

# 采用体绘制方法建立人股骨三维有限元模型及其应力分析\*

钟务学<sup>1</sup>, 张银网<sup>2</sup>, 朱海波<sup>2</sup>, 陈云<sup>3</sup>, 徐灵军<sup>1</sup>, 张浩<sup>1</sup>, 朱建民<sup>2</sup>

## Stress analysis and establishment of three-dimensional finite element model of human femur by volume rendering

Zhong Wu-xue<sup>1</sup>, Zhang Yin-wang<sup>2</sup>, Zhu Hai-bo<sup>2</sup>, Chen Yun<sup>3</sup>, Xu Ling-jun<sup>1</sup>, Zhang Hao<sup>1</sup>, Zhu Jian-min<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Clinical Medical School of Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu Province, China; <sup>2</sup>Shanghai Xuhui Central Hospital, Shanghai 200031, China; <sup>3</sup>Med-X Research Institute of Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China

Zhong Wu-xue★, Master, Clinical Medical School of Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu Province, China  
 zhongwuxue@163.com

Corresponding author: Zhu Jian-min, Professor, Chief physician, Master's supervisor, Shanghai Xuhui Central Hospital, Shanghai 200031, China  
 zhujm55@126.com

Received: 2011-08-25  
 Accepted: 2011-10-26

### Abstract

**BACKGROUND:** At present, there are several research methods of femoral three-dimensional (3-D) finite element modeling, but studies on the 3-D finite element solid model of femur by volume rendering method are few.

**OBJECTIVE:** To establish the 3-D finite element solid model of human femur by volume rendering method, to obtain the stress distribution of the model through simulation of mechanical loading, and to assess the feasibility of this method by comparing with the previous femoral biomechanical experiments.

**METHODS:** CT images was preprocessed by images denoising and other methods, then the 3-D finite element solid model of human femur was constructed by using Mimics and Ansys softwares through adopting rendering technique. And, the loading conditions of femur at the position of standing were simulated by importing the femur material parameter to the Mimics software.

**RESULTS AND CONCLUSION:** The 3-D finite element solid model of human femur includes cortical bone, cancellous bone and anatomical structure of cavity, and there were 63 900 nodes and 43 552 elements generated in total after meshing. Results of simulation of the loading conditions showed that the femur compressive stress primarily concentrated in the inner side of femur, especially in the calcar femorale, and the tensile stress mainly concentrated in the outside of collum femoris and shaft of femur. The 3-D finite element solid model of human femur with high quality simulation and reflection of the anatomical structure of femur can be created by volume rendering method. So, this model can be applied to study the internal structure and details of femur, and simulate the biomechanical property of femur.

Zhong WX, Zhang YW, Zhu HB, Chen Y, Xu LJ, Zhang H, Zhu JM. Stress analysis and establishment of three-dimensional finite element model of human femur by volume rendering. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2012;16(17): 3048-3051.  
<http://www.crter.cn> <http://en.zglckf.com>

### 摘要

**背景:** 目前股骨三维有限元研究建模方法有多种, 而采用体绘制分体建模方法还未曾报道过。

**目的:** 采用体绘制方法建立股骨三维有限元实体模型, 对所建实体模型模拟力学载荷得出股骨应力分布, 并与既往股骨力学实验比较, 评估体绘制方法的可行性。

**方法:** 将 CT 扫描图像去噪等预处理后, 采用体绘制技术, 利用 Mimics 和 Ansys 软件建立人股骨有限元模型, 并在 Mimics 软件中赋予股骨材质, 并模拟人体正常站立位时股骨载荷情况。

**结果与结论:** 采用体绘制方法建立的人股骨三维有限元模型, 包括皮质骨、松质骨及髓腔解剖结构, 网格化后共生成 63 900 个节点, 43 552 个实体单元; 模拟载荷显示股骨压应力区域主要集中在股骨内侧、尤其是股骨距部位, 张应力主要集中于股骨颈外侧、股骨干外侧。表明体绘制方法可以建立高仿真、接近股骨解剖结构股骨三维有限元模型实体模型, 可以探索股骨的内部结构, 展现其内部细节, 模拟股骨生物力学分布。

