

·综述·

## 超声影像技术在肌肉骨骼疾病诊疗中的应用进展\*

周 泳<sup>1</sup> 虞乐华<sup>1</sup> 吴宗辉<sup>2,3</sup>

肌肉骨骼疾病在临床上十分常见,诊断的影像学方法主要有X线、计算机断层扫描(computer tomography, CT)、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)和超声等。由于涉及软组织病变,普通X线检查难以明确显示,CT、MRI虽然对观察肌肉、肌腱等软组织病变有明确优势,但由于其不能实时动态检查、价格昂贵以及检查不便等,限制了其在软组织病变诊断中的应用。因此,目前广泛应用于肌肉骨骼(musculoskeletal, MSK)成像和运动医学的超声技术,便成为理想的肌肉骨骼疾病的诊断工具<sup>[1]</sup>。超声诊断本身是一种无创的检查手段,所谓肌骨超声,是利用常规超声诊断设备,通过专用高频超声探头(12—5MHz、18—5MHz)对人体肌肉、软组织及骨骼病变等疾病进行诊断。诸多研究表明,高频超声可呈现出更为清晰的图像信息,可为骨骼肌肉损伤以及浅表软组织损伤提供准确、有效的影像学诊断依据,更能够全面动态观察损伤恢复的不同时期,从而更全面地随访患者实际恢复情况,以指导患者的临床治疗与康复。

目前,随着骨骼肌肉疾病诊疗要求不断提高,超声在骨骼肌肉疾病的应用也在不断地发展和创新,包括对深部肌肉、关节的诊断,以及对疾病或损伤进行可量化的评估等。

### 1 超声影像技术在骨骼肌肉诊疗中的经典应用

超声具有高分辨率成像、便携性、成本效益的优点,虽然对中轴骨骼,尤其是腹部或骨盆深处疾病,以及弥漫性病变的诊断评估超声的作用有所受限,但它可以实时、多角度显示软组织层次关系及内部结构等特点,仍长期应用于关节类疾病、周围神经、肌肉和肌腱的诊断和治疗<sup>[2-3]</sup>。

#### 1.1 关节类疾病

超声可以观测到关节病的特征,如增生性骨形成、骨质侵蚀、滑膜增生、关节周围组织改变等<sup>[4-5]</sup>,因此,常用于骨关节炎、类风湿性关节炎、痛风性关节炎、关节结核等关节疾病。在类风湿性关节炎的临床评估中,许多文献都涉及使用肌骨超声,并且已经有一些研究证实了超声检查在关节滑膜炎<sup>[6]</sup>和腱鞘炎<sup>[7]</sup>评估中的作用。近来也有研究表明,超声标记

物可用于评估甲氨蝶呤和生物疗法治疗疾病的反应<sup>[8-9]</sup>。

#### 1.2 周围神经病变

周围神经病变在超声具有特征性的表现,可依据病变部位神经的粗细、回声高低、回声均匀与否、连续性是否存在、神经外膜连续性及神经愈合情况等分型,再结合解剖学理论,可以对外周神经病变的诊治进行追踪评估<sup>[10]</sup>。已有多项研究证实超声与MRI和肌电图(electromyography, EMG)具有良好的相关性<sup>[11-12]</sup>,进行神经病理学诊断敏感性也较高。因此,目前腕管综合征的诊断和评估中常常纳入超声检查<sup>[13]</sup>,且对于周围神经卡压征包括肘管综合征、股外侧皮神经卡压综合征、腓总神经病变和跗管综合征超声也能进行较好的评估<sup>[14]</sup>,甚至可以用于检查外伤性臂丛神经损伤,以及神经根撕脱伤、假性脊髓膨出和创伤性神经瘤等的诊断<sup>[15-16]</sup>。但神经超声仍然存在局限性,特别是深层的神经结构,对操作者的操作及水平也较为依赖。然而,目前正在进行许多前瞻性神经超声研究,以期进一步探索其应用领域。

