

肌骨超声联合人工智能诊断炎症性关节病进展

杨嘉颖¹, 梁冰^{2*}, 徐红²

¹黑龙江省中医药科学院研究生院, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江省中医药科学院骨一科, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2026年7月10日; 录用日期: 2026年8月12日; 发布日期: 2026年8月25日

摘要

肌骨超声作为骨科学领域中诊断和管理炎症性关节病的重要影像学工具, 因其无创、实时和动态观察的特点, 近年来受到了广泛关注。伴随着手持式超声(handheld ultrasound, HHUS)的快速发展及人工智能(Artificial intelligence, AI)技术的引入, 肌骨超声在提升诊断准确性和便携性方面展现出巨大的潜力。然而, 当前该领域仍面临图像质量不稳定、数据存储安全风险及AI辅助诊断技术整合难度较高等挑战。本文围绕手持式超声(HHUS)与人工智能(AI)技术在肌骨超声图像识别和定量分析中的应用进展进行综述, 探讨其在炎症性关节病早期诊断、病情评估和临床推广中的应用价值, 旨在为临床医生和研究者提供理论依据和实践参考, 促进肌骨超声技术的智能化发展。

关键词

肌骨超声, 炎症性关节病, 手持式超声, 人工智能, 辅助诊断

Progress in Musculoskeletal Ultrasound and Artificial Intelligence for Diagnosing Inflammatory Arthropathy

Jiaying Yang¹, Bing Liang^{2*}, Hong Xu²

¹Graduate School, Heilongjiang Academy of Chinese Medical Sciences, Harbin Heilongjiang

²First Department of Orthopaedics, Heilongjiang Academy of Chinese Medical Sciences, Harbin Heilongjiang

Received: July 10, 2026; accepted: August 12, 2026; published: August 25, 2026

Abstract

Musculoskeletal ultrasound, as an important imaging tool for the diagnosis and management of

*通讯作者。

文章引用: 杨嘉颖, 梁冰, 徐红. 肌骨超声联合人工智能诊断炎症性关节病进展[J]. 中医学, 2026, 15(8): 426-434.
DOI: 10.12677/tcm.2026.158454

inflammatory arthropathies in orthopedics, has received increasing attention in recent years because of its non-invasive nature and its ability to provide real-time and dynamic assessment. With the rapid development of handheld ultrasound (HHUS) and the introduction of artificial intelligence (AI), musculoskeletal ultrasound has shown great potential in improving diagnostic accuracy and portability. However, this field still faces several challenges, including unstable image quality, risks related to data storage security, and difficulties in integrating AI-assisted diagnostic technologies. This article reviews the application progress of handheld ultrasound (HHUS) and artificial intelligence (AI) in image recognition and quantitative analysis of musculoskeletal ultrasound, and discusses their value in the early diagnosis, disease assessment, and clinical promotion of inflammatory arthropathies. This review aims to provide theoretical evidence and practical reference for clinicians and researchers, and to promote the intelligent development of musculoskeletal ultrasound technology.

Keywords

Musculoskeletal Ultrasound, Inflammatory Arthropathies, Handheld Ultrasound, Artificial Intelligence, Assisted Diagnosis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

肌骨超声技术在炎症性关节病的诊断和管理中发挥着重要的作用，其实时评估关节及周围软组织的炎症状态，使得医生能够及时做出更为准确的诊断和治疗决策。研究表明，肌骨超声在类风湿性关节炎、脊柱关节病以及晶体关节病等疾病中具有广泛的应用前景。这种技术不仅能够帮助识别潜在的关节炎症，还能明确关节受累的分布及炎症部位，从而为患者提供个性化的治疗方案[1] [2]。

然而，传统的台式超声设备虽具有高质量的图像，但由于其体积大、成本高，限制了其在基层及资源有限环境中的广泛应用。因此，手持式超声设备(HHUS)的出现为骨科学领域带来了新的希望。这种便携、经济且易于操作的设备使得临床医生能够在不同的场合中进行超声检查，大大提升了超声在骨科学中的应用普及度。尽管如此，HHUS在图像质量和诊断标准化方面仍面临诸多挑战[3] [4]。