**关键词:** 体绘制; 股骨; 实体模型; 有限元; 力学分布  
 doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2012.17.003

钟务学, 张银网, 朱海波, 陈云, 徐灵军, 张浩, 朱建民. 采用体绘制方法建立人股骨三维有限元模型及其应力分析[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(17):3048-3051. <http://www.crter.org> <http://cn.zglckf.com>

## 0 引言

随着交通事故增多、人口老龄化的加剧, 股骨骨折、尤其是股骨上端骨折的患病率呈上升的趋势, 而这类疾病与股骨应力分布的改变密切相关, 因此准确获知股骨生物力学的分布有助于临床更好的治疗。如 Taylor 等<sup>[1]</sup>指出在髌关节或者肌肉在内的载荷下, 股骨内侧压应力与外侧张应力有着显著差别, 张德祥等<sup>[2]</sup>通过 MTS 试验机测试健康成人新鲜股骨标本在纵向压缩、三点弯曲、轴向扭转状态下发现股骨干

在同等载荷时各个截面所承受的力学分布不同; 赵宝林等<sup>[3]</sup>通过研究正常国人新鲜尸体股骨下端松质骨的拉伸、压缩等力学性能实验, 得出了股骨下端松质骨在拉伸等各自状态下的破坏载荷、强度极限、弹性模量。上述方法主要用于离体骨骼的研究, 患者股骨的研究极为困难。

有限元分析是一种在工程科学技术中广泛应用的数学物理方法, 用于模拟解决各种工程力学等物理学问题, 通过建立高仿真、有效的有限元三维模型, 运用有限元应用软件, 对模型进行实验条件的仿真, 模拟力学试验, 可以

运用有限元分析法模拟人体的活动时扭转、冲击等各种力学性能, 求解不同条件下模型任意部位的形变, 应力应变分布的情况, 有着传统的试验方法无法比拟的优势。Brekelman等<sup>[4]</sup>1972年首次将其应用于骨科领域即脊柱生物力学的研究, 20世纪80年代后逐渐开始应用于牙齿<sup>[5]</sup>、四肢骨骼<sup>[6-7]</sup>、髋关节置换术后假体及骨病等生物力学研究上<sup>[8-12]</sup>。文章寻求采用体绘制方法建立与股骨的内部结构相近的三维有限元实体模型, 对所建实体模型模拟力学载荷得出股骨应力分布, 并与既往股骨力学实验方法比较, 评估此方法的可行性。

## 1 对象和方法

**设计:** 单一样本观察。

**时间及地点:** 实验于2010-10/2011-06在上海交通大学与徐汇区中心医院临床有限元中心完成。

**对象:** 选取男性志愿者1例, 年龄40岁, 身高170 cm, 体质量75 kg, 并与其签知情同意书。

**材料:**

**CT扫描:** 飞利浦64排128层螺旋CT。

**软件环境:** Windows XP Professional 64bit; Mimics 10.1; Ansys 11.0。

**硬件环境:** CPU Intel I7 965; 内存DDR3, 1 333共6 G; 图形加速卡Nvidia GX260x2; 硬盘Seagate SATA 1Tx2。

**方法:**

**CT扫描:** 应用X射线检查股骨正侧位排除股骨病变、缺损等情况。采用64排128层螺旋CT对全股骨全长横断面螺旋扫描, 得到1 508层图像, 然后以Dicom格式保存。扫描条件: 扫描电压120 kV。扫描电流105 mA, 骨组织窗扫描, 螺距0.67 mm。

**体绘制方法建立股骨三维有限元模型:** 首先对健康志愿者的股骨螺旋CT断层图像进行去除噪声污染等预处理, 然后以Dicom格式保存并导入Mimics软件中, 通过筛选图像, 保留股骨部分的断层图像, 设定股骨图像的阈值等处理, 分割等处理得到完整股骨模型, 手动优化股骨模型, 以便得到表面光滑模型, 导出面网格单元到Ansys中生成体网格。

