

骨质疏松股骨转子间不稳定型骨折患者人工股骨头置换的三维有限元分析

卢申童¹ 冯宗权¹ 邹勇根¹ 刘伟明¹ 潘耀成¹

[摘要] **目的:**探讨骨质疏松股骨转子间不稳定型骨折患者采用人工股骨头置换治疗的应力变化情况。**方法:**随机选择在本院接受体检的健康老年男性 40 例,同期选择转子间骨折股骨头置换组 40 例,多排螺旋 CT 扫描左侧股骨,建立股骨假体及人体股骨三维有限元模型。根据机体对楼梯攀爬情况进行模拟,建立三维有限元模型,对假体周围骨性通道、假体、股骨体表等各项力学指标的应力分布状况赋值。**结果:**正常情况下股骨内外侧受力情况相似,由近端至远端受力逐渐增大是应力变化的结果,假体应力集中在中段部位。股骨整体应力分布不受人工股骨头置换术的影响,根据由近端至远端逐渐增大情况,全长中段股骨部位是应力最大部位,重建后股骨距无应力显著集中情况;观察假体柄前内侧应力情况时发现,其与股骨内松质骨和相应假体应力分布情况变化趋势一致;人工股骨头置换后假体受力变化趋势与正常股骨组、转子间骨折股骨头置换组基本一致,差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**股骨整体应力分布不受人工股骨头置换术的影响,根据由近端至远端逐渐增大情况,全长中段股骨部位是应力最大部位,重建后股骨距无应力显著集中情况。

[关键词] 组织工程;有限元分析;骨质疏松;股骨转子间骨折

[中图分类号] R683.42 **[文献标志码]** A **[文章编号]**1005-0205(2019)11-0019-04

Study on the Stress Changes after Artificial Femoral Head Replacement for Unstable Osteoporotic Intertrochanteric Fracture Patients Using Three-dimensional Finite Element Analysis

LU Shentong¹ FENG Zongquan¹ ZOU Yonggen¹ LIU Weiming¹ PAN Yaocheng¹

¹Osteoarthritis Department, Foshan Hospital of Traditional Chinese Medicine, Foshan 528000, Guangdong China.

Abstract Objective: To study the stress changes after artificial femoral head replacement for unstable osteoporotic intertrochanteric fracture patients using three-dimensional finite element analysis. **Methods:** 40 healthy elderly male check-ups and 40 intertrochanteric fracture patients were selected. The multi-slice spiral CT scanning was performed in the left femur; three-dimensional finite element model for femoral prosthesis and femur was established. Under the scene stimulation of climbing stairs, the stress distribution conditions of the osseous channels, prosthesis and femur were analyzed. **Results:** In the normal state, the internal and external stress of the femur was basically the same. The stress was gradually increased from the proximal and distal femur. The stress of prosthesis was focused on the middle parts. The overall stress distribution patterns were not obviously changed after artificial femoral head replacement. The maximum stress was distributed in the middle femur. After reconstruction, the calcar femorale had no obvious stress. According to the anteromedial stress of prosthesis, the stress of cancellous bone and prosthesis was proven to have the similar variation trend; after model simulation, the stress for normal group and intertrochanteric fracture group had the similar variation trends ($P>0.05$). **Conclusion:** After artificial femoral head replacement, the overall stress distribution patterns are not obviously changed. The maximum stress is distributed in the middle femur. After reconstruction, the calcar femorale has no obvious

stress.

Keywords: histological engineering; finite element analysis; osteoporotic; intertrochanteric fracture

基金项目:广东省中医药局科研课题(20141273)

佛山市卫生和计生局医学科研课题(20180502)

¹ 广东佛山市中医院骨九科(广东 佛山, 528000)

目前,临床多采用人工股骨头置换术治疗股骨转子间不稳定型骨折,但部分研究者认为人工假体可能对原有的股骨生物力学特性产生一定影响^[1]。有研究指出,机体股骨的整体应力分布模式不会受到人工股骨头置换的显著影响,根据由近端至远端逐渐增大情况,应力最大区域为全长中段股骨部位,重建后股骨距无应力显著集中情况^[2]。本研究探讨骨质疏松股骨转子间不稳定型骨折患者采用人工股骨头置换治疗的应力变化情况,现报告如下。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选择本院 2018 年 2 月至 2018 年 9 月接受体检的健康老年男性和转子间骨折患者。健康老年男性 40 例,转子间骨折股骨头置换组 40 例。