#### 1.3 肌肉和肌腱疾病

超声可用于创伤后肌肉状况的临床评估,如筋膜撕裂和肌肉血肿,也可以检测肌肉的脂肪萎缩和纤维化。肌病相关的肌肉异常与神经病变相比,超声图像存在一定的差异<sup>[17]</sup>。将肌肉超声密度与肌肉无力相关联,也可用于评估糖原储存疾病患者<sup>[18]</sup>。例如最近已开发出可以使用超声图像来评估高水平运动员糖原储存消耗的软件,但是这种技术尚未得到临床验证<sup>[19]</sup>。部分研究报告,使用高分辨率超声检测肌肉收缩,能帮助神经肌肉疾病如肌萎缩性侧索硬化症的诊断<sup>[20-21]</sup>。虽然这些技术尚未在临床上得到验证,但它们确实具有评估肌肉损伤和功能的潜力。

长期以来,超声因其实时成像能力成为肌腱病评估的理想选择(如肌腱炎、腱鞘炎和肌腱撕裂)<sup>[22]</sup>,事实上,超声还有助于跟腱中部腱病的成像<sup>[23]</sup>,通过超声组织表征,有望显示跟腱内侧缘紊乱的组织结构,协助诊断跖肌腱受累的跟腱中部腱病<sup>[24]</sup>。

#### 1.4 超声引导下介入治疗

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2019.01.022

\*基金项目:重庆市卫计委重点课题(2016ZDXM009)

1 重庆医科大学附属第二医院康复医学科,重庆,400010; 2 西南大学运动康复研究所; 3 通讯作者  
作者简介:周泳,女,硕士研究生; 收稿日期:2017-07-19

超声是MSK介入治疗的理想选择,因为它可以提高治疗的准确性和有效性<sup>[25]</sup>。与骨骼肌肉疾病较为相关的包括用于治疗腱病的肌腱延长术/开窗术,肌肉撕裂的注射治疗和神经介入治疗。

**1.4.1 肌腱病变介入治疗:**肌腱注射皮质类固醇激素是治疗肌腱病的有效手段,但作用持续时间较短,因此,超声引导下的干针疗法成为治疗肌腱病的有效方法。干针疗法即通过在病变部位的反复穿刺,医源性地破坏变性的肌腱纤维,由此产生炎症和生长因子,达到炎症愈合而治疗腱病<sup>[26]</sup>。超声引导下的干针疗法不仅对常见的肱骨外上髁炎、髌腱变性、跟腱炎等浅表肌腱病有较好的疗效,已有研究证实了其对臀中肌和臀小肌近端肌腱、阔筋膜张肌肌腱病变也有明显的改善作用<sup>[27]</sup>,但尚未有文献进行长期疗效追踪报道。

此外,运动医学界最近把接受注射富血小板血浆(platelet-rich plasma, PRP)促进组织愈合作为腱病的治疗方案,并且已有研究证明PRP在各种肌腱病中的疗效<sup>[28]</sup>。一项对随机对照临床试验的荟萃分析表明,有充分的证据支持超声引导下PRP注射治疗腱病的疗效,而且特别推荐富含白细胞的PRP制剂<sup>[29]</sup>。

**1.4.2 肌肉介入治疗:**目前,研究认为PRP对治疗肌肉损伤作用有限。一项纳入了运动员的随机对照研究显示,PRP不能加快肌腱肌损伤的恢复,没有帮助运动员缩短返回赛场的时间,该研究并没有在超声引导下进行注射治疗<sup>[30]</sup>。但另一项使用了超声引导注射的研究也表明,PRP治疗与运动相关的腓绳肌损伤没有缩短运动员重返赛场的时间<sup>[31]</sup>。虽然目前也有关于评估超声引导PRP注射治疗急性肌肉撕裂的报道,运动员重返运动花费的时间减少、疼痛缓解的程度更高,但这些都只是临床对照试验,PRP对肌肉损伤的真正疗效尚不清楚<sup>[32]</sup>。