随着人工智能技术的发展，肌骨超声图像的自动识别、定量分析和诊断辅助也展现出了巨大的潜力。这一技术的应用可以提升诊断效率和准确性，尤其是在处理大量超声图像时，AI的辅助分析可以帮助医生更快地识别出病变区域，减少人工分析的时间和错误率。研究表明，结合人工智能的超声图像分析能够改善慢性炎症性关节病的检测率，并为临床提供更为科学的决策依据[5] [6]。

综上所述，肌骨超声在炎症性关节病的诊断和管理中发挥着不可替代的作用，尽管面临设备成本和图像质量等挑战，但随着技术的不断进步，特别是HHUS和人工智能的结合，其应用前景依然广泛。

2. 肌骨超声在炎症性关节病中的应用现状

肌骨超声(musculoskeletal ultrasound, MSK ultrasound)作为一种重要的影像学技术，在炎症性关节病的诊断中展现出了显著的价值。首先，肌骨超声能够动态观察滑膜增厚、血流信号及骨侵蚀等炎症性关节病的关键病理变化。这种动态成像的特性使得超声能够实时评估关节结构的变化，帮助医生及时发现病情的进展或缓解。例如，有研究表明，通过超声可以有效评估关节内的炎症反应，尤其是在类风湿性关节炎和其他类型的关节炎患者中，超声能够识别出早期的病理变化，如滑膜炎和关节积液，这些都是传

统影像学手段如 X 光片所无法提供的[7]。

相较于传统影像学方法,肌骨超声的优势在于其无创性、实时性和重复性强。由于超声不涉及辐射,因此可以安全反复进行,适合用于疾病活动度的监测以及治疗效果的评估。此外,超声在操作过程中能够实时反馈,使医生能够根据患者的具体情况及时调整检查方案,从而提高诊断的准确性和效率[5] [8]。这种灵活性尤其适用于需要频繁随访的患者,如慢性关节炎患者,能够有效监测其病情变化并及时调整治疗方案。

在临床实践中,肌骨超声已成为风湿病诊断和鉴别诊断的重要辅助工具。越来越多的临床研究支持超声在风湿性关节病的应用,尤其是在炎症性关节病的早期识别和治疗效果评估方面。通过结合超声检查与临床评估,医生能够更全面地理解病情,从而制定更有效的治疗策略。

此外,随着超声技术的不断进步,如高分辨率成像和对比剂的使用,肌骨超声的临床应用范围也在扩大。如今,超声不仅被用于关节炎的诊断,还被应用于肌腱、韧带等软组织的评估,进一步丰富了其在风湿病学中的应用价值。综上所述,肌骨超声作为一种安全、有效且具有动态观察能力的影像学工具,正在逐渐成为炎症性关节病诊断和管理中不可或缺的组成部分。

2.1. 手持式超声设备(HHUS)的应用进展

2.1.1. HHUS 的技术特点与优势

手持超声(HHUS)设备在近年来迅速崛起,成为临床中极具潜力的工具。其最大的特点之一便是其出色的便携性,这使得 HHUS 能够在床边、社区以及资源有限的环境中广泛应用。研究显示,HHUS 设备小巧轻便,能够有效地在急诊、家庭护理及偏远地区进行超声检查,特别是在需要快速响应的情况下,其便捷性显著提高了患者护理的效率[3]。在资源匮乏的环境中,HHUS 的使用不仅能够提高医疗服务的可达性,还能在一定程度上缓解传统大型超声设备的负担,使得更多的患者能够享受到及时的医疗评估和干预。

与传统的超声设备相比,HHUS 的成本显著降低,使其在经济上更具吸引力。这种设备不仅减少了医院的设备投资,还降低了患者的医疗费用,从而使得超声检查对更多患者变得可及。此外,HHUS 的操作界面友好,通常设计为简单易懂,甚至未受过专业培训的医务人员也能够在规定时间内掌握其使用。这一点在一些研究中得到了证实,HHUS 能够在缺乏专业超声技术人员的地区,例如乡村和偏远地区,提供基本的超声检查服务,极大地提高了基层医疗的服务能力[9]。

HHUS 的另一大优势在于其能够实现快速初筛和动态监测。在急性病情或慢性疾病管理中,HHUS 可以在短时间内提供重要的超声信息,使得临床医生能够迅速作出决策。这种快速的动态监测能力使得临床医生能够及时跟踪患者的病情变化,从而及时调整治疗方案,提升了患者的预后效果。综上所述,HHUS 凭借其便携性、经济性和高效性,正在逐步改变传统超声的使用模式,并为基层医疗和急救医疗提供了重要支持。

