

The Effect of Hip Replacement on Strain and Stress Distribution of Hip Joint Considering Pelvis

Chenxi Yuchi¹, Limin Dong¹, Zhaohua Cao¹, Tao Shi¹, Nian Liu², Wei Chen²

¹Tianjin Key Laboratory of Advanced Mechatronics System Design and Intelligent Control, School of Mechanical Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin

²Jiasite Huajian Medical Equipment (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin
Email: 1004458870@qq.com, lm_dong2005@163.com

Received: Jul. 7th, 2017; accepted: Jul. 22nd, 2017; published: Jul. 26th, 2017

Abstract

The laws of strain and stress distribution were analyzed by finite element method after the replacement of artificial hip joint prostheses with pelvis and without pelvis in this research. We found the effect of pelvis on strain and stress distribution of hip joint after the replacement of artificial hip joint prostheses, thereby providing guidance to medical companies and clinicians when manufacturing and operating. The parameters of the model and the boundary conditions still need to be optimized.

Keywords

Pelvic, Hip Replacement, The Finite Element Analysis

考虑骨盆的髋关节假体置换对髋关节应变分布的影响

尉迟晨曦¹, 董黎敏¹, 曹照华¹, 施涛¹, 刘念², 陈伟²

¹天津理工大学机械工程学院天津市先进机电系统设计与智能控制重点实验室, 天津

²嘉思特华剑医疗器材(天津)有限公司, 天津
Email: 1004458870@qq.com, lm_dong2005@163.com

收稿日期: 2017年7月7日; 录用日期: 2017年7月22日; 发布日期: 2017年7月26日

文章引用: 尉迟晨曦, 董黎敏, 曹照华, 施涛, 刘念, 陈伟. 考虑骨盆的髋关节假体置换对髋关节应变分布的影响[J]. 建模与仿真, 2017, 6(3): 151-158. DOI: 10.12677/mos.2017.63018

摘要

本研究在考虑骨盆的情况下,对假体置换前后的髋关节进行有限元仿真。考虑到置换前后髋关节受力的真实情况,采用无骨盆和有骨盆两种有限元模型进行模拟。通过研究得出置换前后有无骨盆的应变分布规律,进而进行比较,得出骨盆对髋关节应变分布规律的影响,从而为髋关节物力学分析提供一定的理论依据。模型的参数和边界条件仍需要优化。

关键词

骨盆, 髋关节置换, 有限元分析

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国迈入人口老龄化阶段和交通事故的增加,髋关节疾病已成为生活中的常见疾病。据统计,在 65 岁以上的人群中,90%的女性和 80%的男性患有髋关节疾病,对人工关节置换术的医疗需求呈现迅速增长的趋势[1] [2] [3] [4]。人工髋关节置换术是恢复髋关节功能的有效方法,但是在全髋关节置换术后由于假体的植入会引起的生物力学变化[5] [6],假体周围骨会出现相应的适应性重塑,而这些变化会影响术后中远期效果,常常出现假体松动、脱落等一些并发症[7]。因此,通过研究得出在生理载荷作用下髋关节处的应变分布规律,找出骨盆对髋关节应力分布的影响,为后续解决上述问题提供一定的理论依据显得尤为重要。虽然在体实验能够得到更为准确的数据,但是不符合伦理道德要求,因此本研究采用数值模拟的方法,对假体置换前后的无骨盆和有骨盆髋关节进行有限元仿真,从而得出骨盆对髋关节应变分布的影响规律。

2. 有限元模型的建立

2.1. 股骨模型的建立

股骨形状复杂,很难用三维软件直接绘制。该模拟使用的有限元模型由 CT 图像通过反求软件 Mimics、Geomagic 及 ProE 得到在 Mimics 中进行前期的点云,阈值设定,填充等处理;将处理好的股骨模型导入 Geomagic 中进行表面处理;将 Geomagic 处理后髋关节置换前的人工股骨的三维模型导入三维绘图软件 ProE 中,模拟临床置换髋关节手术方法在小转子下方 1 cm 处截断股骨颈,大转子保留;将截断股骨颈后的股骨模型导入 Geomagic 中进行股骨模型的处理。置换前后股骨模型如图 1 所示。

