

Application of cutaneous and ultrasonography in the evaluation of rehabilitation efficacy of bone and muscle system diseases

Wenyang Jiang

Jilin Provincial Airport Group Co., Ltd. General Outpatient Department, Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract

Musculoskeletal Ultrasound (MSKUS), as a dynamic, real-time, and radiation-free bedside imaging tool, demonstrates significant advantages in the **objective** and precise evaluation of musculoskeletal rehabilitation outcomes. This paper aims to review the application and value of MSKUS in assessing rehabilitation efficacy. **Results** indicate that MSKUS can quantitatively evaluate tissue changes before and after treatment from three dimensions: morphology, hemodynamics, and elastography, providing critical imaging evidence for the rehabilitation effects of various musculoskeletal disorders such as rotator cuff injuries, lateral epicondylitis, and Achilles tendinitis. In conclusion, MSKUS effectively combines structural and functional assessments, playing a crucial role in advancing rehabilitation medicine towards precision, visualization, and individualized care.

Keywords

musculoskeletal ultrasound; rehabilitation; efficacy evaluation; musculoskeletal diseases; ultrasonic elastography; visualization

肌骨超声在骨肌系统疾病康复疗效评价中的应用

姜汶扬

吉林省民航机场集团有限公司综合门诊部, 中国·吉林 长春 130000

摘要

肌骨超声 (Musculoskeletal Ultrasound, MSKUS) 作为一种动态、实时、无辐射的床旁影像工具, 在肌肉骨骼疾病康复疗效的客观与精准评估中展现出显著优势, 本文旨在综述MSKUS在评价康复疗效中的应用与价值。结果表明, MSKUS可从形态学、血流动力学及弹性成像三个维度定量评估治疗前后组织的改变, 为肩袖损伤、外上髁炎、跟腱病等多种肌肉骨骼疾病的康复效果提供了关键影像学证据。综上所述, MSKUS实现了结构性与功能性评估的有效结合, 对推动康复医学向精准化、可视化及个体化方向发展具有重要意义。

关键词

肌骨超声; 康复; 疗效评价; 肌肉骨骼疾病; 超声弹性成像; 可视化

1 引言

肌骨系统疾病是指影响骨骼、关节、肌腱、韧带和肌肉等组织器官正常功能的一系列疾病的统称, 主要包括创伤性疾病、退行性疾病、感染性疾病、代谢性疾病、先天发育性疾病、遗传性疾病和骨与软组织肿瘤等^[1]。肌肉骨骼系统疾病具有高患病率, 不仅导致疼痛和功能障碍, 还严重降低患者生活质量, 构成巨大的全球疾病负担^[2]。康复治疗是改善预后的核心手段, 然而其疗效评估长期依赖主观量表、体格检查及功能测试, 这些方法难以客观量化微观组织结构改变^[3]。虽磁共振成像 (MRI) 被视为金标准, 但其成本高、耗时长、静态成像及辐射禁忌等特点限制了其在动态评估和康复随访中的应用。肌骨超声是指应用于肌肉骨骼系统的超声诊断技

术, 有别于腹部心脏、腹部与妇产等传统常用超声应用领域^[4]。其具备高分辨率, 可清晰显示肌腱、肌肉、韧带、神经及滑膜等结构, 并在动态过程中评估功能异常, 同时兼具无创、无辐射、可重复性佳的优势, 尤其适合康复疗效的纵向监测^[5]。此外, 多普勒及超声弹性成像等多模态功能可进一步评估组织血流灌注和硬度变化, 提供丰富的定量指标^[7]。本综述旨在系统阐述肌骨超声在肌肉骨骼疾病康复疗效评价中的具体应用参数、临床价值及当前局限性, 并为未来研究方向提供见解, 以推动康复评估向精准化、可视化发展。

2 肌骨超声评价疗效的核心参数与指标

2.1 形态学指标

在形态学评估方面, 肌骨超声通过量化测量目标结构的厚度与大小变化提供客观依据, 包括肌腱及韧带厚度、肌肉厚度与横截面积 (CSA) 以及滑膜厚度。此外, 其对组织回声性质的评估至关重要: 正常肌腱通常表现为均匀的纤维