**1.4.3 周围神经介入治疗:**超声用于引导神经阻滞可以提高治疗的准确性<sup>[25]</sup>,当有超声引导时,使用小剂量的注射剂就能够产生良好的效果<sup>[34]</sup>。超声引导治疗中,使用更大注射剂量的经皮神经分离术已被提出作为神经卡压综合征的一种治疗方法,并有替代减压术或松解术的可能<sup>[35]</sup>。虽然已有报道使用超声引导下神经分离法治疗感觉异常型股痛<sup>[36]</sup>、全膝关节置换术后隐神经痛<sup>[37]</sup>和腓肠神经痛<sup>[38]</sup>,但仍缺乏足够的循证依据。传统的神经根注射治疗法是在透视下注射造影剂、依靠骨性标志和对比试验来确定神经周围的精确注射,但研究显示,超声引导下神经根注射与传统方法相比,在缓解疼痛和功能改善方面的效果相似甚至有所提高,且超声引导还具有避免接触辐射的益处<sup>[39]</sup>。

## 2 超声影像技术在骨骼肌肉疾病的应用进展

近年来,超声飞速发展,超声造影、介入超声以及超声基

础研究不断深入,其在骨骼肌肉系统方面的应用也有许多进展。

### 2.1 融合成像

MRI和CT可以很好显示组织的解剖细节,超声则具有无射线损害、无创、价廉、短期内可重复检查、实时成像及软组织分辨率高等优势。但临床工作中,常需要综合使用来自不同影像设备或不同时刻、不同角度的医学图像互为补充进行辅助诊断,但由于各种成像模式的机制以及成像环境不同,导致不同图像分辨率和对比度的差异以及空间位置的变化,因此需要进行融合成像,而所谓融合成像,就是通过寻找某种空间变换,使两幅图像的对应点达到空间位置和解剖结构上的完全一致<sup>[40]</sup>。

CT联合超声(CT-US)及MRI联合超声(MRI-US)融合成像,即将所获取的实时超声数据和MRI、CT进行配准,对配准后的数据融合并显示,目前主要用于肝脏疾病。但对于MSK也适用,比如对骨病变、肌肉骨骼软组织活检进行引导,以及对肌肉骨骼损伤进行评估。另外,融合成像可以用于髋髂关节和小关节注射<sup>[41]</sup>,特别是患有炎性关节病的年轻患者,可以减少反复进行辐射的照射。只是与传统方法相比,仍需要更多、更大样本的临床研究来确定这些技术的临床价值。

### 2.2 对比增强超声和超声微血流成像

多普勒超声检查可用于评估组织血管和检测炎症状况。然而,多普勒只能对缓慢血流的评估有一定的敏感性<sup>[42]</sup>。对比增强超声(contrast enhanced ultrasonography, CEUS)是在静脉内注射由微泡组成的造影剂,并使用超声波成像使所靶向部位成像,可以增加超声评估组织灌注的能力。注射后,可以通过获得连续的超声图像来监测灌注,以评估血流模式<sup>[43]</sup>。

CEUS常用于肝脏和心脏成像,但在肌肉骨骼系统也有研究和应用。新生血管是炎性关节炎中最早的生理表现之一,增强MRI因为成本高昂和检查不够便利,在类风湿性关节炎和其他炎性关节炎的评估中限制了其应用,因此CEUS评估血管生成情况不仅可以协助诊断炎性关节炎,更能对疾病进展、对治疗反应进行评估<sup>[44]</sup>。特别是在类风湿关节炎患者,CEUS成像与灰阶超声和能量多普勒超声相比更为敏感,可以更好地区分活动性滑膜炎和非活动性滑膜炎<sup>[45]</sup>。一些非创伤性研究还将CEUS用于表征软组织块的灌注模式和评估修复后肩袖肌腱的血管情况<sup>[46]</sup>。

虽然CEUS很有前景,但由于存在一些技术上的限制,使其尚不能在临床中得以广泛的应用<sup>[47]</sup>。比如在操作过程中,没有把握注射成像的时机有可能会错过造影剂。此外,由于需要静脉注射,CEUS不再是非侵入性检查,并且需要在检查后对患者一般情况进行监测。