2.2. 骨盆模型的建立

骨盆模型的建立过程与股骨大体相同。将在 Mimics 中建立好的骨盆模型导入 Geomagic 软件进行表面处理,需要注意的是要对有问题的曲面进行删除,并按照原有特征进行填充。将 Geomagic 修改后的骨盆模型导入 ProE 中,为了保证骨盆与臼杯的紧密连接,骨盆上的臼杯孔需要切除,建立与医用臼杯模型相同外形尺寸的半球(没有凸起和孔等特征),按照臼杯装配位置放入髋关节置换的装配图中,如图 2 所示。

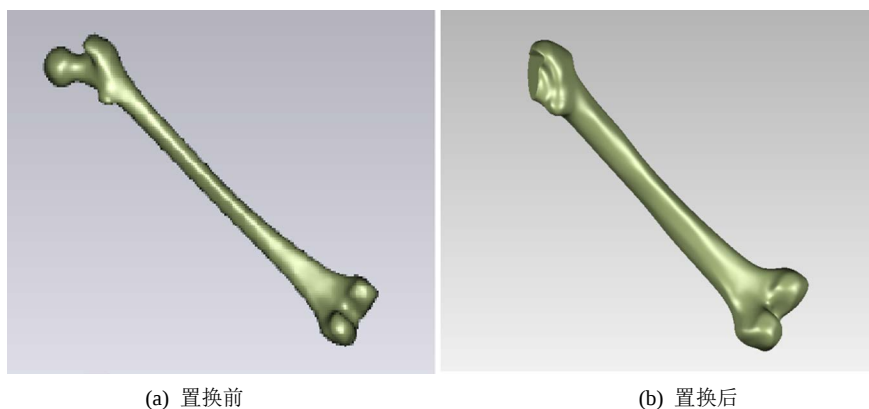


Figure 1. Femur model before and after replacement

图 1. 置换前后股骨模型



Figure 2. Pelvic model after total hip replacement

图 2. 髋关节置换后骨盆模型

2.3. 髋关节假体三维模型的建立

本研究采用 ProE 对髋关节假体进行建模。在 ProE 中通过变截面扫描建立没有螺纹特征的人工髋关节假体的三维模型，由于建立好的假体柄模型有许多小曲面、小角度等问题，需在 Geomagic 中对有问题曲面进行处理。臼杯和衬垫模型可以由 ProE 软件直接通过旋转、拉伸、阵列等命令直接绘制。建立的假体模型如图 3 所示。

3. 定义单元类型和材料属性

生理载荷即轴向载荷下，区分骨质材料赋值与单一材料赋值对股骨表面应力与应变的影响不大[8]，也为了与后续的实验相对应，本研究采用单一赋值的股骨模型。置换后的单元类型和材料属性见表 1。

4. 网格划分及接触设置

对髋关节各组成部位分配好各自的材料及单元类型，采用自由划分网格对髋关节各部位分别进行划分。图 4 为网格划分后髋关节模型。

5. 有限元分析

将模型按照人正常站立的姿势摆放[9]，对于无骨盆的髋关节模型，在股骨头最高点施加生理载荷(沿人体力线施加 300 N 载荷)，对于有骨盆的模型，髋关节置换后模型的股骨髁施加 0.8 mm 的沿 Z 轴正方向的位移，髋关节置换前模型的股骨髁施加 3 mm 的沿 Z 轴正方向的位移，如图 5(b)所示。

