

超声在肌肉损伤评估中的研究进展

唐 雯

成都市第一人民医院超声科, 四川 成都

收稿日期: 2024年6月9日; 录用日期: 2024年7月2日; 发布日期: 2024年7月9日

摘 要

肌肉损伤是运动医学中不可避免的一部分, 不仅影响着运动员的竞技表现, 也威胁着普通人群的健康和生活质量。随着医学技术的飞速发展, 超声作为一种非侵入性、无辐射的影像方法, 在肌肉损伤的诊断、治疗和恢复评估中发挥着越来越重要的作用。本文将对超声在肌肉损伤诊断中的研究进展进行综述, 以探讨其在肌肉损伤评估中的价值。

关键词

肌肉损伤, 超声, 肌骨超声, 弹性成像

Ultrasound Imaging in Muscle Injury: A Review

Wen Tang

Department of Ultrasound, Chengdu First People's Hospital, Chengdu Sichuan

Received: Jun. 9th, 2024; accepted: Jul. 2nd, 2024; published: Jul. 9th, 2024

Abstract

Muscle injury is an inevitable part of sports medicine, which not only affects the athletic performance of athletes, but also threatens the health and quality of life of the general population. With the rapid development of medical technology, ultrasound, as a non-invasive and non radiative imaging method, plays an increasingly important role in the diagnosis, treatment, and recovery assessment of muscle injuries. This article will review the research progress of ultrasound in the diagnosis of muscle injury, in order to explore its value in the assessment of muscle injury.

Keywords

Muscle Injury, Ultrasound, Musculoskeletal Ultrasound, Ultrasound Elastography

Copyright © 2024 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

肌肉损伤仍然是运动中最常见的损伤之一，在所有肌肉群中，腿部肌肉是最常见的受伤部位。在运动医学中，准确诊断肌肉损伤、肌肉损伤的治疗和预测损伤恢复能力是从业者的基本技能。超声由于可用性广和成本低等特点，已成为运动损伤诊断的一个重要组成部分。在某些情况下，它可与磁共振成像[MRI]一起使用提高诊断的灵敏度。超声不仅用于肌肉和肌腱损伤的初步诊断，还可用于损伤后的随访，而新近的超声技术，如剪切波弹性成像、微血管成像、超声造影等，则提高了超声诊断效能[1] [2]。

2. 肌肉损伤的分类及分度

肌肉损伤被认为是运动和运动人群中最常见的损伤之一，它们占职业运动员所有损伤的30%以上[3]。尽管肌肉损伤发生的频率高，社会影响相当大，但对肌肉损伤的描述的术语以及分类分级仍缺乏广泛的一致性。

2.1. 早期分类

到20世纪初，肌肉损伤已按病因或机制和损伤的解剖位置进行分类。具体而言，按受损原因分为直接损伤和间接损伤，直接损伤包括挫伤和穿透性损伤，由撞击或尖锐物造成的直接损伤，损伤部位对应受力部位；而间接损伤是由于由肌肉收缩伸长导致肌肉肌腱连接处纤维破坏。按损伤位置分为肌肉肌腱连接处、肌肉内或肌腱中；按症状和体征的严重程度，分为轻度、中度、重度(或I度、II度、III度)，轻度表现为轻微肿胀出血，局部压痛，可有部分肌肉纤维撕裂。中度表现为中度肿胀出血、局部压痛，有肌肉纤维撕裂，但未完全破坏。重度表现为严重疼痛、明显的肿胀出血、肌肉肌腱断裂，包括肌腱连接处或骨撕脱，伴有功能受损。这些分类分级大多数是三级系统，考虑了疼痛的程度、肿胀和血肿程度、肌腱受累范围，但缺乏影像评估及预后价值的相关证据[4]，日常使用与研究缺乏一致性。

2.2. 近期分类

近年，基于症状或体征，结合影像学表现及恢复运动所需时间，提出了新的综合分类系统，如慕尼黑共识、英国体育系统等[5] [6]，旨在统一损伤描述术语、提高肌肉损伤的诊断、改善疾病管理和预后。

