

文章编号:1004-7220(2010)01-0036-04

· 骨科生物力学 ·

NiTi 记忆合金骨卡环生物力学特性的三维有限元研究

陈国平^{1,3}, 樊瑜波², 张代全³

(1. 四川大学 生物力学所,成都 610054;2. 北京航空航天大学 生物与医学工程学院,北京 100191; 3. 西南科技大学 力学系,绵阳 621010)

摘要: 目的 对临床治疗中存在的骨卡环固定部位愈合不好和松动现象进行基于生物力学的解释和分析,为 NiTi 形状记忆合金骨卡环在骨科临床治疗上的应用提供参考和建议。**方法** 运用有限元计算软件 ANSYS,建立骨科内固定器 NiTi 形状记忆合金骨卡环和骨组织的有限元计算模型,针对临床上较为普遍采用的骨科内固定器 NiTi 形状记忆合金骨卡环的生物力学性能进行数值仿真分析。**结果** 记忆合金骨卡环的抱持力沿骨卡环的两个半圆臂从开口处开始呈逐渐增大的趋势,在开口对称处的应力最大,同时骨骼的变形也靠近开口的对称部位。**结论** 在实际治疗过程中骨卡环与骨表面发生作用时,成集中力的形式表现,这对选择受力部位尤为重要。

关键词: 有限元; NiTi 记忆合金; 应力; 骨卡环; 抱持力

中图分类号: R318.01 **文献标志码:** A

Three-dimensional finite element numerical analysis of the Ni Ti shape memory alloy clutching internal fixator

CHEN Guo-ping^{1,2}, FAN Yu-bo^{1,3}, ZHANG Dai-quan² (1. *Biomechanics Office of Sichuan University, Chengdu 610054, China*; 2. *School of Biological Science and Medical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China*; 3. *Mechanical Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China*)

Abstract: Objective Clutching internal fixator (CIF) loose and the fixed part weakly heal up are often found in orthopedic clinic. In the present paper, biomechanics methods were used to try to explain and analyze these issues, providing a helpful suggestion for the application of CIF in clinic. **Method** Commercial finite element models (FEM) Program ANSYS was applied to set up the finite element models of orthopedic CIF and bone tissue to analyze and evaluate the biomechanical performances of the Ni Ti shape memory alloy CIF. **Results** There is an interaction force between embracing force of CIF and resistant force of bone tissue during the orthopedic clinical treatment. The embracing force along two semi-circular arms of CIF is increasing from the open position and reached the maximum value at the open symmetry position where the deformation of the bone occurred. **Conclusion** It is the key to choose the force loading position during the practical treatment, as the concentration force is the main force when there is an interactive force between the bone and the CIF.

Key words: Finite element; NiTi shape memory alloy; Stress; Clutching internal fixator; Embracing force

在利用记忆合金骨卡环进行骨科手术过程中,由于对记忆合金内固定材料的大小、形态的选择不当^[1-2],会导致不能准确把握记忆合金骨卡环在使用

过程中对存在差异的不同骨骼的作用。实际上这里面包含记忆合金和骨骼这两种特殊材料相互作用下的复杂生物力学问题。因此,无论医务人员还是科

收稿日期:2009-11-19; 修回日期:2010-01-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(10529202,10672015)。

作者简介:陈国平(1962-),男,研究方向:生物力学。

通讯作者:樊瑜波,E-mail:yubofan@buaa.edu.cn。

研人员都迫切需要了解骨卡环工作状态下的回复力分布情况,这对骨卡环的有效使用具有重要的意义。

目前关于记忆合金以及骨卡环的报道大多数是临床使用的病例报告^[1-2],对记忆合金的有限元分析大多讨论其本构模型以及温度对其回复力的影响^[3],而专门对骨卡环与骨相互作用的有限元应力分析的还未见报道^[4],本文通过有限元计算软件 ANSYS 建立骨科内固定器骨卡环与骨的生物力学有限元计算复合模型,对骨卡环的生物力学性能的评价进行了数值仿真分析。

