

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2019.12.001

· 专题 ·

## 踝扭伤后关节生物力学和本体感觉变化特征及相关性

杨绯, 潘钰, 吴琼, 徐泉, 李欣, 张丽春

清华大学附属北京清华长庚医院, 清华大学临床医学院, 北京市 102218

通讯作者: 潘钰, E-mail: py10335@163.com

基金项目: 1. 北京市科技计划项目(No. Z181100003118004); 2. 北京市自然科学基金项目(No. L182028)

### 摘要

**目的** 通过观察踝扭伤恢复期患者踝关节活动度、肌力、刚度和本体感觉变化, 分析踝关节生物力学和本体感觉定量评价对踝扭伤康复的指导价值。

**方法** 2019 年 4 月至 7 月, 选取 21 例恢复期踝扭伤患者, 记录双侧踝关节活动度、肌力, 采用踝关节测试训练系统评估双侧踝关节刚度, 即背屈末端、跖屈 20° 和跖屈末端位置时关节活动所需力矩; 同时定量评估踝关节本体感觉, 包括关节活动阈值(MPT)和关节位置觉(PAPS)。比较双侧踝关节活动度、肌力、关节刚度和本体感觉, 分析关节活动度、关节刚度和本体感觉之间相关性。

**结果** 患侧踝关节背屈和跖屈活动度小于健侧( $|t| > 2.817, P < 0.05$ ); 背屈和跖屈肌力明显小于健侧( $|t| > 5.785, P < 0.01$ ); 患侧跖屈末端刚度明显大于健侧( $t = 3.036, P = 0.007$ ), 而背屈末端和跖屈 20° 时关节刚度与健侧无显著性差异( $t < 0.874, P > 0.05$ ); 两侧 MPT 和 PAPS 无显著性差异( $t < 0.695, P > 0.05$ )。患侧跖屈活动度与跖屈末端刚度( $r = -0.466, P < 0.05$ )、MPT ( $r = -0.613, P < 0.05$ )均呈负相关, MPT 与跖屈末端刚度呈正相关( $r = 0.469, P < 0.05$ )。

**结论** 踝扭伤恢复期患者背屈、跖屈关节活动度和肌力下降, 跖屈末端关节僵硬程度升高, 且与本体感觉相关。踝关节生物力学和本体感觉定量测量有助于定量指导踝关节康复策略。踝扭伤患者康复需加强关节周围肌肉力量、背屈和跖屈活动度训练, 尤其要重视跖屈刚度改善, 可能有助于本体感觉和运动功能恢复。

**关键词** 踝扭伤; 跖屈; 关节活动度; 刚度; 本体感觉

### Biomechanics Characteristics and Its Correlation with Proprioception of Ankle Post Sprain

YANG Fei, PAN Yu, WU Qiong, XU Quan, LI Xin, ZHANG Li-chun

Department of Rehabilitation, Beijing Tsinghua Changgung Hospital, School of Clinical Medicine, Tsinghua University, Beijing 102218, China

**Correspondence to** PAN Yu, E-mail: py10335@163.com

**Supported by** Beijing Municipal Science and Technology Commission (No. Z181100003118004) and Natural Science Foundation of Beijing (No. L182028)

### Abstract

**Objective** To quantitatively evaluate the biomechanical properties and proprioception by comparing the range of motion (ROM), muscle strength, stiffness and proprioception of ankle joint in patients with ankle sprain, in order to provide therapeutic strategy for the patients with ankle sprain.

**Methods** From April to July, 2019, 21 patients with ankle sprain were included. The ROM and muscle strength of bilateral ankle joint were recorded, and the stiffness was evaluated by ankle joint training assistant system, at the end of dorsiflexion and plantarflexion, and plantarflexion 20°. The proprioception of ankle was quantitatively evaluated, including motion perception threshold (MPT) and passive position sense (PAPS). The ROM, muscle strength, joint stiffness, MPT and PAPS were compared, and the correlation among ROM, joint stiffness and proprioception were analyzed.

