

# 踝关节扭伤解剖机制与生物力学研究进展

洪伟杰 阮棉芳\*

温州大学 浙省温州 325002

**摘要:** 踝关节外侧扭伤是一种非常常见的运动损伤, 踝关节扭伤在所有关节扭伤中位列第一, 在常见的运动相关性下肢损伤位列第二, 约占所有肌肉骨骼系统损伤的2%, 占骨科急诊的6%–12%。无论是高水平的运动员还是普通人, 都有能因为运动不慎或者行走时注意力不集中等原因发生踝关节的扭伤。本当前概念综述的目的是主要通过阐述足和踝关节的解剖结构, 从踝关节-足复合体的角度详细介绍足踝部肌肉组织的作用, 并主要讨论踝关节扭伤的内在危险因素的生物力学。

**关键词:** 踝关节扭伤; 生物力学; 解剖学

## Research progress on anatomical mechanism and biomechanics of ankle sprain

WeiJie Hong, Mianfang Ruan\*

Wenzhou University, Wenzhou, Zhejiang 325002

**Abstract:** Lateral ankle sprain is a very common sports injury, which ranks first among all joint sprains and second among common sports-related lower limb injuries, accounting for about 2% of all musculoskeletal injuries and 6%-12% of orthopedic emergencies. Whether it is a high-level athlete or an ordinary person, ankle sprains can occur because of careless movement or inattention while walking. The purpose of this current concept review is to introduce the function of ankle muscles in detail from the angle of ankle-foot complex by expounding the anatomical structure of foot and ankle joint, and mainly discuss the biomechanics of the internal risk factors of ankle sprain.

**Keywords:** ankle sprain, biomechanics, anatomy

### 一、扭伤概况

踝关节外侧扭伤是一种非常常见的运动损伤, 踝关节扭伤在所有关节扭伤中位列第一, 在常见的运动相关性下肢损伤位列第二, 约占所有肌肉骨骼系统损伤的2%, 占骨科急诊的6%–12%<sup>[1]</sup>。无论是高水平的运动员还是普通人, 都有能因为运动不慎或者行走时注意力不集中等原因发生踝关节的扭伤。

了解踝关节扭伤的病因对预防和康复有重要意义。内翻性扭伤的病因很可能是多因素的。外部风险因素与环境变量有关, 如运动专业水平、运动负荷(比赛和练

习的数量)、训练的数量和标准、比赛的位置、设备、比赛场地条件、犯规, 有内在的也有外在的<sup>[2]</sup>。对于踝关节扭伤的内在危险因素也包括: 关节囊松弛、等速肌力、踝关节本体感觉、足踝解剖对齐、肌肉反应时间等<sup>[3]</sup>。

本当前概念综述的目的是主要通过阐述足和踝关节的解剖结构, 从踝关节-足复合体的角度详细介绍足踝部肌肉组织的作用, 并主要讨论踝关节扭伤的内在危险因素的生物力学。

### 二、扭伤机制研究

#### 1. 踝关节解剖

足和踝关节由足的26块单独的骨头和下肢的长骨组成, 总共有33个关节。虽然经常被称为“踝关节”, 但还有许多关节可以促进足部的运动。踝关节复合体主要由距下关节(距骨和跟骨)、胫距关节(胫骨, 腓骨和距骨)和距骨横关节(距骨和足舟骨)组成。

**作者简介:** 洪伟杰(2002.05), 男, 汉, 浙江衢州, 温州大学, 温州大学本科生, 脚踝扭伤的生理机制与生物力学研究进展。

\***通讯作者:** 阮棉芳

## 2. 小腿

小腿(胫骨和腓骨)始于膝关节,即胫骨与股骨远端关节,包括腓骨头与胫骨外侧髁关节。胫骨和腓骨由腓骨头近侧的前、后韧带、沿骨干的骨间韧带和远侧的前、后胫腓韧带支撑。小腿与距骨形成远端榫卯关节,在步态中,在摆动阶段,小腿的作用就像一个钟摆的,在单支撑阶段,小腿作为在距骨上的支点,在站立状态下,腓骨在小腿轴向载荷过程中大约分担10%~30%的负荷<sup>[4]</sup>。小腿与踝关节运动、胫骨内旋、后足旋前、距骨背屈/跖屈、以及腓骨在所有主平面的平移和旋转相结合<sup>[4, 5]</sup>。

