

步幅大小及髋关节外展角度对坏死股骨头影响的三维有限元分析**

田丰德, 赵德伟, 郭林, 杨磊, 陈秉智

Influence of step width and abduction angle on necrotic femur head by three-dimensional finite element method

Tian Feng-de, Zhao De-wei, Guo Lin, Yang Lei, Chen Bing-zhi

Department of Orthopedics, Affiliated Zhongshan Hospital of Dalian University, Dalian 116001, Liaoning Province, China

Tian Feng-de★, Master, Attending physician, Department of Orthopedics, Affiliated Zhongshan Hospital of Dalian University, Dalian 116001, Liaoning Province, China

Corresponding author: Zhao De-wei, Department of Orthopedics, Affiliated Zhongshan Hospital of Dalian University, Dalian 116001, Liaoning Province, China tianfengde@163.com

Supported by: the National Natural Science Foundation of China, No. 30670542*

Received: 2011-09-21 Accepted: 2011-11-29

Abstract

BACKGROUND: Now, effects of step width and abduction angle of hip joint in daily life on necrotic femur head are not well known, and related experimental studies are few.

OBJECTIVE: To study the influence of step width and abduction angle on necrotic femur head with three-dimensional finite element method.

METHODS: One male patient who suffered avascular necrosis of femoral head with his right femoral (ARCO II) were treated with spiral CT scan at the proximal femur. Three-dimensional finite element models were established by professional medical modeling software (MIMICS and HYPERMESH). Boundary conditions and loading conditions were set. Finite element analysis software ANSYS was used to perform calculations.

RESULTS AND CONCLUSION: Along with increase of step width (0~60°) and abduction angle (0~10°), the value of maximum stress distributed on the necrotic femoral head increased. It is indicated that step width and abduction angle can affect stress distribution on the necrotic femur head, patients should reduce step width and abduction angle during the treatment and rehabilitation.

Tian FD, Zhao DW, Guo L, Yang L, Chen BZ. Influence of step width and abduction angle on necrotic femur head by three-dimensional finite element method. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2012;16(17): 3052-3055. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景: 目前对于日常生活中步幅及髋关节外展角度大小是否会影响到坏死股骨头影响认识不多,也缺乏相关的实验研究。

目的: 应用三维有限元方法分析步幅大小及髋关节外展角度对坏死股骨头应力分布的影响。

方法: 选取1例男性ARCO II期股骨头坏死患者行股骨近段螺旋CT扫描,应用专业医学建模软件MIMICS及HYPERMESH建立三维有限元模型。设置边界条件和加载条件,应用有限元分析软件ANSYS执行计算。

结果与结论: 随着步幅的加大(0~60°),外展角度增加(0~10°),股骨近段应力分布改变最大应力值逐渐增大,提示步幅及髋关节外展角度的大小能够影响股骨头应力分布,股骨头坏死患者日常治疗生活及功能练习时应减小步幅及外展角。

关键词: 步幅; 股骨头坏死; 三维; 有限元; 外展角

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2012.17.004

田丰德, 赵德伟, 郭林, 杨磊, 陈秉智. 步幅大小及髋关节外展角度对坏死股骨头影响的三维有限元分析[J]. *中国组织工程研究*, 2012, 16(17):3052-3055. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

0 引言

股骨头缺血性坏死是骨科难治的顽症之一,致残率很高,随着交通运输的发展、激素的广泛使用和酗酒人群的增加,股骨头坏死发病率呈上升趋势且以青壮年为主。对于青壮年股骨头坏死患者目前多采用保头治疗方法^[1-4],包括髓芯减压、带或不带血管蒂骨瓣移植、旋转截骨等,其主要目的是促进股骨头修复,延缓换髓时间。各术式治疗后均需较长的康复时间,目前减轻髋关节的负重已经得到了大多数人的认可,然而在日常康复生活中步幅及髋关节外展角度的大小对坏死股骨头影响常常被人们所忽略。实验通过三维有限元方法研究髋关节不同屈伸及外展角度时股骨头最大应力分布