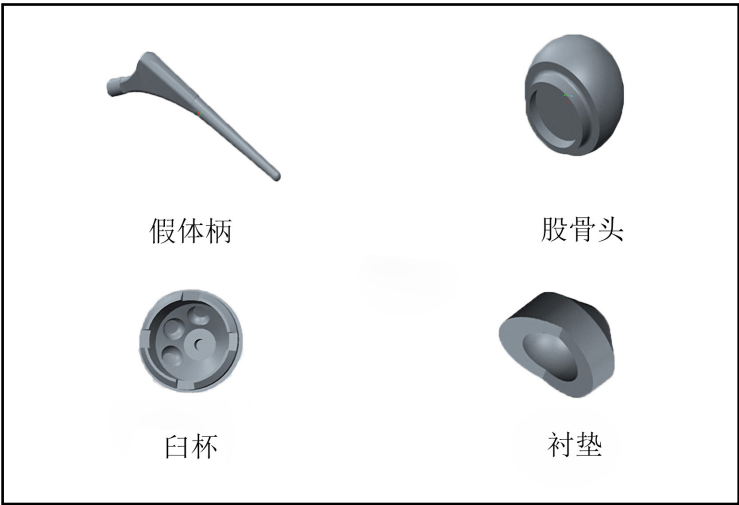


Figure 3. Hip prosthesis model
图 3. 髋关节假体模型

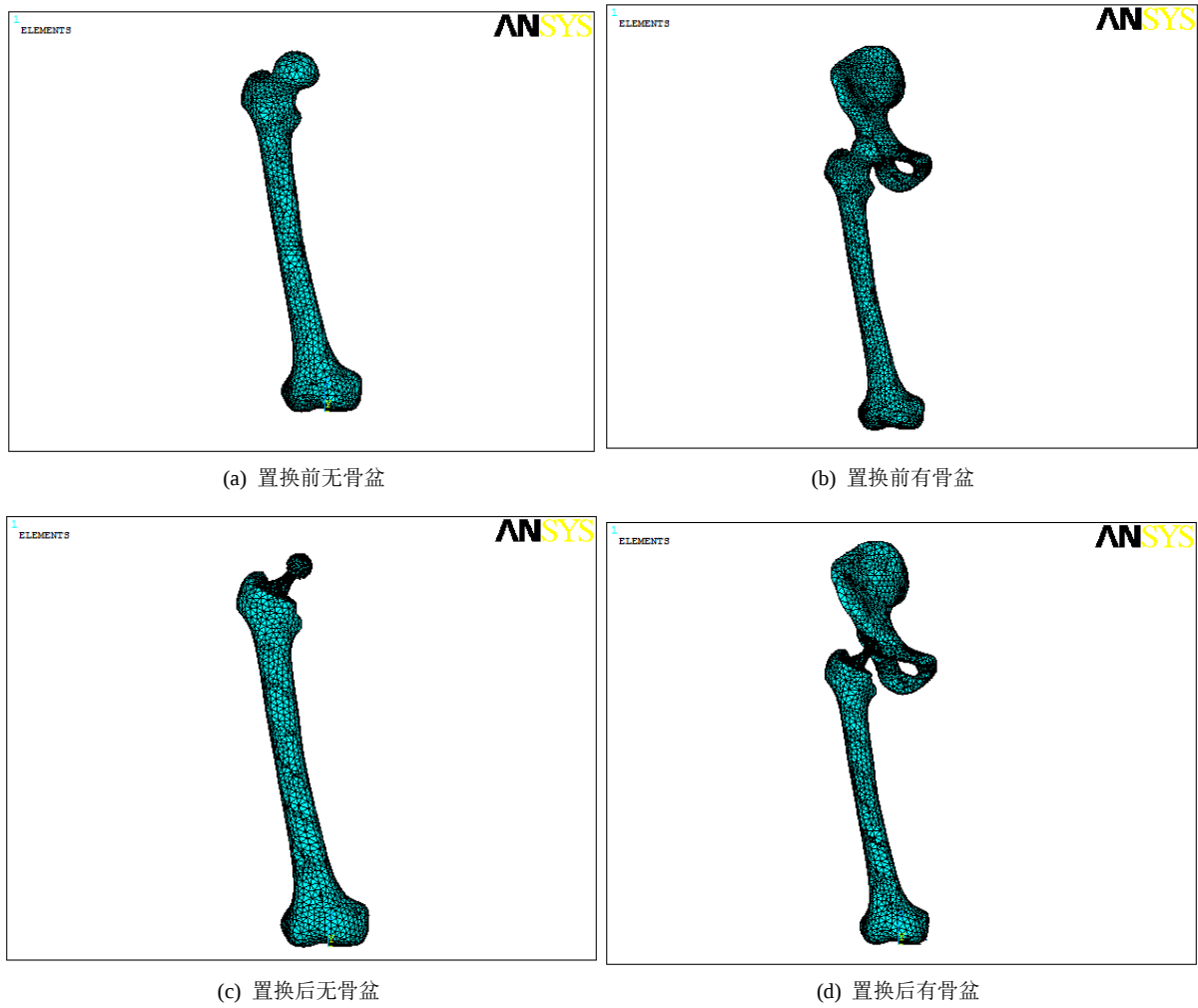
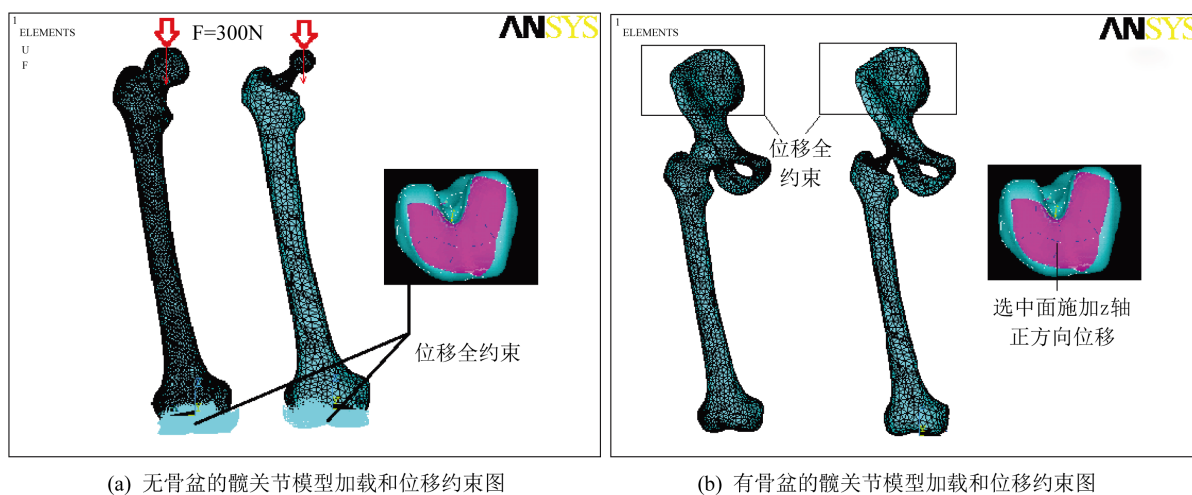


