

文章编号 1006-8147(2019)06-0612-03

论著

基于有限元模型对踝模拟扭伤机制的探讨

徐 菲

(福建省莆田学院药学与医学技术学院,莆田 351100)

摘要 目的:基于有限元模型探讨踝模拟扭伤的病理机制。**方法:**选择1例中国成年踝关节无病变志愿者,建立正常行走中立位及踝内翻扭伤的踝足有限元模型,对比两种工况下踝关节 Von Mises 应力分布、距骨运动变化规律,分析横向力和纵向力对内翻扭伤的影响情况。**结果:**正常行走中立位时,最大 Von Mises 应力位于距骨外突及距骨后突;踝内翻扭伤时,距骨 Von Mises 应力主要集中在距舟关节、距骨颈和距骨侧突。纵向力影响下,距骨颈、内踝、外踝、距下关节等节点应力均有统计学意义,横向力影响下,8个节点均无统计学意义。**结论:**内翻扭伤时,踝穴大小形态决定踝关节稳定性;纵向力影响较大。扭伤后,应增加休息,减少纵向力影响,使踝关节尽快恢复,防止因养护不当造成踝关节稳定性下降、习惯性崴脚及关节炎的发生。

关键词 有限元模型;外踝扭伤;纵向力;横向力

中图分类号 R684

文献标志码 A

Discussion on mechanism of ankle sprain based on FEM model

XU Fei

(School of Pharmacy and Medical Technology, Putian University, Putian 351100, China)

Abstract Objective: Discussion on Pathological mechanism of ankle sprain based on finite element model. **Methods:** One belonged to the volunteer when his ankle and feet had ankle varus sprain and the other one belonged to the volunteer when he/she was in normal walking neutral position. Compared the Von Mises stress distribution and the exercise changing of shanks in two different working condition. Analyzed the influences of the lateral and the longitudinal force on the varus sprain. **Results:** When walking normally, the maximum of Von Mises stress located at the talus outer process and posterior protrusion; when the ankle was sprained, talus Von Mises stress was mainly concentrated in the distance to the boat joint, talus neck and talus lateral process. Under the influence of longitudinal force, the stress of nodal points such as talus neck, internal ankle, external ankle and lower talus joint were statistically significant. Under the influence of transverse force, 8 nodes had no statistical significance. **Conclusion:** When ankle sprain, ankle joint stability is determined by ankle size. Longitudinal force has a greater influence than transverse force. The patients should rest more in order to reduce the impact of longitudinal force after sprain, so that the ankle joint will recover as soon as possible. The patients also should avoid the decreased ankle stability, habitual lameness and the arthritis caused by improper maintenance.

Key words finite element model; sprained lateral ankle; longitudinal force; transverse force

在体育运动或日常活动中最常见到踝关节损伤,其中外踝损伤约占85%以上。外踝损伤后,关节正常的解剖结构、力学环境都会发生变化,关节稳定性变差,进而导致踝关节出现功能障碍。如长期没有得到纠正,可以引发软骨变性、关节内骨折,并继发创伤后骨性关节炎,最终影响竞技能力或生活质量。因此,了解踝关节的生物力学特性至关重要。本文在参考国内外大量文献资料的基础上,模拟正常人行走中立位、踝内翻扭伤两种情况,建立踝足有限元模型^[1],对比观察距骨运动规律、有效应力改变,分析横向力和纵向力对外踝扭伤的影响,探讨踝内翻扭伤病理机制。

基金项目 福建省教育厅资助项目(JK2015043)

作者简介 徐菲(1981-),女,讲师、主治医师,硕士,研究方向:骨关节影像诊断及CT、MRI新技术;E-mail:13859808218@139.com。

1 资料与方法

1.1 一般资料和模型建立 选择1例临床检查无任何踝关节病变的中国成年女性志愿者(28岁)作为研究对象,采用GE公司的Lightspeed 64层扫描仪对志愿者踝关节进行容积扫描,主要参数为:120 kV, 260 mA, 0.8 s/360,扫描野360 mm,矩阵512×512,标准重组算法,层厚5 mm,建立踝足三维有限元模型。

1.2 方法 建立完整踝足有限元模型,施加载荷和约束,构建正常行走中立位和踝内翻扭伤模型。约束跖骨远端、跟骨,载荷由踝足所承受的纵向力和内翻内旋的横向位移两部分构成,纵向力为2 100牛顿^[2],求解,得到正常行走中立位及踝内翻扭伤的Von Mises应力、距骨位置变化情况。

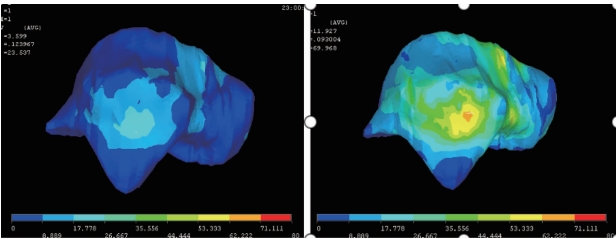
1.3 观察指标 由于距骨在踝关节的生物力学中起到承受体质量及传导重力的作用,把距骨作为主

