

骨质疏松症全髋关节有限元模型的建立与分析

樊继波 覃勇 李莎 鄂建设 丁小刚

中图分类号: R681 文献标识码: A 文章编号: 1006-7108(2011)11-0989-04

摘要: 目的 建立骨质疏松症全髋关节有限元模型,分析了运动荷载作用下髋关节平均刚度情况。方法 对1名患有腰痛病的中老年女性志愿者的髋关节进行双能X线扫描记录其骨密度,同时进行CT扫描成像,应用CAD造型软件micins10.1、magics13.0软件和abaques 6.9软件,采用四面体网格划分方法,对髋关节周围组织赋予不同的材料特性,引入接触理论和非线性结构计算方法,建立骨质疏松症全髋关节有限元模型。在所建模型上加载模拟髋关节的前屈、后伸、左右侧屈、左右旋转6种工况下的生理活动。将其赋予生物力学参数值,经模拟施行纵向生理性载荷加压后观察髋关节各部位应力特性的变化。结果 骨质疏松中老年妇女髋关节的三维有限元分析表明皮质骨应力水平较高,但各部位存在不均一性;小梁骨应力水平较皮质骨低。结论 建立了骨质疏松中老年妇女全髋关节三维有限元模型,此模型可用来进行骨质疏松性髋关节应力分布情况的活体分析。

关键词: 骨质疏松症; 全髋关节; 有限元模型分析; 生物力学

The establishment and analysis of finite element model for osteoporotic total hip joint FAN Jibo, QIN Yong, LI Sha, Department of Rehabilitation Medicine, the First College of Clinical Medical Science of Three Gorges University, Three Gorges 443003, China

Corresponding author: FAN Jibo, Email: fanjio2007@163.com

Abstract; Objective To establish finite element model for osteoporotic total hip joint and to analyze the average stiffness of hip load in sports. **Methods** The BMD of hip joint of an elderly female volunteer with twist pain was measured and recorded using the dual-X-ray scan. CT scan was conducted at the same time. finite element model for osteoporotic total hip joint was established using four-side mesh dividing method with CAD model software micins 10.1, magics 13.0, and abaqus 6.9 software, to characterize adjacent tissues of hip joint with different material and to induce the contact theory and non-linear structure calculation method. Six physiological activities were loaded in this model to simulate flexion/extension, left/right bending, and rotating of the hip joint. The biomechanical parameters were also loaded in this model. The variation of force features of total hip joint was observed after stimulate vertical physiological pressure was loaded. **Results** The three dimensional finite element analysis showed that the stress level of cortical bone was high in the hip joint of elderly females. However, it was not equal among different sites. The stress level of trabecular bone was lower than that of cortical bone. **Conclusion** The three-dimensional finite element total hip joint model for elderly female osteoporosis patients is established. And this model can be used for active analysis of stress distribution of osteoporotic hip.

Key words: Osteoporosis; Total hip joint; Finite element model analysis; Biomechanics

有限元分析 (Finite element analysis, FEA) 方

法^[1-6]是利用数学近似的方法对真实物理系统(几何和载荷工况)进行模拟。还利用简单而又相互作用的元素,即单元,就可以用有限数量的未知量去逼近无限未知量的真实系统。在20世纪80年代后期开始应用于脊柱等骨组织的力学性能的评价方面。近年来的研究通过对髋关节CT检查和有限元模型的建立^[7-12],模拟计算骨质疏松症髋关节骨质疏松

基金项目: 三峡大学第一临床医学院科研发展基金项目 (KFJ2009025)

作者单位: 443003 宜昌,樊继波,李莎,鄂建设,丁小刚,三峡大学第一临床医学院康复医学科

通讯作者: 覃勇, Email: ycqinyong@sina.com

症模型,并与关节的生物力学测试实验结果相比较,FEA 模型可能会提高对髋关节强度的预测能力。FEA 模型可比单纯应用骨密度检测能更好地对骨质疏松性髋关节骨折进行预测。目前关于骨质疏松病人髋关节生物力学性质的变化和有限元分析方面的研究报道较少。本研究欲通过应用骨质疏松老年妇女髋关节 CT 技术及计算机工作站形成的髋关节 CT 影像建立骨质疏松老年妇女髋关节有限元模型,并且分析骨质疏松性全髋关节的平均刚度情况。