情况来了解不同步幅及不同外展角对股骨应力分布的影响,以指导临床工作,改善股骨头生物力学性状,减小股骨头应力分布,延缓股骨头坏死发展塌陷,为患者康复练习提供理论依据。

1 材料和方法

设计: 三维有限元分析。

时间及地点: 实验于2010-07在大连大学附属中山医院及大连交通大学完成。

材料: 实验材料及模型的建立选取1例男性ARCO II期股骨头坏死患者(患者对实验知情同意)。

实验方法:

建立三维有限元模型: 应用16排螺旋CT精细

扫描获取股骨上段图像, 以DICOM格式导入图像分析软件MIMICS, 根据CT值的不同精确地选取皮质骨、松质骨及囊性变区轮廓线(见图1), 以IGS(线条)格式输出至有限元网格制作软件HYPERMESH中建立股骨近端的三维有限元网格(见图2)及实体(见图3)模型。股骨头坏死三维有限元模型有节点72 678个, 四面体单元346 172个。

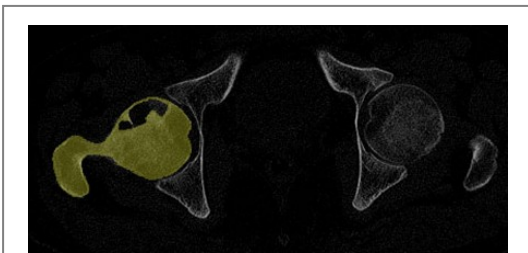


Figure 1 Accurate selection of cortical bone, cancellous bone and cystic changes area contour line according to different CT values

图1 根据CT值的不同精确选取皮质骨、松质骨及囊性变区轮廓线

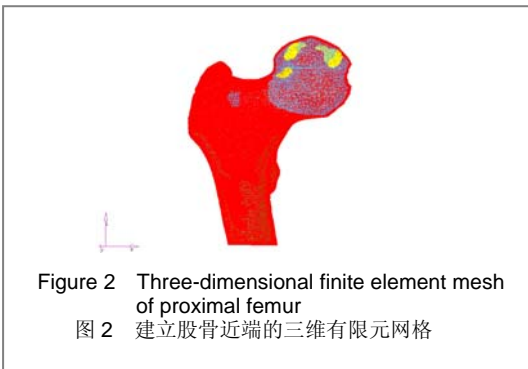


Figure 2 Three-dimensional finite element mesh of proximal femur

图2 建立股骨近端的三维有限元网格

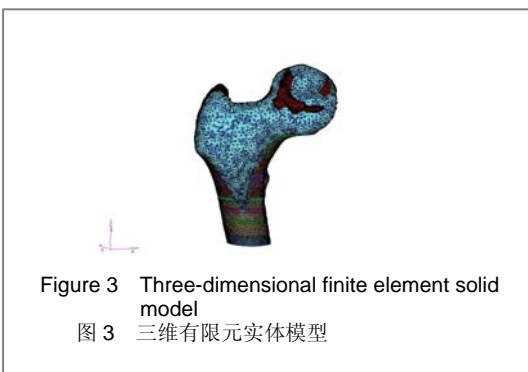


Figure 3 Three-dimensional finite element solid model

图3 三维有限元实体模型

边界条件及负载状况: 边界条件: 将模型按照正常人体解剖位置固定, 即股骨干与纵轴成 15° ^[5], 并保持股骨前倾角 16° ; 以通过股骨头旋转中心为轴旋转不同角度, 模拟髋关节屈伸 0° 、 10° 、 15° 、 20° 、 30° 以及外展 0° 、 10° 、 15° 、 20° 、 30° 等不同情况, 分别给予下端简支, 远端固定, 要求远端各节点在X、Y和Z轴上的位

