

·综述·

## 组织特征超声成像评估量化肌腱研究进展\*

罗平<sup>1,2</sup> 林鸿生<sup>3</sup> 张文<sup>4</sup>

近年来组织特征超声成像(ultrasonographic tissue characterization, UTC)技术作为评估量化肌腱组织结构的一种可靠和有效的手段<sup>[1]</sup>,能够通过量化三维稳定的超声回声对正常肌腱和病态肌腱进行分辨<sup>[2]</sup>。因其能对肌腱进行量化,并有别于其他超声只能定性而不能定量<sup>[3]</sup>的超声评估技术,所以受到了重视,成为运动医学界所关注的评估技术热点之一,在肌腱病的临床治疗和科学研究中逐渐凸显出其独特的应用价值。在欧美等发达国家,越来越多的运动医学工作者应用此技术客观评估量化运动员肌腱,找到足以分辨正常肌腱和病态肌腱的组织结构客观指标,为预防、治疗和康复肌腱病,监控运动量对肌腱的影响有所贡献。但在国内仍然没有运动医学工作者报道此相关的内容,因此就UTC评估量化正常肌腱和病态肌腱方面的应用作一综述。

### 1 组织特征超声成像技术概况

超声波评估肌腱的技术已经使用多年,表现为肌腱的回声是基于胶原基质的密度和排列<sup>[4]</sup>。正常肌腱的超声特征是在灰度模式下肌腱有规律的排列,分解的肌腱束将会导致大量回声的丧失,因此低回声常作为肌腱变性的专业术语<sup>[5]</sup>。许多学者通过超声技术评估肌腱,来区别正常肌腱和病态肌腱可能存在的差别,但是这存在着一定的问题,表现为超声只能定性而不能定量<sup>[3]</sup>,并且肌腱的结构是三维立体的,而不能通过目前普通超声的二维平面图像去捕捉,因此就需要寻找一种能完全量化三维立体肌腱的技术。

近年来一种新型的成像模式——组织特征超声成像,使用传统的B型超声,通过收集到的稳定的每相隔0.2mm的连续的肌腱横截面超声影像,还原成肌腱的三维图像,用以量化肌腱组织结构。UTC技术能够量化三维立体肌腱组织,可对正常肌腱和病态肌腱进行分辨,因此可作为监控和治疗运动员肌腱病的有效评估手段<sup>[2]</sup>。这项超声技术最早用于对赛马跟腱的评估<sup>[6]</sup>,后用于对人肌腱的评估。UTC技术提示的是与肌腱结构相关的超声影像,是直接由肌腱中的胶原束和横截面中大量的连续的稳定信号所决定的。目前UTC技术

对三维立体肌腱的连续信号分出四种不同的超声类型:Ⅰ型高稳定型(由完整的排列成一直线的纤维束构成),Ⅱ型中稳定型(由少量和/或者多数的波浪形的纤维束构成),Ⅲ型高变化型(由纤维基质构成),Ⅳ型不断地低强度和变化性分布型(由细胞基质和/或流动的液体构成)。计算这4种回声的比例和肌腱厚度的最大值,从而对肌腱进行量化。病变肌腱中Ⅰ型及Ⅱ型结构(规则排列的纤维结构)百分比较正常下降,而Ⅲ型及Ⅳ型结构(不规则排列的纤维结构)百分比较正常上升,肌腱厚度的最大值增加,通过这四种超声类型的比例来量化肌腱,从而反映肌腱的结构和病理状态<sup>[6]</sup>。量化肌腱的指标包括4种回声类型纤维束分别占总回声纤维束的比例、Ⅰ型和Ⅱ型纤维束回声比例之和占总回声纤维束的比例、Ⅲ型和Ⅳ型回声纤维束比例之和占总回声纤维束的比例、肌腱厚度的最大值、选定段肌腱内Ⅰ型加Ⅱ型纤维束结构总体积、选定段肌腱内Ⅰ型加Ⅱ型纤维束结构平均横截面积、选定段肌腱内Ⅲ型加Ⅳ型纤维束结构总体积、选定段肌腱内Ⅲ型加Ⅳ型纤维束结构平均横截面积、选定段肌腱总体积和选定段肌腱平均横截面积<sup>[6]</sup>。