作者简介: 杨绯(1989-), 女, 汉族, 河北保定市人, 博士, 医师, 主要研究方向: 肌肉骨骼康复、神经康复。

**Results** Compared with the unaffected side, the dorsiflexion and plantarflexion ROM decreased ( $|t| > 2.817$ ,  $P < 0.05$ ), the dorsiflexion and plantarflexion muscle strength decreased ( $|t| > 5.785$ ,  $P < 0.01$ ), the stiffness at the end of plantarflexion increased ( $t = 3.036$ ,  $P = 0.007$ ) in the affected side. However, there was no significant difference in stiffness at the end of dorsiflexion and dorsiflexion  $20^\circ$  between two sides ( $t < 0.874$ ,  $P > 0.05$ ), nor in MPT and PAPS ( $t < 0.695$ ,  $P > 0.05$ ). The plantarflexion ROM on the affected side was negatively correlated with the stiffness at the end of plantarflexion ( $r = -0.466$ ,  $P < 0.05$ ) and MPT ( $r = -0.613$ ,  $P < 0.05$ ), and MPT was positively correlated with the stiffness at the end of plantarflexion ( $r = 0.469$ ,  $P < 0.05$ ).

**Conclusion** The dorsiflexion and plantarflexion ROM and muscle strength decreased in the patients with ankle sprain, while the stiffness at the end of plantarflexion increased, which was related to proprioception. Quantitative measurements of ankle joint biomechanics and proprioception contributed to making ankle rehabilitation strategies. Rehabilitation after ankle sprain included training for ROM and muscle strength, and plantarflexion stretch to improve the plantarflexion stiffness, which may promote the recovery of proprioception and ankle function.

**Key words:** ankle sprain; plantarflexion; range of motion; stiffness; proprioception

[中图分类号] R684.7 [文献标识码] A [文章编号] 1006-9771(2019)12-1365-05

[本文著录格式] 杨绯,潘钰,吴琼,等. 踝扭伤后关节生物力学和本体感觉变化特征及相关性[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(12): 1365-1369.

**CITED AS:** YANG Fei, PAN Yu, WU Qiong, et al. Biomechanics Characteristics and Its Correlation with Proprioception of Ankle Post Sprain [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2019, 25(12): 1365-1369.

踝扭伤是最常见的运动损伤之一, 扭伤后踝关节局部疼痛、肿胀, 对日常活动及运动参与构成较大风险, 增加社会经济成本<sup>[1-2]</sup>。急性踝扭伤的长期预后较差, 高达 70% 的踝扭伤患者在伤后 6 个月~7 年仍有持续残留症状或损伤再发<sup>[3-5]</sup>。

踝扭伤及扭伤复发可能与踝关节周围肌肉力量不足、肌肉协调性和本体感觉不良等因素有关<sup>[6]</sup>。踝扭伤后除疼痛外, 踝关节活动度和肌肉力量、本体感觉会进一步下降, 其中关节活动度受限会影响上下楼梯、下蹲和跑跳运动, 是踝关节功能康复的关键和重点<sup>[7]</sup>。感觉运动控制障碍可导致关节不稳定, 引发关节退变及活动障碍<sup>[8]</sup>。以往研究发现<sup>[9]</sup>, 踝关节本体感觉减退和关节刚度异常是导致功能性踝关节不稳定的原因之一。慢性踝关节不稳患者踝关节刚度较健康人群下降, 但踝扭伤后关节刚度、本体感觉特征及两者间关系仍不明确<sup>[6,10]</sup>。

本研究拟观察踝扭伤患者踝关节活动度、肌力、刚度和本体感觉变化特征, 分析这些特征与本体感觉变化的相关性, 探讨踝关节生物力学和本体感觉定量评价对踝扭伤康复策略的指导价值。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

2019 年 4 月至 7 月, 本院康复科门诊就诊的踝关节扭伤患者 21 例, 所有患者均行踝关节 X 片排除踝关节骨折, 腓骨下关节半脱位、全脱位等, 主要表现为

