

缝合锚钉固定下胫腓联合损伤 对距骨应力分布影响的有限元分析

梁远,王静成,何金山,张佩,卢志华,王骅,吴志朋,张文东,白建中,陈鹏涛
(扬州大学临床医学院,苏北人民医院,江苏 扬州 225001)

【摘要】 目的 利用有限元方法分析缝合锚钉固定下胫腓联合损伤对距骨应力分布的影响。方法 选取1例下胫腓联合损伤患者右踝螺旋CT扫描图像,利用Mimics 10.01等软件进行骨骼的三维重建、模拟韧带连接和生成关节接触等,在模型中分别采用下胫腓螺钉和缝合锚钉固定下胫腓联合损伤,模拟前抽屉试验、内翻试验、内旋试验时所受外力,进行加载运算。结果 下胫腓螺钉:踝关节位于背屈20°、背屈10°、中立位、跖屈10°、跖屈20°,在模拟前抽屉试验时距骨的应力分别为6.496 MPa、5.653 MPa、3.882 MPa、5.875 MPa、6.946 MPa。在模拟内翻试验时距骨的应力分别为7.543 MPa、6.765 MPa、5.432 MPa、6.269 MPa、6.843 MPa。在模拟内旋试验时距骨的应力分别为8.269 MPa、7.541 MPa、6.712 MPa、7.668 MPa、8.683 MPa。缝合锚钉:踝关节位于背屈20°、背屈10°、中立位、跖屈10°、跖屈20°,在模拟前抽屉试验时距骨的应力分别为3.327 MPa、3.253 MPa、2.122 MPa、2.713 MPa、3.795 MPa。在模拟内翻试验时距骨的应力分别为4.475 MPa、4.113 MPa、3.351 MPa、4.352 MPa、4.795 MPa。在模拟内旋试验时距骨的应力分别为5.382 MPa、4.615 MPa、3.985 MPa、4.727 MPa、5.352 MPa。结论 通过有限元分析,相对于下胫腓螺钉而言,缝合锚钉固定下胫腓联合损伤可减轻距骨应力集中,且更符合下胫腓联合韧带的生物力学特征。

【关键词】 下胫腓联合损伤;缝合锚钉;有限元分析

【中图分类号】 R683.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1003-6350(2018)15-2097-03

Finite element analysis of the effect of suture anchor fixation for inferior tibiofibular syndesmosis injury on the stress distribution of talus. LIANG Yuan, WANG Jing-cheng, HE Jin-shan, ZHANG Pei, LU Zhi-hua, WANG Hua, WU Zhi-peng, ZHANG Wen-dong, BAI Jian-zhong, CHEN Peng-tao. Department of Clinical Medicine, Yangzhou University, the Subei People's Hospital, Yangzhou 225001, Jiangsu, CHINA

【Abstract】 Objective To analyze the effect of suture anchor fixation for inferior tibiofibular syndesmosis injury on the stress distribution of talus by finite element method. **Methods** One right ankle spiral CT scanning image of a patient with inferior tibiofibular syndesmosis injury was loaded. Software such as Mimics 10.01 was used to perform three-dimensional reconstruction of the bone and to simulate the ligament connection and joint contact. In the model, the lower tibiofibular screw and the suture anchor fixation were used to treat the inferior tibiofibular syndesmosis injury, respectively. Then some loading operations were carried out including external force simulated in the anterior drawer, the varus and the internal rotation test. **Results** Ankles were tested at 20° and 10° of dorsiflexion, neutral position, 10° and 20° of plantar flexion. The stress of the talus treated by the lower tibiofibular screw in the simulated anterior drawer test was 6.496 MPa, 5.653 MPa, 3.828 MPa, 5.875 MPa, 6.946 MPa, respectively, 7.543 MPa, 6.765 MPa, 5.432 MPa, 6.269 MPa, 6.843 MPa in the simulated varus test, and 8.269 MPa, 7.541 MPa, 6.712 MPa, 7.668 MPa, 8.683 MPa in the simulated internal rotation test. Then the stress of the talus treated by the suture anchor in the simulated anterior drawer test was 3.327 MPa, 3.253 MPa, 2.122 MPa, 2.713 MPa, 3.795 MPa, respectively, 4.475 MPa, 4.113 MPa, 3.351 MPa, 4.352 MPa, 4.795 MPa in the simulated varus test, and 5.382 MPa, 4.615 MPa, 3.985 MPa, 4.727 MPa, 5.352 MPa in the simulated internal rotation test. **Conclusion** Based on the finite element analysis, the suture anchor fixation can reduce the stress concentration of the talus compared to lower tibiofibular screw for inferior tibiofibular syndesmosis injury, and it is more consistent with the biomechanical characteristics of the tibiofibular ligament.