目前运动医学界使用UTC技术来评估量化人类的肌腱,各个研究团队使用UTC技术监测人类肌腱的方法都是借鉴Van等<sup>[5]</sup>对赛马跟腱监测的方法。UTC技术监测肌腱都遵循标准化的程序,但因人类肌腱与赛马的跟腱有别,根据人类肌腱的解剖走向,目前有两个感应器模型,分别适用于对跟腱和髌韧带的评估量化,具体扫描步骤如下<sup>[7]</sup>:受试者无论是站立位还是卧位,其膝关节或者踝关节都处于屈曲位。要求受试者全身放松,尤其是髌韧带或者跟腱。在扫描髌韧带或者跟腱前,将耦合剂涂抹在皮肤和传感器之间,使接触更优化。操作者手持一个5—10Hz的线性移动传感器,并垂直于肌腱的长轴。UTC记录每0.2ms运动的轨迹和横截面原始图像,这些图像被储存在电脑的硬盘中,随后组成三维立体的数据块,这些数据块被用于髌韧带和跟腱三个面(横截面,矢状面和冠状面)的可视化图像,根据内置的图像处理软件对可视化图像进行分析计算,从而量化三维立体肌腱。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.10.024

\*基金项目:广东省体育局2016-2017年奥全运攻关项目(GDSS2016178)

1 广东体育职业技术学院体育保健系,广州,510663; 2 香港理工大学康复治疗科学系; 3 特种作战学院门诊部; 4 广东省体育医院粤港运动康复中心

作者简介:罗平,女,副教授; 收稿日期:2016-04-21

如果扫描跟腱,跟踪装置放于跟腱后面并与跟腱长轴平行,传感器对准跟骨后面的肌肉肌腱联合处,从近端向远端扫描。如果扫描髌韧带,跟踪装置放于髌韧带的前面并与髌韧带平行,传感器对准髌韧带前面的上缘,从近端向远端扫描。

## 2 组织特征超声成像技术在评估肌腱时的应用

组织特征超声成像技术在评估肌腱方面的研究日益增多,在运动医学领域发挥越来越重要的临床作用。目前UTC技术主要对正常肌腱和病态肌腱的组织结构进行量化,从而对二者进行分辨,对慢性肌腱病的监测和对肌腱病治疗前后的评价,以及监测运动量对运动员肌腱的影响等。

### 2.1 UTC技术对正常肌腱和病态肌腱从组织结构方面进行分辨

UTC技术能够通过量化三维稳定的超声回声对正常肌腱和病态肌腱进行组织结构的分辨。病态肌腱相对于正常肌腱来说,I型和II型结构的纤维比例下降,而III型和IV型结构的纤维比例上升,肌腱厚度增加。Van等<sup>[2]</sup>通过非侵入性的UTC技术监测有症状肌腱和无症状肌腱的肌腱纤维结构变化,发现有症状肌腱的I型和II型结构的纤维比例较无症状肌腱的比例低(51.5%比76.6%, $P < 0.001$ , $ICC=0.95$ ),肌腱最大厚度前者与后者( $P < 0.001$ , $ICC=0.95$ )分别为9.2mm和6.8mm,表明了有症状肌腱的横截面超声回声稳定性低,且肌腱厚度增加。Docking SI等<sup>[7]</sup>使用UTC技术监测病理状态下的跟腱、髌韧带分别与正常跟腱、髌韧带的肌腱纤维结构区别,发现前者分别与后者在四种纤维结构的比例差异非常显著( $P < 0.001$ ),III型和IV型纤维结构与肌腱厚度非常相关( $R^2=0.587$ , $R^2=0.559$ ),表明病理状态下的肌腱可能通过增加肌腱的厚度来代偿。de Jonge S等<sup>[8]</sup>对糖尿病患者进行跟腱的监测,其中糖尿病患者较正常者的跟腱中含有更高的III型和IV型结构的纤维比例( $P < 0.001$ ),结果显示糖尿病患者的跟腱结构薄弱,患上跟腱炎的风险较高。Abate M等<sup>[9]</sup>使用UTC技术监测无肌腱炎症的糖尿病患者和非糖尿病受试者的跟腱,同样证实了糖尿病患者更容易患上跟腱炎。