1 材料与方法

1.1 对 1 名既往骨质疏松症患者的髋关节进行 CT 断层成像

在 CT 成像过程中,要求患者者全髋关节位于扫描视野的中心,保持纵轴方向不动,扫描范围从髋关节至股骨,每个扫描层的层距 0.75mm,像素矩阵密度为 512 × 512,CT 图像中每个像素分配 2 个字节,所得 CT 图片,以 BMP 格式储存输入。数据获取与处理:采用数字图像处理软件 MICICS10.1 软件对 CT 图像进行预处理,magics13.0 进行图像分割,网格化处理等操作,获得了轮廓数据,并将其输出为 abaqus6.9 软件使用的格式文件。(孤立)网格导入 Abaqus/CAD 中,利用放样特征得到骨质疏松症髋关节的三维实体模型。见图 1-6。

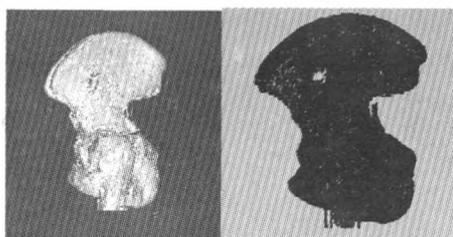


图 1 左边(left)

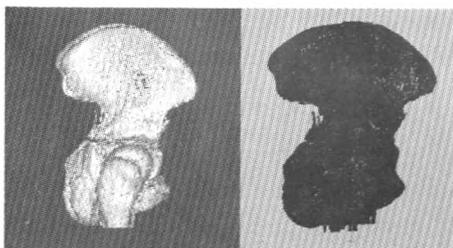


图 2 右边(right)

Abaqus/CAE 创建模型单元属性:不同的结构需要采用不同的单元类型进行模拟。髋关节骨质结构是由皮质骨和松质骨组成,其中皮质骨用实体单元模拟,平均厚度设置为 1mm,松质骨及后部结构采用实体单元模拟。

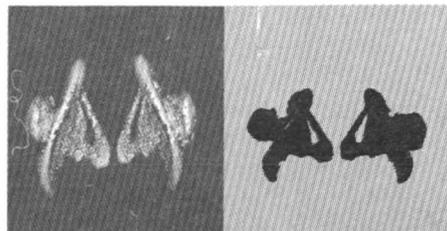


图 3 上面(top)

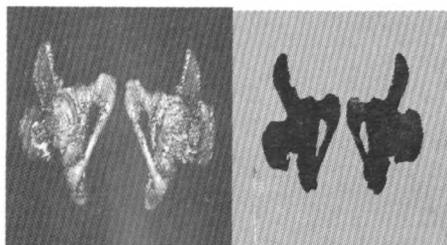


图 4 下面(bottom)

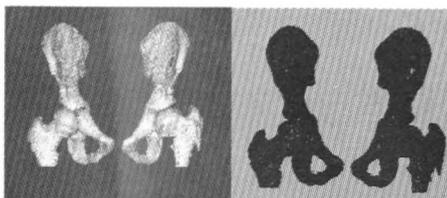


图 5 前面(front)

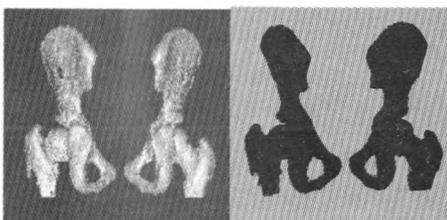


图 6 后面(back)

韧带是纤维组织,在载荷条件下只能承受张力载荷。因此,对髋关节的韧带如髂股韧带,股骨头韧带,耻骨韧带,坐股韧带,轮匝韧带的建立是通过节点与节点的连接建立的。关节之间采用的接触单元进行连接的,并采用摩擦因数进行的约束。

由于髋关节不同部位的材料属性互不相同,差异性较大,根据髋关节的解剖结构特点,分别设定不同的材料属性,见表 1。

表 1 有限元模型的材料参数

结构	弹性模数 (MPa)	泊松比	面积区域 (mm ²)
松质骨	90	0.15	-
皮质骨	500	0.15	-
髂股韧带	10	0.2	6.1
股骨头韧带	10	0.2	5.4
耻骨韧带	10	0.2	7.5
坐股韧带	10	0.2	8.1
轮匝韧带	10	0.2	6.9