## 3. 距下关节

跟骨是足部最大、最结实的骨头,为跟腱提供附着点。距骨前下部两个相似的关节面是凸的,跟骨前上部的关节面是凹的,而距跟后关节的关节面是凹的,跟骨的后上部是凸出的。这种结构导致脚的大部分外翻和内翻都在这里进行。距骨和根骨之间的连接关键是距跟骨间韧带,这是一种从距下关节面延伸到跟骨上表面的强而厚的韧带。另外两个韧带,距跟外侧韧带和距跟前韧带也有助于这个关节的连接,但是它们相对较弱<sup>[6]</sup>。此外,腓骨长肌、腓骨短肌、拇长屈肌、胫后肌和指长屈肌的长肌腱提供了额外的支撑<sup>[7]</sup>。

## 4. 胫距关节

胫距关节是小腿远端胫骨、腓骨和距骨之间的连接点。这个关节的承重部位是胫骨距骨界面。胫骨和腓骨的远端踝骨作用是约束距骨,使其作为铰链关节发挥作用,并主要促进足跖屈和背屈运动<sup>[8]</sup>。然而由于距骨解剖结构的不规则性决定了其不可能只是单纯的铰链关节。比如距骨滑车前宽后窄的特性和距骨本身的特殊形状,当踝关节跖屈位时,距骨会向前移动且产生内旋,此时踝关节稳定性显著下降<sup>[9]</sup>。

踝关节的内侧由内侧副韧带(即三角韧带)支撑<sup>[10]</sup>,这是在关节内抵抗外翻运动和外翻应力的关键。三角韧带呈扇形,包括前胫韧带和后胫韧带、胫舟韧带和胫跟韧带。而外侧副韧带的作用是减少关节内翻,限制内翻应力并减少旋转。它们由离腓前韧带和跟腓韧带组成。前韧带和后韧带分别承受足底和背屈下的高张力<sup>[9]</sup>。这些韧带为胫外侧关节提供稳定性,在踝关节扭伤等内翻损伤时经常受到损伤。

## 5. 距骨横关节

横跗骨关节将距骨头前方与舟骨的后方,以及跟骰关节(跟骨和骰骨之间的关节)相连接。距骨横关节是与距下关节相同运动功能的一部分,因为它们有一个共

同的运动轴,也有助于足的内翻外翻运动<sup>[6]</sup>。

## 6. 踝关节肌肉

足部和踝关节的大部分运动是由12块来自外部的肌肉产生的,这些肌肉起源于腿部,附着于足部。前侧由4块肌肉组成:胫骨前肌、指长伸肌、拇长伸肌和腓骨第三肌。胫前肌和拇长伸肌产生足背屈和足内翻。第三腓骨肌产生足背屈和外翻。指长伸肌只产生足背屈。侧面由两块肌肉组成:腓骨长肌和腓骨短肌,它们产生足跖屈和外翻。后腔室由腓肠肌、比目鱼肌和跖肌三块肌肉组成,它们有助于足部的跖屈。后侧由三个肌肉组成:胫后肌、指长屈肌和拇长屈肌,它们产生足跖屈和足内翻<sup>[9]</sup>。

## 7. 踝关节受力

在正常的走路姿势中,踝关节复合体承受的力约为体重的5倍,在跑步等活动中承受的力高达体重的13倍<sup>[11]</sup>。以步行为例,步态分析得到的踝关节力矩表明,当背屈肌离心收缩以控制脚掌着地的旋转并防止脚掌拍击地面时,脚跟触地处出现背屈力矩。在第二阶段,当踝关节背屈肌离心收缩时,会有一个跖屈肌力矩,以允许小腿在足部向前推进。在第三阶段,跖屈力矩继续,跖屈肌向脚趾向中心收缩。随着行走速度的增加,踝关节运动模式在外形上保持相似,但幅度更大。

有研究表明,约83%的负荷通过胫距关节传递,其余17%通过腓骨传递。通过腓骨传递的负荷不同,在背屈期间腓骨传递的负荷增加。在整个胫距关节所承受的载荷中,77%~90%施加在距骨背上,其余的载荷分布在内侧和外侧表面<sup>[12]</sup>。

## 8. 踝关节活动度

踝关节活动度(ROM)已被证明在个体之间存在显著差异,这是可能是基于他们日常生活活动的地理和文化差异,除了用于评估踝关节活动度的方法外。踝关节的活动主要发生在矢状面,跖屈和背屈主要发生在胫距关节。研究表明矢状面整体ROM在65到75度之间,即10~20度背曲到40~55度趾曲。额状面总体ROM接近35度(23度内翻到12度外翻)<sup>[13]</sup>。历史上有一种惯例,认为背屈和跖屈运动仅归因于胫距关节的运动,而内翻外翻被认为仅发生在距下关节。最近,该理论得到质疑,大多数学者认为背屈和跖屈运动仍发生在胫距关节,但也有一些发生在距下关节<sup>[8]</sup>。内翻和/或外翻在两个关节上的分布一直是争议较大的领域,一些研究表明外翻只发生在距下关节,而另一些研究表明,内翻运动在两个关节上均有发生<sup>[14]</sup>。