### 2.2 UTC技术对慢性肌腱病的监测

UTC技术可用于监测慢性跟腱病患者跟腱的结构变化。弹性超声和彩色多普勒超声(color doppler ultrasound)等技术用于监控运动员下肢没有症状的肌腱研究较多<sup>[10-11]</sup>,结果表明没有症状的肌腱不一定结构正常,而有症状的肌腱不一定结构不正常。Reiter等<sup>[12]</sup>发现低回声区域存在于68%有症状肌腱中。而Archambault等学者<sup>[13]</sup>发现低回声区域也可发生在11%无症状的肌腱中。有些学者<sup>[6]</sup>研究发现低回声区的减少与临床上症状的改善没有必然联系。但UTC技术通过完全量化立体三维的肌腱超声的回声来说明肌腱结构的变化。Docking SI等<sup>[14]</sup>将患有一侧慢性跟腱病患者与没

有慢性跟腱病病史患者的跟腱通过UTC扫描后进行比较,发现这两组受试者中正常跟腱的结构差异显著( $P < 0.01$ ),有症状的跟腱中含有的I型及II型结构纤维为79.5%,而没有症状的跟腱中含有I型及II型结构纤维为81.8%,患有单侧慢性跟腱病的患者另一侧患上跟腱病的风险较高。而用普通超声甚至是弹性超声或者是彩色多普勒超声进行评估肌腱则无法量化这些差别<sup>[15]</sup>,从而也就无法更好地指导临床治疗。Andersson<sup>[16]</sup>和Cetti等<sup>[17]</sup>也支持了这个观点。而van等研究者发现有症状的跟腱含有75%的I型及II型纤维组织结构,这可能与不同研究中所纳入的受试者的跟腱病严重程度不同有关。

### 2.3 UTC技术对肌腱病治疗前后疗效进行评价

由于UTC技术能对有症状肌腱和无症状肌腱进行肌腱纤维结构的对比分辨,因此可用于肌腱病治疗前后疗效的评价。Jonge等<sup>[18]</sup>采用UTC技术评估单纯接受血小板注射的慢性跟腱病的跟腱和接受盐水注射加离心式运动的慢性跟腱病的跟腱,评估在治疗前和治疗后的1年进行,接受血小板注射组和接受盐水注射加离心式运动组治疗后1年,I型和II型肌腱纤维结构的比例分别提高了7.2%和8.4%,这表明治疗方法可靠性高( $ICC=0.95$ ),治疗后1年两组的跟腱结构都有明显的改善。de Vos RJ等<sup>[19]</sup>对慢性跟腱病患者跟腱离心式运动后的2周,8周,16周和24周分别使用UTC技术对跟腱进行扫描,其结果与宾夕法尼亚大学运动评估—跟腱问卷(the victorian institute of sports assessment-achilles questionnaire, VISA-A)的评分量表的结果进行比较,表明UTC技术监测的跟腱结构改变结果与临床症状改变结果不相符,但对于预测跟腱病患者跟腱的结构改变是有价值的。这表明使用UTC技术监测肌腱时有一部分的病理肌腱超声图像是与临床症状不相符的,这可能与测试者在测试过程中传感器是否和肌腱相对处于标准位置有关系。

### 2.4 UTC技术监测运动量对肌腱的影响

UTC技术可用于监测运动量对肌腱组织结构的影响。通过肌腱组织结构的变化,可监控肌腱是否适应一段时间内的运动量。

Ark等<sup>[20]</sup>使用UTC技术检测了41例青少年排球选手在澳大利亚排球学校杯5天比赛中的髌韧带组织结构,其中I型和II型肌腱纤维没有明显变化( $P=0.331$ , $P=0.194$ ),这表明了5天的比赛运动量对青少年选手的髌韧带组织结构没有影响。Wong AM等<sup>[21]</sup>对运动型的1型糖尿病患者和正常受试者各进行10km的跑步后的当天,第2天和第4天的跟腱使用UTC技术进行检测,发现运动型1型糖尿病患者和正常受试者跟腱的I型、II型、III型和IV型纤维比例没有明显的改变( $P > 0.05$ ),表明10km的跑步对运动型的1型糖尿病患者的跟腱组织结构没有明显影响。Docking等<sup>[22]</sup>采用UTC技