因踝关节扭伤等外伤原因导致关节肿胀、疼痛、淤血、活动受限。诊断标准符合 2018 年国际踝关节联盟踝扭伤诊治专家共识<sup>[1-2]</sup>。

纳入标准: ①年龄 18~65 岁; ②病程 2 周~3 个月; ③因踝扭伤导致关节肿胀疼痛、活动受限或平衡功能受限, 可包括非严重的撕脱骨折, 不需要制动固定; ④踝关节磁共振检查明确无踝关节韧带严重损伤或完全断裂; ⑤自愿参与该研究, 可接受为期 4 周的治疗及随访, 并签署知情同意书。

排除标准: ①因骨折、韧带断裂损伤等原因需要严格踝关节制动或需要手术; ②曾行踝关节手术和内固定; ③其他肌肉、骨骼、神经系统损伤, 包括髌、膝关节和腰部疾病等问题引起下肢运动障碍、步态异常; ④康复治疗不能配合; ⑤存在重度骨质疏松、骨折、妊娠, 并发感染、肿瘤; ⑥严重心脑血管疾病、严重的周围神经疾病、偏瘫、截瘫、精神疾病等; ⑦目前疾病疼痛程度严重, 视觉模拟评分  $> 7$  分, 不能配合踝关节训练。

记录所有患者性别、年龄、身高、体质量、病程、踝扭伤分期<sup>[2]</sup>, 采用美国足踝外科协会(American Orthopaedic Foot & Ankle Society, AOFAS)的踝-后足评分记录功能情况, 包括疼痛程度及对日常生活影响, 分数越高, 患者症状越严重。见表 1。

本研究经本院伦理委员会审批通过(No. 18151-0-01)。

表 1 患者基本信息

基本情况	数值
性别(女/男, <i>n</i> )	17/4
年龄(岁)	42.050±14.937
身高(cm)	163.800±5.836
体质量(kg)	62.500±7.529
病程(d)	60.353±33.764
AOFAS 评分	47.813±20.894
踝扭伤分期(II/III, <i>n</i> )	15/6

1.2 方法

1.2.1 关节活动度

对所有踝扭伤患者采用量角器评估双侧踝关节跖屈、背屈关节活动度。

1.2.2 肌力

采用 MicroFet3 便携式数字肌力测试仪(美国 HOGGAN 公司),记录踝关节背屈、跖屈肌力。

1.2.3 刚度

采用 FSM-C-AN 踝关节测试训练系统(北京力泰克医疗科技有限公司)评估双侧踝关节刚度。测试时患者放松坐于测试座椅上,髋关节屈曲 90°,膝关节伸直位,固定测试下肢膝关节和踝关节。记录背屈末端、跖屈 20°和跖屈末端时关节活动所需平均力矩,该值越大,则活动关节时所需力越大,关节越僵硬。

1.2.4 本体感觉

将踝关节置于中立位,以 1°/s 的速度缓慢使踝关节跖屈运动,记录患者感受关节活动的位置,即关节活动阈值(motion perception threshold, MPT),该值越大,关节本体感觉越差。踝关节的初始位置 0°,目标角度为跖屈 10°,同时记录以 10°/s 的速度被动移动到目标角度,并保持此位置 5 s,随后将踝关节恢复到起始位置,并再次以 1°/s 的速度将踝关节做跖屈移动,

当患者感觉到达目标角度时即停止运动,记录停止角度与目标角度之间差值绝对值,即关节位置觉(pas-sive position sense, PAPS),该值越大,关节本体感觉越差<sup>[9]</sup>。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 21.0 统计软件处理。计量资料采用( $\bar{x} \pm s$ )表示,双侧比较采用 *t* 检验。采用 Pearson 分析检验踝扭伤患者中踝关节活动度、刚度和本体感觉间的相关性。显著性水平  $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 关节活动度、肌力、刚度和本体感觉比较

踝扭伤患者患侧踝关节背屈和跖屈活动度小于健侧( $P < 0.05$ ),背屈和跖屈肌力明显小于健侧( $P < 0.01$ )。患侧跖屈末端刚度明显大于健侧( $P < 0.01$ ),背屈末端和跖屈 20°时关节刚度较健侧轻度增加,但无显著性差异( $P > 0.05$ )。两侧 MPT 和 PAPS 无显著性差异( $P > 0.05$ )。见表 2。