Figure 4. Hip joint model after mesh generation
图 4. 网格划分后髋关节模型

Table 1. Unit type and material property settings**表 1.** 单元类型和材料属性设置

结构	弹性模量/(Gpa)	泊松比	单元类型
骨盆	0.37	0.35	Solid 45
臼杯	105	0.3	Solid 45
衬垫	0.7	0.38	Solid 45
人工股骨头(钛合金)	105	0.3	Solid 45
假体柄(钛合金)	105	0.3	Solid 45
髋关节置换后股骨	0.37	0.35	Solid 45

**Figure 5.** Loading and binding graphs**图 5.** 加载和约束图

6. 数值模拟结果——应变场结果分析

由图 6 髋关节置换前股骨整体的应变云图可以看出, 置换前有无骨盆的应变分布大体位置相同, 有骨盆的模型最大应变要高于无骨盆模型。

由图 7 髋关节置换后股骨整体的应变云图可以看出, 最小应变均位于股骨头下方内侧, 而无骨盆模型最大应变位于股骨近端内侧股骨干 1/3 处, 有骨盆的模型最大应变位于股骨干远端外侧和股骨干近端内侧 1/3 处, 与既往的研究结论一致[10]。

由图 8 髋关节置换后假体柄的应变云图可以看出, 髋关节置换后无骨盆模型假体柄的最大应变、最小应变均比有骨盆模型的大, 且有骨盆模型髋关节置换后骨柄最大应变位置上了。