为了克服多普勒成像的局限性和满足对比增强超声的需要,目前已有一种超声微血流成像(super micro vascular imaging, SMI)。SMI的成像方式类似彩色多普勒超声及能量多普勒超声检查,但其利用特殊的滤波技术,可以将组织振动所形成的微小多普勒信号滤除,保留探测目标内低速血流信号的信息,由于可以检测软组织中的微血管流动,在评估乳腺肿块、甲状腺和睾丸组织时优于传统的多普勒超声<sup>[48]</sup>。该技术在肌肉骨骼系统的病理和组织修复中应用前景广阔<sup>[49]</sup>。

### 2.3 定量超声成像

定量成像意味着从医学图像中提取可量化的特征以评估疾病或损伤。弹性成像即为一种定量超声技术,可用以评估组织的刚度特性。当对组织施加应力时,组织产生变形,变形程度即对应其刚度。越强硬的组织在施加应力时变形较少,相反的较软的组织会变形较多。弹性成像在肌肉骨骼系统中已经广泛用于肌腱和肌肉病理学评估。一般来说,与正常肌腱相比,病变的肌腱在弹性成像时刚度偏小,但肌肉则相反,刚度增加时意味着肌肉病变。

MSK成像中主要使用应变弹性成像和剪切波弹性成像(shear-wave elastography, SWE)两种类型<sup>[50-51]</sup>。

**2.3.1 应变弹性成像:**应变弹性成像施加的应力通常是手写传感器压缩,输出获得的是相对应变图,通常由颜色编码。尽管使用应变比也可以获得半定量测量,但应变弹性成像中的测量是定性的。大多数MSK成像中关于弹性成像的文献都集中在肌腱,特别是跟腱。MSK的应变弹性成像具有可重复性<sup>[52]</sup>,研究表明,应变弹性成像与腱鞘组织学评估以及肌腱疼痛和功能障碍的临床指标之间具有良好的相关性<sup>[53]</sup>。随着将灰阶超声与超声成像结合使用,腕管综合征诊断的准确性也有所提高<sup>[54]</sup>。但应变弹性成像由于测量不是完全真正的定量,因此存在着一定的局限性。另外,MSK中应变弹性成像报告的许多研究结果也见于形态学或灰阶超声成像,限制了其临床疗效。

**2.3.2 剪切波弹性成像:**SWE测量自动脉冲传播通过组织的速度。剪切波速度越快,组织越硬。以m/s测量的剪切波速度(V)通过杨氏模量方程与弹性(E)= $3 \times V^2$ 相关。SWE在肝脏、乳腺和甲状腺等疾病的评估已经较为成熟<sup>[55]</sup>。近几年SWE也用于MSK,然而,仅有部分研究证实SWE在肌腱、韧带和肌肉的评估中具有可重复性<sup>[56]</sup>。SWE肌腱测量与灰阶超声的形态学变化呈正相关。此外,髌骨肌腱弹性值与髌骨腱病临床评分之间存在相关性<sup>[53]</sup>,痉挛性脑瘫肌内注射肉毒杆菌毒素后肌肉剪切波弹性也有降低趋势<sup>[57]</sup>。SWE拥有常规灰阶超声成像无法实现的组织变化时也能检测的潜在能力,然而,它的测量受传感器压力和患者定位的变化影响,因此可能导致输出变异<sup>[56]</sup>。随着超声影像技术的不断发展

和完善,相信超声弹性成像技术将会在肌肉骨骼系统疾病的诊断中提供很好的帮助。

### 3 小结

超声影像技术在肌肉骨骼疾病的诊疗中应用十分广泛,融合成像、超微血管成像、超声弹性成像等均表现出良好的应用前景,未来还需继续研究,以期在肌肉骨骼相关疾病的鉴别诊断以及治疗中发挥重要价值。

