

## 腰椎峡部裂记忆合金节段内固定器的有限元分析

张辉<sup>1</sup>、靳安民<sup>1</sup>、张美超<sup>2</sup> 渊第一军医大学<sup>1</sup>、珠江医院脊柱骨科 粤东 广州 510282 曰生物力学实验室 粤东 广州 510515 冤

**摘要** 目的 采用有限元分析法测试记忆合金节段内固定器的抗拉强度及其在加载时的应力分布遥方法 将节段内固定器的设计参数尧实体扫描图象及材料力学特性输入计算机 在 ANSYS 软件固有的三维坐标系中建立节段内固定器的实体模型 并进行网格划分 然后给予拉伸载荷 测量承载点的拉力及内固定器的应力分布遥结果 当节段内固定器两钩中点被拉开 2mm 时 承载点的拉力为 281N 应力分布在内固定器的中间部位最集中 在两钩部较小遥结论 节段内固定器抗拉能力强 固定牢固 内固定器的中间部是加载时应力最集中的部位 是最易发生疲劳断裂的部位遥

**关键词** 腰椎峡部裂 内固定器 记忆合金 生物力学 有限元分析

中图分类号 院 66ER323.43 文献标识码 院 文章编号 院 000-2588 渊 002 冤 2-1128-03

## Finite element analysis of shape memory alloy intrasegmental fixator for lumbar spondylolysis

ZHANGHui<sup>1</sup>, JINAn-min<sup>1</sup>, ZHANGMei-chao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Orthopaedics, Zhujiang Hospital, First Military Medical University, Guangzhou 510282, China; <sup>2</sup>Laboratory of Biomechanics, First Military Medical University, Guangzhou 510515, China

**Abstract:** Objective To study the tensile strength of shape memory alloy intrasegmental fixator and tensile stress distribution in the device during force loading with finite element method (FEM). Methods The designed parameters, scanning image, and mechanical properties of shape memory alloy intrasegmental fixator were input into computer for the construction of the FEM model of the device in inherent coordinate of ANSYS. The model was extended with restriction in different parts, and the tensile strength and the distribution of tensile stress in the model was calculated. Results When the device was loaded with pulling force to induce a relative displacement of 2mm between the 2 hooks along the two midpoints, the pull was about 281 N, and the tensile stress concentrated more on the middle of device than on the two sides. Conclusions The shape memory alloy intrasegmental fixator is strong enough against tensile stress, which concentrates in the middle portion of the device where fatigue breakage is liable to occur when excessive force is loaded.

**Key words:** lumbar spondylolysis; internal fixator; memory alloy; biomechanics; finite element analysis

有限元分析是工程结构中进行应力分析的重要方法之一 也是目前评价脊柱生物力学特性的一种重要工具 近年来在脊柱生物力学评价中被广泛应用 该方法在脊柱内固定器的应力分析方面也有许多优点 本实验应用记忆合金节段内固定器的设计参数尧材料特性和 ANSYS 软件建立了一个腰椎峡部裂记忆合金节段内固定器的三维有限元模型 用 以对其抗拉强度及应力分布进行研究 为记忆合金节段内固定器的临床应用提供生物力学基础和理论依据遥

### 1 材料和方法

#### 1.1 腰椎峡部裂记忆合金节段内固定器模型的三维重建

将记忆合金节段内固定器的设计参数尧实体扫描

图象尧材料力学性质 杨氏模量 院 5840MPa 尧泊松比 院 0.33 冤 输入计算机 在 ANSYS 软件固有的三维坐标系中建立腰椎峡部裂记忆合金节段内固定器的实体模型 对实体模型进行 6 方格单元网格划分 本实验中内固定器的三维有限元模型共划分了 750 个单元 尧 368 个结点 渊 图 1 冤遥