2.1.2. HHUS 在炎症性关节病诊断中的效果评估

手持超声(HHUS)近年来在炎症性关节病的诊断中受到了广泛关注。相较于传统的台式超声,HHUS 因其便携性、经济性和易于操作的特点,成为了临床诊断的重要辅助工具。研究表明,HHUS 在检测滑膜炎和关节积液方面的准确性与台式超声非常接近,这使得 HHUS 在日常临床实践中的应用愈发广泛。例如,一项针对手持超声在类风湿关节炎患者中检测滑膜炎的研究显示,HHUS 的诊断结果与台式超声的结果高度一致,敏感性和特异性均能达到临床要求[3]。此外,HHUS 在早期筛查炎症性关节病方面也表现出了良好的潜力,能够在资源有限的环境中提供有效的诊断支持。

尽管 HHUS 在炎症性关节病的诊断中展现出了良好的应用前景,但其仍然存在一些局限性。首先,

HHUS 的探头性能和图像分辨率不如高端的台式超声。这使得 HHUS 在识别某些细微病变时可能存在不足,特别是对小关节或深部结构的评估时,可能会漏诊一些重要的病变[10]。例如,在对一些小关节滑膜炎的评估中,HHUS 可能无法提供足够的图像清晰度,从而影响诊断的准确性。因此,在面对复杂的炎症性病变时,临床医生需要综合考虑使用 HHUS 的局限性,并在必要时结合其他影像学检查手段,如 MRI 或 CT,以提高诊断的全面性和准确性。

为了充分发挥 HHUS 在炎症性关节病诊断中的潜力,建立标准化的操作流程和培训体系显得尤为重要。手持超声的操作技术相对简单,但其诊断结果仍然受操作者的经验和技能影响。因此,制定统一的操作指南和评分标准能有效提高 HHUS 的应用效果。此外,加强对医务人员的培训,确保其熟练掌握 HHUS 的操作技巧和图像解读能力,也有助于提高诊断的一致性和可重复性[3] [11]。例如,培训课程可以涵盖常见的炎症性关节病的超声表现、图像获取技巧以及结果解读等内容,从而为临床实践提供更为坚实的基础。通过这些措施,HHUS 在炎症性关节病的早期诊断和监测中将发挥更为重要的作用。

2.2. 人工智能在肌骨超声辅助诊断中的应用与发展

2.2.1. AI 技术在超声图像处理中的作用

随着人工智能(AI)技术的快速发展,其在超声图像处理中的应用正逐渐成为研究重点。AI 技术,尤其是深度学习算法,已经被广泛应用于超声图像的自动处理与分析,具体体现在自动图像分割、病变识别和定量分析等方面。通过利用深度学习算法,研究者们可以实现对超声图像的高效分割和分类,从而自动识别出病变区域。这些算法能够学习和提取超声图像中的复杂特征,提高了对不同病变类型的识别精度。这种自动化的处理不仅提高了图像分析的效率,还为临床医生提供了更为可靠的诊断依据。

在图像诊断的一致性和客观性方面,AI 的应用同样展现出显著优势。传统的超声图像分析往往受到操作者经验和技能的影响,导致图像的解读存在较大的主观性和变异性。而 AI 算法通过标准化的处理流程,能够减少这种人为误差,从而提高诊断的一致性。研究表明,AI 算法在进行图像分析时,其结果更为一致,且在不同操作者之间的变异性显著降低,这为提高超声诊断的可靠性奠定了基础[12]。

此外,AI 技术的引入使得实时诊断决策成为可能。通过自动化的图像处理,AI 可以快速分析超声图像,从而支持临床医生在短时间内作出诊断决策。这种实时性不仅能够提升患者的就医体验,还能在紧急情况下帮助医生快速识别潜在的危急病症。总的来说,AI 在超声图像处理中的应用,不仅提升了诊断的准确性和效率,也为医学影像学的发展提供了新的方向和可能性。

2.2.2. AI 辅助诊断在炎症性关节病中的具体应用

在炎症性关节病的早期诊断中,人工智能(AI)技术的引入显著提高了对病变的检测敏感性。例如,基于深度学习的卷积神经网络(CNN)在分析手部磁共振成像(MRI)时,能够自动识别滑膜增厚、骨侵蚀等病灶,达到高达 92%的准确率。这种技术不仅提高了诊断的效率,也减轻了医生的工作负担,从而使得患者能够更早获得治疗。此外,AI 系统在评估关节炎患者的血流信号方面同样表现出色,通过自动检测血流信号的变化,能够有效区分不同类型的关节炎,进而帮助制定个性化的治疗方案。AI 的应用使得传统的影像学检查手段得以转型为更加智能化和高效的诊断工具。