**应用Mimics重建全股骨有限元模型:** 同样是以上述得到的体网格模型为基础。在Mimics中选用16种材料(选用16种材料表示将股骨的皮质

骨分为5等分、松质骨灰度值区间各分为间隔的10等份, 骨髓为单一材料), 每种材料代表一个灰度值区间, 将全股骨体网格模型按皮质骨、松质骨、髓腔分层添加材料属性, 得到全股骨的有限元模型。

**重建条件与方法:** ①股骨原始CT数据的分辨率决定了模型质量的好坏, 实验所用的CT数据是利用飞利浦公司64排螺128层旋采集的, 螺距为0.67 mm。②将CT扫描获得一系列的股骨图像数据按位置和角度信息进行规则化处理, 然后就形成一个三维空间中由均匀网格组成的规则的数据场, 网格上的每个节点为一个体素, 描述股骨的密度等属性信息。体绘制以这种体素为基本操作单位, 计算出每个体素对显示图像的影响。

**计算公式:** Mimics根据CT图像的灰度值对模型添加材料属性, 即采用经验公式:  $Density = -13.4 + 1.017 \times Grayvalue + E-Modulus = -388.8 + 5.925 \times Density$ <sup>[13-14]</sup>, 这样可避免主观因素, 结果客观真实。再将赋好材质的体网格模型导入Ansys软件中, 得到正常股骨的有限元模型。人正常站立状态下, 髋关节各个方向受力保持平衡, 由于髋关节是一个稳定的关节, 此时不需肌肉收缩来达到直立状态, 仅靠关节囊与韧带的稳定作用即可使髋关节稳定。

首先将股骨调整到人正常站立位时的解剖位置, 即股骨头中心与股骨髁间窝中心的连线与水平面垂直。然后将股骨三维有限元模型内外髁下缘全部节点的自由度约束为零作为边界条件, 从股骨头上水平面加载350 N集中力<sup>[15-16]</sup>。

**主要观察指标:** 股骨三维重建模型的股骨应力分布。

## 2 结果

**2.1 股骨三维重建模型** 见图1。所建模型结构包含皮质骨、松质骨、骨髓, 与真实的人体股骨结构形状较吻合, 符合股骨解剖学结构; 通过上述方法构建了人体股骨三维有限元实体模型, 网格化后共生成63 900个节点, 43 552个实体单元。

**2.2 股骨应力分布图** 股骨三维有限元模型模拟载荷见图2。①压应力区域主要集中在股骨颈内侧、股骨干内侧, 股骨距及股骨颈内侧更明显; 张应力主要集中在股骨颈外侧、股骨干外侧, 股骨颈外侧明显。②模型中最大压应力位于股骨小转子下股骨距部位, 最大值为

<sup>1</sup> 江苏大学临床医学院, 江苏省镇江市 212013; <sup>2</sup> 上海徐汇区中心医院, 上海市 200031; <sup>3</sup> 上海交通大学 Med-X 研究院, 上海市 200240

钟务学★, 男, 1984年生, 江西省宜春市人, 汉族, 2012年江苏大学毕业, 硕士, 主要从事骨与关节损伤的研究。  
zhongwuxue@163.com

通讯作者: 朱建民, 教授, 主任医师, 硕士生导师, 上海市徐汇区中心医院骨科, 上海市 200031  
zhujm55@126.com

中图分类号: R318  
文献标识码: A  
文章编号: 1673-8225  
(2012)17-03048-04

收稿日期: 2011-08-25  
修回日期: 2011-10-26  
(20110825022W · G)

