

# 距踝关节的三维有限元分析 ——足球踝发生的生物力学特点

刘露梅<sup>1</sup> 廖钰<sup>2△</sup> 陈建明<sup>3</sup> 张建新<sup>4</sup> 周毅强<sup>4</sup>

**[摘要]** 目的:应用三维有限元的计算分析方法,研究踝关节在不同体位、不同载荷的条件下,距踝关节软骨表面的应力变量,揭示足球踝发生的生物力学规律。方法:将正常男性足踝部的 CT 扫描数据,导入三维建模软件建立几何模型后,进行有限元网格划分。分析踝关节在跖屈 45°、35°体位下,远距离和近距离踢球时,距骨表面的应力分布数据。结果:①成功创立踝关节跖屈 45°、35°两组三维有限元模型。前者:220876 个节点,1280039 个单元,后者:178163 个节点,1036740 个单元。②经计算得到踝关节 4 种工况的 von-mises 应力云图。结论:①胫距和距腓关节面,是足球踝软骨损伤与炎症的好发部位。②如运动员以踝关节跖屈 45°位姿势踢球,可减少足球踝的发生率。

**[关键词]** 距骨;三维有限元方法;足球踝;生物力学

**[中图分类号]** R-331 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2013)04-0008-02

## Analysis of Ankle Joint by Three-Dimensional Finite Element ——Biomechanical Character of the Soccer Ankle

LIU Lumei<sup>1</sup> LIAO Tian<sup>2</sup> CHEN Jianming<sup>3</sup> ZHAN Jianxin<sup>4</sup> ZHOU Yiqiang<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Donghua Hospital of Shanghai, Shanghai 200040, China

<sup>2</sup>TCM Department, Medical College Xiamen University

<sup>3</sup>Athletics College, Jimei University of Xiamen

<sup>4</sup>Department of Third Orthopedics, Xiamen Hospital of TCM

**Abstract Objective:** To study the variables of stress on cartilage surface of ankle joint under different posture and load conditions, and to analyze the biomechanical characteristics of the soccer ankle by three-dimensional finite element model (3-D FEM) method. **Methods:** A 3-D FEM of normal adult ankle was established through spiral CT images and meshed. The stress distribution on the surface of talus when kicked football from close and distant site under position of ankle joint in plantar flexion 45° and 35° were analyzed. **Results:** ① We established two groups of 3-D FEM with plantar flexion 45° and 35°, the former: 220876 nodal points, 1280039 elements, the other: 178163 nodal points, 1036740 elements. ② We got the von-mises stress of ankle joint under 4 different conditions via calculating the data. **Conclusion:** ① The tibiotalar and talofibular articular surface are predilection sites of cartilage damage and inflammation of football ankle. ② Playing football at 45° plantar flexion can protect football players from soccer ankle.

**Key words:** Talus; 3-D finite element model; Soccer ankle; Biomechanics

在足踝部疾病的发病机制研究和防治领域,力学因素造成的足踝部损伤非常多见。因此,采用生物力学手段研究足踝关节疾病的方法,自然会引起众多学者的兴趣。随着计算机科学技术的发展和进步,有限元计算分析方法的功能越来越强大,使用它进行骨软骨的生物力学研究,在现实中不仅成为可能,而且越来越深入。有限元分析方法的优势在于,它不仅具有模拟精度高、适用性广、对人物体无损伤的特点,而且能够重复计算,反复验证。本文采用三维有限元计算分析方法,研究距骨在踝关节不同体位、不同载荷的条件下,距骨表面因此产生的生物力学性质变化现象,力图揭示导致“足球踝”发生的力学规律。经相关文献检索,至今尚未见此类似论文在国内外报道。

### 1 材料与方法

#### 1.1 数据采集

志愿者名,条件:男性,年龄 20 周岁,身高 170cm,体重 60Kg,无足部疾患。用绷带和胶带,先后将志愿者右踝关节大致固定在跖屈 45°与 35°位,再使用标尺对姿势进行微调 and 充分固定,以保证姿态的角精确和牢靠,最后用 320 排螺旋 CT 先后行右足踝,跖屈 45°、35°姿势平扫,扫描层厚 0.625mm。