【作者简介】姜汶扬 (1987-), 女, 本科, 主治医师, 从事医学影像学研究。

状高回声结构，而病理状态则呈现特征性改变，例如低回声区多提示水肿、炎症、撕裂或黏液样变性，高回声区则常与钙化、纤维化或脂肪浸润相关；同时，纤维纹理连续性的中断可明确提示部分或全层撕裂，为临床诊断及康复转归提供关键影像学依据^[6]。

2.2 血流动力学指标

在血流动力学评估方面，肌骨超声通过彩色或能量多普勒技术对局部血流灌注进行检测，可采用半定量评分（如0-4级）或基于软件的定量分析方法（如像素计数）对血流信号进行客观评估^[7]。该指标具有重要的疗效评价意义：治疗前区域内血流信号增多通常提示存在急性炎症反应或病理性血管增生（例如肌腱病中的新生血管形成）；而经过有效的康复或医疗干预后，这些异常的血流信号应当显著减少甚至消失，从而为治疗反应提供客观的影像学证据。

2.3 弹性指标

在超声弹性成像领域，主要包括应变式弹性成像与剪切波弹性成像（Shear Wave Elastography, SWE）两种技术；其中，SWE通过发射声辐射力脉冲激发组织产生横向传播的剪切波，并依据波速计算组织的杨氏模量（单位：kPa）或剪切波速度（SWV），从而实现组织硬度的定量、客观评估^[8]。该指标在康复疗效评价中具有重要意义：组织硬度的改变直接反映其生物力学特性的恢复情况，例如经有效干预后，原本僵硬的肌腱可能呈现软化趋势（表现为SWV或杨氏模量值下降），而萎缩无力的肌肉其硬度也可能逐渐恢复正常，为临床判断组织修复和功能改善提供了可靠的量化依据。

2.4 动态功能评估

肌骨超声的独特优势在于其能够实时、动态地评估组织在运动中的功能状态，包括直接观察并记录肌腱与神经的滑动情况、监测肌肉收缩的动态变化过程，以及在关节主动或被动活动中检测是否存在解剖结构间的撞击或软组织粘连，从而为功能性诊断与康复效果提供直观的影像学依据。

3 肌骨超声在具体疾病康复疗效评价中的应用

3.1 肌骨超声在肌腱病（Tendinopathy）中的应用

肌腱病是一种常见的肌肉骨骼疾病，以肌腱的疼痛、肿胀和功能受损为特征，其病理基础包括胶原纤维结构紊乱、血管增生和黏液样变性，而非单纯的炎症。常见于肩袖、肱骨外上髁、跟腱和髌腱。肌骨超声主要通过量化测量肌腱最厚处的厚度，观察低回声区的范围是否缩小、纤维纹理的连续性是否恢复。同时使用能量多普勒超声评估肌腱内及周围的血流信号，治疗前活跃的血流信号在有效康复后应显著减少或消失^[9]。应用剪切波弹性成像（SWE）定量测量肌腱的杨氏模量值，成功的治疗可使原本僵硬的肌腱硬度降低，弹性模量值趋于正常。对于肩袖肌腱病，肌骨超声可在肩关节主动外展过程中实时观察是否存在肩峰下撞击，评估康复

治疗后的改善情况。肌骨超声能够无创、动态、多模态地量化肌腱的结构和功能改变，将患者的主观疼痛改善与客观的影像学改变直接关联，为康复疗效提供了迄今为止最全面的可视化证据，远优于单纯的功能评分^[10]。

3.2 肌骨超声在肌肉损伤（Muscle Injury）中的应用

肌肉损伤包括急性拉伤、挫伤、撕裂以及慢性劳损，常见于竞技运动员和运动爱好者。损伤涉及肌纤维断裂、血肿形成，后期修复过程伴随瘢痕组织和肉芽组织生成。肌骨超声在肌肉损伤的康复监测中扮演着关键角色，首先在急性期可精确评估肌纤维中断的范围、血肿的大小和位置。在康复期，连续监测可观察血肿吸收情况、瘢痕组织的形成范围以及肌肉是否发生萎缩^[11]。SWE可定量评估损伤区域的组织硬度变化，指导康复进度。过硬的组织提示瘢痕形成可能影响功能，需调整康复方案。同时肌骨超可实时观察肌肉在收缩状态下的形态变化，评估是否存在局部功能缺失或粘连。肌骨超声能够精确描绘肌肉损伤的解剖位置和严重程度，并实现对修复过程的纵向、可视化监测，其动态评估能力为制定个体化的康复重返运动计划提供了至关重要的客观依据。