1.2 诊断标准

经检查和诊断符合世界卫生组织制定的股骨骨质疏松的诊断标准^[3]。

1.3 纳入标准

1)对实验耐受,一般状况较佳;2)自愿参加本研究,签署知情同意书。

1.4 排除标准

1)伴有髋关节病变;2)机体一般状况较差,出现脏腑功能衰竭或重大内科病变,需要长期卧床。

1.5 方法

1.5.1 分析方法 建立股骨、假体三维有限元模型:64 排螺旋 CT 扫描左侧股骨,扫描纵轴为研究对象的股骨头上方,窗位 400,窗宽 2 000,0.8 mm 层间距,1.0 mm 层厚,由近端股骨干向远端扫描,扫描结束后,共有 248 张断层扫描图像,长度 448 mm,采用 DCM 格式保存,并采用 Miics 软件处理所得图像,完成预处理图像后以 IGES 格式输出研究对象的股骨相关数据。计算机导入数据辅助工程分析、制造、设计集成建模软件 Unigra(UG)中,建立三维模型。根据 Dicom 格式导入 Miics 软件处理假体、股骨扫描数据,对灰度阈值进行调节,区域分割,得到假体、股骨三维模型。制备骨折模型、装配固定器械:采用三维有限元方法加载力学数字模型,以 STL 格式将模型导入 Freeform 软件进行处理,结合临床实际操作过程,处理股骨模型,切除部分转子间结构、股骨头、股骨颈等,建立典型骨折线。完成后将假体模型置于股骨模型中,再对不同模型进行铺面处理。建立股骨头置换有限元模型:铺面处理结束后得到股骨假体固定模型,以 IGED 格式导入 Ansys 10.0 软件中进行分析,建立有限元几何模型,对假体及股固体内腔之间的关系进行监测,为面-面接触关系。划分有限元网络:以 Freeform 软件

铺面处理各模型,完成处理后导入 Ansys 10.0 有限元分析软件内,为 IGES 导入软件。以 Solid 单元十结点网格形式划分有限元模型。其中钛合金弹性模量为 114 000 MPa,泊松比为 0.26;股骨皮质骨弹性模量为 10 000 MPa,泊松比为 0.25;股骨松质骨弹性模量为 600 MPa,泊松比为 0.24。初始人工股骨头置换假体柄稳定性有限元分析:在股骨头模型中模拟进行股骨头置换术,采用布尔运算法计算股骨及假体柄,获得第一组(A1,A2)、第二组(B1,B2)和第三组(C1,C2)数据,将数据进行有限元分析,划分四面体网格,分析骨水泥型人工股骨头置换假体柄的稳定性,制备第四组模型(D1,D2),模拟 70 kg 体质量的成人单足着地和正常行走时股骨的受力情况。正常股骨组为 A1,B1,C1,D1,转子间骨折组为 A2,B2,C2,D2。

1.5.2 仪器 所有患者均采用由天津正天医疗器械有限公司提供的生物型人工股骨头置换术假体。型号为 12,柄长为 150 mm,近端厚度为 13.5 mm,近端宽度为 29.0 mm,远端厚度为 10.0 mm,远端宽度为 8.0 mm。采用 ANSYS 公司大型通用有限元分析软件 Ansys 10.0, SensAble 软件公司 Freeform 软件,UGS 公司的计算机辅助设计、制造和工程分析集成建模软件 Unigra(UG),Materialise 公司的图像处理软件 Miics,西门子公司的 64 排螺旋 CT 仪。

1.6 观察指标^[4]

对机体楼梯攀爬的实际情况进行模拟,设置边界条件为机体步态 45%步态相,建立三维有限元模型,分析假体柄周围骨性通道、假体、股骨体表等的应力分布情况。

1.7 统计学方法

全部数据导入 SPSS17.0 软件系统处理分析,计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用 t 检验, $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