### 参考文献

- [1] Nwawka OK. Update in musculoskeletal ultrasound research [J]. Sports Health, 2016, 8(5):429—437.
- [2] Beggs I. Musculoskeletal Ultrasound[M]. 1st ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2014.
- [3] 柳展梅,吕海霞,张颖.高频超声在膝部疾病诊断中的应用[J].医学综述,2010,16(24):3796—3799.
- [4] 潘童,朱安礼,陈美璞,等.超声影像技术在炎性关节病变诊疗中的应用研究[J].临床医学研究与实践,2017,2(3):192—193.
- [5] Iagnocco A, Ceccarelli F, Perricone C, et al. The role of ultrasound in rheumatology[J]. 2011, 32(2):66—73.
- [6] Boesen M, Ellegaard K, Boesen L, et al. Ultrasound Doppler score correlates with OMERACT RAMRIS bone marrow oedema and synovitis score in the wrist joint of patients with rheumatoid arthritis[J]. Ultrascall Med, 2012, 33(7):E166—E172.
- [7] Bruyn GA, Hanova P, Iagnocco A, et al. Ultrasound definition of tendon damage in patients with rheumatoid arthritis. Results of a OMERACT consensus-based ultrasound score focussing on the diagnostic reliability[J]. Ann Rheum Dis, 2014, 73(11):1929—1934.
- [8] D'Agostino MA, Wakefield RJ, Berner-Hammer H, et al. Value of ultrasonography as a marker of early response to abatacept in patients with rheumatoid arthritis and an inadequate response to methotrexate: results from the APPRAISE study[J]. Ann Rheum Dis, 2016, 75(10):1763—1769.
- [9] Iagnocco A, Naredo E, Wakefield R, et al. Responsiveness in rheumatoid arthritis. a report from the OMERACT 11 ultrasound workshop[J]. J Rheumatol, 2014, 41(2):379—382.
- [10] Brown JM, Yablon CM, Morag Y, et al. US of the peripheral nerves of the upper extremity: a landmark approach[J]. Radiographics, 2016, 36(2):452—463.
- [11] 李雪芹,朱文斌.高频超声与MRI对膝关节滑膜病变诊断价值的比较[J].中国实验诊断学,2012,(03):492—494.
- [12] Tsukamoto H, Granata G, Coraci D, et al. Ultrasound and neurophysiological correlation in common fibular nerve conduction block at fibular head[J]. Clin Neurophysiol, 2014, 125(7):1491—1495.