移均为0。

负载状况: 假设静止双腿站立位时人体上部重力平均地通过双髋关节向下肢传导。当单足站立时股骨头承受的压力为2.75倍体质量, 因而实验模拟髋关节外展肌力存在时的情况, 沿髋关节合力方向(与纵轴成 16° 并通过股骨头中心将相当于2.75倍体质量的力)进行加载^[6-7], 加载于股骨头承受载荷区(即股骨头与髋臼交接处椭圆形区域, 该区域内外方向对向股骨头中心的弧度为 40° , 前后方向对向股骨头中心的弧度为 80° , 其具体位置随着髋关节屈伸以及外展角度不同而变化)。

应力计算分析: 将上述边界条件和负载输入ANSYS 10.0软件, 运用ANSYS大型有限元软件对近端股骨三维有限元模型进行力学分析, 见图4。

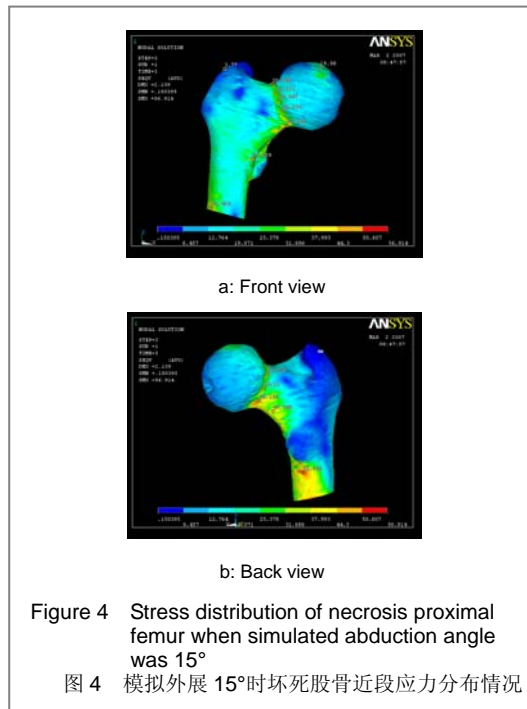


Figure 4 Stress distribution of necrosis proximal femur when simulated abduction angle was 15°

图4 模拟外展 15° 时坏死股骨近段应力分布情况

实验数据提取: 每一模型在固定负荷下, 在每个兴趣区随机测量20次该区最大应力应变(位移)值。

主要观察指标: 髋关节不同屈伸角度及外展角度时股骨近端最大应力及最大位移值。

统计学分析: 由第一作者采用SPSS 13.0软件完成统计处理, 实验数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示。

2 结果

2.1 步幅大小对股骨头力学分布的影响 2.75倍体质量作用下不同屈伸角度(步幅大小)时股骨

大连大学附属中山医院骨科, 辽宁省大连市 116001

田丰德★, 男, 1977年生, 辽宁省沈阳市人, 汉族, 2007年遵义医学院毕业, 硕士, 主治医师, 主要从事关节外科、生物力学、数字骨科的研究。

通讯作者: 赵德伟, 大连大学附属中山医院骨科, 辽宁省大连市 116001
tianfengde@163.com

中图分类号: R318
文献标识码: A
文章编号: 1673-8225 (2012)17-03052-04

收稿日期: 2011-09-21
修回日期: 2011-11-29
(20110921015/WL-G)

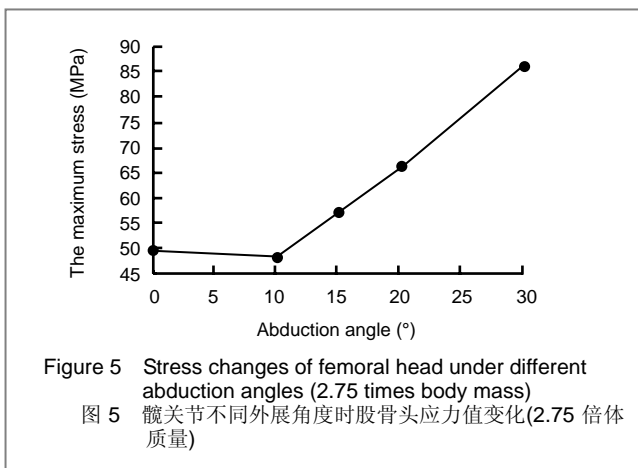
头最大应力值及最大位移值见表1。

表 1 在 2.75 倍体质量作用下不同屈伸角度(步幅大小)时股骨头最大应力值及最大位移值
Table 1 Maximum stress value and the displacement value of femoral head under the different flexion-extension angles and 2.75 times body mass (step width) ($\bar{x}\pm s$)