3.3 肌骨超声在关节炎（Arthritis）中的应用

关节炎主要包括类风湿关节炎和骨关节炎，两者均有关节疼痛、肿胀和功能障碍，但病理机制不同。肌骨超声可定量测量关节炎患者的滑膜增生厚度、关节腔积液量，对于骨关节炎患者还可评估骨赘形成、软骨表面光滑度。能量多普勒可敏感地检测到增厚滑膜内的血流信号，对其进行半定量评分是评估疾病活动性和治疗反应的客观标准，除此之外，超声可引导进行准确的关节腔穿刺抽液或药物注射，提高治疗效率^[12]。肌骨超声对滑膜炎症具有极高的敏感性，能够发现临床体检无法察觉的滑膜炎患者。肌骨超声通过量化滑膜厚度和血流信号，为关节炎的康复和药物治疗效果提供了客观、可靠的影像学生物标志物，对患者的康复有重要意义。

3.4 肌骨超声在术后康复评估中的应用

术后康复涉及多种肌肉骨骼手术，如肌腱、韧带修复重建术、关节置换术、骨折内固定术等。术后组织愈合过程包括炎症期、修复期和重塑期。肌骨超声可用于评估修复后的肌腱、韧带的连续性、结构、血管化，及时发现关节积液、滑膜炎、suture锚钉激惹、植入物周围软组织异常以及异位骨化，同时还可评估术后是否存在关节粘连或撞击，指导安全的关节活动度训练和监测术后是否出现肌肉萎缩，指导肌力训练^[13]。在康复指导方面，科学合理的康复指导措施，对改善患者的预后具有非常关键的意义。在具体应用中，超声引导下的介入治疗可精准定位病灶，提高治疗安全性。通过定期随访检查，临床医生能够客观评估康复进展，及时调整治疗方案，避免过度训练导致二次损伤。在肌腱修复术后，超声可清晰显示纤维连续性恢复情况，监测早期再断

裂风险；韧带重建后，可评估移植植物张力和稳定性。例如，对于关节置换患者来说，在评估患者治疗与恢复效果时，超声能有效检测假体周围积液和软组织反应，早期发现感染迹象，进而根据患者的实际情况，帮助临床医生为患者后续干预提供参考。此外，肌骨超声的床旁可用性和无辐射特点，适用性相对较强，对于儿童患者或需要反复进行评估的患者来说，方便进行术后康复检查，有利于为患者术后康复提供了有力的影像学支持。

4 讨论

肌骨超声在肌肉骨骼疾病康复疗效评价中展现出显著的综合优势，其核心价值在于能够将患者的主观疼痛感受、临床功能表现与客观的组织结构改变进行联系，从而有助于帮助临床医生观察患者的康复情况，为临床提供了前所未有的动态评估能力，极大地推动了康复医学向精准化方向发展。

然而，肌骨超声的应用仍存在若干局限性。首先，其检查结果具有较高的操作者依赖性，医师的熟练程度直接影响图像的获取质量与解读准确性。其次，超声的物理特性限制了其对深部组织及骨组织内部病变的显示能力。此外，目前该技术在设备、不同中心间尚缺乏统一的标准化操作规范，尤其是在探头施加压力、测量位点选择及弹性成像的参考设置等方面，这在一定程度上影响了研究结果的可比性与可重复性。最后，许多先进的定量分析功能目前仍多局限于科研场景，在常规临床实践中的普及与应用仍有待提高。