#### 1.2 创建有限元模型

将 CT 扫描数据导入三维重建软件 Mimics,先调整阈值,以使骨骼与软组织充分分离,再建踝关节的几何初型。将文件导入 Geomagic 软件,行消除噪点与平滑工作,然后将其拟合为 NURBS 曲面,保存为 MSC.patran 可识别的 Igs 格式。将 Igs 文件导入 MSC.patran 2004 中,得到 2462 个几何面,代表踝关节的几何模型。根据实际解剖情况,在 Patran 中提取胫骨与距骨、腓骨与距骨的相邻表面,据其几何外形划分有限元网格,得到 112 个四边形单元代表关节软骨;然后根据解剖学知识,确定代表小腿骨间膜及下胫腓韧带附着点的节点,按顺序建立小腿骨间膜、下胫腓前韧带、下胫腓后韧带的模型,包含 30 个三

基金项目:厦门市科技局计划项目(高校创新项目)

<sup>1</sup>上海市(复旦大学附属)华东医院(上海,200040)

<sup>2</sup>厦门大学医学院中医系<sup>3</sup>厦门市集美大学体育学院

<sup>4</sup>厦门市中医院骨三科

△通讯作者 Tel:18950134988 E-mail:xliao@xmu.edu.cn

维杆单元。在此基础上,再进行边界条件的设置及材料属性的赋予。最后提交至 Nastran 2004 软件,进行计算分析。本课题创建的踝关节有限元模型见图 1。

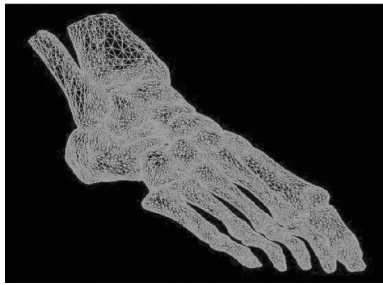


图 1 踝关节的有限元模型

1.2.1 材料属性 模型中设计的各种组织材料,均简化为各向同性的均匀质弹性材料,有关材料的弹性性能常数及设定由文献确定<sup>[1-3]</sup>,见表 1。

表 1 皮质骨与松质骨的材料属性

结构	弹性模量(MPa)	泊松比
皮质骨	7300	0.3
松质骨	100	0.3
关节软骨	24.3	0.4
小腿骨间膜	40	0.2
下胫腓前、后韧带	12.6	0.2

1.2.2 边界条件及载荷 本分析采用相对静止加载的近似分析方法,将载荷加载在距骨的距舟关节面上。各种工况的加载受力状况见表 2。

表 2 有限元分析载荷加载参数

	跖屈 45°踢远	跖屈 45°踢近	跖屈 35°踢远	跖屈 35°踢近
Fy	1000	500	830	400
Fz	200	150	130	80

注:Fy 水平向里的作用力;Fz 垂直向上的作用力。

## 2 结果

创建了几何相似度极高的踝关节高精度三维有限元模型。其中,跖屈 45°位模型,包含:220876 个节点,1280039 个单元;跖屈 35°位模型,包含:178163 个节点,1036740 个单元。经计算,最终得出距骨—踝关节面,关节软骨的 von-mises 等效应力分布云图(图 2)。

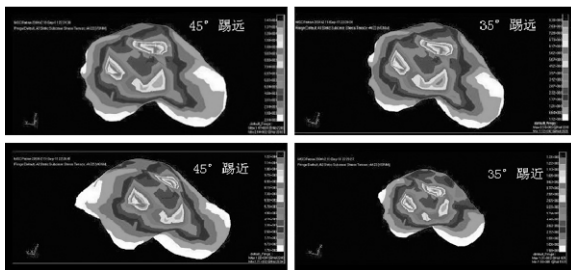


图 2 距骨关节软骨 von-mises 等效应力分布图

经数据分析,得出如下结果:①踝关节跖屈 45°位踢球时,应力主要集中在距距关节面。当踝关节跖屈 45°位踢远时,最大应力值为 147MPa,发生点在距距关节面外侧;踢近时,最大应力值为 122MPa,发生点在距距关节面中后缘。②跖屈 35°位时,应力则集中在距距关节面和距腓关节面。当踝关节跖屈 35°位踢远时,最大应力值为 83.8MPa,发生点在距距关节面前外缘;踢近