| Angle (°) | Maximum stress (MPa) | Displacement (mm) |
|--------------|----------------------|-------------------|
| Extension 0 | 49.347±1.235 | 1.002±0.054 |
| Extension 10 | 55.032±1.144 | 0.956±0.049 |
| Extension 15 | 73.532±1.996 | 1.197±0.069 |
| Extension 20 | 77.647±1.987 | 1.464±0.062 |
| Extension 30 | 83.932±2.211 | 2.171±0.072 |
| Flexion 10 | 61.145±1.124 | 1.664±0.051 |
| Flexion 15 | 62.321±1.154 | 1.368±0.055 |
| Flexion 20 | 79.824±1.981 | 2.188±0.064 |
| Flexion 30 | 100.045±2.543 | 3.336±0.075 |

一般情况下步幅的大小与行走时两腿间夹角成正比，因而步幅的大小可以用侧位双髋关节间交角来表示。正常行走时，人的步幅与一般下肢的长度相等，即两腿间夹角为60°，因而行走时双髋关节夹角变化于0°~60°之间。本实验数据表明双髋交角为0°即站立位时股骨头应力最小，随着屈伸角度(步幅)的增大，应力值相应增大；在-10°~15°间应力的绝对值及变化速度均较小，而该范围之外应力随角度增大的变化速度明显增大，屈髋30°时股骨头最大应力较0°时增高1倍之多。

2.2 髋关节不同外展角度对股骨头力学分布的影响见图5。



实验应用有限元方法通过调整股骨近段位置及倾斜角度以及股骨头受力位置等方式准确的模拟并计算髋关节不同外展角度时股骨头应力情况。由图5可见髋关节外展角度不同对股骨近段应力分布影响较大，在外展0°~10°间时，应力的绝对值及变化均很小，当外展超过10°后应力明显增大，呈直线关系，随着外展角度不断增大，最大应力值增大，外展30°股骨头最大应力较外展10°时增高达82%。

3 讨论

随着计算机技术的发展，医学与工程力学结合，数据模拟技术不断改进，有限元分析作为一种生物力学测试技术及研究手段，逐渐被应用到医学领域，为人们提供了一种精确的定量评价方法，该方法已被广泛应用于骨科的各个领域^[8-13]。其基本原理是将一个由无限个质点组成并有无限个自由度的连续体近似为由有限个单元所组成的集合体，然后对单元(小区域)进行力学分析，最后再整体分析。采用三维有限元应力分析法，可以计算股骨头每一点的应力，应变，同时进行上千、万、超百万点的计算，可提供实验手段中不易得到的详细数据，并可改变其中的任意参数，观察其对完整结构的影响，故可解释股骨头病理或生理过程中的各种变化，还能够解决结构、材料性质和载荷情况都比较复杂条件下的力学分析问题。因而可以准确模拟不同步幅大小及髋关节外展角度情况，进行力学分析，结果准确可信。