3.98 MPa, 张应力最大部位在股骨颈外侧中部, 最大值为2.654 MPa(模拟载荷时集中力加载股骨头上, 股骨头表面与受力点近, 股骨头表面所得结果误差大, 所以本研究省略股骨头受力分布)。

要的承重结构; 如Yosibash等<sup>[17]</sup>通过采集股骨QCT数据建立股骨近端三维有限元模型及模拟加载负荷得到应力分布, 并与体外股骨应力分布测量比较, Enrico Schileo等<sup>[18]</sup>通过研究股骨三维有限元模型应力分布及股骨体外不同条件下应力载荷实验, 两者发现股骨三维有限元模型得出应力分布与体外实验基本一致, 后者认为有限元分析法可以精准预测长骨的应力分布。

本实验结果显示股骨压应力主要集中在股骨距部位, 这也与股骨生理结构相适应, 股骨颈内外侧压应力张应力集中, 与临床上股骨颈易发部位相关联, 与刘安庆等<sup>[19]</sup>及Yosibash等<sup>[20]</sup>研究的股骨力学分布相近。因此, 建立股骨高仿真、有效三维有限元模型, 运用有限元分析方法可以对其所建模型进行生物力学分析。

间接法分析物体的应力分布是否精准关键是所建模型是否符合生物学结构, 模型的好坏决定实验的成败。目前建立生物模型有多种方法: ①表面建模法, 即只通过获取物体表面轮廓的数据点建模, 但此方法无法体现实体的内部形态, 所建模型内部结构缺如, 因此所建模型生物学匹配度不高。②组织切片建模法, 如方驰华等<sup>[21]</sup>利用高分辨率切片重建中国虚拟人女性一号的肝脏, 并模拟手术切割, 组织切片具有高仿真性, 但建模赋值时无可靠的材料属性数值。研究认为股骨可将皮质骨与松质骨看作分布均匀且各向同性体材料进行分析, 统一弹性模量, 简化运算, 然而股骨为各向异性的非弹性材料, 是由皮质骨、松质骨及骨髓腔中的软组织组成, 因此国内外在有限元研究中对股骨的赋值存在争论。实验采用皮质骨、松质骨及髓腔分层赋值建模, 选用16种材料表示将股骨的皮质骨分为5等分、松质骨灰度值区间各分为间隔的10等份, 骨髓为单一种材料, 按股骨生物学结构分层赋值建模, 模型包括皮质骨、松质骨、髓腔, 因此更能准确反映股骨组成结构。③基于MRI或CT等影像数据建模法, 介于MRI对软组织成像清楚及CT对骨组织成像好, 吴迪<sup>[22]</sup>采用CT、MRI建立人体膝关节三维有限元模型, CT与MRI结合可反映骨骼与软组织结构, 但人体大腿包括股骨及其软组织, 信息量大, 目前条件下难以全部采集。张弢等<sup>[23]</sup>与彭李华等<sup>[24]</sup>采用CT图像建立有限元模型, 两者在建模时股骨材料赋值考虑简单, 尚不能精准反映股骨内部结构。本实验也是基于CT断层图像建模, 但在建模过程中采用了体绘制技术原理, 直接采用对所有的体数据进行绘制的方法, 将股骨皮质骨、松质骨、髓腔分层考虑、逐层建立生物体模型, 在将其有机组合建立股骨三维有限元实体模型, 其包含外表及股骨内部结构并用科学方法对模型赋值, 模型赋值时根据CT灰度值分别将皮质骨、松质骨、骨髓分若干个等级, 在根据骨弹性模量转换公式转换赋值, 数据量真实、客观, 所建三维模型包含皮质骨、松质骨、骨髓等解剖结构, 其优点是直接按体素进行绘制, 有利于保留