关节面之间运动较为复杂,当间隙小于一定的

数值时会发生相互作用,并且是多个方向的相对滚动或磨擦,为此将关节面定义为接触单元,采用 abaqus6.9 接触单元中的面到面约束接触单元模拟关节软骨之间的接触滑动。

1.2 建立模型,并划分网格

建立代表接触体几何形状的实体模型。设置单元类型、实常数、材料特性。用恰当的单元类型给接触体划分网格。通过目标单元和接触单元来定义模型在变形期间可能发生接触的区域。接触区域可以任意定义,然而为了更有效地进行计算,应尽量定义更小的局部化接触区域,但要保证它足以描述所需要的接触行为,不同的接触对必须通过不同的实常数来定义。

定义刚性目标面和柔性体的接触面:本次分析建立接触面为关节软骨软骨外表面。

固定股骨头上表面不动,于髌骨上表面施加一定量得预载荷(30N),然后再于股骨头上表面施加前屈/后伸、左/右侧弯、左/右旋转 6 种 2.0N·m 纯力矩,模拟髌关节 6 个方向的生理活动。将所得到的数据与有关文献结果相对比,并导入统计学软件 SPSS17.0 进行统计学处理分析。

2 结果

髌关节运动范围(ROM)变化与平均刚度与前人研究的比较(表 2)。

表 2 模型各种运动范围(ROM)变化下的平均刚度与前人研究的比较(x±s)

运动方向	实验数据	文献数据	P 值
弯曲状态	0.532 ± 0.001	0.536 ± 0.001	> 0.05
伸展状态	0.516 ± 0.002	0.413 ± 0.003	> 0.05
左弯状态	0.441 ± 0.003	0.488 ± 0.003	> 0.05
右弯状态	0.512 ± 0.001	0.412 ± 0.009	> 0.05
左旋转状态	0.522 ± 0.003	0.517 ± 0.006	> 0.05
右旋转状态	0.563 ± 0.008	0.471 ± 0.016	> 0.05

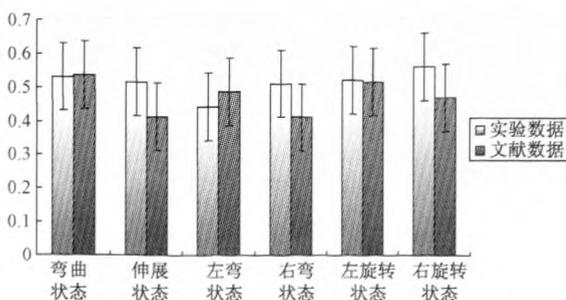


图 7 模型各种运动范围(ROM)变化下的平均刚度与前人研究的比较

由上图表可以看出,所建立模型在前屈/后伸、左/右侧弯、左/右旋转 6 种方向的运动范围(ROM)的平均刚度,与相关文献比较,在统计学上无显著差异。

3 讨论

骨密度是目前临床上评价骨质疏松症的基金标准^[13]。然而骨质疏松症评价的最佳途径是应用测量骨强度的方法,但是临床上尚无对骨强度的无创性测量手段。在骨质疏松症的生物力学研究中^[14-16],以往对髌关节表面应力、应变测定无法实现对椎体内部结构变化的评估,同时,试验研究局限于以骨标本为研究对象,使研究价值受到限制。近年来,随着工程学上评估物体结构强度软件的发展^[17-20],包括其形态结构,物体材料及所受负荷等方面的因素,应用 FEA 方法模拟计算骨质疏松症骨组织与骨质量相关参数数值,可能会提高对骨强度变化和骨折危险度的预测能力,通过 CT 扫描提供更多关于骨矿含量,骨生物力学和骨几何学特点等方面的更多数据。

本研究通计算机软件系统对骨质疏松症患者髌关节 CT 扫描数据进行处理建立并分析了骨质疏松症老年妇女髌关节的三维有限元模型。研究表明:髌关节骨皮质应力水平较高,各部位不均一,其周边后部的应力水平高于前部,下部高于上部。将随着生物力学和工程学的发展,FEA 方法对骨质疏松性骨折的预测具有较好的临床应用前景,可能在骨质疏松病人骨强度变化的临床检测中发挥重要作用。

【参 考 文 献】

[1] Lee H P, Zhuang H. Biomechanical study on the edge shapes for penetrating keratoplasty. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*, 2011; 1-9.