1 创建模型与方法

(1) 骨卡环内径 15.5 mm,外径为 18.5 mm,缺口宽度 5 mm,圆环宽度为 6.78 mm,在 ANSYS 图形显示一有缺口的圆环。将骨卡环视为线性各向同性材料属性 65 GPa,泊松比为 0.33^[4]。

(2) 创建骨骼模型。内径 5.5 mm,外径 15.5 mm,圆柱长度为 60 mm 的几何模型。根据文献 [5-6] 可将骨骼视为线性各向同性材料。若只考虑密质骨的情况下,其弹性模量为 13.4 GPa,泊松比为 0.3。

(3) 临床治疗时是将骨卡环在低温下撑开后套入骨骼上,升温后骨卡环与骨骼卡紧,所以骨卡环在卡紧骨骼后同原始状态的骨卡环(原始开口度为 5 mm)比假设开口处的开口度有了 5 mm 的增量,即开口的距离增大了 5 mm。然后,对创建的复合体模型进行网格划分,如图 1 所示。这样骨骼的外表面和骨卡环的内表面之间构成面面接触到。

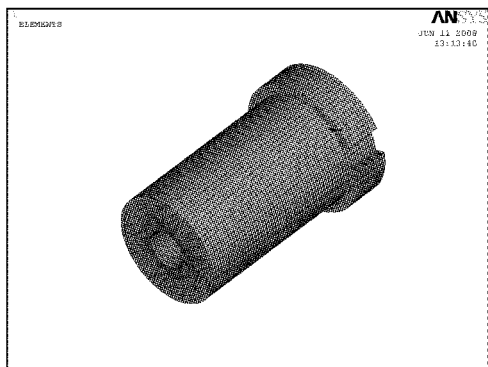


图 1 骨骼与骨卡环的有限元模型

Fig. 1 FEM of bone and clutching internal fixator

2 对模型加载和求解

由于记忆合金的整个相变恢复过程在 ANSYS 计算程序中体现是个非常复杂的过程,本文的研究旨在分析骨卡环固定骨骼后的处于稳定工作状态下的应力分布情况。因此,根据骨卡环的对称性取骨卡环的半环作为研究的对象,将骨卡环半环的回复力简化为作用在骨卡环轴对称面上,沿骨卡环半环的内、外环半径的平均半径的周长均匀分布的转向相同的力偶系。由刘璇等的骨卡环试验结果显示^[7],实测的开口度和开口处端面的回复力近似于线形的关系。根据其试验得出的趋势,当骨卡环的开口度达到 10 mm 时,其开口处的回复力约为 35 ~ 45 N,因此可以得到此时的回复力对骨卡环开口对称位置的力矩在 1 190 ~ 1 530 N · mm 之间。本文假设沿半环均匀分布的共有 40 个相同的力偶,单个力偶的力偶矩大小为 30 N · mm,总力偶的力偶矩大小为 1 200 N · mm。将骨卡环施加力偶后与骨骼进行接触分析,分析在这个过程中骨骼的外表面和骨卡环的内表面之间的接触应力。

3 与实验的对比分析

施加载荷后骨卡环与骨骼的相互作用下的应力分布如图 2 和图 3 所示,变形如图 4 所示。从计算结果可以看出,开口处的应力较小,沿着骨卡环的两个半圆臂呈逐渐增大的趋势,在开口对称处的应力则为最大,同时骨骼的变形也靠近开口的对称部位。本文同时做了相应的骨卡环试验,在实验中使骨卡环达到同一开口大小时,对骨卡环内表面 5 个位置(如图 5 所示)进行测试,1 号位置是靠近骨卡环开口对称位置的,5 号位置是靠近骨卡环开口处的。每一组每个位置测试 2 次,一共 10 个试验数据,共进行了 5 组试验。从实验结果明显看出越靠近骨卡环开口处,抱持力越小。将 5 个位置的 10 次实验数据用图 6 表示,可以看到其分布曲线显示的抱持力趋势,在相同的开口高度下,最大抱持力出现在开口的对称处。经过反复实验,由此可以得出骨卡环无论处于哪个开口高度,开口对称处的最终抱持力都为最大,同一个骨卡环不同点的抱持力不相同,越接近开口的地方抱持力越小。骨卡环抱持力这样的分布特征,会导致临床使用时骨骼的受力和变形具有