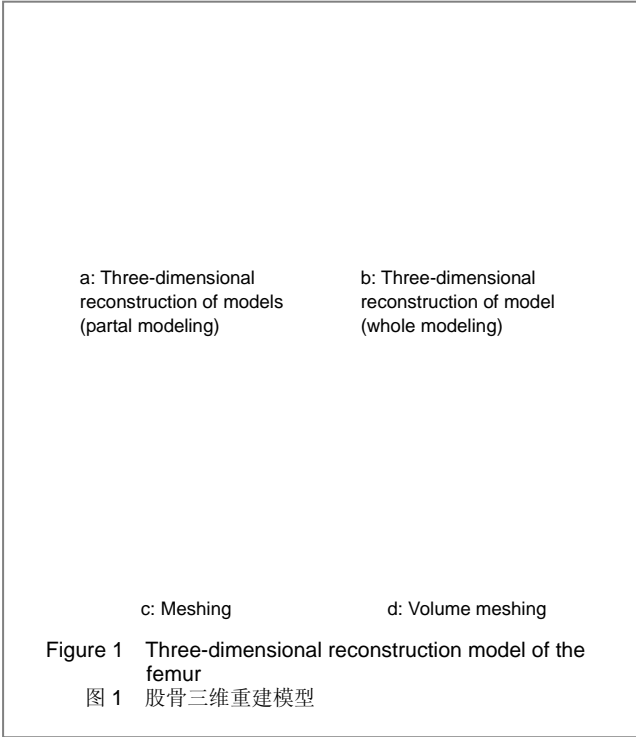


Figure 1 Three-dimensional reconstruction model of the femur  
图1 股骨三维重建模型

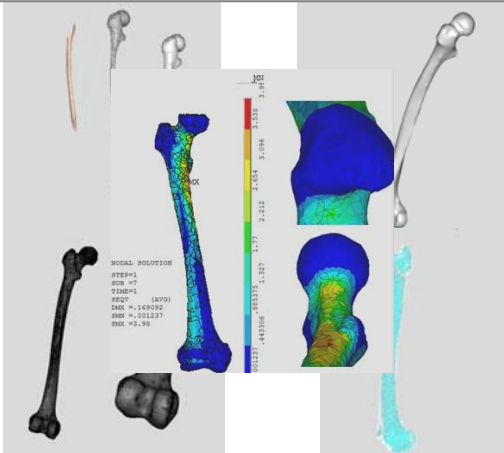


Figure 2 Stress distribution of femur (The compressive stress primarily concentrated in the inner side of femur, especially in the calcar femorale, and the tensile stress mainly concentrated in the outside of collum femoris and shaft of femur)

图2 股骨应力分布图(股骨压应力区域主要集中在股骨内侧、尤其是股骨距部位, 张应力主要集中于股骨颈外侧、股骨干外侧)

### 3 讨论

目前, 国内外研究人股骨的应力分布有间接法和直接方法。间接法即通过采集人股骨x-ray、CT、MR等图像数据, 再运用相关软件转换为数据模型, 模拟人股骨载荷分析得出力学分布。目前主要有三维有限元法, 如杨天府等<sup>[15]</sup>采用计算机辅助技术建立股骨的三维有限元模型, 研究发现股骨颈处的压力骨小梁和股骨距是主

三维数据内部的大量信息, 增强整体绘制效果, 即可以探索骨骼的内部结构, 展现骨骼内部细节。

随着建模研究方法的不断改进及力学分析软件更新, 有限元分析法不仅可应用于骨科领域如脊柱、股骨等生物力学的分布研究, 还可用于检测骨密度、预测骨折等研究上, 如Bessho等<sup>[25]</sup>研究发现应用有限元方法预测股骨的强度比应用QCT和DXA方法更为有效; Langton等<sup>[26]</sup>研究股骨近端骨密度与其三维有限元模型比较, 认为后者较前者在预测股骨近端骨折具有明显优势, Orwoll等<sup>[27]</sup>通过研究老年人(年龄 $\geq 65$ 岁)的股骨三维有限元认为股骨的强度及股骨的载荷率与其骨折密切相关, 并认为有限元分析法可以预测股骨骨折。Heng等<sup>[28]</sup>研究发现CT结合有限元方法可以测量皮质骨的弹性模量。

通过采用体绘制建立股骨三维模型, 所建实体模型可以反映股骨内结构, 生物仿真度高, 再利用其有限元分析方法可以模拟股骨在不同状态下的力学载荷, 精准模拟反映股骨应力分布。因此建立有限元三维模型将是一种非常有效的研究手段, 将会得到进一步的扩展, 未来可以用于股骨的个性化研究, 帮助了解和预测股骨骨折发生的危险度、易产生的部位; 为股骨疾病手术治疗时放置人工材料提供精准部位等。