要研究对象,选取8个节点,测量有效应力并观察分析。节点分别在外踝、内踝、距骨颈背面、跟距前关节面、距舟关节面、跗骨窦、距下关节和胫距关节。

1.4 统计学处理 统计分析采用统计软件 SPSS 19.0,两组间比较距骨各节点的有效应力,采用重复测量方差分析,以 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组间距骨 Von Mises 应力变化比较 分别对正常行走中立位及内翻扭伤工况的踝关节施加力,得到距骨的应力云图如图 1。



a. 正常行走中立位模型 b. 内翻扭伤模型

图 1 不同工况下的距骨 Von Mises 应力云图
Fig 1 Comparison of Von Mises stress of talus between two groups

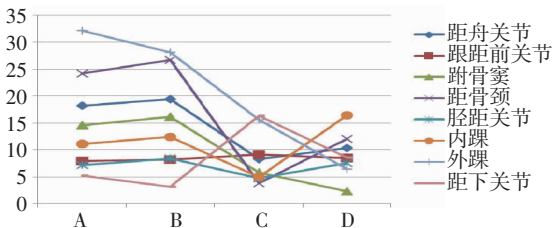
2.2 外踝扭伤时距骨运动情况 白色网格为正常行走中立位工况距骨在关节腔内位置;应力云图为踝内翻扭伤工况距骨在关节腔内位置(图 2),分析观察内翻扭伤时距骨运动情况。

表 1 比较纵向力作用下两模型 8 个节点的有效应力(MPa)

	距舟关节	跟距前关节	跗骨窦	距骨颈	胫距关节	内踝	外踝	距下关节
行走中立位模型	8.26	9.17	5.73	3.84	4.74	4.93	15.62	16.30
内翻扭伤模型	10.31	8.51	2.33	12.02	7.52	16.40	6.43	8.61
P	1.024 7	0.591 3	0.196 4	0.045 1	1.026 4	0.032 7	0.020 6	0.038 1

表 2 比较横向力作用下两模型 8 个节点的有效应力(MPa)

	距舟关节	跟距前关节	跗骨窦	距骨颈	胫距关节	内踝	外踝	距下关节
行走中立位模型	18.19	7.89	14.58	24.14	7.13	11.11	32.10	5.21
内翻扭伤模型	19.42	8.22	16.15	26.73	8.43	12.41	28.06	3.13
P	1.034 1	0.628 4	0.935 2	1.283 5	0.916 4	0.738 2	1.293 1	1.240 4



A.为横向力作用下正常行走中立位模型,B.为横向力作用下踝内翻扭伤模型,C.为纵向力作用下正常行走中立位模型,D.为纵向力作用下踝内翻扭伤模型

图 3 两种力下两个模型 8 个节点 Von Mises 应力的比较
Fig 3 Comparison of Von Mises stresses at 8 nodes of two models between two forces

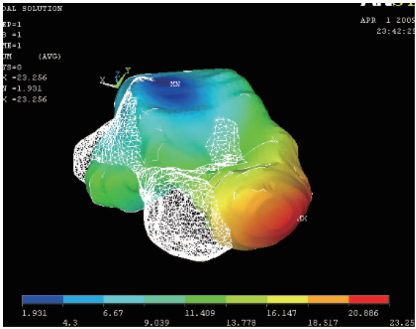


图 2 两种工况距骨运动情况比较
Fig 2 Comparison of talus motion between two groups

2.3 纵向力作用下两模型 8 个节点 Von Mises 应力的比较 踝内翻扭伤模型的距骨颈、内踝有效应力明显高于正常行走中立位模型, $P<0.05$, 具有统计学意义;踝内翻扭伤模型的外踝、距下关节有效应力明显低于正常行走中立位模型, $P<0.05$, 具有统计学意义,见表 1、图 3。

2.4 横向力作用下两模型 8 个节点 Von Mises 应力的比较 两个模型各节点应力均较纵向力作用下出现不同程度的变化,其中正常行走中立位模型的距舟关节、跗骨窦、距骨颈、内踝、外踝节点应力未见明显增加,两模型的各节点有效应力差距减小,各节点有效应力不存在显著性差异, $P>0.05$, 不具有统计学意义,见表 2、图 3。

3 讨论

3.1 踝内翻扭伤时,距骨运动情况 踝关节复合体由胫腓骨、距骨与周围韧带共同构成,其中,距骨位于踝穴内,起到承受体质量及传导重力的作用。当正常行走时,踝关节做屈伸运动,胫骨关节面在距骨关节面上滑动和旋转^[9]。当踝内翻扭伤时,内踝向上移位,胫距关节内侧间隙变小,而外侧间隙变大,踝穴增宽,距骨向内滑动,踝关节旋转中心内移,距骨体的窄部进入踝穴的宽部。胫距关节和距下关节的前关节面较正常行走中立位时无明显变化,但后