【Key words】 Inferior tibiofibular syndesmosis injury; Suture anchor; Finite element analysis

踝关节损伤是最常见的运动损伤,下胫腓联合损伤占踝关节损伤的1%~18%^[1-2]。虽然踝关节骨折得到了很好的复位和固定,但是损伤的下胫腓联合韧带仍然可能导致踝关节的不稳,并最终导致踝关节的疼

痛、活动受限甚至关节炎等^[3]。因此,如何有效固定下胫腓联合显得极其重要。下胫腓螺钉一直是被认为是治疗下胫腓联合韧带损伤的“金标准”,但是近年来我们在采用锚钉治疗下胫腓联合损伤时也取得了较

基金项目:江苏省扬州市自然科学基金青年人才项目(编号:YZ2016109);扬州大学临床医学院技术项目(编号:fjcs201623)

通讯作者:陈鹏涛。E-mail:18051061516@163.com

好的临床疗效。尽管已有研究者做了缝合锚钉在尸体标本上的生物力学研究,然而由于下胫腓联合韧带及踝关节本身结构比较复杂,受外界影响因素较多,传统的实验方法并不能反映下胫腓联合韧带及踝关节内部的应力传递机制,故有必要进一步研究。本研究的目的是利用有限元法对缝合锚钉和下胫腓螺钉治疗下胫腓联合韧带损伤进行研究,以探讨其对距骨应力分布的影响,从而为临床治疗提供生物力学依据。

1 材料与方法

1.1 图像获取 选取下胫腓联合损伤患者 1 例(该患者已签署知情同意书,并符合相关医学伦理学要求),男性,52 岁,身高 170 cm,体质量 60 kg,并经 X 线、CT 及术中牵拉试验检查确定下胫腓联合损伤。应用 64 排螺旋 CT (GE 公司,美国)对其右足自踝关节上 20 cm 胫腓骨远端向下扫描至足底,扫描时右足保持中立位。扫描参数:球管电压 120 kV,电流强度 300~350 mA,层厚 1.25 mm。共获得 CT 图片 Dicom 格式保存。

1.2 有限元模型建立 采用 Mimics 10.01 软件 (Materialise 公司,比利时)将扫描后的踝关节 Dicom 格式的 CT 数据导入。根据 CT 灰度区分相应组织并且导出为点云格式。利用 CATIA 软件建立初步几何模型,再进行去噪、铺面、平滑等处理以优化模型几何结构。利用 Hypermesh 软件对几何模型划分胫骨、腓骨等和韧带结构网格。最后采用 Abaqus & ANSYS 软件进行有限元建模与力学分析。骨骼被看作为均匀的、各向同性的,皮质骨弹性模量取 7 300 MPa,松质骨弹性模量取 620 MPa,螺钉弹性模量取 110 GPa,泊松比 0.3,缝合锚钉的缝线刚度为 91.87 N/mm。

1.3 加载与运算

1.3.1 模拟前抽屉试验(ADT) 中立位:约束腔腓骨的所有允许距骨和跟骨除垂直位平移以外所有方向上的自由度;屈曲位:(1)约束腔腓骨的所有自由度,允许距骨和跟骨除垂直位上所有方向上的自由度;(2)将胫腓骨固定,将跟骨强制屈曲到指定踝关节屈曲位,包括:背屈 10°、背屈 20°、中立位、跖屈 10°、跖屈 20°;(3)在矢状面上施加前向 80 N 牵引力。

1.3.2 模拟内翻试验 中立位:约束腔腓骨的所有允许距骨和跟骨除垂直位平移以外所有方向上的自由度;屈曲位:(1)约束腔腓骨的所有自由度,允许距骨和跟骨除垂直位平移以外所有方向上的自由度;(2)将胫腓骨固定,将跟骨强制屈曲到指定踝关节屈曲位,包括:背屈 10°、背屈 20°、中立位、跖屈 10°、跖屈 20°;(3)冠状面上的内翻力矩加载:扭矩施加在跟骨上,大小为 1.7 Nm。

1.3.3 模拟内旋试验 中立位:约束腔腓骨的所有允许距骨和跟骨除垂直位平移以外所有方向上的自由度;屈曲位:(1)约束腔腓骨的所有自由度,允许距

骨和跟骨除垂直位平移以外所有方向上的自由度;(2)将胫腓骨固定,将跟骨强制屈曲到指定踝关节屈曲位,包括:背屈 10°、背屈 20°、中立位、跖屈 10°、跖屈 20°;(3)水平面上的内旋力矩加载:扭矩施加在跟骨上,大小为 3.4 Nm。

2 结果

2.1 下胫腓螺钉与缝合锚钉固定下胫腓联合损伤时距骨接触应力分布 与下胫腓螺钉固定下胫腓联合损伤相比,缝合锚钉固定下胫腓联合损伤的距骨应力明显分散,如图 1 所示。