2.2.1. 慕尼黑共识

与之前分类一致，慕尼黑共识[5]里根据发病机制，肌肉损伤分为直接损伤和间接损伤，但间接损伤细分为4个亚型，1型为过度运动相关的肌肉障碍，包括肌肉疲劳引起的受损和迟发性肌肉；2型为神经肌肉相关的肌肉障碍；3型为部分肌肉撕裂；4型为接近全部或全部肌肉撕裂。其中1型和2型为功能性肌肉受损，常累及整条肌肉或整个肌群，患者有紧绷感，运动或休息时疼痛，MRI未见异常或表现为水肿。3型和4型为结构性功能受损，常表现为运动时肌肉肌腱连接处的撕裂，局部压痛明显，一般不累

及整条肌肉或整个肌群。MRI 表现为肌纤维的断裂,伴有筋膜受损或水肿(见表 1)。该分类旨在标准化肌肉损伤的术语,前瞻性地评估新分类的预后和治疗意义。

Table 1. The Munich system
表 1. 慕尼黑系统

A. 间接肌肉损伤	功能性肌肉损伤	1 型: 过度运动相关的肌肉障碍
		2 型: 神经肌肉相关的肌肉障碍
	结构性功能受损	3 型为部分肌肉撕裂
		4 型: 接近全部或全部肌肉撕裂
B. 直接肌肉损伤		挫伤、穿透性损伤

2.2.2. 英国体育分类系统

英国体育分类系统[6]则将肌肉损伤分为 4 级, 0 级为 MRI 正常的局灶性肌肉损伤或疼痛; 1 级为小的肌肉撕裂,横切受累面积 < 10%; 2 级损伤肌肉中度撕裂,横截面积为 10%~50%,或者受累长度 5 cm~15 cm; 3 级损伤是肌肉的广泛撕裂,通常患者会出现突然疼痛,并可能会摔倒在地上,横截面积 > 50%或受累长度 > 15 cm; 4 级损伤为肌肉或肌腱完全撕裂,患者突然的剧烈疼痛并严重的活动限制(见表 2)。该系统中加入 0 级肌肉损伤,通常是一种肌肉异常的临床综合征,但没有病理的影像学证据,当然,这是可能目前的成像方式无法检测到的。然而,这种“非结构性”损伤常常表明恢复运动时间较短[7]。

Table 2. The British sports classification system
表 2. 英国体育分类系统

	0 级	1 级	2 级	3 级	4 级
	无撕裂	小撕裂	中度撕裂	广泛撕裂	完全撕裂
受累面积		<10%	10%~50%	>50%	
受累长度			5cm~15cm	>15 cm	

3. 肌肉损伤的超声检查

肌肉损伤的超声分级及表现

得益于影像技术的发展,超声常作为一种间接手段来评估肌肉损伤的解剖学和病理学,与传统的靠症状体征的方式比较,更加客观标准。基于临床严重程度分级,Peetrons [8]等将肌肉损伤的超声表现分为 3 级。1 级为低回声; 2 级为 5%~50%肌肉受累,部分肌肉撕裂;有明显的低回声区; 3 级为肌肉完全撕裂,周围有明显的低回声区。两年后,Takebayshi [9]等根据肌肉损伤的横截面积分级,将损伤严重程度分为 3 级,受累面积 < 20%为 1 级,受累面积为 20%~50%为 2 级,受累面积 > 50%为 3 级。随后, Lee [10]等除了评估肌肉受损范围之外,还描述了断裂肌纤维周围的血管、肌内积液、邻筋膜腱膜脱离或收缩的情况。1 级超声表现正常或局部回声增强; 2 级表现为肌纹理回声不连续,被破坏的肌纤维周围有血管增生,肌肉内积液,邻近筋膜或腱膜脱离; 3 级肌纤维完全断裂,周围明显水肿形成(见表 3)。