为了更准确的对比模拟结果, 从模拟结果中选取应变值变化较为突出或位置较为关键的 10 个测点, 将置换前后的应变值进行比较。选取的测点位置如图 9 所示。

由图 10 置换前有无骨盆应变直方图可以看出, 置换前有无骨盆模型的应变方向保持一致。其中, 与无骨盆相比, 有骨盆模型应变值增加较大的点为 4, 8, 9 三点, 减小较多的点为 2, 10 两个测点。

由图 11 置换后有无骨盆测点应变直方图可以看出, 与置换前相比, 置换后应变数值整体有所下降, 但应变方向仍保持一致。与置换后无骨盆模型相比, 有骨盆模型中 8, 9, 10 三个测点应变有所增加, 其他测点应变值都有所减少。

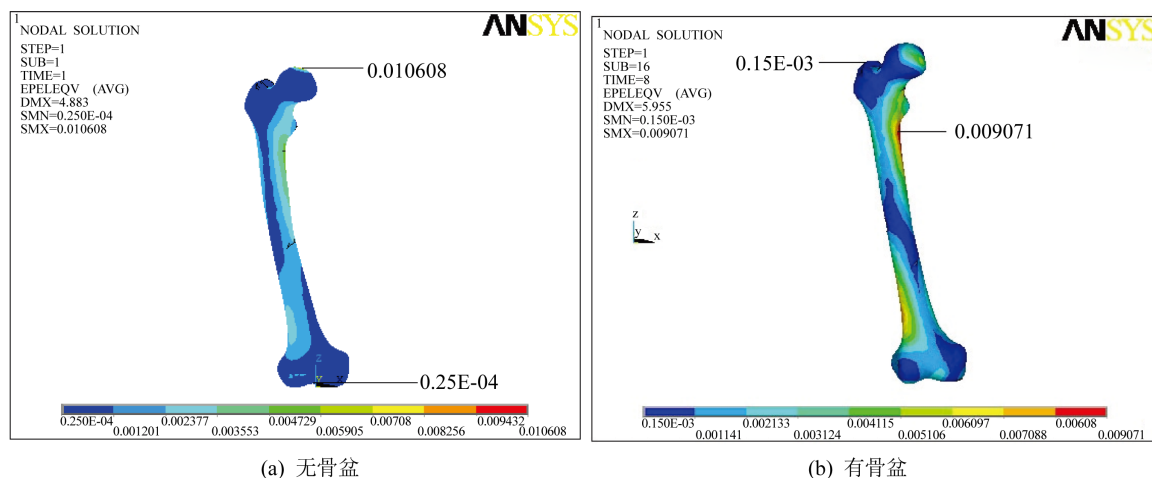


Figure 6. Femoral strain nephogram before hip replacement

图 6. 髋关节置换前股骨应变云图

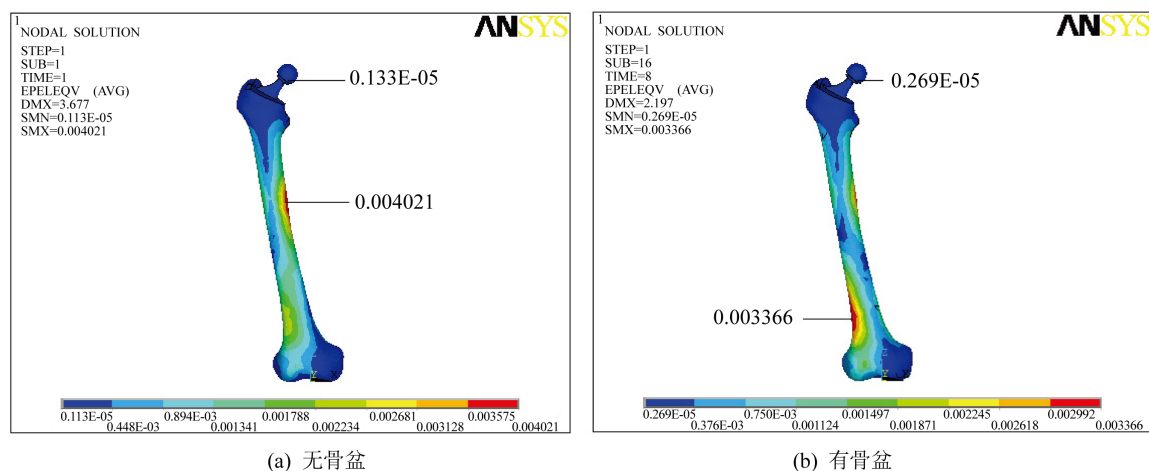