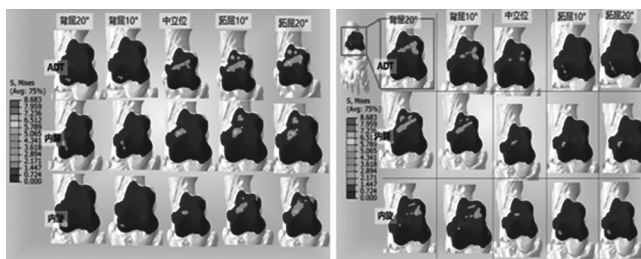


图 1 下胫腓螺钉与缝合锚钉固定下胫腓联合损伤时距骨接触应力分布

2.2 模拟前抽屉试验 下胫腓螺钉在模拟前抽屉试验时,踝关节在位于背屈 20°、背屈 10°、中立位、跖屈 10°、跖屈 20°时距骨接触面的应力均分别高于缝合锚钉,如表 1 所示。

表 1 ATD 试验距骨接触压力(MPa)

方法	背屈 20°	背屈 10°	中立位	跖屈 10°	跖屈 20°
下胫腓螺钉	6.496	5.653	3.882	5.875	6.946
缝合锚钉	3.327	3.253	2.122	2.713	3.795

2.3 模拟内翻试验 下胫腓螺钉在模拟内翻试验时,踝关节在位于背屈 20°、背屈 10°、中立位、跖屈 10°、跖屈 20°时距骨接触面的应力均分别高于缝合锚钉,如表 2 所示。

表 2 内翻试验距骨接触压力(MPa)

方法	背屈 20°	背屈 10°	中立位	跖屈 10°	跖屈 20°
下胫腓螺钉	7.543	6.765	5.432	6.269	6.843
缝合锚钉	4.475	4.113	3.351	4.352	4.795

2.4 模拟内旋试验 下胫腓螺钉在模拟内旋试验时,踝关节在位于背屈 20°、背屈 10°、中立位、跖屈 10°、跖屈 20°时距骨接触面的应力均分别高于缝合锚钉,如表 3 所示。

表 3 内旋试验距骨接触压力(MPa)

方法	背屈 20°	背屈 10°	中立位	跖屈 10°	跖屈 20°
下胫腓螺钉	8.269	7.541	6.712	7.668	8.683
缝合锚钉	5.382	4.615	3.985	4.727	5.352

3 讨论

下胫腓联合由胫腓骨远端和下胫腓韧带复合体组成,下胫腓韧带复合体包括下胫腓前韧带、下胫后韧带、骨间韧带、胫腓横韧带以及骨间膜的远端。下

胫腓联合是一个复杂的微动弹性关节,在踝关节背伸或跖屈过程中,依靠自身的张力和弹性,从而调节踝穴的位置状态,保证踝关节的动态稳定。踝关节损伤常常合并下胫腓联合韧带的损伤,若治疗不当,未能及时有效地复位、固定下胫腓联合韧带损伤并恢复其原有的微动功能,则有可能产生踝关节不稳、踝关节功能退化和创伤性关节炎等严重后果。因此,治疗下胫腓联合损伤的关键是精确复位和合理固定,故选择一个合适的固定装置显得尤其重要。

多年来,国内外学者们围绕下胫腓联合的结构以及损伤后的外科治疗不断地进行相关研究和探讨。目前,常用的固定下胫腓联合损伤的内固定装置有下胫腓螺钉、腓骨钩、钩钢板和 suture button 等。下胫腓螺钉是治疗下胫腓联合损伤的传统方法。这种方法采用1枚或2枚直径3.5 mm、4.5 mm的全螺纹皮质骨螺钉,平行于关节面2~3 cm以上,横向从腓骨穿过胫骨固定下胫腓联合损伤。多项研究表明下胫腓螺钉在治疗下胫腓联合损伤方面存二次手术取出螺钉、螺钉断裂、复位的再次丢失等问题^[4]。随着对下胫腓联合损伤的发病机制及生物力学认识的深入,越来越多的学者也从强调坚强固定转变为倡导弹性固定。故近年来,腓骨钩、钩钢板及 suture button 固定得到了一定的应用。腓骨钩、钩钢板虽然能实现下胫腓的弹性固定及加压的双重功能,但由于存在切口的选择及需二次手术取出等问题,在一定程度上限制了其应用。suture button 作为弹性固定装置,不仅可以维持一定的下胫腓联合韧带的稳定性,而且还可以让患者进行早期非限制性负重和功能锻炼。但是 suture button 装置相对费用偏高,并且随着应用时间的延长,相关的感染、皮肤激惹、对内侧血管神经损伤及骨溶解等问题也逐渐被报道^[5-7]。