时,最大应力值为 13.1MPa,发生点在距腓关节前外缘。

## 3 讨论

从生物力学的角度而言,关节软骨的主要功能是扩散载荷以减少关节面磨损。承载时,关节软骨逐渐变形,液体从应力集中区渗出,渗出的液体可使应力集中区域的应力扩散和减弱。随着其应力减弱,软骨的渗透性逐步降低,使液体不易流出,直至不再渗出。这个应变-渗出的负反馈机制,虽然有助于关节软骨的润滑、承载,但同时也可导致关节软骨的磨损。原因在于,关节软骨的组织间液经过反复的渗出、吸收,可导致蛋白多糖从近关节面的软骨关节中被“洗出”<sup>[4]</sup>,而使关节软骨遭受损害。有研究表明,骨关节炎炎症早期的生化改变,主要是关节软骨中蛋白多糖含量下降<sup>[5,6]</sup>。因此,可以说应力集中区就是骨关节炎的病理改变中心。

踢球时,运动员的踝关节由于受到远高于常人的、不断重复的应力刺激,应力集中区域的关节软骨,需不断进行应变—渗出过程的应答,这就很容易造成此区域的软骨损伤。比较两种体位的应力集中区,我们不难看出:相较于跖屈 45°位,跖屈 35°位在应力集中于距距关节面的同时,又在距腓关节面形成另一处集中区,鉴于其应力集中区域的扩大,我们可推测在此种体位下踢球更易形成软骨损伤而造成足球踝。同理,可以很容易得出这样的结论,相对于踝关节跖屈 35°位,运动员采用跖屈 45°位踢球时,其损伤较小。

曲绵域<sup>[7]</sup>认为,踝关节不合槽的活动,会使距骨颈和附近的骨关节面的前缘反复撞击与挤压,或使距骨的后唇与胫骨后缘反复撞击,这都可使该部的关节面软骨遭受损伤,长此以往,最终会发展成为足球踝(踝关节骨性关节炎)。有理由认为,这些易遭受反复撞击的部位,即踝关节的易损伤部位。根据我们分析的结果,踢球时,踝关节的最大应力主要集中于距距关节面后缘、距距关节面的前缘及距腓关节面前缘,这与曲绵域研究的足球踝易损伤部位的结论,基本吻合,相似度极高。同时,比较踝关节在两种体位下,踢近与踢远的最大应力集中部位,我们进一步发现,在跖屈 35°位,不论踢近还是踢远,最大应力集中部位均在距骨颈与附近的骨关节面的前缘。这说明,如采用此种姿势踢球,关节软骨易磨损部位相对固定,与踢球所用力度关系不大。这就意味着,即使力度较小,也可以造成该部位的反复磨损。因此,如频繁使用踝关节跖屈 35°的姿势踢球,会大大增加患足球踝的风险。

## 参考文献

- [1] WEENING B, BHANDARI M. Predictors of functional outcome following transsyndesmot screw fixation of ankle fractures[J]. Orthop Trauma, 2005, 19(2): 102-108.
- [2] CHEUNG J T, ZHANG M, AN K N. Effects of plantar fascia stiffness on the biomechanical responses of the ankle-foot complex [J]. Clinical Biomechanics, 2004, 19(8): 839-846.
- [3] CHEUNG J T, ZHANG M, AN K N. Effects of Achilles tendon loading on plantar fascia tension in the standing foot[J]. Clinical Biomechanics, 2006, 21(2): 194-203.
- [4] 王以进, 王介麟. 骨科生物力学[M]. 北京: 人民军医出版社, 1989: 216.
- [5] 窦晓丽. 骨关节炎: 关节软骨退变的相关研究与进展[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(20): 3764.
- [6] 马德库. 骨关节炎相关危险因素研究[J]. 中国中西医结合外科杂志, 2007, 13(6): 583.
- [7] 曲绵域, 于长隆. 实用运动医学[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2003: 874-877.

(收稿日期: 2012-10-14)