisaz P, et al. Median nerve evaluation by shear wave elastography: impact of “bone-proximity” hardening artifacts and inter-observer agreement [J]. *J Ultrasound*, 2017, 20(4): 293-299.

(收稿日期:2020-06-08)