#### 4 参考文献

- [1] Taylor ME, Tanner KE, Freeman MA, et al. Stress and strain distribution within the intact femur: compression or bending. *Med Eng Phys.* 1996;18(2):122-131.
- [2] Zhang DX, Qi ZX, Wei QS, et al. Shiyong Guke zazhi. 2003;3(9):230-233.  
张德祥, 祁振喜, 卫岐山, 等. 人体股骨应力分布的研究[J]. 实用骨科杂志, 2003, 3(9):230-233.
- [3] Zhao BL, Luo M, Ma HS. *Beijing Shengwu Yixue Gongcheng.* 2004; 2(23):143-146.  
赵宝林, 罗民, 马洪顺. 国人股骨下端松质骨力学性质实验研究[J]. 北京生物医学工程, 2004, 2(23):143-146.
- [4] Brekelmans WA, Poort HW, Slooff TJ. A new method to analyse the mechanical behaviour of skeletal parts. *Acta Orthop Scand.* 1972;43(5): 301-317.
- [5] Pan WJ, Zhang BW, Ye SB, et al. *Kouqiang Gemian Xu fu xue zazhi.* 2000;1(3):143-144.  
潘炜娟, 张保卫, 叶少波, 等. 牙齿与桩核三维有限元建模的初步探讨[J]. 口腔颌面修复学杂志, 2000, 1(3):143-144.
- [6] Wu ZP, Gao WY, Wu LJ, et al. *Zhonghua Shou Wai ke Zazhi.* 2009;5(25):304-306.  
吴志鹏, 高伟阳, 吴立军, 等. 基于CT和解剖的三维数字化腕关节模型的构建[J]. 中华手外科杂志, 2009, 5(25):304-306.
- [7] Zeng JC, Qi WL. *Yixue Zongshu.* 2008;20(14):3101-3103.  
曾机灿, 齐伟力. 股骨生物力学的有限元研究[J]. 医学综述, 2008, 20(14): 3101-3103.
- [8] Keyak JH, Rossi SA, Jones KA, et al. Prediction of femoral fracture load using automated finite element modeling. *J Biomech.* 1998; 31(2):125-133.
- [9] Pettersen SH, Wik TS, Skallerud B. Subject specific finite element analysis of stress shielding around a cementless femoral stem. *Clin Biomech.* 2009;24(2):196-202.
- [10] Oguz K, Fehmi E. Finite element modelling and analysis of a new cemented hip prosthesis. *Advances in Engineering Software.* 2006;37: 477-483.
- [11] Kowalczyk P. Design optimization of cementless femoral hip prostheses using finite element analysis. *J Biomech Eng.* 2001; 123(5):396-402.
- [12] Zhang NF, Liu CG, Lin P, et al. *Zhongri Youhao Yiyuan Xuebao.* 2002; 5/6(16):289-292.  
张念非, 刘成刚, 林朋, 等. 股骨头缺血性坏死股骨头塌陷的预测[J]. 中日有好医院学报, 2002, 5/6(16):289-292.
- [13] Rho JY, Hobatho MC, Ashman R B. Relations of mechanical properties to density and CT numbers in human bone. *Med Eng Phys.* 1995;17(5): 347-355.
- [14] Esses SI, Lotz JC, Hayes WC. Biomechanical properties of the proximal femur determined in vitro by single-energy quantitative computed tomography. *J Bone Miner Res.* 1989;4(5):715-722.
- [15] Yang TF, Wang JP, Zhong FL, et al. *Zhonghua Chuang Shang Gu Ke Za Zhi.* 2005;10(7):931-934.  
杨天府, 汪金平, 钟凤林, 等. 股骨生物力学特性的有限元分析[J]. 中华创伤骨科杂志, 2005, 10(7):931-934.
- [16] Ma JX, Ma XL, Zhang QG, et al. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu.* 2008;12(5):6283-6286.  
马剑雄, 马信龙, 张清功, 等. 三维有限元模型评价股骨正常站立位的生物力学特性[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2008, 12(5): 6283-6286.