2.2 关节活动度、刚度与本体感觉的相关性

患侧跖屈活动度与跖屈末端刚度呈显著负相关( $r = -0.466, P < 0.05$ )。见表 3。MPT 与踝关节跖屈活动度呈负相关( $r = -0.613, P < 0.05$ ),与跖屈末端刚度呈正相关( $r = 0.469, P < 0.05$ )。见表 4。

3 讨论

踝扭伤可影响踝关节肌力、关节活动度和本体感觉。踝扭伤患者恢复期给予力量训练后仍有踝关节疼痛和功能障碍,进而影响日常生活和步行功能恢复<sup>[11]</sup>。踝关节活动度、本体感觉等可能是影响损伤后运动功能恢复的重要因素<sup>[2]</sup>,分析踝扭伤后踝关节生物力学特征,可能有助于进一步指导康复训练方案。本研究发现,踝扭伤 II~III 期患者恢复期踝关节周围肌力下降,伴有踝关节背屈和跖屈活动度均明显受

表 2 踝扭伤患者患侧和健侧关节活动度、肌力、本体感觉和刚度比较

项目	患侧	健侧	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
背屈活动度(°)	12.916±4.120	17.583±0.794	-3.772	0.003
跖屈活动度(°)	30.828±8.376	37.326±0.783	-2.817	0.017
背屈肌力(N)	106.793±29.948	147.321±19.584	-5.785	0.001
跖屈肌力(N)	142.950±26.461	187.243±25.322	-6.899	0.001
背屈末端刚度(N•m/deg)	1.304±0.592	1.164±0.654	0.874	0.392
跖屈末端刚度(N•m/deg)	0.268±0.182	0.134±0.072	3.036	0.007
跖屈 20°刚度(N•m/deg)	0.193±0.092	0.187±0.109	0.357	0.725
MPT(°)	2.254±2.046	2.017±1.203	-0.340	0.737
PAPS(°)	2.349±1.976	2.754±2.282	-0.695	0.495



表 3 关节活动度与刚度间相关性

项目		背屈活动度	跖屈活动度
背屈末端刚度	<i>r</i> 值	-0.305	0.061
	<i>P</i> 值	0.204	0.803
跖屈末端刚度	<i>r</i> 值	-0.166	-0.466
	<i>P</i> 值	0.496	0.044
跖屈 20°刚度	<i>r</i> 值	0.323	0.306
	<i>P</i> 值	0.178	0.202

表 4 本体感觉与关节活动度、刚度间相关性

项目		MPT	PAPS
背屈活动度	<i>r</i> 值	-0.418	0.218
	<i>P</i> 值	0.176	0.496
跖屈活动度	<i>r</i> 值	-0.613	0.208
	<i>P</i> 值	0.034	0.516
背屈末端刚度	<i>r</i> 值	-0.463	-0.177
	<i>P</i> 值	0.055	0.444
跖屈末端刚度	<i>r</i> 值	0.469	-0.002
	<i>P</i> 值	0.032	0.993
跖屈 20°刚度	<i>r</i> 值	-0.057	0.398
	<i>P</i> 值	0.807	0.074

限，跖屈刚度增加，且跖屈活动受限程度与本体感觉变化具有相关性。提示踝扭伤不仅影响踝关节肌力，且踝关节活动度、刚度等生物力学特征发生显著变化，踝关节生物力学和本体感觉定量评价可能对临床评价及调整康复策略有指导作用。

临床上踝扭伤后康复重点多强调踝关节背屈功能训练，而对跖屈功能关注较少<sup>[2,7]</sup>。Chinn 等<sup>[12]</sup>报道，在慢性踝关节不稳患者中出现跖屈活动受限，且与反复踝关节损伤相关。新近研究发现踝扭伤后跖屈活动度受限更明显<sup>[7]</sup>，与本研究结果一致。Punt 等<sup>[11]</sup>通过步态分析发现，未经康复治疗的急性踝扭伤患者步幅、步速、单腿支撑时间、最大踝关节跖屈角度均有显著下降。横断面研究发现<sup>[7,13]</sup>，约 20% 踝扭伤患者可伴有韧带联合损伤，进而导致踝关节跖屈活动受限。我们认为踝关节活动受限引起肌肉异常激活和关节生物力学变化，导致再损伤，并影响运动表现。注意强化跖屈活动康复训练，可能有助于踝扭伤后功能恢复，减少远期并发症发生。