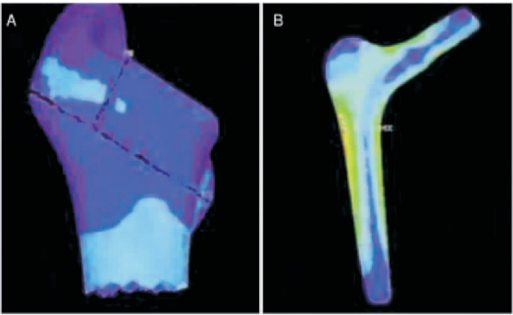
2.1 一般资料

健康老年男性 40 例,年龄 70~72 岁,平均年龄 (71.3 ± 1.2) 岁,身高 170~173 cm,体质量 70~74 kg,平均体质量 (72.3 ± 1.2) kg。同期转子间骨折股骨头置换组 40 例,老年男性,年龄 70~72 岁,平均年龄 (71.3 ± 1.2) 岁,身高 170~173 cm,体质量 70~74 kg,平均体质量 (72.3 ± 1.2) kg。在本院实验室完成三维有限元建模分析。

2.2 假体和股骨表面应力分布情况

正常情况下股骨内外侧受力情况相似,由近端至远端受力逐渐增大是应力变化的结果(见图 1A),假体应力集中在中段部位(见图 1B)。股骨整体应力分布不

受人工股骨头置换术的影响,根据由近端至远端逐渐增大情况,全长中段股骨部位是应力最大部位,重建后股骨距无应力显著集中情况。

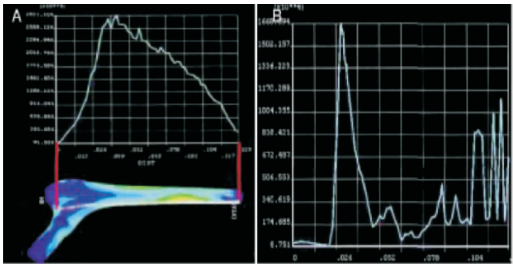


A 股骨上端表面应力分布 B 假体应力分布
图 1 股骨内松质骨及相应假体界面的应力分布

2.3 股骨头假体应力分布情况

观察假体柄前内侧应力发现,其与股骨内松质骨和

相应假体应力分布情况变化趋势一致,见图 2。



A 股骨上端表面应力分布 B 假体应力分布
图 2 股骨内松质骨和股骨头假体界面的应力分布

2.4 人工股骨头置换后假体受力分布状况

人工股骨头置换后假体受力变化趋势与正常股骨组、转子间骨折股骨头置换组基本一致,差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

表 1 股骨头置换后假体和股骨最大等效应力的变化($\bar{x}\pm s$,MPa)

部位	转子间骨折股骨头置换组($n=40$)	正常股骨组($n=40$)	t	P
A1 股骨	44.3±4.6	42.5±4.1	1.85	0.07
A2 假体	87.9±7.8	87.6±7.7	0.17	0.86
B1 股骨	45.6±4.5	45.2±4.2	0.41	0.68
B2 假体	90.0±5.1	90.2±5.3	0.17	0.86
C1 股骨	44.3±4.6	42.6±4.2	1.73	0.09
C2 假体	88.9±6.8	87.6±6.7	0.86	0.39
D1 股骨	42.3±4.1	42.6±4.3	0.32	0.75
D2 假体	91.4±6.4	91.6±6.6	0.14	0.89