- [17] Yosibash Z, Trabelsi N, Milgrom C. Reliable simulations of the human proximal femur by high-order finite element analysis validated by experimental observations. *J Biomech.* 2007;40(16): 3688-3699.
- [18] Schileo E, Taddei F, Malandrino A, et al. Subject-specific finite element models can accurately predict strain levels in long bones. *J Biomech.* 2007;40(13): 2982-2989.
- [19] Liu AQ, Zhang YG, Wang CS, et al. *Xi'an Yike Daxue Xuebao.* 2001; 22(3):242-244.  
刘安庆, 张银光, 王春生, 等. 人股骨生物力学特性的三维有限元分析[J]. 西安医科大学学报, 2001, 22(3):242-244.
- [20] Yosibash Z, Padan R, Joskowicz L, et al. A CT-based high-order finite element analysis of the human proximal femur compared to in-vitro experiments. *J Biomech Eng.* 2007;129(3): 297-309.
- [21] Fang CH, Zhou WY, Huang LW, et al. *Zhonghua Waike Zazhi.* 2005;43(11):748-752.  
方驰华, 周五一, 黄立伟, 等. 虚拟中国人女性一号肝脏图像三维重建和虚拟手术的切割[J]. 中华外科杂志, 2005, 43(11):748-752.
- [22] Wu D. *Dalian Dalian Yike Daxue.* 2007.  
吴迪. 基于CT、MRI的人体膝关节三维有限元模型的建立及应用[D]. 大连:大连医科大学, 2007.
- [23] Zhang T, Zhang QG, Ma XL, et al. *Shengwu Yixue Gongcheng yu Linchuang.* 2008, 6(12): 446-450.  
张涛, 张清工, 马信龙, 等. 应用CT断层图像重建股骨有限元模型[J]. 生物医学工程与临床, 2008, 6(12): 446-450.
- [24] Peng LH, Chen SR, Tang J, et al. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu.* 2010;14(9):1545-1548.  
彭李华, 陈世荣, 唐进, 等. 骨质疏松股骨三维有限元模型的建立[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(9):1545-1548.
- [25] Bessho M, Ohnishi I, Matsuyama J, et al. Prediction of strength and strain of the proximal femur by a CT-based finite element method. *J Biomech.* 2007;40(8): 1745-1753.
- [26] Langton CM, Pisharody S, Keyak JH. Comparison of 3D finite element analysis derived stiffness and BMD to determine the failure load of the excised proximal femur. *Med Eng Phys.* 2009; 31(6): 668-672.
- [27] Orwoll ES, Marshall LM, Nielson CM, et al. Finite element analysis of the proximal femur and hip fracture risk in older men. *J Bone Miner Res.* 2009;24(3): 475-483.
- [28] Heng LH, Tsai MT, Lin DJ, et al. A new method to evaluate the elastic modulus of cortical bone by using a combined computed tomography and finite element approach. *Comput Biol Med.* 2010;40(4):464-468.

#### 来自本文课题的更多信息——

**作者贡献:** 实验设计为第一作者、第二作者, 干预实施为全部作者, 评估为第一、二作者, 采用盲法评估。

**利益冲突:** 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

**伦理要求:** CT扫描前志愿者签署放射检查之情同意书, 没有与相关伦理道德冲突的内容。

**本文创新性:** 既往对股骨有限元研究仅简单区分为密质骨和松质骨, 分别赋予弹性模量和泊松比等材料属性后进行有限元应力分析。而实际上股骨是由多种材料属性构成的复合体, 具有不同力学特性, 呈异质性分布, 并具有明显个体差异。作者设计了一种分体建模、分级设置材料属性的方法, 旨在探索选择更优的设置材料属性的方法, 建立更符合股骨实际情况的建模方法, 以及为股骨三维重建的有限元研究提供更新更好的模型。