[2] Zhao X, Raghavan M L. Characterizing heterogeneous properties of cerebral aneurysms with unknown stress-free geometry: a precursor to *in vivo* identification. *J Biomech Eng*, 2011, 133 (5): 051008.

[3] Liu X M, Li Y F. Discussing displacement trend on nontractional side of canine mandible with finite element method when distraction osteogenesis with unilateral incomplete osteotomy. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*, 2011, 29(2): 220-222.

[4] Han X L, Liu Z W. Three dimensional finite element analysis of biomechanical distribution of dental implants with immediate loading *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*, 2011, 29 (2):

- 121-124.
- [5] Yang W L, Lin X F. Finite element contact stress analysis of simulating teeth with wedge shaped defects in the cervical region. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*, 2011, 29 (2): 118-120, 124.
- [6] Zhang N, Feng C Z, et al.
- [7] Three-dimensional finite element analysis of effect of root canal taper and post on tooth stress distribution. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*, 2011, 46(3): 153-156.
- [8] Basler S E, Mueller T L. Towards validation of computational analyses of peri-implant displacements by means of experimentally obtained displacement maps. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*, 2011, 14(2): 165-174.
- [9] Dragomir-Daescu D, J Op Den Buijs. Robust QCT/FEA models of proximal femur stiffness and fracture load during a sideways fall on the hip. *Ann Biomed Eng*, 2011, 39(2): 742-755.
- [10] Waanders D, Janssen. The behavior of the micro-mechanical cement-bone interface affects the cement failure in total hip replacement. *J Biomech*, 2011, 44(2): 228-234.
- [11] Cong A, Buijs. In situ parameter identification of optimal density-elastic modulus relationships in subject-specific finite element models of the proximal femur. *Med Eng Phys*, 2011, 33 (2): 164-173.
- [12] Elkins J M. , O'Brien M Kl. Hard-on-hard total hip impingement causes extreme contact stress concentrations. *Clin Orthop Relat Res*, 2011, 469(2): 454-463.
- [13] Bougherara, H, Zdero R. A preliminary biomechanical study of a novel carbon-fibre hip implant versus standard metallic hip implants. *Med Eng Phys*, 2011, 33(1): 121-128.
- [14] Lee J H, Lee S H. Multiple vertebral compression fractures associated with post partum osteoporosis. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2011, 24(2): 117-121.
- [15] Burket J, Gourion-Arsiquaud S. Microstructure and nanomechanical properties in osteons relate to tissue and animal age. *J Biomech*, 2011, 44 (2): 277-284.
- [16] Moritz N, Alm. Quality of intertrochanteric cancellous bone as predictor of femoral stem RSA migration in cementless total hip arthroplasty. *J Biomech*, 2011, 44(2): 221-227.
- [17] Lee T C. Anatomists and geometers: 16th samuel haughton lecture of the royal academy of medicine in ireland. " *Ir J Med Sci*, 2011, 180(2): 307-314.
- [18] Sharma, A. and P. Malakar. Comparative modeling and genomics for galactokinase (Galp) enzyme. *Bioinformation*, 2011, 5(10): 422-429.
- [19] Barash D, Churkin A. Mutational analysis in RNAs; comparing programs for RNA deleterious mutation prediction. " *Brief Bioinform*, 2011, 12(2): 104-114.
- [20] Plewczynski D, Lazniewski M. VoteDock; consensus docking method for prediction of protein-ligand interactions. *J Comput Chem*, 2011, 32(4): 568-581.
- [21] Hlinka J, Palus M. Functional connectivity in resting-state fMRI; is linear correlation sufficient? *Neuroimage*, 2011, 54 (3): 2218-2225.

(收稿日期: 2011-07-15)

骨质疏松症全髋关节有限元模型的建立与分析

作者: [樊继波](#), [覃勇](#), [李莎](#), [鄂建设](#), [丁小刚](#)
作者单位: [三峡大学第一临床医学院康复医学科, 宜昌, 443003](#)
刊名: [中国骨质疏松杂志](#) 
英文刊名: [Chinese Journal of Osteoporosis](#)
年, 卷(期): 2011, 17(11)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zggzsszz201111013.aspx