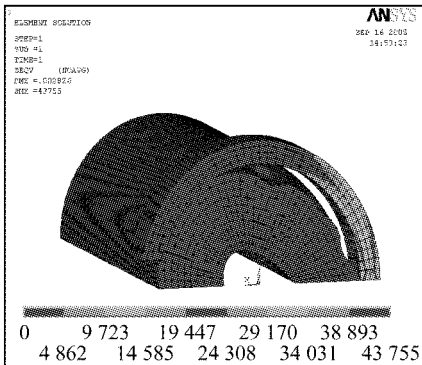


图2 骨卡环的应力分布图
Fig. 2 The stress distribution of clutching internal fixator

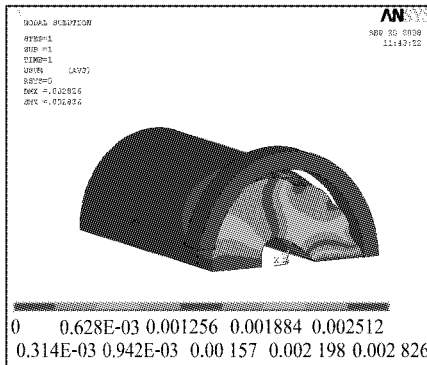


图3 骨的应力分布云图
Fig. 3 The stress distribution of bone

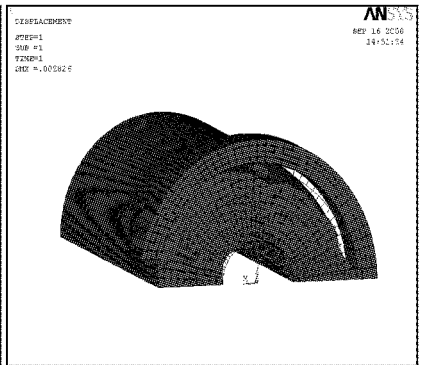


图4 放大1 000 倍的变形图
Fig. 4 1 000 times larger Deformations

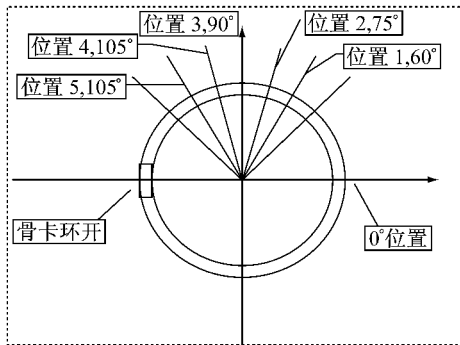


图5 加载点位置示意图
Fig. 5 Sketch map for location of load point

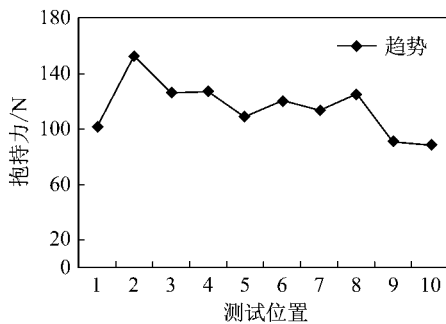


图6 相同开口度下骨卡环的抱持力分布趋势
Fig. 6 Embracing force distribution trends of different point in the same open degree

靠近骨卡环缺口的较小,而离开缺口越远受力和变形越大的特点,这和本文的计算结果相吻合。

4 结论

(1) 从变形图来看,卡环在与骨骼发生作用时,由于变形卡环与骨表面最终相接触的部位应该近似

的看成三个点,其次由于真实的骨骼外表面形状也不是一个圆,而是一个异形表面,因此在实际治疗过程中卡环与骨表面发生作用时,也成集中力的形式表现,这对选择受力部位尤为重要。