#### 1.2 加载条件及方法

固定节段内固定器的横突钩侧中点 尧 内固定器的椎板钩侧中点 渊 承载点 冤 水平轴向施加载荷至两钩间发生位移 2mm 袁 得到承载点的拉力及内固定器的应力分布情况 同样的方法固定节段内固定器的横突钩侧中点 尧 内固定器椎板钩侧中点上下偏离 4 个结点处 尧 尧 承载点 冤 水平轴向施加拉伸载荷至 2 点间分离 2mm 袁 得出承载点的受力大小遥

### 2 结果

固定节段内固定器横突钩中点 尧 内固定器椎板钩中点 尧 承载点 冤 水平轴向施加拉伸载荷至两钩间

收稿日期 院 002-09-11

基金项目 院 广东省重点科技攻关项目 渊 粤科字 [1999]245 冤

作者简介 院 张辉 渊 1968- 冤 男 袁 江西信丰人 袁 2002 年毕业于第一军医大学 袁 现为在读博士研究生 尧 主治医师 尧 电话 院 20-61643249

发生位移 2mm 时内固定器的应力分布如图 2 应力分布显示越靠近内固定器的中间部位应力越集中内固定器的中间部位应力最大此时椎板钩中点承载点处承受的拉力为 281.93N

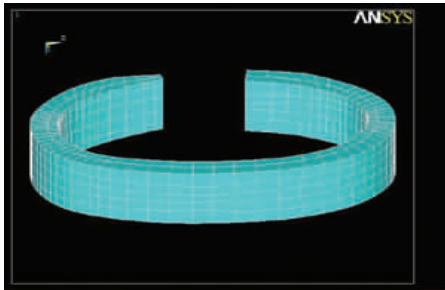


图 1 内固定器的三维有限元模型  
Fig.1 Three-dimensional finite element model of intrasegmental fixator

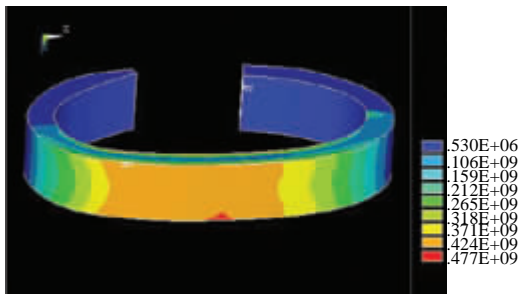


图 2 内固定器的应力分布情况  
Fig.2 Stress distribution of intrasegmental fixator

固定节段内固定器横突钩中点分别以偏离椎板钩中点上下各 4 个结点处为承载点水平轴向施加拉伸载荷至内固定器两钩间分离 2mm 上承载点处的拉力为 528.42N 下承载点处的拉力为 206.86N

### 3 讨论

#### 3.1 有限元方法在生物力学研究中的应用

有限元分析是工程结构中进行应力分析的重要方法之一其基本原理是将问题的求解域划分为一系列单元单元之间仅靠结点连接单元内部点的待求量可由单元结点的量通过选定的函数关系插值得由于单元形状简单易于由平衡关系或能量关系建立结点的方程然后将各个单元方程汇集在一起而形成总体代数方程组加入边界条件后即可对方程组求解单元划分越细计算结果越精确

有限元法在生物力学研究中具有以下特点能在不同状态下条件下模拟试件的活动得到不受实验条件影响的结果可以排除因为实验条件不同造成的误差用有限元分析法对试件的结构形状材料

性能边界条件等均可用数学形式概括出来能任意改变其中任何一个或几个参数以观察其对整个系统的影响可重复计算节约实验成本可以很逼真地建立试件的三维结构模型并赋予其生物力学材料特性可在仿真实验中对模型进行实验条件仿真何约束固定载荷冲击载荷温度特性等模拟拉伸弯曲扭转等各种力学实验以求解获得在不同实验条件下模型任意部位变形应力/应变分布内部能量变化极限破坏分析等变化情况其中很多数据是其他实验方法无法得到的