AI 技术在疾病活动度评分的自动化方面展现了巨大的潜力。通过分析患者的影像数据和临床指标,AI 可以自动计算出疾病活动度评分,从而为临床医生提供决策支持。这种自动化评分系统不仅提高了评分的准确性和一致性,还能够及时跟踪疾病的变化,使得医生能够随时调整治疗方案[13]。例如,研究表明,AI 模型在基于 DAS28 评分的分类中,能够准确识别出患者的活动状态,并为临床决策提供支持。这种基于 AI 的自动评分系统,不仅提高了临床工作效率,也为患者的个体化治疗提供了数据支持。

结合 AI 技术与临床数据,能够实现对炎症性关节病患者的个体化风险评估和预后预测。通过分析患

者的历史病历、实验室检查结果和影像学数据, AI 模型能够识别出高风险患者, 并预测其疾病进展的可能性[14]。例如, 研究显示, AI 在评估类风湿关节炎(RA)患者的心血管疾病风险时, 能够准确识别出相关的危险因素, 如高龄、肥胖和炎性标志物的升高, 从而为临床医生提供了宝贵的参考依据。此外, AI 的预后预测能力使得医生可以更好地制定长期的管理计划, 从而提高患者的生活质量和治疗效果。这种个体化的医疗模式, 代表了未来炎症性关节病管理的一个重要方向。

2.3. HHUS 与 AI 技术融合面临的挑战

在技术层面, HHUS 图像容易受到操作者经验、探头性能及设备型号的影响, 标准切面和病灶显示可能不稳定[15]-[17]。低质量图像进入 AI 模型后, 误差可能进一步放大, 因此需要统一图像采集流程、质量评价标准和操作者培训, 为 AI 分析提供稳定输入。

在数据与模型层面, 不同设备、关节部位和医疗机构之间的数据分布存在差异, 标注质量也缺乏统一标准, 可能降低 AI 模型的跨设备和跨中心泛化能力[3][12]。后续研究应建设多中心数据集, 统一病灶定义和标注规则, 并开展独立外部验证, 以明确模型在真实临床场景中的适用范围。

在安全与伦理层面, HHUS 的无线传输与 AI 的数据处理增加了患者信息泄露和未经授权访问的风险[18]。临床应用中应加强加密存储、身份认证、访问控制和安全审计, 并提高 AI 决策的透明度与可解释性[12]。AI 结果应作为辅助意见, 由临床医生结合图像质量和患者情况进行复核, 明确最终决策责任。

2.4. 肌骨超声设备与 AI 技术整合的未来趋势

2.4.1. 智能化超声设备的研发与创新

在近几年的医疗技术进步中, 智能化超声设备的研发与创新成为了一个重要的研究领域。这些设备通过集成先进的人工智能(AI)算法, 实现了边缘计算能力, 能够在实时环境中进行图像分析和反馈。这种技术的应用使得超声检查的效率和准确性得到了显著提升。例如, 某些智能超声设备能够在图像采集的瞬间进行实时分析, 识别出可能的病变, 从而帮助医生做出更快速和准确的诊断[19]。

此外, 设备的轻量化与多功能化也成为研发的重点。现代超声设备不仅在体积和重量上进行了优化, 更是融合了多种功能, 如实时成像、导向针插入等, 以满足不同临床场景的需求。这种轻量化的设计使得超声设备能够在各种临床环境中使用, 包括门诊、急救和家庭护理等场所, 极大地扩展了超声的应用范围, 尤其是在资源有限的地区, 智能化设备的便携性和多功能性为基层医疗提供了极大的便利[20]。

2.4.2. 多学科协作推动技术应用落地

在现代医学中, 尤其是在炎症性关节病的诊断和治疗中, 多学科协作已经成为推动技术应用落地的重要因素。这种协作通常涉及风湿病学、影像学、计算机科学以及信息安全等多个领域的专业人士。通过跨学科的合作, 各领域的专家可以共同解决复杂的医疗问题, 并推动创新技术的开发与应用。例如, 影像学专家与数据科学家之间的有效沟通对于开发适用于临床的人工智能(AI)解决方案至关重要。影像学专家可以提供必要的临床背景和具体的影像学目标, 而数据科学家则负责算法的开发和实现, 二者的结合可以有效提升 AI 在医疗影像分析中的应用效果[21]。