踝关节刚度包括关节囊、肌肉、肌腱及周围组织的僵硬程度。本研究采用踝关节测试训练系统定量评价踝关节刚度，该系统既往多用于偏瘫和脑瘫等神经

系统损伤导致踝关节功能障碍者的测试和研究，信度为 0.76<sup>[14-16]</sup>。研究发现<sup>[14]</sup>，脑卒中后瘫痪侧踝关节活动度减少，踝关节刚度增加，以背屈和跖屈末端为著，且与关节活动度呈负相关。脑瘫患儿中，踝关节刚度在全关节活动范围内均显著升高，通过牵拉治疗后刚度下降，关节活动度增加<sup>[15]</sup>。本研究对踝扭伤后踝关节末端刚度分析发现，患侧踝关节跖屈末端刚度较健侧明显增加，与 MPT 呈正相关，提示踝扭伤导致踝关节周围软组织的被动机械特性改变，即小腿前侧肌群和韧带结构变化，进而影响关节活动。这种变化可能与踝扭伤后早期疼痛、活动减少、踝周韧带和软组织损伤后瘢痕修复等原因相关。

本体感觉是运动控制的重要组成部分，在导致肌肉骨骼损伤的多种危险因素中，神经肌肉控制的稳定性是造成伤害风险最重要潜在因素之一<sup>[17]</sup>。本研究采用 MPT 和 PAPS 评价踝关节本体感觉，踝关节本体感觉下降者 MPT 增加，PAPS 增大。既往研究报道<sup>[9]</sup>，踝关节不稳定患者关节刚度异常可影响 MPT。本研究采用 1°/s 的速度评估本体感觉，未发现患侧 MPT 有显著变化；但踝扭伤后患侧跖屈末端刚度下降，与 MPT 呈显著正相关，即跖屈末端僵硬可能导致本体感觉异常。本体感觉的机械感受器主要存在于肌肉、韧带、肌腱和关节囊中<sup>[18]</sup>。关节位置和运动的感知不仅涉及韧带，还包括因运动或位置变化引起的组织张力结构的整个神经运动网络<sup>[19-20]</sup>。因此，组织间的力传递和刚度变化可能在本体感觉和运动控制方面起到重要作用。关节粘连、挛缩、损伤可能导致关节内和韧带上关节本体感受器损伤，使本体感觉下降。研究发现踝关节刚度仅与 MPT 存在相关性，而与 PAPS 无明显相关性。我们分析在本体感觉测量方面，MPT 能更敏感地反映本体感觉，这与以往研究结果一致<sup>[9,21]</sup>。

本研究证实踝扭伤患者，踝关节背屈和跖屈肌力、关节活动度均明显下降，跖屈末端关节刚度升高，其中跖屈活动度和关节刚度异常影响关节本体感觉。踝扭伤患者康复需加强关节周围肌肉力量、背屈和跖屈活动度训练，改善跖屈刚度，以促进本体感觉和踝关节运动功能恢复。踝关节生物力学和本体感觉定量测量有助于定量指导踝关节康复策略。

本研究存在一定的局限性。第一，研究样本量较小。第二、未对踝扭伤患者进行随访观察。目前尚不清楚踝关节生物力学测量和相应康复策略是否影响康复预后。今后研究需进一步扩大样本量，并随访观察