有限元法最早被用来分析工程中的结构力学问题大约在 20 世纪 60 年代被引入医学研究用来解决心血管领域的流体力学问题 Belytschko 等建立了最早的脊柱三维有限元模型但他们的模型只包括整个椎间关节而无后部结构 King 等则在一节腰椎的三维有限元模型上最早计入了后部结构的作用并进行了静力学和动力学分析以后很多作者相继用三维有限元方法分析了腰椎运动节段的生物力学性质

任何有限元模型都是对实际情况的近似不可能将研究的所有问题全部包括进去都存在一定的缺陷或不足其最终目的在于为临床提供生物力学基础和理论依据因此利用有限元模型得出的计算结果还需与体内或体外实验进行比较必要时结合动物实验和临床观察来进行分析从而起到相辅相成的作用没有体内或体外实验作为基础有限元分析是不可能得出可信结果的

#### 3.2 节段内固定器的抗拉强度及应力分布

固定内固定器横突钩中点椎板钩中点承受拉伸载荷使两钩分离 2mm 时中承载点的拉力为 281.93N 也就是说当使用该内固定器固定腰椎峡部时使峡部断裂端之间分离 2mm 峡部两断裂端之间需要 281.93N 的分离力而根据戴力扬等采用有限元分析方法研究的结果表明正常成人单侧峡部承受的最大应力不到 200N 峡部的分离力则更小因此说使用该内固定器固定腰椎峡部时峡部断裂端之间分离不会超过 2mm 不影响峡部的骨性融合内固定器的强度符合脊柱的生物力学要求固定牢固可靠

固定内固定器横突钩选用不同的承载点内固定器两钩间被拉开 2mm 时各承载点承受的拉力不同本实验上中下 3 个承载点的承受的拉力分别是 528.42N、281.93N、206.86N 说明在临床上内固定器安装位置不同内固定器抗拉伸的强度不同两固定点越靠近中间部位其抗分离的能力越强这就要求手术时要选择型号合适的内固定器

节段内固定器承受拉伸载荷时内固定器的应力分布情况显示越靠近内固定器的中间部位应力分布越集中为固定器的中间部位应力最大越接近钩端应力越小说明内固定器使用时最容易发生疲劳断裂的部位是内固定器的中间部位钩部发生断裂的可能性较小

3.3 有限元分析法与 MTS-858 材料试验机测试结果的比较

由于任何有限元模型都是对实际情况的近似利用有限元模型得出的计算结果还需与体内或体外实验进行比较有限元分析法与体内或体外实验方法各有其优缺点固定内固定器横突钩中点椎板钩中点承受拉伸载荷使两钩分离 2mm 时中承载点的应力为 281.93 N 此数据与在 37 益条件下采用 MTS-858 材料试验机测试的内固定器的抗拉强度均数 245.20N 比较相符说明有限元分析法测出的内固定器的强度试验数据比较可信

参考文献

咱暂 王**国**强. 实用工程数值模拟技术及其在 ANSYS 上的实践咱暂西安: 西北工业大学出版社, 1999.1-3.  
咱暂 BelytschkoT, AndriacchiTP, SchultzAB, et al. Analogstudiesof forcesinthehumanspine-computationaltechniques咱暂Biomech,