术监测大强度运动后赛马活体肌腱组织结构的变化,结果表明大强度运动后的第1天和第2天,I型和II型肌腱纤维比例下降明显( $P < 0.05$ ),但赛后3天肌腱组织结构恢复到运动前的水平。肌腱组织结构恢复时间的长短可能与运动量对肌腱的刺激程度有关。Avella等研究者<sup>[23]</sup>使用UTC技术监测运动量对2—15个月的赛马跟腱生长的影响,结果表明运动组较对照组赛马跟腱的横截面积大(运动组赛马横截面积为 $0.843\text{cm}^2$ ,对照组赛马横截面积为 $0.793\text{cm}^2$ ),这表明适宜的运动量能够明显促进赛马跟腱横截面积的增长( $P=0.04$ ),促使跟腱肥大,从而可以提高赛马在竞技状态下跟腱对运动量的耐受。Rosengarten等<sup>[24]</sup>使用UTC技术监测澳大利亚足球运动员在赛后第2天和第4天跟腱组织结构的变化,结果为运动量对没有下肢肌腱病病史的运动员的跟腱结构的完整性有负面影响,赛后第2天I型肌腱纤维比例从92.3%降到90.8%( $P=0.012$ );II型肌腱纤维比例从6.9%上升到8.6%( $P=0.013$ ),但赛后第4天I型和II型肌腱纤维比例分别恢复到正常( $P=0.594, P=0.789$ )。Rosengarten等同样使用UTC技术监测了有肌腱病病史的澳大利亚足球运动员在赛后第2天和第4天跟腱组织结构的变化,结果为赛后第2天II型肌腱纤维比例上升,从9.6%上升到10.0%( $P=0.032$ ),而I型、III型和IV型肌腱纤维比例没有明显变化。以上表明了高强度的运动负荷会导致有肌腱病史和无肌腱病史肌腱的组织结构完整性暂时受到影响。Docking等<sup>[25]</sup>使用UTC技术对18例澳大利亚精英足球男性运动员的赛前5个月运动训练对跟腱的影响进行了研究,其中排除了跟腱病和下肢有肌腱病的运动员。结果显示经过赛前5个月运动训练后15例跟腱没有出现疼痛的运动员中,I型肌腱纤维比例从训练前的82.3%上升到训练后的89.3%( $P \leq 0.01$ ),而其他三种类型肌腱纤维比例都下降( $P \leq 0.05$ );而3例跟腱出现疼痛的运动员采取了休息,肌腱纤维类型变化不明显。从肌腱组织结构的变化来看,这期间的训练量对15例(84%)运动员的跟腱是适宜的,但对3例(16%)运动员的跟腱是不适宜的。这表明在赛前大运动量训练期(赛前期)等使用UTC技术监控肌腱组织结构变化,可调整最佳的运动量,在预防肌腱病的发生方面起到应有的作用。

### 3 组织特征超声成像技术的优缺点与展望

从最初用于对赛马跟腱评估到目前用于对人体跟腱和髌韧带评估的UTC技术具有许多优点:①无创;②能够从水平面、矢状面和冠状面完全量化三维立体的肌腱;③便于实时定量评估和监测肌腱;④操作流程简单、标准化;⑤相对于磁共振和超声弹性成像技术等价格便宜,且仪器便于携带(UTC为床边评估仪)。