3 讨论

股骨转子间骨折是临床常见骨折类型,占股骨骨折总人数的 3.13%左右,占成人股骨骨折人数的 24.56%左右,约占股骨近端骨折人数的一半^[4,5]。中老年群体是股骨转子间骨折的高危人群,多伴有骨质疏松,男性发病比例约为女性的 2~8 倍^[6,7]。股骨转子间骨折是囊外骨折类型,对股骨头血供影响小,骨折部位多为松质骨,有丰富的血供,出现股骨头坏死、骨不连的概率较低。股骨转子间骨折伤后 3 个月内的病死率约为 16.7%,可能源于患者年龄较大、引发骨折的创伤性较大、骨折后失血量较大、治疗手术难度较大^[8,9]。股骨距位于股骨干和股骨颈连接的内后侧,由多层纵向骨板组成,是股骨近端重要负重系统组成部分,是真性股骨颈的基础^[10,11]。股骨距对股骨近端的承载能力起到增强作用,与张力小梁、压力小梁共同形成足部负重系统。股骨头部的骨小梁和股骨转子间的骨小梁组成一个吊臂样的三角力学结构,次要压力骨小梁、主要压力骨小梁和内侧皮质、后内侧股骨距融为一体,起到承托功能,和髋部的内翻强大应力起到对抗作用^[12,13]。

本研究探讨骨质疏松股骨转子间不稳定型骨折患者采用人工股骨头置换治疗的应力变化情况,结果显示正常情况下股骨内外侧受力情况相似,由近端至远

端受力逐渐增大是应力变化的结果(见图 1A),假体应力集中在中段部位(见图 1B)。股骨整体应力分布不受人工股骨头置换术的影响,根据由近端至远端逐渐增大情况,全长中段股骨部位是应力最大部位,重建后股骨距无应力显著集中情况;观察假体柄前内侧应力发现,其与股骨内松质骨和相应假体应力分布变化趋势一致;人工股骨头置换后假体受力变化趋势与正常股骨组、转子间骨折股骨头置换组基本一致,差异无统计学意义($P>0.05$),与杜曙光等^[13]的研究结果大体一致。因机体解剖结构复杂,在机体内建立生物力学模型的难度较大,实验生物力学常以光弹法、电测法、机械法测试人工骨或实验骨的弹性模量、硬度、强度等生物力学数据,虽直接得到一些生物力学性能相关信息,但其标本变异率较大、程序繁琐、成本较高,对结果的可重复性及准确性产生影响。有限元方法是新型数值求解方式,可分析各种物理问题及连续体力学,同时以各种计算机模拟技术模拟置换人工股骨头及相关状况,以有限元法分析及计算各种载荷情况、复杂形状,对人工股骨头置换的应力分布状况可全面了解^[14,15]。三维有限元模型以研究对象的临床资料为基础,对骨质疏松股骨的临床特点可直接反映,对股骨应用 UG 三维建模,得到股骨骨髓腔、松质骨、皮质骨三维模型。三维模型有助于指导人工股骨头置换的相关生物力学

研究,同时为其提供模型。本研究中使用钴铬合金假体材料,114 000 MPa 弹性模量,置换应用的假体柄出现的应力根据由上至下方式传递,在骨髓腔峡部和下端假体接合部位、股骨前内侧近端出现应力集中现象;在末端假体未接触骨骼,因此所产生的应力较小。本研究发现,假体存在应力集中状况,且在中段集中,股骨转子间骨折病人的股骨峡部髓腔峡部状态完整,下端假体与骨髓腔峡部相配合,股骨及假体的受力趋势相同,股骨髓腔峡部和假体接合较佳,可为骨折置换治疗后确保其初始稳定性。综上所述,机体股骨的整体应力分布模式不会受到人工股骨头置换的显著影响,根据由近端至远端逐渐增大情况,应力最大区域为全长中段股骨部位,重建后股骨距无应力显著集中情况。

参考文献

- [1] 陈少明,邱玉金,卢斌,等. 不稳定股骨转子间骨折不同内固定方式的三维有限元分析[J]. 中国组织工程研究, 2016,20(26):3890-3896.
- [2] 曹燕明,何敏辉,张美超,等. 具有可扩张翼的动力髋螺钉固定股骨转子间骨折的三维有限元分析[J]. 中华关节外科杂志(电子版),2017,24(3):121-122.
- [3] 郑利钦,林梓陵,何祥鑫,等. 动态载荷下股骨转子间区域皮质骨厚度对骨折类型影响的有限元分析[J]. 医学研究学报,2018,37(10):73-74.
- [4] 郭新庆,赵为民,周海洋,等. 骨质疏松股骨转子间不稳定型骨折人工股骨头置换的三维有限元应力分析[J]. 中国组织工程研究,2016,20(9):1261-1267.
- [5] 任德新,顾海伦,李赫,等. 股骨近端防旋髓内钉固定治疗累及外侧壁的股骨转子间骨折有限元分析[J]. 中华创伤骨科杂志,2018,18(4):173-174.
- [6] 黄晓微,于宝庆,李泽湘,等. 动力髋螺钉和 Gamma 钉置

入固定不稳定股骨转子间骨折的三维有限元分析[J]. 中国组织工程研究,2015,19(53):8603-8608.