- [13] Fujimoto K, Kanchiku T, Kido K, et al. Diagnosis of severe carpal tunnel syndrome using nerve conduction study and ultrasonography[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2015, 41(10): 2575—2580.
- [14] Yablon CM, Hammer MR, Morag Y, et al. US of the peripheral nerves of the lower extremity: a landmark approach[J]. *Radiographics*, 2016, 36(2):464—478.
- [15] Chen DZ, Cong R, Zheng MJ, et al. Differential diagnosis between pre- and postganglionic adult traumatic brachial plexus lesions by ultrasonography[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2011, 37(8):1196—1203.
- [16] Haber HP, Sinis N, Haerle M, et al. Sonography of brachial plexus traction injuries[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2006, 186(6):1787—1791.
- [17] Maurits NM, Bollen AE, Windhausen A, et al. Muscle ultrasound analysis: normal values and differentiation between myopathies and neuropathies[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2003, 29(2):215—225.
- [18] Verbeek RJ, Sentner CP, Smit GP, et al. Muscle ultrasound in patients with glycogen storage disease types I and III[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2016, 42(1):133—142.
- [19] Hill JC, Millán IS. Validation of musculoskeletal ultrasound to assess and quantify muscle glycogen content. A novel approach[J]. *Phys Sportsmed*, 2014, 42(3):45—52.
- [20] Arts IM, Overeem S, Pillen S, et al. Muscle ultrasonography: a diagnostic tool for amyotrophic lateral sclerosis[J]. *Clin Neurophysiol*, 2012, 123(8):1662—1667.
- [21] Misawa S, Noto Y, Shibuya K, et al. Ultrasonographic detection of fasciculations markedly increases diagnostic sensitivity of ALS[J]. *Neurology*, 2011, 77(16):1532—1537.
- [22] Lin HY, Wong PK, Ho WP, et al. Clavicular hook plate may induce subacromial shoulder impingement and rotator cuff lesion-- dynamic sonographic evaluation[J]. *J Orthop Surg Res*, 2014, (9):6.
- [23] Alfredson H. Midportion Achilles tendinosis and the plantaris tendon[J]. *Br J Sports Med*, 2011, 45(13):1023—1025.
- [24] Masci L, Spang C, van Schie HT, et al. How to diagnose plantaris tendon involvement in midportion Achilles tendinopathy - clinical and imaging findings[J]. *BMC Musculoskeletal Disord*, 2016, (17):97.
- [25] Walker KJ, McGrattan K, Aas-Eng K, et al. Ultrasound guidance for peripheral nerve blockade[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2009, (4):CD006459.
- [26] Chiavaras MM, Jacobson JA. Ultrasound-guided tendon fenestration[J]. *Semin Musculoskelet Radiol*, 2013, 17(1):85—90.
- [27] Jacobson JA, Rubin J, Yablon CM, et al. Ultrasound-guided fenestration of tendons about the hip and pelvis: clinical outcomes[J]. *J Ultrasound Med*, 2015, 34(11):2029—2035.
- [28] Wesner M, Defreitas T, Bredy H, et al. A pilot study evaluating the effectiveness of platelet-rich plasma therapy for treating degenerative tendinopathies: a randomized control trial with synchronous observational cohort[J]. *PLoS One*, 2016, 11(2):e0147842.
- [29] Fitzpatrick J, Bulsara M, Zheng MH. The effectiveness of platelet-rich plasma in the treatment of tendinopathy: a meta-analysis of randomized controlled clinical trials[J]. *Am J Sports Med*, 2017, 45(1):226—233.
- [30] Hamilton B, Tol JL, Almusa E, et al. Platelet-rich plasma does not enhance return to play in hamstring injuries: a randomised controlled trial[J]. *Br J Sports Med*, 2015, 49(14):943—950.
- [31] Guillo Y, Madouas G, Simon T, et al. Platelet-rich plasma (PRP) treatment of sports-related severe acute hamstring injuries[J]. *Muscles Ligaments Tendons J*, 2016, 5(4): 284—288.
- [32] Rossi LA, Molina Rómoli AR, Bertona Altieri BA, et al. Does platelet-rich plasma decrease time to return to sports in acute muscle tear? A randomized controlled trial[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25(10):3319—3325.
- [33] Antonakakis JG, Ting PH, Sites B. Ultrasound-guided regional anesthesia for peripheral nerve blocks: an evidence-based outcome review[J]. *Anesthesiol Clin*, 2011, 29(2): 179—191.
- [34] Nwawka OK, Miller TT, Jawetz ST, et al. Ultrasound-guided perineural injection for nerve blockade: Does a single-sided injection produce circumferential nerve coverage?[J]. *J Clin Ultrasound*, 2016, 44(8):465—469.
- [35] Cass SP. Ultrasound-guided nerve hydrodissection: what is it? a review of the literature[J]. *Curr Sports Med Rep*, 2016, 15(1):20—22.
- [36] Mulvaney SW. Ultrasound-guided percutaneous neuroplasty of the lateral femoral cutaneous nerve for the treatment of meralgia paresthetica: a case report and description of a new ultrasound-guided technique[J]. *Curr Sports Med Rep*, 2011, 10(2):99—104.
- [37] Clendenen S, Greengrass R, Whalen J, et al. Infrapatellar saphenous neuralgia after TKA can be improved with ultrasound-guided local treatments[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2015, 473(1):119—125.
- [38] Fader RR, Mitchell JJ, Chadayammuri VP, et al. Percutaneous ultrasound-guided hydrodissection of a symptomatic su-