关节面较正常行走中立位时接触面积缩小,局部压力增加。可见,踝穴大小形态决定踝关节稳定性,一旦发生扭伤或脱位,上述结构发生改变,踝关节稳定性下降^[4]。

3.2 正常行走及扭伤时,各节点 Von Mises 应力分布情况 通过踝足有限元模型的有效应力云图,观察距骨运动情况,发现正常行走时,距骨在踝穴滑动,Von Mises 应力主要集中在距骨外突、距骨后突、距舟关节、距骨颈、距下关节和胫距关节后关节面,最大 Von Mises 应力主要集中在距骨外突和距骨后突。踝内翻扭伤时,距骨 Von Mises 应力情况发生改变,应力较正常行走更加集中,位置相对变少,主要集中在距舟关节、距骨颈和距骨侧突,胫距关节面应力也向关节周边集中。以上分析踝内翻扭伤应力变化与临床外踝损伤患者常见骨损伤部位相符^[5]。

3.3 纵向力、横向力对踝内翻扭伤的影响 纵向力作用下,内翻模型的距骨颈有效应力由正常行走中立位时的 3.84 MPa 上升到 12.02 MPa,内踝有效应力由 4.93 MPa 上升到 16.4 MPa,约为正常的 3 倍,明显高于正常行走中立位模型,有统计学意义。外踝有效应力由 15.62 MPa 下降到 6.43 MPa,距下关节有效应力由 16.30 MPa 下降到 8.61 MPa,约降低 2~2.5 倍,较正常行走中立位模型明显下降,有统计学意义。踝内翻扭伤时,距骨内上有效应力增大,外下有效应力减少,前后有效应力变化幅度较小。施加横向力,正常行走中立位模型和内翻扭伤模型距骨各节点的有效应力出现不同程度的变化^[6],但均未出现显著差异,无统计学意义。外踝与距下关节应力较正常减少,其余节点应力均增加。由此可见

踝内翻扭伤过程中,虽然横向剪切力为主要外力,但它对踝关节诸骨影响较小,真正对踝关节诸骨有明显影响作用的是纵向力。

3.4 本研究的临床意义 通过以上分析,我们知道了踝内翻扭伤时距骨在踝穴的运动情况,距骨有效应力重新分布,受力点及力的大小均发生改变。也知道了纵向力决定踝内翻扭伤严重程度。进而得出结论,一旦发生踝内翻扭伤,患者应尽早卧床,增加休息,减少站立,从而减少纵向力影响,使踝关节尽快恢复。并及时纠正因内翻扭伤引起的踝关节生物力学变化,防止因外踝扭伤养护不当造成踝关节稳定性下降、习惯性崴脚及关节炎的发生。

参考文献:

- [1] 陈波杰,丁真奇.有限元分析在骨折愈合与生物力学研究中的应用[J].广东医学,2015,36(8):1288
- [2] Klekiel T, Bedzinski R. Finite element analysis of large deformation of articular cartilage in upper ankle joint of occupant in military vehicles during explosion[J]. Arch Metall Mater, 2015, 60(3):2115
- [3] 刘建永,王英振,姜鑫.慢性踝关节外侧不稳定解剖重建与修复疗效的比较观察[J].中国矫形外科杂志,2015,23(18):1667
- [4] Halonen K S, Mononen M E, Jurvelin J S, et al. Deformation of articular cartilage during static loading of a knee joint - experimental and finite element analysis[J]. J Biomech, 2014, 47(10):2467
- [5] 戴海飞,余斌,张凯瑞,等.踝关节周围韧带损伤对距骨稳定性影响的有限元分析[J].中国骨与关节损伤杂志,2012,27(2):121
- [5] 戴海飞,余斌,张凯瑞,等.踝关节周围韧带损伤对距骨稳定性影响的有限元分析[J].中国骨与关节损伤杂志,2012,27(2):121
- [6] Coster M C, Rosengren B E, Bremander A, et al. Surgery for adult acquired flatfoot due to posterior tibial tendon dysfunction reduces pain, improves function and health related quality of life[J]. Foot Ankle Surg, 2015, 21(4):286

(2018-11-18 收稿)

(上接第 608 页)

- [16] Brazao V, Kuehn C C, Dos Santos C D, et al. Endocrine and immune system interactions during pregnancy [J]. Immunobiology, 2015, 220(1):42
- [17] 高勇,宋月,安万新,等.外周血 Th17 及 CD4+CD25+Foxp3+调节性 T 细胞失衡与不明原因反复自然流产的相关性研究[J].国际检验医学杂志,2011,32(10):1036
- [18] Liu Y S, Wu L, Tong X H, et al. Study on the relationship between

Th17 cells and unexplained recurrent spontaneous abortion[J]. Am J Reprod Immunol, 2011, 65(5):503

- [19] Inada K, Shima T, Nakashima A, et al. Characterization of regulatory T cells in decidua of miscarriage cases with abnormal or normal fetal chromosomal content[J]. 2013, 97(1):104

(2018-10-08 收稿)