## 9. 步态中的踝关节运动

## 二、损伤机制

### 1. 常规踝关节扭伤

由于距骨的鞍型关节面前宽后窄，背伸时较宽处进入踝穴（ankle mortise），跖屈时较窄部进入踝穴，所以踝关节在跖屈位稍松动，其解剖和生理特点决定踝关节在跖屈时比较容易发生内翻外翻扭伤。又因为踝关节外踝腓骨较长踝穴较深而内踝胫骨较短踝穴较浅，故踝关节更易发生内翻扭伤，外踝韧带包括距腓前韧带及跟腓韧带的损伤更常见。

### 2. 踝关节联合扭伤

踝关节联合扭伤的损伤机制多种多样，因为所涉及的解剖结构不同，以及这些结构在3个平面的运动中产生应力的方式不同。踝关节扭伤损伤的3种可能的损伤机制包括：足外旋，踝关节内距骨外翻和过度背屈<sup>[15-17]</sup>。联合损伤的机制与典型的踝关节外侧扭伤有很大的不同。足部用力外旋导致踝关节踝穴扩大，距骨用力外翻也会影响踝穴的加宽（如图1）<sup>[18]</sup>。踝穴的加宽极易导致踝关节韧带联合损伤，并可能使个体易发生踝关节脱位，包括距骨外侧半脱位、腓骨和距骨后侧旋转移位等<sup>[19]</sup>。

参加滑雪、足球和其他涉及变向的运动可能有较大的风险发生踝关节联合扭伤。尽管滑雪者的脚和脚踝可能受到滑雪靴坚硬外壳的保护，但在滑雪者中，韧带联合损伤仍有发生。在优秀的滑雪者中，造成这种伤害的因素可能是极快的转弯和突然有力的踝关节外旋导致榫卯变宽，韧带结构断裂<sup>[19]</sup>。

### 3. 慢性踝关节不稳

高达73%的踝关节扭伤患者会反复发作<sup>[20]</sup>，其中59%会报告生活长期受到影响，说明踝关节扭伤后康复的干预十分重要<sup>[21]</sup>。2002年，Hertel发表了一个模型，表明CAI患者存在与机械和功能踝关节不稳相关的联合缺陷<sup>[20]</sup>。功能性踝关节不稳是指解剖结构无明显松弛，查体时踝关节活动度无异常，患者本体感觉较差，对姿势控制的能力不足。而机械性踝关节不稳是指关节囊或外侧韧带的松弛，可根据特殊检查（前抽屉试验、距骨倾斜试验）和影像学结果进行诊断。根据这个模型，当这两种情况都存在时，患者将持续复发性踝关节扭伤。

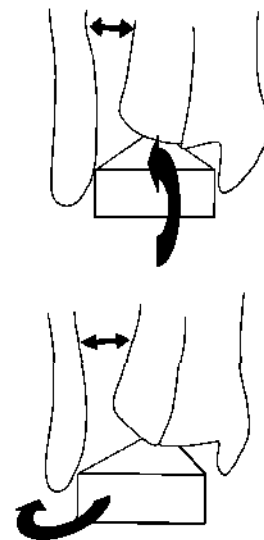
在过去的20年里，已经发表了许多关于慢性踝关节不稳对行走和跑步中生物力学参数影响的研究。如慢性踝关节不稳在行走过程中，对CAI患者来说，受影响最大的肌肉似乎是腓骨长肌<sup>[22]</sup>。

在运动学参数方面，与健康参与者相比，CAI参与者有显著差异，如跑步时后足内翻<sup>[23, 24]</sup>，小腿外旋<sup>[25]</sup>，踝关节跖屈<sup>[25]</sup>，跟骨内收<sup>[26]</sup>，中脚内侧和前脚内翻均更

明显<sup>[5, 22]</sup>。

## 三、总结

踝关节扭伤在日常生活和体育锻炼都时有发生，虽然目前国内外有许多相关的研究，在治疗和康复也有许多创新和突破，然而在预防损伤方面仍然缺乏研究，尤其是在不同运动中人体下肢生物力学的研究，这是导致踝关节扭伤在运动损伤的比例居高不下的重要原因之一，通过了解踝关节扭伤的生物力学特征，加深对人体运动规律的了解，进而研发更符合人体工学的踝关节护具，这才是降低运动时意外损伤发生的关节所在。