解剖学上,肌肉包括起点、近端和远端肌腱、近端和远端肌肉肌腱连接处、一个或多个肌腹以及附着处,近年来, Chan [11]等人除了进行 3 级分类,还增加了肌肉损伤位置的描述,1 表示为损伤位于肌肉肌膜连接处近端,2 表示为损伤位于为肌肉内,3 表示为损伤位于肌肉肌膜连接处远端; 2 肌肉内又分为 A 近端、B 中端和 C 远端,按筋膜受累情况分为 a 肌肉内、b 肌肉内肌筋膜、c 肌筋膜/筋膜周围、d 肌腱、e 联合病变(见表 3、表 4)。

Table 3. Ultrasound classification and demonstrate in different periods
表 3. 各时期超声分级及表现

	Peetrons	Takebayshi	Lee	Chan
1 级	低回区	受累面积<20%	正常或局部回声增强	同 Lee
2 级	5%~50%肌肉受累，部分肌肉撕裂	受累面积为 20%~50%	肌纤维周围有血管增生； 邻近筋膜或腱膜脱离	同 Lee
3 级	肌肉完全撕裂，周围有明显的低回声区	受累面积>50%	肌纤维完全断裂	同 Lee

Table 4. Chan’s classification
表 4. Chan 分类法

损伤位置		
1. 肌肉肌膜连接处近端		
2. 肌肉内	A 近端 B 中端 C 远端	a 肌肉内 b 肌肉筋膜 c 肌筋膜/筋膜周围 d 肌腱或联合病变 e 联合病变
3. 肌肉肌膜连接处远端		

虽然在检测 1 级病变方面超声不如 MRI 敏感,但由于超声在检测肌纤维受损区域方面的灵敏度较高,故在 2 级病变的分期方面更可靠,而 MRI 通常将其归类为 1 级。超声表现为位于肌腱连接处附近肌肉纤维受损的区域回声改变和肌纤维条纹缺失。在 1 级损伤中不到 5%肌肉出现该特征,在 2 级损伤中常常超过 5% [12]。

4. 超声新技术在肌肉损伤中的运用

无论何种肌肉损伤分级,对于 1~2 级损伤,二维超声的诊断往往灵敏度不高,故关于肌肉损伤的新型超声技术很有必要。杨寒凝[13]等研究表明正常成人腓肠肌弹性模量值可用于评估肌肉的硬度,其与年龄呈负相关。张春东[14]等通过动物实验研究表明超声造影可反映肌肉微血管情况,肢体肌肉挤压伤后微循环变化较明显,微循环参数与超声造影参数具有较好的相关性,说明超声造影可用于损伤部位血流情况的评价。Lacourpaille [15]等研究表明偏心运动后小腿三头肌的剪切波弹性模量值增高,由此可见剪切波弹性成像在肌肉损伤中有一定价值。然而大量的研究表明剪切波弹性不同观察者之间的反应是高度可变的,可能由于运动强度、年龄、性别的差异以及观察者熟练程度的影响[16]。赵佳琦[17]等研究表明超声回波强度界面多级分解法能够有效提取横纹肌超声图像中的肌纹理形态、组构及分布状态信息,定量反映出不同理化损伤类型导致横纹肌纹理声像图有差异,说明超声回波强度界面多级分解法初步具备了定量诊断肌肉损伤的能力。

尽管各种超声新技术诊断肌肉损伤层出不穷,但多数研究尚在动物实验阶段或小样本临床研究,需要更多的研究来验证。

5. 其他相关病变的评估

5.1. 水肿和炎症的评估

肌肉损伤后,局部可能出现水肿和炎症反应。超声技术可以实时观察肌肉内部的血肿和周围软组织

的炎症情况,评估肌肉损伤的严重程度[18]。在超声图像中,血肿表现为低回声或无回声区,而炎症则表现为周围组织回声增强、结构模糊等特征。这些信息有助于医生判断损伤程度和制定治疗方案。