(2) 在骨卡环中性面加载均布集中力偶的情况下,骨卡环的应力分布呈对称状,卡口处受力最小位移最大,受力最大部位处于与卡口对称的卡环的另一边的内表面位置处。而骨骼的应力云图显示受力最大处也为该处。上面的过程是在与实际情况比较后进行的受力情况的假设和逼近,和真实的受力情况应该存在一定的误差。

(3) 本文研究的骨骼模型是按照一般的弹性模量设计的,而在临床应用中,儿童、青壮年和老年人等人群的骨骼弹性模量是不一样的。因此还要分析各种弹性模量下的骨骼的参数,以使研究的结果更实用。同时,建立的骨卡环模型与市场上越来越多的不规则形状固定器的受力情况也有一定的差别。但所得的结果仍对形状记忆合金固定器在临床应用时的尺寸设计有一定的指导意义。

(4) 本文研究骨骼和固定器时,只考虑了骨模型的弹性变形,在骨骼上施加的力太大或者施加力的持续时间很久时,骨骼就有可能产生不可恢复的变形,这种情况下,骨骼对固定器的抵抗力也会有一定的下降,因此,如何对这个问题作更进一步的研究是今后要注意的问题。

参考文献:

[1] 张铁洪,杜江鸿,沈为栋. 记忆合金环抱式接骨板治疗股骨骨

- 折 32 例并发症分析[J]. 中国临床保健,2006,9(1):23-24.
- [2] 刘保和,王治兵,张懋. 镍钛记忆合金固定器治疗骨折 15 例报告[J]. 宁夏医学学报,2005,27(6):474-475.
- [3] 刘爱荣,潘亦苏,周本宽. 形状记忆合金的有限元分析方法. 西南交通大学学报. 2001,2(36):157-161.
- [4] 周初松,肖文德,万磊,等. 腰椎峡部裂翼状记忆合金节段内固定器的有限元分析[J]. 中国矫形外科杂志,2006,14(19):1485-1486.
- [5] Del Valle V, Faulkner G, Wolfaardt J. Craniofacial osseointegrated implant-induced strain distribution: A numerical study [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*,1997,12(3):200-210.
- [6] 陈宗和,苏佳灿,张春才,等. 肱骨骨折的三维有限元分析与内固定植入物的选择 中国临床康复[J]. 2002,6(24):3663-3664.
- [7] 刘璇,樊瑜波,李德玉. 不同抵抗对 NiTi 合金内固定器回复力大小影响的实验研究[J]. 中国生物医学工程学报,2008,27(4):557-560.

(上接第 35 页)

mL;患者创面的积液多为体液,故释放介质选择 pH 值为 7.4 的磷酸盐缓冲液;人体表皮温度约为 $(32 \pm 0.5)^\circ\text{C}$,故水浴温度选择 $(32 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 模拟人体表皮;考察载药敷料有无突释现象以及能否迅速发挥抗菌功效,首个取样时间点选在 10 min 时;评价其缓释效果以及更换敷料时间间隔,最终取样时间点可以选取 48 h 或 72 h。

5 结语

本研究通过对载药敷料的体外细胞毒性和释放性能评价,表明了该载药敷料细胞相容性良好,能迅速发挥抗菌功效并具有一定的缓释性能。

参考文献:

- [1] 杜青云,张铭穷,黄纯,等. 抗生素滥用与医院感染[J]. 中华医院管理杂志,1997,13(6):12-14.
- [2] Hopper DC. Mechanism of action and resistance of older and new fluoroquinolons [J]. *Clinical Infectious Disease*, 2000,31(suppl. 2):S24-28.
- [3] Dini E, Alexandridou S, Kipariisides C. Synthesis and characterization of cross-linked chitosan micro spheres for drug delivery applications [J]. *Microencapsul*,2003,20(3):375-385.
- [4] 霍美容,周建平. 药用敷料研究新进展-生物可降解聚合物 [J]. 中国天然药物,2003,1(4):246-251.
- [5] 郝和平,主编. 医疗器械生物学评价标准实施指南 [M]. 北京:中国标准出版社,2002:100-110.