此外, 建立多中心大数据平台是推进 AI 模型训练和验证的重要措施。通过汇聚来自不同医疗机构的数据, 可以大幅提升 AI 模型的泛化能力和准确性。这种大数据平台的建立, 能够促进不同专业之间的协作, 使得 AI 技术能够更快地被转化为临床应用, 进而改善患者的治疗效果。

然而, 技术的应用一定要遵循行业标准和伦理规范, 以保障其安全合规。随着 AI 在医疗领域的逐渐普及, 相关的伦理问题越来越受到关注, 包括数据隐私、算法透明性以及潜在的偏见等。这些问题的存在可能会影响患者的信任和技术接受度。因此, 各专业领域需要共同制定行业标准和伦理规范, 确保

技术的应用既科学又符合伦理要求[22]。

2.5. 肌骨超声在临床推广中的关键问题与对策

2.5.1. 培训与标准化操作的重要性

在肌骨超声的应用中，培训与标准化操作显得尤为重要。建立系统化的培训体系不仅能够有效提高医务人员的操作技能，还能显著提升其诊断水平。只有经过系统化的培训，医务人员才能掌握操作技巧和诊断方法，提高超声检查的准确性和效率。

此外，制定统一的操作规范和质量控制标准也是非常重要的。这些标准有助于保障不同医务人员进行超声检查时的诊断一致性，进而提高整体诊断的可靠性。由于肌骨超声的操作依赖于操作者的技术水平，操作规范的制定可以有效减少因个人差异导致的结果偏差。相关研究表明，标准化的超声操作可以提高对炎症性关节病的检测率，降低误诊率[23]。同时，随着人工智能(AI)的应用逐渐融入肌骨超声领域，标准化的操作也为 AI 算法的训练和验证提供了必要的基础数据，使其能够更有效地辅助临床诊断。

2.5.2. 数据管理与安全保障策略

在现代医学中，尤其是涉及肌骨超声及其与人工智能结合的领域，数据管理与安全保障策略显得尤为重要。首先，采用加密存储和安全传输技术是保护患者隐私的基础。随着肌骨超声技术的普及，患者数据的收集和存储量不断增加，如何确保这些敏感信息的安全成为了医疗机构必须面临的挑战。在这种情况下，数据的安全性与隐私保护就显得尤为重要，必须采取有效的加密技术来防止数据在存储和传输过程中被未经授权访问或泄露[3]。

2.5.3. 临床应用中的经济性与可持续性

在炎症性关节病的诊断与治疗中，肌骨超声(HHUS)与人工智能(AI)辅助诊断的经济性与可持续性是一个重要的研究领域。首先，HHUS 作为一种无创、便携且操作简便的成像技术，在评估疾病活动性方面显示出较高的成本效益。研究表明，肌骨超声在类风湿关节炎等疾病的活动性评估中，与传统的临床和实验室评估方法具有良好的相关性，从而为资源的合理配置提供了依据[24]。此外，HHUS 在诊断关节空间狭窄、关节积液和滑膜增厚等方面表现出色，且其低成本特点，使其在资源有限的环境中具有更高的适用性，这为其在临床应用中的经济性提供了重要支持。

最后，持续监测临床效果是优化诊疗流程、提升患者满意度的重要环节。通过对 HHUS 及 AI 辅助诊断技术的实施效果进行跟踪和评估，可以及时发现问题并进行调整。例如，某些研究显示，HHUS 能够较早地识别出关节病变，进而提高早期干预的有效性，从而改善患者的长期预后[25]。

2.5.4. 临床推广的循证依据

充分的临床证据是推动肌骨超声及人工智能辅助技术规范化的重要基础。Jindal 等对 90 例病程不足 2 年的类风湿关节炎患者开展前瞻性研究，结果显示，肌骨超声在 84 例患者中检出关节异常，而常规 X 线仅在 13 例患者中发现异常；其中，超声检出骨侵蚀 42 例，X 线仅检出 6 例。此外，超声血流评分与 DAS28 疾病活动度评分显著相关。该研究表明，肌骨超声能够在常规影像学尚未显示明确异常时更早识别滑膜炎和骨侵蚀，提高早期病变的检出效率[26]。