康复治疗踝关节生物力学和本体感觉变化,明确踝扭伤后生物力学和本体感觉定量评价在康复策略指导的应用价值。

# 参考文献

- [1] Gribble P A, Bleakley C M, Caulfield B M, et al. Evidence review for the 2016 International Ankle Consortium consensus statement on the prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains [J]. Br J Sports Med, 2016, 50(24): 1496-1505.
- [2] Vuurberg G, Hoorntje A, Wink L M, et al. Diagnosis, treatment and prevention of ankle sprains: update of an evidence-based clinical guideline [J]. Br J Sports Med, 2018, 52(15): 956.
- [3] Doherty C, Bleakley C, Delahunt E, et al. Treatment and prevention of acute and recurrent ankle sprain: an overview of systematic reviews with meta-analysis [J]. Br J Sports Med, 2017, 51(2): 113-125.
- [4] Kerkhoffs G M, Handoll H H, de Bie R, et al. Surgical versus conservative treatment for acute injuries of the lateral ligament complex of the ankle in adults [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2007, 2(1): 1-79.
- [5] Brison R J, Day A G, Pelland L, et al. Effect of early supervised physiotherapy on recovery from acute ankle sprain: randomised controlled trial [J]. BMJ, 2016, 355(i5650): 1-12.
- [6] Pourkazemi F, Hiller C, Raymond J, et al. Using balance tests to discriminate between participants with a recent index lateral ankle sprain and healthy control participants: a cross-sectional study [J]. J Athl Train, 2016, 51(3): 213-222.
- [7] Abassi M, Bleakley C, Whiteley R. Athletes at late stage rehabilitation have persisting deficits in plantar-and dorsiflexion, and inversion (but not eversion) after ankle sprain [J]. Phys Ther Sport, 2019, 38(1): 30-35.
- [8] Gribble P A, Bleakley C M, Caulfield B M, et al. 2016 consensus statement of the International Ankle Consortium: prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains [J]. Br J Sports Med, 2016, 50(24): 1493-1495.
- [9] Marinho H V R, Amaral G M, de Souza Moreira B, et al. Influence of passive joint stiffness on proprioceptive acuity in individuals with functional instability of the ankle [J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2017, 47(12): 899-905.
- [10] Yim J E, Petrofsky J, Lee H. Correlation between mechanical properties of the ankle muscles and postural sway during the menstrual cycle [J]. Tohoku J Exp Med, 2018, 244(3): 201-207.
- [11] Punt I M, Ziltener J L, Laidet M, et al. Gait and physical impairments in patients with acute ankle sprains who did not receive physical therapy [J]. PM R, 2015, 7(1): 34-41.
- [12] Chinn L, Dicharry J, Hertel J. Ankle kinematics of individuals with chronic ankle instability while walking and jogging on a treadmill in shoes [J]. Phys Ther Sport, 2013, 14(4): 232-239.
- [13] Roemer F W, Jomaah N, Niu J, et al. Ligamentous injuries and the risk of associated tissue damage in acute ankle sprains in athletes: a cross-sectional MRI study [J]. Am J Sports Med, 2014, 42(7): 1549-1557.
- [14] Zhao H, Ren Y P, Wu Y N, et al. Ultrasonic evaluations of Achilles tendon mechanical properties poststroke [J]. J Appl Physiol, 2009, 106(3): 843-849.
- [15] Zhao H, Wu Y N, Hwang M, et al. Changes of calf muscle-tendon biomechanical properties induced by passive-stretching and active-movement training in children with cerebral palsy [J]. J Appl Physiol, 2011, 111(2): 435-442.
- [16] Sung P S, Baek J Y, Kim Y H. Reliability of the intelligent stretching device for ankle stiffness measurements in healthy individuals [J]. Foot, 2010, 20(4): 126-132.
- [17] Trevino J, Lee H. Sex differences in 2-DOF human ankle stiffness in relaxed and contracted muscles [J]. Ann Biomed Eng, 2018, 46(12): 2048-2056.
- [18] Docherty C L, Arnold B L, Zinder S M, et al. Relationship between two proprioceptive measures and stiffness at the ankle [J]. J Electromyogr Kinesiol, 2004, 14(3): 317-324.
- [19] Huijing P A. Epimuscular myofascial force transmission: a historical review and implications for new research. International Society of Biomechanics Muybridge Award Lecture, Taipei, 2007 [J]. J Biomech, 2009, 42(1): 9-21.
- [20] Turvey M T, Fonseca S T. The medium of haptic perception: a tensegrity hypothesis [J]. J Mot Behav, 2014, 46(3): 143-187.
- [21] Fridén T, Roberts D, Ageberg E, et al. Review of knee proprioception and the relation to extremity function after an anterior cruciate ligament rupture [J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2001, 31(10): 567-576.

(收稿日期:2019-09-09 修回日期:2019-10-13)