Figure 7. Femoral strain nephogram after hip replacement

图 7. 髋关节置换后股骨应变云图

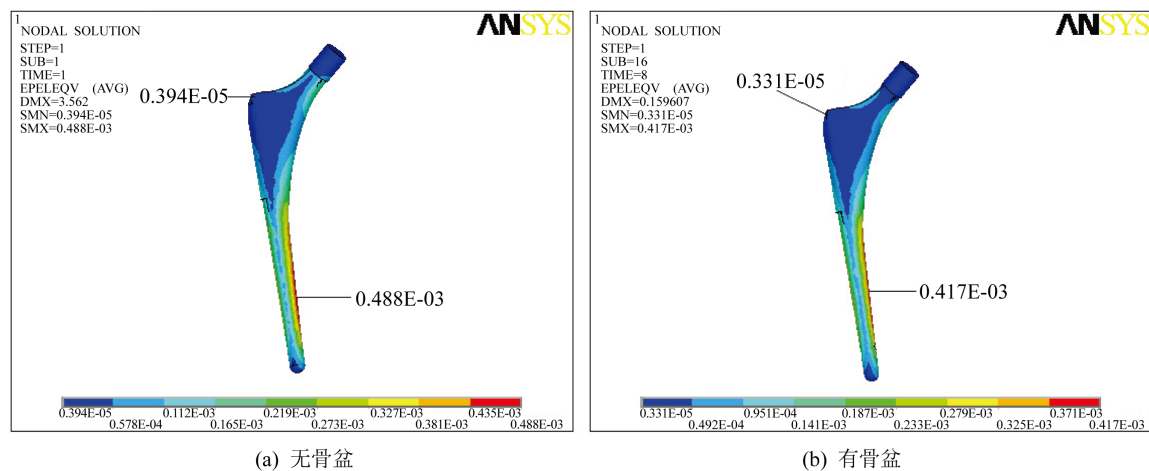


Figure 8. Strain curve of prosthesis handle after hip replacement

图 8. 髋关节置换后假体柄应变云图

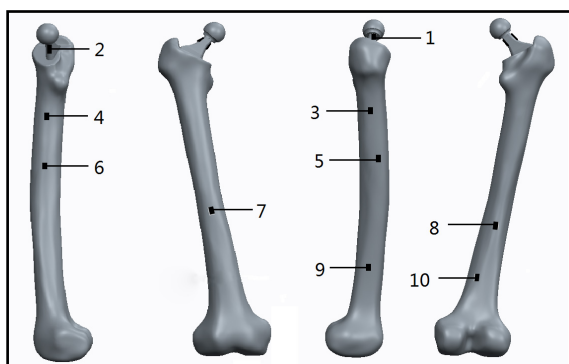


Figure 9. Location of measuring points

图 9. 测点位置

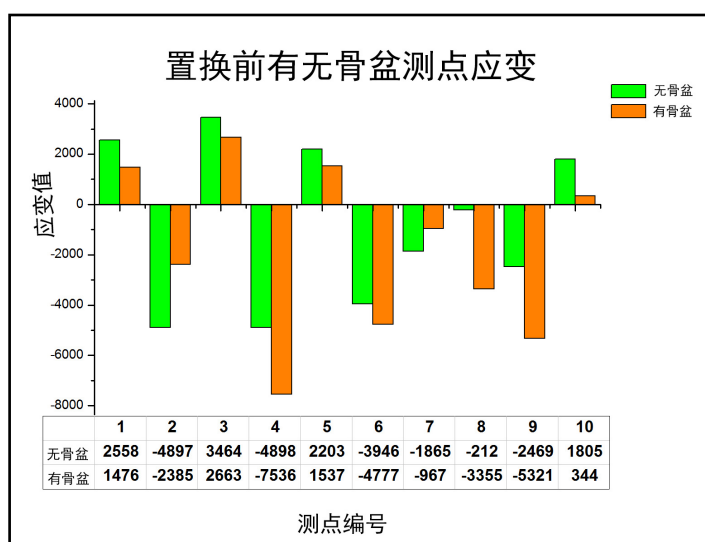


Figure 10. Strain of measuring point with or without pelvis before the replacement