目前认为股骨头坏死是生物学和力学共同作用的结果。在股骨头坏死塌陷过程中缺血和应力的作用是相辅相成的，一方面缺血不仅能造成部分坏死骨组织的力学性能下降，抗破坏力学强度下降，还能导致股骨头内部的应力分布不均出现应力集中现象。另一方面应力的集中可以加速坏死骨小梁微骨折过程，进一步削弱股骨头的力学强度，阻断修复组织的延伸。恶性循环的结果使得股骨的拱形结构破坏，松质骨受到更大的应力，随着软骨下骨的断裂而塌陷。在生物学和力学因素共同作用下，股骨头坏死速度不断加快，此时如不予干预，病情将很快发展，直至塌陷、骨性关节炎发生。过去对股骨头缺血性坏死的治疗主要致力于增加股骨头血运，但对于导致股骨头塌陷的主要原因——生物力学因素还缺乏足够的认识。国内外一些学者通过对髓心减压术治疗股骨头缺血性坏死的研究发现术后许多患者出现了股骨头的塌陷^[14]，主要失败原因是忽视了生物力学因素对股骨头缺血性坏死的影响。所以在该病治疗方法的选择时应兼顾上述两个方面，尽量恢复其生物特性的同时应采用一切措施如减压通道植骨，各种带或不带血管蒂骨瓣移植，避免负重、调整步幅及髋关节外展角度等，尽可能地减小股骨应力或者应力/强度比值，减小塌陷的可能性。

正常行走时双髋关节夹角变化于0°~60°，即单髋关节活动于屈曲30°至后伸30°之间^[15-17]，由于一般情况下步幅的大小与侧面观时双髋间夹角成正比，因而本实验通过三维有限元方法观察髋关节不同屈伸角度时股骨头最大应力分布情况来了解不同步幅对股骨应力分布的影响，结果表明双髋交角为0°时股骨头应力最小，在-10°~15°间最大应力的绝对值及变化速度均较小，当双

髋关节夹角大于 25° 时, 随着屈伸角度增大即步幅的加大, 股骨头最大应力值相应增大; 股骨头局部的负荷增加, 股骨头应力分布不均, 增大了股骨头塌陷的可能性, 加速病情发展, 使得保头治疗失败, 而不得不接受换髋手术, 这无疑为社会以及家庭增添了沉重的经济负担。另外, 单髋外展不同角度时股骨头应力分布亦有改变^[18-19], 当髋外展 $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 时股骨头应力分布值变化很小, 当外展超过 10° 后变化明显增大, 呈直线关系, 随着外展角度不断增大, 最大应力值增大。

由此可见, 股骨头坏死患者日常生活及功能练习过程中, 在避免负重同时还应该调整步幅及髋关节外展角度等, 尽可能地减小股骨应力或者减小应力/强度比值, 塌陷的可能性。应减小步幅及外展角度, 以双髋前后夹角控制在 $0^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 之间、髋外展角 10° 间为宜。