1973,6(3):361-71.  
咱暂 KingAL, HakimsNS. Athreedimensionalfiniteelementdynamic responseanalysisofavertebrawithexperimentalverification咱暂J Biomech,1979,12(3):277-84.  
咱暂 LuYM, HuttonWC, GharpurayVM. Dobending, twisting, anddiurnalfluidchangesinthediscaffectthepropensitytoprolapse? A viscoelasticfiniteelementmodel咱暂Spine,1996,21(22):2570-9.  
咱暂 NatarajanRN, AndersonGB. Theinfluenceoflumbar disc height and crosssectionalareaonthemechanicalresponseofthedisco physiologicloading咱暂Spine,1999,24(17):1873-81.  
咱暂 LeeCK, KimYE, LeeCS, et al. Impactresponseoftheintervertebraldiscinafinite-elementmodel咱暂Spine,2000,25(21):2431-9.  
咱暂 张美超, 肖进, 李义凯, 等. 腰椎小关节接触模型的有限元分析咱暂第一军医大学学报,2002,22(9):836-8.  
ZhangMC, XiaoJ, LiYK, et al. Finiteelementanalysisonosculant modeloflumbarfacetjoints咱暂FirstMilMedUniv,2002,22(9): 836-8.  
咱暂 SharmaM, LangranaNA, RodriguezJ. Roleofligamentsandfacets inlumbar spinalstability咱暂Spine,1995,20(6):887-900.  
咱暂 戴力扬, 屠开元, 徐印坎, 等. 腰椎椎弓峡部裂的生物力学研究咱暂中国运动医学杂志,1990,9(2):67-8.  
咱暂 张辉, 靳安民, 赵卫东. 腰椎峡部裂记忆合金节段内固定器的生物力学评价咱暂中国临床解剖学杂志,2002,20(4):301-2.  
ZhangH, JinAM, ZhaoWD. Biomechanicalevaluationofmemory alloyintrasegmentalfixatorforlumbar spondylolysis咱暂ChinClin Anat,2002,20(4):301-2.

渊上接 1127 页冤

NQO1 基因 6 号外显子上的 C T 的错义突变造成 NQO1 酶活性降低或缺乏减弱了 NQO1 对抗致癌物毒性的抑制作用使机体倾向于罹患恶性疾病不过袁这种倾向性的结果可能要同某一特定性的毒物结合方能发病至于同哪些危险因素结合具有更高的发病倾向吸烟尧B 病毒感染等均有待于进一步深入研究

参考文献

咱暂张 锋, 李振权, 张锦明, 等. 鼻咽癌家族聚集现象及其临床分析咱暂癌症,1983,2(4):243.  
咱暂邵 明, 刘焯霖, 陶恩祥, 等. 中国汉族人依赖还原型辅酶 I/II 醌氧化还原酶基因多态性咱暂中山医科大学学报,1998,19(1):23-6.  
ShaoM, LiuCL, TaoEX, et al. PreliminarystudyofNAD(P)H: quinone oxidoreductase gene polymorphism inChinese population咱暂AcadJSUMS,1998,19(1):23-6.  
咱暂 ErnsterL. DT-diaphorase咱暂MethodsEnzymol,1967,10:309-19.

咱暂 SchlagerJJ, PowisG. Cytosolic NAD(P)H:(Quinone-acceptor) oxidoreductaseinhumannormalandtumortissue: effectsofcigarette smokingandalcohol咱暂nt.J.Cancer,1990,45:403-9.  
咱暂 BelinskyM, Jaiswal AK. NAD(P)H:quinone oxidoreductase1(DT-diaphorase) expressioninnormalandtumortissues咱暂 Cancer MetastasisRev,1993,12(2):103-17.  
咱暂 Jaiswal AK, McBride OW, Adesnik M, et al. Human dioxin-induciblecytosolic NAD(P)H:menadioneoxidoreductase. cDNA sequenceandlocalizationofgenetochromosome16咱暂BiolChem, 1988,263(27):13572-8.  
咱暂 Kuehl BL, PatersonJW, PeacockJW. Presence ofaheterozygous substitutionanditsrelationshipptoDT-diaphoraseactivity咱暂 BrJ Cancer,1995,72(3):555-61.  
咱暂 SunagaN, KohnoT, YanagitaniN, et al. ContributionoftheNQO1 and GSTT1polymorphisms to lung adenocarcinoma susceptibility咱暂CancerEpidemiolBiomarkersPrev,2002,11(8):730-8.  
咱暂 HamajimaN, MatsuoK, IwataH, et al. NAD(P)H:quinone oxidoreductase1 (NQO1) C609T polymorphism andtheriskofeightcancersforJapanese咱暂ntJClinOncol,2002,7(2):103-8.

责任编辑 殷咏慧