5.2. 韧带损伤的诊断

韧带损伤也是运动医学中常见的疾病之一。超声技术可以清晰地显示韧带的形态和连续性,有助于医生评估韧带的断裂程度。对于某些特定的韧带损伤,如膝关节前交叉韧带损伤,超声诊断的准确性甚至可与 MRI 相媲美[19]。此外,超声技术还可以观察韧带周围的软组织情况,为医生提供更全面的诊断信息。

5.3. 关节损伤的诊断

关节损伤通常与肌肉和韧带损伤相伴而行。超声技术可以在手术或创伤性检查前,准确评估关节结构的损伤情况[20]。通过观察关节周围的软组织、肌腱、滑囊、软骨等,医生可以判断损伤的范围和严重程度,为患者提供及时有效的治疗。

6. 损伤恢复过程的评估

在肌肉损伤的恢复过程中,超声技术发挥着至关重要的作用。通过定期超声检查,医生可以观察肌肉纤维的再生情况、回声变化和形态恢复等,以评估损伤的恢复程度和治疗效果[21]。姜镔等[22]应用 SWE 测量正常人在不同臂展角度下斜方肌的杨氏模量值,结果显示随着臂展角度的增加,斜方肌的杨氏模量不断增加,表明 SWE 可通过测量不同状态时的肌肉硬度值来评估肌肉的收缩及舒张功能。说明超声技术还可以监测肌肉力量和功能的恢复情况,为患者的康复训练提供指导。

7. 超声技术的优势与局限性

7.1. 优势

超声技术具有非侵入性、实时性、可重复性好等优点。它可以在患者床边进行检查,无需特殊准备,检查过程中患者无痛苦。此外,超声技术还可以实时观察肌肉和韧带等软组织的动态变化,为临床诊断和治疗提供更加丰富的信息。同时,随着超声成像技术的不断发展,如弹性成像、超声造影等技术的应用,使得超声在肌肉损伤诊断中的准确性和敏感性得到了进一步提高。

7.2. 局限性

尽管超声技术在肌肉损伤诊断中具有诸多优势,但也存在一定的局限性。例如,对于某些深层肌肉损伤的诊断可能存在困难,轻度的肌肉损伤诊断有限;此外,超声检查结果受操作者经验和技能的影响较大。因此,在实际应用中需要结合患者的具体情况和临床需求进行选择。同时,超声技术在某些情况下可能需与其他成像技术(如 MRI)相结合以提高诊断的准确性。

8. 结论

超声技术作为一种重要的医学成像技术,在肌肉损伤的诊断、治疗和恢复评估中发挥着重要作用。通过深入研究和实践,我们可以更好地发挥超声技术的优势,为临床诊断和治疗提供更加准确、有效的支持。同时,随着技术的不断进步和完善,超声技术将在肌肉损伤领域发挥更加重要的作用,为患者带来更好的治疗效果和生活质量。