- [7] 侯立刚. 不同方式重建股骨距在老年股骨转子间骨折人工关节置换中的生物力学分布[J]. 中国组织工程研究, 2017,21(23):3616-3621.
- [8] 严志亮,吕欣,张建国,等. 早期手术治疗老年患者股骨转子间骨折的临床疗效分析[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2019,27(6):30-33.
- [9] 陈振元,李开南,张之玺. 股骨转子间六部分骨折分析产生机制的有限元分析[J]. 中华创伤骨科杂志,2015,17(5):433-437.
- [10] MORISON Z, MOOJEN D J, NAUTH A, et al. Total hip arthroplasty after acetabular fracture is associated with lower survivorship and more complications[J]. Clin Orthop Relat Res,2015,9(3):183-186.
- [11] 林梓陵,李鹏飞,庞智晖,等. 骨密度与老年髋部骨折股骨近端三维有限元模型密度的关系[J]. 中国老年学杂志, 2015,32(11):168-169.
- [12] 李双,张世民,张立智,等. 不同组合前内侧皮质支撑复位对股骨转子间骨折髓内钉术后稳定型影响的生物力学研究[J]. 中华创伤骨科杂志,2019,24(1):121-122.
- [13] 桂曙光,李德彬,刘安平,等. 锁定钢板与伽马钉三代修复股骨转子间骨折:生物力学稳定性比较[J]. 中国组织工程研究,2015,19(22):3584-3589.
- [14] 朱贵伟,吕欣,刘晋元,等. 两种髓内钉治疗股骨转子间骨折的有限元分析[J]. 中华实验外科杂志,2017,18(8):173-174.
- [15] 卫星,邹永根. 股骨远端微创内固定系统钢板倒置治疗老年股骨转子间骨折的安全性和疗效[J]. 中国组织工程研究,2017,21(23):3706-3711.

(收稿日期:2019-06-10)

(上接第 18 页)

- [2] LIU W, ZHAI D, HUAN Z, et al. Novel tricalcium silicate/magnesium phosphate composite bone cement having high compressive strength, in vitro bioactivity and cytocompatibility[J]. Acta Biomater,2015,21:217-227.
- [3] 戴红莲,胡付俭,方彩萍,等. 可注射镁基磷酸钙骨水泥的研究[J]. 无机材料学报,2014,29(9):991-996.
- [4] SUN J, LI J Q, LI Y, et al. Effects of fly ash, retarder and calcination of magnesia on properties of magnesia-phosphate cement[J]. Advances in Cement Research,2015,27(7):373-380.
- [5] YU, S, LIU L, XU C, et al. Magnesium phosphate based cement with improved setting, strength and cytocompatibility properties by adding $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ and citric acid[J]. J Mech Behav Biomed Mater,2019,91:229-236.

- [6] 郭良煜,郭卫春. 磷酸镁骨水泥及其复合物在骨修复应用的研究进展[J]. 医学研究杂志,2019,48(1):159-162.
- [7] SILVA G F, BOSSO R, FREINO R V, et al. Microparticulated and nanoparticulated zirconium oxide added to calcium silicate cement: evaluation of physicochemical and biological properties[J]. J Biomed Mater Res: A, 2014, 102(12):4336-4345.
- [8] 张芝祥,杨在君,颜红海,等. 复合镁基磷酸盐骨水泥的研究[J]. 西华师范大学学报(自然科学版),2018,39(1):51-57.
- [9] MIYAZAKI T. Design of bone-integrating organic-inorganic composite suitable for bone repair[J]. Front Biosci (Elite Ed),2013,5:333-340.

(收稿日期:2019-08-03)