人工智能技术可进一步优化肌骨超声检查流程。Park 等利用 270 例类风湿关节炎患者的 2043 个指关节建立深度学习模型，并在 40 例患者的 270 个关节中进行测试。该模型对超声炎症的检测敏感性为 82.1%，高于仅依据关节压痛和肿胀建立的临床模型的 38.5%，阴性预测值分别为 96.8%和 90.3%；同时，AI 辅助分诊可将需要进一步接受超声检查的指关节数量减少约 80%。上述结果表明，AI 能够在保持较高炎症检出能力的同时减少不必要的关节扫查，提高检查的针对性和工作效率[27]。

早期诊断和治疗效率的提高还可进一步转化为长期预后获益。Kedra 等基于 ESPOIR 队列开展 10 年随访研究, 分别纳入 418 例具有完整临床结局资料和 343 例具有完整影像学资料的类风湿关节炎患者。研究显示, 与延迟 3、6 或 12 个月启动治疗相比, 在疾病早期 3 个月内启动传统合成改善病情抗风湿药物, 与 10 年时获得临床低活动度和良好功能状态, 以及无明显影像学结构损伤进展均呈正相关。该研究证实, 及时把握早期治疗窗口能够改善患者长期临床、功能及关节结构预后[28]。

综上, 肌骨超声能够提高炎症及早期结构损伤的检出率, 人工智能能够减少不必要的扫查范围并提高检查效率; 二者通过促进炎症性关节病的早期识别和及时治疗, 有助于延缓关节结构损伤, 改善患者的长期临床及功能预后。

3. 结论

随着肌骨超声技术的迅速发展, 尤其是手持式超声设备的广泛应用, 炎症性关节病的诊断和管理正迎来新的机遇。肌骨超声因其无创、实时和可重复性高的特点, 已经成为临床上不可或缺的工具。这种技术不仅能够帮助医生准确评估关节的炎症状态, 还能实时监测治疗效果, 从而为患者提供更为个性化的医疗方案。

然而, 随着人工智能(AI)技术的引入, 肌骨超声的应用范围与深度都得到了显著扩展。AI 的自动化分析能力为超声图像的解读提供了革命性的支持, 尤其是在提高诊断效率和准确性方面。然而, AI 在这一领域的成功应用依然面临一些挑战, 包括数据质量的参差不齐、隐私保护问题以及模型的可解释性等。这些问题不仅影响了 AI 技术在临床应用中的普及, 也对医务人员在应用这些技术时的信心产生了一定的影响。

未来, 推动智能化肌骨超声技术的广泛应用, 需在多个方面进行努力。首先, 提升设备性能是关键, 这不仅需要技术的不断创新, 还需要各方的共同努力以确保设备的标准化和一致性。其次, 制定明确的操作流程, 以减少使用中的变异性, 确保临床结果的可靠性。此外, 多学科的合作也是不可或缺的, 尤其是医学影像学、人工智能及临床医学之间的紧密合作, 将有助于推动这一技术的不断发展和完善。

为了实现这些目标, 系统培训和规范管理显得尤为重要。通过对医务人员进行专业培训, 不仅可以提升他们对肌骨超声和 AI 技术的理解和应用水平, 也能增加他们对新技术的接受度。同时, 政策支持将为这一领域的发展提供必要的保障, 促进更多资源的投入与研究。

综上所述, 肌骨超声与人工智能的结合, 虽然在应用上存在挑战, 但也为炎症性关节病的早期诊断和患者治疗效果的提升带来了新的希望。通过技术创新、标准化流程的制定以及多学科合作的推进, 我们有理由相信, 在不久的将来, 智能化肌骨超声技术将为临床实践带来深远的影响, 最终造福更多的患者。