图 10. 置换前有无骨盆测点应变

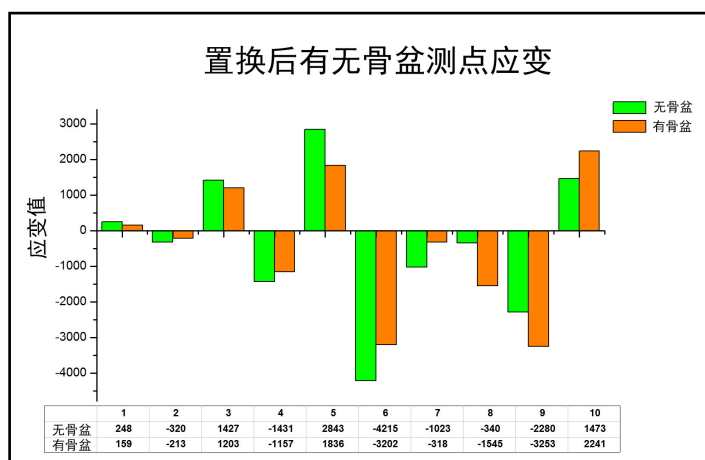


Figure 11. Strain of measuring point with or without pelvis after the replacement

图 11. 置换后有无骨盆测点应变

综合图 10 和图 11 来看, 骨盆对髋关节处(1, 2 测点)应变影响不大, 但是对股骨底部(8, 9, 10 测点)影响较大, 会使原来不具有研究意义的点变得有研究必要(8 测点)。

7. 结论

本研究对置换前后骨盆对髋关节应变的分布规律进行了研究。通过上述分析可以看出, 在有骨盆的情况下, 原来不具有研究意义的位置会成为新的应变的极值点, 因此, 对髋关节置换的研究中带有骨盆会更有研究意义。虽然置换前后骨盆对髋关节应变的方向与无骨盆时存在一致性, 但是对髋关节应变的分布有一定的影响, 尤其是对股骨, 不仅改变了最大应变和最小应变的位置, 而且在数值上有所改变。所以在对髋关节进行生物力学分析时考虑有骨盆的情况下的研究成果更加切合实际。

参考文献 (References)

- [1] 宋新新, 董黎敏, 张春秋, 等. 髋关节置换的有限元分析及实验验证[J]. 天津理工大学学报, 2016, 32(5): 1-5.
- [2] 赵明光. 人工全髋关节置换三维有限元建模及其在体生物力学研究[D]: [硕士学位论文]. 洛阳: 河南科技大学, 2013.
- [3] 王春龙. 全髋关节置换术前假体设计及其相关研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [4] 王俏杰, 张先龙. 人工髋关节置换术的现状与热点[J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2015, 9(6): 718-724.
- [5] 刘庆, 张洪, 周乙雄, 等. 髋关节表面置换术后生物力学参数的改变[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11(27): 5281-5284.
- [6] 巩慧明. 股骨三维重建与髋关节置换的有限元分析[D]: [硕士学位论文]. 厦门: 厦门大学, 2009.
- [7] 王新文. 髋关节置换术后翻修原因分析及疗效评价[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西医科大学, 2010.
- [8] 余华, 李少星, 闫金成. 有限元分析法在骨科生物力学中的应用[J]. 河北医药, 2013, 35(7): 1074-1076.
- [9] Visuri, T. and Hietaniemi, K. (1992) Displaced Stress Fracture of the Femoral Shaft: A Report of Three Cases. *Military Medicine*, 157, 325-327.
- [10] 张清功. 前倾角改变对股骨头应力分布影响的三维有限元分析[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津医科大学, 2009.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: mos@hanspub.org