4 参考文献

- [1] Yang SH, Yang C, Wang RY, et al. Linchuang Guke Zazhi. 2005; 8(4):289-291.
杨述华, 杨操, 王锐英, 等. 空心钛支撑架结合自体骨移植治疗股骨头坏死[J]. 临床骨科杂志, 2005, 8(4):289-291.
- [2] Zhao DW, Wang WM, Wang BJ, et al. Zhonghua Waikexue Zazhi. 2005; 43(16):1054-1057.
赵德伟, 王卫明, 王本杰, 等. 保留股骨头手术治疗股骨头缺血性坏死 1005 例临床分析[J]. 中华外科杂志, 2005, 43(16):1054-1057.
- [3] Zhao DW, Wang DR, Lu JM, et al. Zhonghua Xianweikexue Zazhi. 1998; 21(4):244-247.
赵德伟, 王德仁, 卢建民, 等. 带血管蒂大转子骨瓣及联合髂骨(膜)瓣治疗股骨头缺血性坏死[J]. 中华显微外科杂志, 1998, 21(4):244-247.
- [4] Zhao DW, Tian FD, Guo L, et al. Zhongguo Linchuang Jiepouxue Zazhi. 2009; 27(5):580-583.
赵德伟, 田丰德, 郭林, 等. 带血管蒂大转子骨瓣转移治疗股骨头缺血性坏死的生物力学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2009, 27(5):580-583.
- [5] Selvan VT, Oakley MJ, Rangan A, et al. Optimum configuration of cannulated hip screws for the fixation of intracapsular hip fractures: a biomechanical study. Injury. 2004; 35(2):136-141.
- [6] Cui X, Zhao DW, Gu CJ. Zhongguo Linchuang Jiepouxue Zazhi. 2005; 23(2):82-87.
崔旭, 赵德伟, 古长江. 股骨头缺血性坏死塌陷预测的生物力学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2005, 23(2):82-87.
- [7] 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.
- [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] Nikolopoulos KE, Papadakis SA, Kateros KT, et al. Long-term outcome of patients with avascular necrosis, after internal fixation of femoral neck fractures. Injury. 2003; 34(7):525-528.
- [10] Schep NW, Heintjes RJ, Martens EP, et al. Retrospective analysis of factors influencing the operative result after percutaneous osteosynthesis of intracapsular femoral neck fractures. Injury. 2004; 35(10):1003-1009.
- [11] Brown TD, Pedersen DR, Baker KJ, et al. Mechanical consequences of core drilling and bone-grafting on osteonecrosis of the femoral head. J Bone Joint Surg Am. 1993; 75(9): 1358-1367.
- [12] Mont MA, Hungerford DS. Non-traumatic avascular necrosis of the femoral head. J Bone Joint Surg Am. 1995; 77(3):459-474.
- [13] Zhao D, Xu D, Wang W, et al. Iliac graft vascularization for femoral head osteonecrosis. Clin Orthop Relat Res. 2006; 442:171-179.
- [14] Dong TH, Tang TS, Zhu GL, et al. Zhonghua Guke Zazhi. 1991; 11(1):6.
董天华, 唐天驷, 朱国梁, 等. 股骨颈骨折后股骨头坏死塌陷的临床观察[J]. 中华骨科杂志, 1991, 11(1):6.
- [15] Li HY, Huang BJ. Guowai Yixue: Wuli Yixue yu Kangfuxue Fence. 1990; 10(3):106-109.
李海燕, 黄彬鉴. 关节活动范围测量与日常生活活动评定的可靠性与有效性[J]. 国外医学:物理医学与康复学分册, 1990, 10(3):106-109.
- [16] Kang YH, Qu L. Zhongguo Kangfu Yixue Zazhi. 2001; 16(1):57-59.
康宇华, 曲镭. 关节活动范围研究现状[J]. 中国康复医学杂志, 2001, 16(1):57-59.
- [17] Kang YH, Zhang WG, Qu L. Zhonghua Wuli Yixue yu Kangfu Zazhi. 2001; 23(4):28-30.
康宇华, 张卫国, 曲镭. 正常老年人关节活动范围的研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2001, 23(4):28-30.
- [18] Zhao DW, Xu DC, Cui X. Zhonghua Guke Zazhi. 2005; 25(4): 232-235.
赵德伟, 徐达传, 崔旭. 股骨头不同区域囊变对力学承载的影响[J]. 中华骨科杂志, 2005, 25(4):232-235.
- [19] Zhang MC, Shi FL, Zhao WD, et al. Diyi Junyi Daxue Xuebao. 2005; 25(10):1244-1246.
张美超, 史风雷, 赵卫东, 等. 髋关节外展不同角度股骨头应力分布的有限元分析[J]. 第一军医大学学报, 2005, 25(10):1244-1246.

来自本文课题的更多信息--

基金声明: 国家自然科学基金资助项目“股骨头再造、关节软骨化生的实验研究及三维有限元分析”(30670542)。

作者贡献: 通讯作者进行实验设计, 实验实施为第一作者, 实验评估为第三、五作者, 资料收集为第四作者, 第一作者成文, 通讯作者、第三作者审校, 第一作者对文章负责。

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: 患者对实验知情同意。

本文创新性: 检索中国期刊全文数据库 1979/2011 相关文章, 关键词: 股骨头坏死, 有限元, 步幅, 外展角, 未查到与本课题研究内容密切相关的文献。

实验率先应用三维有限元方法研究步幅及外展角对股骨应力分布的影响, 以指导临床工作, 为患者康复练习提供理论依据。并因此得到国家自然科学基金的资助。