图一

### 参考文献：

- [1]余波, 王人卫, 陈文华, 王会儒, 祁奇, 刘合建, et al. 肌内效布贴扎辅助治疗急性踝关节扭伤患者肿胀疼痛疗效观察. 中国运动医学杂志. 2012; 31(9): 772-6.
- [2]康喆. 大学生体育运动踝关节扭伤的原因分析及预防治疗. 山东师范大学学报: 自然科学版. 2005; 20(2): 114-5.
- [3]Pizarro M, Pieressa N, Wortsman X. Posttraumatic retraction of the foot with clinical and ultrasound correlation. Journal of the American Podiatric Medical Association. 2017;107(3):253-6.
- [4]Kuo AD. The six determinants of gait and the inverted pendulum analogy: A dynamic walking perspective. Human movement science. 2007;26(4):617-56.
- [5]Herb CC, Chinn L, Dicharry J, McKeon PO, Hart JM, Hertel J. Shank-rearfoot joint coupling with chronic ankle instability. Journal of applied biomechanics. 2014;30(3):366-72.

- [6]Michael JM, Golshani A, Gargac S, Goswami T. Biomechanics of the ankle joint and clinical outcomes of total ankle replacement. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2008;1(4):276–94.
- [7]Sarraffian SK. Biomechanics of the subtalar joint complex. *Clinical orthopaedics and related research*. 1993(290):17–26.
- [8]Nordin M, Frankel VH. Basic biomechanics of the musculoskeletal system: Lippincott Williams & Wilkins; 2001.
- [9]Procter P, Paul J. Ankle joint biomechanics. *Journal of biomechanics*. 1982;15(9):627–34.
- [10]Gray H. Gray's anatomy: with original illustrations by Henry Carter: Arcturus Publishing Limited; 2015.
- [11]Burdett R. Forces predicted at the ankle during running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1982;14(4):308–16.
- [12]Calhoun JH, Li F, Ledbetter BR, Viegas SF. A comprehensive study of pressure distribution in the ankle joint with inversion and eversion. *Foot & ankle international*. 1994;15(3):125–33.
- [13]Zwipp H, Randt T. Ankle joint biomechanics. *Foot and Ankle Surgery*. 1994;1(1):21–7.
- [14]Akseki D, Pinar H, Yaldiz K, Akseki N, Arman C. The anterior inferior tibiofibular ligament and talar impingement: a cadaveric study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2002;10(5):321–6.
- [15]Guise ER. Rotational ligamentous injuries to the ankle in football. *The American Journal of Sports Medicine*. 1976;4(1):1–6.
- [16]Hopkinson WJ, Pierre PS, Ryan JB, Wheeler JH. Syndesmosis sprains of the ankle. *Foot & ankle*. 1990;10(6):325–30.
- [17]Kelikian H, Kelikian AS. Disorders of the ankle: WB Saunders Company; 1985.
- [18]Edwards Jr GS, DeLee JC. Ankle diastasis without fracture. *Foot & ankle*. 1984;4(6):305–12.
- [19]Fritschy D. An unusual ankle injury in top skiers. *The American Journal of Sports Medicine*. 1989;17(2):282–6.
- [20]Hertel J. Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *Journal of athletic training*. 2002;37(4):364.
- [21]van Rijn RM, Van Os AG, Bernsen RM, Luijsterburg PA, Koes BW, Bierma-Zeinstra SM. What is the clinical course of acute ankle sprains? A systematic literature review. *The American journal of medicine*. 2008;121(4):324–31. e7.
- [22]Hopkins JT, Coglianese M, Glasgow P, Reese S, Seeley MK. Alterations in evertor/invertor muscle activation and center of pressure trajectory in participants with functional ankle instability. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2012;22(2):280–5.
- [23]Chinn L, Dicharry J, Hertel J. Ankle kinematics of individuals with chronic ankle instability while walking and jogging on a treadmill in shoes. *Physical Therapy in Sport*. 2013;14(4):232–9.
- [24]Deschamps K, Dingenen B, Pans F, Van Bavel I, Matricali GA, Staes F. Effect of taping on foot kinematics in persons with chronic ankle instability. *Journal of science and medicine in sport*. 2016;19(7):541–6.
- [25]Drewes LK, McKeon PO, Kerrigan DC, Hertel J. Dorsiflexion deficit during jogging with chronic ankle instability. *Journal of science and medicine in sport*. 2009;12(6):685–7.
- [26]Louwerens J, Van Dijke GH, Bakx P, Mulder P. No relation between the position of the rearfoot at the moment of heel contact and chronic instability: a video analysis. *The Foot*. 1996;6(1):30–6.