近年来缝合锚钉技术在治疗肘关节侧副韧带修补及胸锁关节脱位等相关领域取得了良好的疗效^[8-9]。研究表明缝合锚具有强度大,固定牢靠。缝合锚技术手术简便,创伤小,不损伤下胫腓关节。重建下胫腓韧带,更符合下胫腓关节的生物力学。无需进行第二次取出手术,费用相对较低。我们前期通过临床试验发现采用缝合锚钉固定下胫腓联合韧带损伤可以获得良好的临床疗效。汤峰等^[10]通过尸体标本研究表明:缝合锚钉人工韧带的载荷、位移、应变与破坏能量等力学性能参数均大于原下胫腓联合韧带。与传统下胫腓螺钉相比,缝合锚钉技术的强度及刚度均高出下胫腓螺钉,而缝合锚钉的应力遮挡率比拉力螺钉要小。但是在人体中缝合锚钉固定下胫腓联合韧带损伤的生物力学效果是否优于下胫腓螺钉固定,是否更符合踝关节的生物力学效果尚不明确。

有限元法是对连续体力学及物理问题的一种新的数值求解方法。近些年,随着计算机技术的快速发展,三维有限元方法被广泛地应用于骨科研究,国内

外学者通过有限元分析法对人体骨骼关节的进行生物力学的研究,对不同的部位有限元分析更加具体透彻,用于定量分析获得结果更为可靠。在此基础上,对踝关节的损伤进行临床探究,并在诊断和治疗踝关节损伤中体现了巨大的临床价值^[11]。本研究通过采集下胫腓联合损伤患者的CT断层数据,构建三维有限元模型,并进行加载与运算,最终研究结果表明,采用缝合锚钉固定踝关节骨折合并下胫腓联合韧带损伤,使踝关节分别位于背屈20°、背屈10°、中立位、跖屈10°、跖屈20°时,无论在前抽屉试验、内翻试验还是内旋试验,距骨接触面的应力均低于下胫腓螺钉固定,而且缝合锚钉固定较下胫腓螺钉固定明显分散了应力在距骨的分布。因此,采用缝合锚钉技术弹性固定下胫腓联合损伤可能更符合下胫腓联合的生物力学特征。

本研究仅通过三维有限元的方法分析下胫腓螺钉及缝合锚钉两种固定下胫腓联合损伤方法对距骨产生的应力,而缝合锚钉对治疗下胫腓联合损伤的最终临床疗效还需要通过有效的康复锻炼、长期、大量的病例随访来进一步验证。

参考文献

- [1] Bondi M, Rossi N, Pizzoli A, et al. The use of TightRope fixation for ankle syndesmosis injuries: our experience [J]. *Musculoskelet Surg*, 2016, 100(3): 217-222.
- [2] Porter DA, Jagers RR, Barnes AF, et al. Optimal management of ankle syndesmosis injuries [J]. *Open Access J Sports Med*, 2014, 5: 173-182.
- [3] Zhan Y, Yan X, Xia R, et al. Anterior-inferior tibiofibular ligament anatomical repair and augmentation versus trans-syndesmosis screw fixation for the syndesmotic instability in external-rotation type ankle fracture with posterior malleolus involvement: A prospective and comparative study [J]. *Injury*, 2016, 47(7): 1574-1580.
- [4] Andersen MR, Frihagen F, Madsen JE, et al. High complication rate after syndesmotic screw removal [J]. *Injury*, 2015, 46(11): 2283-2287.
- [5] Zhang P, Liang Y, He J, et al. A systematic review of suture-button versus syndesmotic screw in the treatment of distal tibiofibular syndesmosis injury [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2017, 18(1): 286.
- [6] Pirozzi KM, Creech CL, Meyr AJ. Assessment of anatomic risk during syndesmotic stabilization with the suture button technique [J]. *J Foot Ankle Surg*, 2015, 54(5): 917-919.
- [7] Neary KC, Mormino MA, Wang H. Suture button fixation versus syndesmotic screws in supination-external rotation type 4 injuries: a cost-effectiveness analysis [J]. *Am J Sports Med*, 2017, 45(1): 210-217.
- [8] O'Reilly-Harbridge SC, Balogh ZJ. Three-point suture anchor repair of traumatic sternoclavicular joint dislocation [J]. *ANZ J Surg*, 2013, 83(11): 883-886.
- [9] Tokunaga S, Abe Y. Novel suture anchor technique with continuous locking stitch for collateral ligament repair [J]. *J Hand Surg Asian Pac Vol*, 2016, 21(2): 276-279.
- [10] 汤峰,王勤业,徐忠良,等.缝合锚弹性固定生理重建修复下胫腓联合损伤[J]. *中国组织工程研究*, 2013, 17(30): 5466-5471.
- [11] 刘清华,余斌,张堃,等.下胫腓联合螺钉位置对踝关节应力分布影响的有限元分析[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2013, 15(9): 778-783.

(收稿日期:2018-02-28)