虽然组织特征超声成像技术是一种无创并能完全量化

肌腱的操作简便的评估肌腱的技术,但有其不足之处:①目前使用的UTC仪器只有两个感应器模型,适用于对跟腱和髌韧带的评估,身体其他部位容易损伤的肌腱如冈上肌腱等无法评估,有待进一步的改进。②虽然有些报道显示操作者之间和操作者本身的测试信度较高,但需要操作者对肌腱的解剖定位与走向非常熟悉,容易受到操作者的主观因素影响,如超声探头与肌腱的动态夹角,最好处于垂直状态。③受试者在接受扫描时,肌腱处于的状态如肌腱处于松弛还是紧绷状态等都会影响评估的结果。④UTC技术在对正常肌腱和病态肌腱在组织结构方面进行分辨,对慢性肌腱病的监测、对肌腱病治疗前后的评价以及监测运动量对运动员肌腱的影响等运动医学领域方面研究较多,发挥越来越重要的临床作用,但这处于对比阶段来进行分析的。目前没有研究表明不同种族、不同性别和不同年龄段之间的肌腱中这四种纤维类型的确切比例以及发生肌腱炎时这四种纤维类型的比例是如何发生变化的,不能进行人群之间的横向比较。

肌腱病是体育运动中发病率较高的慢性运动性疾病,常见于篮球、排球、田径、举重等项目中<sup>[26]</sup>。目前对于肌腱病的病因和病机的认识不明,许多学者认为是多因素所导致。肌腱病在临床上治疗非常困难,严重影响着运动员的训练和运动成绩提高等,甚至提前结束了运动员的运动生涯,因此对肌腱病的预防和早期诊断尤为重要。这必然需要一种非侵入式的、无损伤的、无疼痛的现代医学诊断方法。UTC技术能够通过量化三维稳定的超声回声,分辨出正常肌腱和病态肌腱的三维立体中的细微变化而有区别于普通的超声检查技术。通过对不同项目,不同年龄段运动员肌腱的研究,建立具有每个项目特点的肌腱UTC大数据库,为UTC技术成为运动医学界新型的肌腱评估方法,在预防、治疗和康复肌腱病,监测运动量对肌腱影响的运动医学工作中发挥越来越重要作用而奠定基础,这可能会成为下一步UTC技术在运动医学领域临床应用研究的热点。

### 参考文献

- [1] Van Schie HT. Ultrasonographic Tissue characterization of equine superficial digital flexor tendons: development and applications of computer-aided image analysis[J]. American Journal of Veterinary Research, 2000, 61(2): 210—219.
- [2] van Schie HT, de Vos RJ, de Jonge S, et al. Ultrasonographic tissue characterisation of human Achilles tendons: quantification of tendon structure through a novel non-invasive approach[J]. Br J Sports Med, 2010, 44(16):1153—1159.
- [3] Bleakney RR, White LM. Imaging of the Achilles tendon [J]. Foot Ankle Clin, 2005, 10(2):239—254.
- [4] van Schie HT, Bakker EM. Structure-related echoes in ultra-