参考文献

- [1] Nooh, N., Turkawi, R., Maybury, M., Cardy, C. and Sahbudin, I. (2025) Applications of Musculoskeletal Ultrasound in Inflammatory Arthritis. *Clinical Medicine*, 25, Article 100508. <https://doi.org/10.1016/j.clinme.2025.100508>
- [2] Kondo, Y., Kaneko, Y. and Takeuchi, T. (2022) Differential Diagnosis of Inflammatory Arthritis from Musculoskeletal Ultrasound View. *Rheumatology and Immunology Research*, 3, 54-60. <https://doi.org/10.2478/rir-2022-0010>
- [3] Sabido-Sauri, R., Eder, L., Emery, P. and Aydin, S.Z. (2025) Integrating Handheld Ultrasound in Rheumatology: A Review of Benefits and Drawbacks. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 39, Article 102085. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2025.102085>
- [4] Koppikar, S., Diaz, P., Kaeley, G.S. and Eder, L. (2023) Seeing Is Believing: Smart Use of Musculoskeletal Ultrasound in Rheumatology Practice. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 37, Article 101850. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2023.101850>
- [5] Chew, E., Lee Day, A., Nazarian, L.N. and Kohler, M. (2025) Basic Musculoskeletal Ultrasound. *Medical Clinics of*

- North America, **109**, 137-161. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2024.06.007>
- [6] Mehta, S., Zhou, A.L., Koppikar, S. and Eder, L. (2025) Practical Guide for the Use of Ultrasound in Psoriasis and Psoriatic Arthritis. *Rheumatic Disease Clinics of North America*, **51**, 511-524. <https://doi.org/10.1016/j.rdc.2025.05.003>
 - [7] Kun, L., Gessl, I., Filippou, G., Ferrito, M., Giacomelli, R. and Mandl, P. (2025) Ultrasound in Rheumatic and Musculoskeletal Diseases: From Musculoskeletal to Organ Involvement. *Joint Bone Spine*, **92**, Article 105920. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2025.105920>
 - [8] Malliaropoulos, N. and Daoukas, S. (2024) MSK Ultrasound Imaging-Assisted Clinical Examination. *Ultrasound*, **33**, 88-90. <https://doi.org/10.1177/1742271x241280911>
 - [9] Merkel, D., Züllich, T.F., Schneider, C., Yousefzade, M., Beer, D., Ludwig, M., et al. (2023) Prospective Comparison of Handheld Ultrasound Devices from Different Manufacturers with Respect to B-Scan Quality and Clinical Significance for Various Abdominal Sonography Questions. *Diagnostics*, **13**, Article 3622. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13243622>
 - [10] Sakellariou, G., Schieppatti, A., Scalvini, D., Lusetti, F., Fazzino, E., Biagi, F., et al. (2022) Musculoskeletal Ultrasound to Identify Subclinical Joint and Periarticular Involvement in Patients with Inflammatory Bowel Disease: A Systematic Literature Review. *Frontiers in Medicine*, **9**, Article ID: 919521. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.919521>
 - [11] Ruiz Santiago, F., Orellana González, C., Moraleda Cabrera, B. and Láinez Ramos-Bossini, A.J. (2024) Ultrasound Guided Procedures in the Musculoskeletal System: A Narrative Review with Illustrative Examples. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **14**, 8028-8049. <https://doi.org/10.21037/qims-24-176>
 - [12] Cui, X.W., Goudie, A., Blaivas, M., Chai, Y.J., Chammas, M.C., Dong, Y., et al. (2025) WFUMB Commentary Paper on Artificial Intelligence in Medical Ultrasound Imaging. *Ultrasound in Medicine & Biology*, **51**, 428-438. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2024.10.016>
 - [13] Shucheng, H., Armstrong, A.W., Eidsmo, L. and Poddubnyy, D. (2025) Hot Topics: Exploring Artificial Intelligence and Inflammatory Memory in the Management of Psoriatic Diseases. *The Journal of Rheumatology*, **52**, 80-82. <https://doi.org/10.3899/jrheum.2025-0241>
 - [14] Kumar, R., Gowda, C., Sekhar, T.C., Vaja, S., Hage, T., Sporn, K., et al. (2025) Advancements in Machine Learning for Precision Diagnostics and Surgical Interventions in Interconnected Musculoskeletal and Visual Systems. *Journal of Clinical Medicine*, **14**, Article 3669. <https://doi.org/10.3390/jcm14113669>
 - [15] Lo, H., Eder, N., Boten, D., Jenssen, C. and Nuernberg, D. (2022) Handheld Ultrasound (HHUS): Potential for Home Palliative Care. *Ultrasound International Open*, **8**, E68-E76. <https://doi.org/10.1055/a-1999-7834>
 - [16] Salimi, N., Gonzalez-Fiola, A., Yanez, D., Fardelmann, K., Harmon, E., Kohari, K., et al. (2022) Ultrasound Image Quality Comparison between a Handheld Ultrasound Transducer and Mid-Range Ultrasound Machine. *POCUS Journal*, **7**, 154-159. <https://doi.org/10.24908/pocus.v7i1.15052>
 - [17] Leung, S.K., Dancel, R., Soni, R., Perez-Sanchez, A., Mader, M.J., Al-Wahab, H., et al. (2025) Comparison of Six Handheld Ultrasound Devices by Pediatric Point of Care Ultrasound (POCUS) Experts. *POCUS Journal*, **10**, 141-156. <https://doi.org/10.24908/pocus.v10i01.18722>
 - [18] Ho-Gotshall, S., Wilson, C., Jacks, E. and Kashyap, R. (2024) Handheld Ultrasound Bladder Volume Assessment Compared to Standard Technique. *Cureus*, **16**, e64649. <https://doi.org/10.7759/cureus.64649>
 - [19] Ma, L., Wang, R., He, Q., Huang, L., Wei, X., Lu, X., et al. (2022) Artificial Intelligence-Based Ultrasound Imaging Technologies for Hepatic Diseases. *iLIVER*, **1**, 252-264. <https://doi.org/10.1016/j.iliver.2022.11.001>
 - [20] Nathani, A., Keshishyan, S. and Cho, R.J. (2024) Advancements in Interventional Pulmonology: Harnessing Ultrasound Techniques for Precision Diagnosis and Treatment. *Diagnostics*, **14**, Article 1604. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14151604>
 - [21] Martín-Noguerol, T., Paulano-Godino, F., López-Ortega, R., Górriz, J.M., Riascos, R.F. and Luna, A. (2021) Artificial Intelligence in Radiology: Relevance of Collaborative Work between Radiologists and Engineers for Building a Multi-disciplinary Team. *Clinical Radiology*, **76**, 317-324. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2020.11.113>
 - [22] Kalweit, G., Ullrich, E., Boedecker, J., Mertelmann, R. and Kalweit, M. (2025) AI in Optimized Cancer Treatment: Laying the Groundwork for Interdisciplinary Progress. *Oxford Open Immunology*, **6**, iqaf004. <https://doi.org/10.1093/oxfimm/iqaf004>
 - [23] Özçakar, L. (2024) AI (As an Ally) for Musculoskeletal Ultrasound in PRM—Haute Couture after Renaissance. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, **103**, 967-969. <https://doi.org/10.1097/phm.0000000000002602>
 - [24] Nair, A., Pruthi, P., Sasikala, L., Marwaha, V., Surendran, S., Tiwari, A. and Mathew, A.R. (2022) Assessment of Disease Activity in Rheumatoid Arthritis: A Comparative Study of Clinical and Laboratory Evaluation with Musculoskeletal Ultrasonography Assessment. *Journal of the Association of Physicians of India*, **70**, 11-12.
 - [25] Seskute, G., Jasionyte, G., Rugiene, R. and Butrimiene, I. (2023) The Use of Superb Microvascular Imaging in Evaluating