- ral neuroma[J]. Orthopedics, 2015, 38(11):e1046—e1050.
- [39] Jee H, Lee JH, Kim J, et al. Ultrasound-guided selective nerve root block versus fluoroscopy-guided transforaminal block for the treatment of radicular pain in the lower cervical spine: a randomized, blinded, controlled study[J]. Skeletal Radiol, 2013, 42(1):69—78.
- [40] 奚婷婷. 计算机辅助诊断系统中三维CT与超声数据融合技术的研究及实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [41] Klauser AS, Peetrons P. Developments in musculoskeletal ultrasound and clinical applications[J]. Skeletal Radiol, 2010, 39(11):1061—1071.
- [42] Forsberg F, Ro RJ, Potoczek M, et al. Assessment of angiogenesis: implications for ultrasound imaging[J]. Ultrasonics, 2004, 42(1—9):325—330.
- [43] Wilson SR, Greenbaum LD, Goldberg BB. Contrast-enhanced ultrasound: what is the evidence and what are the obstacles?[J]. AJR Am J Roentgenol, 2009, 193(1):55—60.
- [44] Ohrndorf S, Hensch A, Naumann L, et al. Contrast-enhanced ultrasonography is more sensitive than grayscale and power Doppler ultrasonography compared to MRI in therapy monitoring of rheumatoid arthritis patients[J]. Ultraschall Med, 2011, 32(Suppl 2):E38—E44.
- [45] 孙宏, 卢瑞刚, 李硕, 等. 高频超声在类风湿性关节炎中的应用[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2016, 13(10):790—793.
- [46] Cadet ER, Adler RS, Gallo RA, et al. Contrast-enhanced ultrasound characterization of the vascularity of the repaired rotator cuff tendon: short-term and intermediate-term follow-up[J]. J Shoulder Elbow Surg, 2012, 21(5):597—603.
- [47] Karaca L, Oral A, Kantarci M, et al. Comparison of the superb microvascular imaging technique and the color Doppler techniques for evaluating children's testicular blood flow[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2016, 20(10):1947—1953.
- [48] Machado P, Segal S, Lyshchik A, et al. A novel microvascular flow technique: initial results in thyroids[J]. Ultrasound Q, 2016, 32(1):67—74.
- [49] Chen J, Chen L, Wu L, et al. Value of superb microvascular imaging ultrasonography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome: Compared with color Doppler and power Doppler[J]. Medicine (Baltimore), 2017, 96(21):e6862.
- [50] Klauser AS, Miyamoto H, Bellmann-Weiler R, et al. Sonoelastography: musculoskeletal applications[J]. Radiology, 2014, 272(3):622—633.
- [51] Drakonaki EE, Allen GM, Wilson DJ. Real-time ultrasound elastography of the normal Achilles tendon: reproducibility and pattern description[J]. Clin Radiol, 2009, 64(12):1196—1202.
- [52] Ooi CC, Richards PJ, Maffulli N, et al. A soft patellar tendon on ultrasound elastography is associated with pain and functional deficit in volleyball players[J]. J Sci Med Sport, 2016, 19(5):373—378.
- [53] Tan S, Kudaş S, Özcan AS, et al. Real-time sonoelastography of the Achilles tendon: pattern description in healthy subjects and patients with surgically repaired complete ruptures[J]. Skeletal Radiol, 2012, 41(9):1067—1072.
- [54] Barr RG. Elastography in clinical practice[J]. Radiol Clin North Am, 2014, 52(6):1145—1162.
- [55] Martin JA, Biedrzycki AH, Lee KS, et al. In vivo measures of shear wave speed as a predictor of tendon elasticity and strength[J]. Ultrasound Med Biol, 2015, 41(10):2722—2730.
- [56] Kot BC, Zhang ZJ, Lee AW, et al. Elastic modulus of muscle and tendon with shear wave ultrasound elastography: variations with different technical settings[J]. PLoS One, 2012, 7(8):e44348.
- [57] Gutierrez M, Di Matteo A, Roseff M, et al. Short-term efficacy to conventional blind injection versus ultrasound-guided injection of local corticosteroids in tenosynovitis in patients with inflammatory chronic arthritis: A randomized comparative study[J]. Joint Bone Spine, 2016, 83(2):161—166.