- sonographic images of equine superficial digital flexor tendons[J]. *Am J Vet Res*, 2000, 61(2):202—209.
- [5] van Schie HT, Bakker EM, Jonker AM, et al. Computerized ultrasonographic tissue characterization of equine superficial digital flexor tendons by means of stability quantification of echo patterns in contiguous transverse ultrasonographic images[J]. *Am J Vet Res*, 2003, 64(3):366—375.
- [6] Khan KM, Forster BB, Robinson J, et al. Are ultrasound and magnetic resonance imaging of value in assessment of Achilles tendon disorders? A two year prospective study[J]. *Br J Sports Med*, 2003, 37(2):149—153.
- [7] Docking SI, Cook J. Pathological tendons maintain sufficient aligned fibrillar structure on ultrasound tissue characterization (UTC)[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2016, 26(6):675—683.
- [8] de Jonge S, Rozenberg R, Vieyra B, et al. Achilles tendons in people with type 2 diabetes show mildly compromised structure: an ultrasound tissue characterisation study[J]. *Br J Sports Med*, 2015, 49(15):995—999.
- [9] Abate M, Salini V, Antinolfi P, et al. Ultrasound morphology of the Achilles in asymptomatic patients with and without diabetes[J]. *Foot Ankle Int*, 2014, 35(1):44—49.
- [10] Giombini A, Dragoni S, Di Cesare A, et al. Asymptomatic Achilles, patellar, and quadriceps tendinopathy: a longitudinal clinical and ultrasonographic study in elite fencers[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2013, 23(3):311—316.
- [11] Malliaras P, Cook J. Patellar tendons with normal imaging and pain: change in imaging and pain status over a volleyball season[J]. *Clin J Sport Med*, 2006, 16(5):388—391.
- [12] Reiter M, Ulreich N, Dirisamer A, et al. Colour and power Doppler sonography in symptomatic Achilles tendon disease[J]. *Int J Sports Med*, 2004, 25(4):301—305.
- [13] Archambault JM, Wiley JP, Bray RC, et al. Can sonography predict the outcome in patients with achillobodynia?[J]. *J Clin Ultrasound*, 1998, 26(7):335—339.
- [14] Docking SI, Rosengarten SD, Daffy J, et al. Structural integrity is decreased in both Achilles tendons in people with unilateral Achilles tendinopathy[J]. *J Sci Med Sport*, 2015, 18(4):383—387.
- [15] Cook JL, Khan KM, Harcourt PR, et al. Patellar tendon ultrasonography in asymptomatic active athletes reveals hypoechoic regions: a study of 320 tendons. Victorian Institute of Sport Tendon Study Group[J]. *Clin J Sport Med*, 1998, 8(2):73—77.
- [16] Andersson G, Forsgren S, Scott A, et al. Tenocyte hypercellularity and vascular proliferation in a rabbit model of tendinopathy: contralateral effects suggest the involvement of central neuronal mechanisms[J]. *Br J Sports Med*, 2011, 45(5):399—406.
- [17] Cetti R, Junge J, Vyberg M. Spontaneous rupture of the Achilles tendon is preceded by widespread and bilateral tendon damage and ipsilateral inflammation: a clinical and histopathologic study of 60 patients[J]. *Acta Orthop Scand*, 2003, 74(1):78—84.
- [18] de Jonge S, de Vos RJ, Weir A, et al. One-year follow-up of platelet-rich plasma treatment in chronic Achilles tendinopathy: a double-blind randomized placebo-controlled trial [J]. *Am J Sports Med*, 2011, 39(8):1623—1629.
- [19] de Vos RJ, Heijboer MP, Weinans H, et al. Tendon structure's lack of relation to clinical outcome after eccentric exercises in chronic midportion Achilles tendinopathy[J]. *J Sport Rehabil*, 2012, 21(1):34—43.
- [20] van Ark M, Docking SI, van den Akker-Scheek I, et al. Does the adolescent patellar tendon respond to 5 days of cumulative load during a volleyball tournament?[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2016, 26(2):189—196.
- [21] Wong AM, Docking SI, Cook JL, et al. Does type 1 diabetes mellitus affect Achilles tendon response to a 10 km run? A case control study[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2015, (16):345.
- [22] Docking SI, Daffy J, van Schie HT, et al. Tendon structure changes after maximal exercise in the Thoroughbred horse: use of ultrasound tissue characterisation to detect in vivo tendon response[J]. *Vet J*, 2012, 194(3):338—342.
- [23] Kasashima Y, Smith RK, Birch HL, et al. Exercise-induced tendon hypertrophy: cross-sectional area changes during growth are influenced by exercise[J]. *Equine Vet J Suppl*, 2002, (34):264—268.
- [24] Rosengarten SD, Cook JL, Bryant AL, et al. Australian football players' Achilles tendons respond to game loads within 2 days: an ultrasound tissue characterisation (UTC) study[J]. *Br J Sports Med*, 2015, 49(3):183—187.
- [25] Docking SI, Rosengarten SD, Cook J. Achilles tendon structure improves on UTC imaging over a 5-month pre-season in elite Australian football players[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2016, 26(5):557—563.
- [26] Maffulli N, Wong J, Almekinders LC. Types and epidemiology of tendinopathy[J]. *Clin Sports Med*, 2003, 22(4):675—692.