-
- Rheumatic Diseases: A Systematic Review. *Medicina*, **59**, Article 1641. <https://doi.org/10.3390/medicina59091641>
- [26] Jindal, G., Bansal, S., Gupta, N., Singh, S.K., Gahukar, S. and Kumar, A. (2021) Comparison of Ultrasonography and X-Rays for the Diagnosis of Synovitis and Bony Erosions in Small Joints of Hands in Early Rheumatoid Arthritis: A Prospective Study. *Maedica—A Journal of Clinical Medicine*, **16**, 22-28. <https://doi.org/10.26574/maedica.2021.16.1.22>
- [27] Park, Y., Chun, K.S., Lee, S., Jung, J., Lee, S., Park, H., *et al.* (2026) Radiograph-Based Deep Learning Model to Support Finger Joint Selection for Ultrasound Examination in Rheumatoid Arthritis. *Diagnostics*, **16**, Article 1689. <https://doi.org/10.3390/diagnostics16111689>
- [28] Kedra, J., Lafourcade, A., Combe, B., Dougados, M., Hajage, D. and Fautrel, B. (2022) Positive Impact on 10-Year Outcome of the Window of Opportunity for Conventional Synthetic Dmards in Rheumatoid Arthritis: Results from the ESPOIR Cohort. *RMD Open*, **8**, e002040. <https://doi.org/10.1136/rmdopen-2021-002040>