基金项目

成都中医药大学杏林专项(YYZX2021128)。

参考文献

- [1] 刘伟, 张建蕾, 刘宇, 等. 二维超声联合剪切波弹性成像在老年肌少症诊断及疗效预测中的临床价值[J]. 临床超声医学杂志, 2024, 26(3): 239-243.
- [2] 王紫艺, 陈笑一, 张双双, 等. 超微血管成像用于肌肉骨骼疾病研究进展[J]. 中国医学影像技术, 2024, 40(2): 298-301.
- [3] Hamilton, B., Valle, X., Rodas, G., et al. (2015) Classification and Grading of Muscle Injuries: A Narrative Review. *British Journal of Sports Medicine*, **49**, Article 306. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093551>
- [4] Gabbe, B., Finch, C., Bennell, K. and Wajswelner, H. (2005) Risk Factors for Hamstring Injuries in Community Level Australian Football. *British Journal of Sports Medicine*, **39**, 106-110. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2003.011197>
- [5] Mueller-Wohlfahrt, H.W., Haensel, L., Mithoefer, K., et al. (2013) Terminology and Classification of Muscle Injuries in Sport: The Munich Consensus Statement. *British Journal of Sports Medicine*, **47**, 342-350. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091448>
- [6] Pollock, N., James, S.L.J., Lee, J.C., et al. (2014) British Athletics Muscle Injury Classification: A New Grading System. *British Journal of Sports Medicine*, **48**, 1347-1351. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093302>
- [7] Engebretsen, L., Soligard, T., Steffen, K., et al. (2013) Sports Injuries and Illnesses during the London Summer Olympic Games 2012. *British Journal of Sports Medicine*, **47**, 407-414. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092380>
- [8] Peetrons, P. and Creteur, P. (1993) Echographies et Traumatismes Musculaires Aigus. In: Hevrot, A., Kahn, M., Morvan, G., Eds., *Imagerie des Parties Molles de L'Appareil Locomoteur: Sauramps Medical*, Sauramps Medica, 229-235.
- [9] Takebayashi, S., Takasawa, H., Banzai, Y., Miki, H., Sasaki, R., Itoh, Y., et al. (1995) Sonographic Findings in Muscle Strain Injury: Clinical and MR Imaging Correlation. *Journal of Ultrasound in Medicine*, **14**, 899-905. <https://doi.org/10.7863/jum.1995.14.12.899>
- [10] Lee, J.C. and Healy, J. (1976) Sonography of Lower Limb Muscle Injury. *American Journal of Roentgenology*, **128**, Article 341. <https://doi.org/10.2214/ajr.182.2.1820341>
- [11] Chan, O., Del Buono, A., Best, T.M., et al. (2012) Acute Muscle Strain Injuries: A Proposed New Classification System. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **20**, 2356-2362. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2118-z>
- [12] Woodhouse, J.B. and McNally, E.G. (2011) Ultrasound of Skeletal Muscle Injury: An Update. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*, **32**, 91-100. <https://doi.org/10.1053/j.sult.2010.12.002>
- [13] 杨寒凝, 陆永萍, 杜静, 等. 实时剪切波弹性成像对正常腓肠肌的定量研究[J]. 中国超声医学杂志, 2017, 33(6): 558-560.
- [14] 张春东, 王欣, 唐杰, 等. 肢体肌肉挤压伤后微循环改变与超声造影表现相关性的实验研究[J]. 中华超声影像学杂志, 2021, 30(12): 1088-1093.
- [15] Lacourpaille, L., Nordez, A., Hug, F., et al. (2017) Early Detection of Exercise-Induced Muscle Damage Using Elastography. *European Journal of Applied Physiology*, **117**, 2047-2056. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3695-9>
- [16] Siracusa J, Charlot K, Malgoyre A, et al. (2019) Resting Muscle Shear Modulus Measured with Ultrasound Shear-Wave Elastography as an Alternative Tool to Assess Muscle Fatigue in Humans. *Frontiers in Physiology*, **10**, Article 626. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00626>
- [17] 赵佳琦, 章建全, 徐琪, 等. 超声图像纹理分析技术对离体猪横纹肌理化损伤模型的定量研究[J]. 中华医学超声杂志电子版, 2013, 10(8): 674-680.
- [18] 侯筱, 任弘, 王荣辉, 等. 超声成像技术在肌骨损伤中的临床应用及循证等级[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(6): 863-867.
- [19] 熊天德. 肌骨超声在急性闭合性运动损伤诊断中的价值[J]. 实用医技杂志, 2023, 30(10): 706-709.
- [20] 朱亚玲, 袁松, 宋建琼, 等. 肌骨超声诊断肩袖损伤的效能及与关节镜手术诊断的一致性分析[J]. 临床误诊误治, 2024, 37(3): 104-108.
- [21] 吴冬梅. 高频超声评价急性肌肉损伤后组织修复动态变化的价值[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2017, 15(1): 83-85.
- [22] 姜镔, 王学梅, 黄崑, 等. 实时剪切波弹性成像测量正常人不同臂展角度上斜方肌的弹性[J]. 中国医科大学学报, 2019, 48(8): 726-729.