未来肌骨超声技术的发展应从以下几个方向重点突破：其一，亟须推动检查流程、测量方法与诊断标准的规范化与标准化，以提升结果的一致性与可靠性。其二，应深入探索人工智能技术在图像自动分割、识别及定量分析中的应用，通过深度学习算法减少人为误差，实现高效、客观的智能诊断。其三，需开展更多大样本、多中心的前瞻性研究乃至随机对照试验，旨在建立基于肌骨超声影像学参数的疗效预测模型与预后评估体系。其四，应着重研究多模态参数与患者功能结局之间的关联，构建更具综合性的评估指标。最后，应进一步拓展肌骨超声在引导介入康复治疗中的应用，使其不仅作为评估工具，更成为精准治疗的一部分。

5 总结

综上所述，肌骨超声作为一种安全、便捷且具有多模态功能的床旁成像工具，能够从形态、血流、弹性及动态功能等多个维度，为肌肉骨骼系统疾病康复疗效的评价提供客观、精确且实时的影像学依据。尽管目前存在操作者依赖性和标准化不足等局限，但随着成像协议的规范、人工智能技

术的融合以及定量研究的深化，肌骨超声有望成为康复医学中不可或缺的核心评估工具，显著推动个体化与精准化康复实践的发展。

参考文献

- [1] 徐帅,汪君民,刘静,等.肌骨系统疾病肌骨共减综合征的代谢变化与机制[J].中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志,2021,14(04):412-418.
- [2] SebbagE,FeltenR,SagezF,etal.The world-wide burden of musculoskeletal diseases: a systematic analysis of the World Health Organization Burden of Diseases Database[J].Ann Rheum Dis,2019,78(6):844-848. DOI:10.1136/annrheumdis-2019-215142.
- [3] 徐帅,刘静,徐道明,等.久坐行为诱发肌骨系统疾病及运动干预调控机制[J].中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志,2022,15(02):211-217.
- [4] 杨曦,范华,苏锡雄,等.肌骨超声联合完全清醒技术在示指固有伸肌腱转位修复拇长伸肌腱断裂中的应用研究[J/OL].中国修复重建外科杂志,1-6[2025-09-01].https://link.cnki.net/urlid/51.1372.R.20250806.0924.002.
- [5] 陈自力,杨溢,梁浩,等.肌骨超声在腓肠肌急性损伤分级中的应用价值[J].解放军医学杂志,2025,50(05):553-557.
- [6] 张晓辉,韩晓峰,廖八根.肌骨超声评估支具干预对Rigo E型青少年特发性脊柱侧凸椎旁软组织形态学的影响[J].临床超声医学杂志,2022,24(08):629-634. DOI:10.16245/j.cnki.issn1008-6978.2022.08.007.
- [7] 左歆.基于肌骨超声评价针刺对面瘫急性期患者面神经水肿与面动脉血流动力学的影响[D].黑龙江中医药大学,2024. DOI:10.27127/d.cnki.ghlzu.2024.000321.
- [8] 窈蕊,刘明,邢文华,等.剪切波弹性成像定量评估棘上或棘间韧带炎的相关研究[J].中国超声医学杂志,2025,41(08):909-911.
- [9] 孙晓,陆洲,任雅春,等.肌骨超声精准引导下增生疗法治疗冈上肌肌腱病的疗效研究[J].浙江创伤外科,2021,26(06):1154-1156.
- [10] 吴婉琳.基于肌骨超声观察刺络放血治疗肱二头肌长头肌腱炎的临床疗效[D].福建中医药大学,2023. DOI:10.27021/d.cnki.gfjzc.2023.000117.
- [11] 陈自力,杨溢,梁浩,等.肌骨超声在腓肠肌损伤分级中的应用价值[J/OL].解放军医学杂志,1-8[2025-09-02].https://link.cnki.net/urlid/11.1056.R.20250220.1530.002.
- [12] 宋丹丹.肌骨超声联合彩色血流成像检测对痛风性关节炎的诊断价值[J].实用医学影像杂志,2025,26(04):299-302. DOI:10.16106/j.cnki.cn14-1281/r.2025.04.014.
- [13] 朱丽娜,李海泽,刘雅娟,等.肌骨超声引导下注射富血小板血浆在肱骨外上髁炎患者术后康复治疗中的应用效果观察[J].中国临床新医学,2025,18(04):413-418.