

· 创新技术 ·

股骨头部分置换术精准微创治疗中老年 ARCO Ⅲ 期股骨头缺血坏死的有限元分析

朱燕宾 程晓东 王宇钊 王忠正 李泳龙 李会杰 王娟 吕红芝 陈伟 张英泽

【摘要】 目的 通过有限元分析,初步评估股骨头部分置换术后股骨与内植物模型的应力分布和位移。**方法** 选择一名成年健康志愿者,获取股骨全长CT扫描数据,利用Mimics 20.0软件、Geomagic软件及UG NX 12.0软件建立股骨头缺血坏死模型,骨髓道切除股骨头坏死区域后装配设计开发的股骨头假体,模拟单腿站立环境进行有限元仿真计算,获取股骨与内植物模型的应力分布和位移数据。**结果** 股骨应力分布主要集中在股骨颈下方和股骨干皮质骨两侧,最大应力为48.25 Mpa,最大位移为10.98 mm。内植物模型的应力主要分布在金属内植物主体结构下方,最大应力为147.2 Mpa,最大位移为9.58 mm。**结论** 股骨头部分置换后,假体头与股骨头曲率一致,应力传导模式与正常侧髋关节一致,但在假体头与茎部连接处发生应力集中,应重点考虑选择更大强度的材料。

【关键词】 股骨头缺血坏死; 股骨头部分置换; 精准治疗; 有限元分析

Partial femoral head replacement for precise minimally invasive treatment of ARCO Ⅲ femoral bone necrosis in middle-age and elderly patients: finite element analysis Zhu Yanbin, Cheng Xiaodong, Wang Yuchuan, Wang Zhongzheng, Li Yonglong, Li Huijie, Wang Juan, Lyu Hongzhi, Chen Wei, Zhang Yingze. Hebei Institute of Orthopaedics, The Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, China
Corresponding author: Zhang Yingze, Email: yzling_liu@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the stress distribution and displacement of femoral and implant models after partial femoral head replacement by finite element analysis. **Methods** A healthy adult volunteer was selected to obtain the full-length CT scan data of femur. Mimics 20.0 software, Geomagic software and UG NX 12.0 software were used to establish the model of femoral head ischemic necrosis. The femoral head prosthesis was designed and developed after bone tunnel resection. The finite element simulation was conducted to simulate the one-leg standing environment, and the stress distribution and displacement data of the femur and the implant model were obtained. **Results** The femoral stress distribution mainly concentrated on the lower part of the femoral neck and both sides of the femoral shaft cortical bone, the maximum stress was 48.25 Mpa, the maximum displacement was 10.98mm. The stress of the implant model was mainly distributed under the main structure of the metal implant, with a maximum stress of 147.2 Mpa and a maximum displacement of 9.58mm. **Conclusions** After partial replacement of femoral head, the curvature of prosthetic head and femoral head is the same, and the stress conduction mode is the same as that of normal hip joint. However, stress concentration occurs at the joint between prosthetic head and stem, and the choice of materials with higher strength should be considered.

【Key words】 Ischemic necrosis of femoral head; Partial replacement of femoral head; Precision therapy; Finite element analysis

股骨头缺血性坏死年发生率为7~20/10万,发病年龄高峰为30~50岁,以劳力性男性为主^[1-3],治疗不当或延迟治疗可能导致劳动力丧失,影响一个

家庭的正常经济运转。目前,多个诊疗指南对国际骨循环研究协会(Association Research Circulation Osseous, ARCO) I、II和IV期坏死已形成共识,即,

I 和 II 期行髓芯减压、植骨术或截骨术等, IV 期行髋关节置换术, 但对 III 期仍存争议^[4]。既往研究报道采用开放手术行保髋治疗, 完全暴露髋关节, 血供破坏严重, 失败率达 80%, 已弃用^[5]。前期研究中, 课题组率先采用自体股骨髁软骨整体移植微创治疗青年股骨头坏死 III 期患者 3 例, 影像学初期结果良好^[6]。考虑到骨再生能力及软骨移植存活率随年龄增长而降低, 该方法不适于中老年患者, 为此课题组设计了股骨头部分置换术, 并在标本上进行了实验模拟, 具备操作可行性。本研究拟通过有限元分析的方法, 以正常髋关节力学传导与应力分布为参照, 验证股骨头坏死部分置换术的可行性, 报告如下。

材料与方法

一、数据采集与模型建立

对志愿者行下肢 CT 扫描 (SIEMENS/SO-MATOM Definition Edge, 德国), 扫描层厚为 1 mm, 共获取 CT 图像 926 层, 扫描数据以 Dicom 格式保存, 并导入 Mimics20.0 软件中 (Materialise Company, Leuven, 比利时), 通过阈值调节、区域增长, 光顺曲面等命令分别将皮质骨、松质骨和髓腔进行三维重建。为了提高模拟仿真精度, 建立好的股骨模型导入逆向工程 Geomagic 软件 (Geomagic, Research Triangle Park NC, 美国) 中做进一步优化曲面处理, 最后模型实体化后以 Step 文件格式导出备用。

二、模型装配

将建立好的股骨模型导入 UG NX 12.0 软件 (Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., 美国), 首先根据自体股骨髁软骨整体移植微创治疗技术切除坏死区域, 其次导入设计开发的新型内植物, 调整内植物位置, 将内植物部件与股骨进行装配。整个装配过程在有手术经验的医师指导下完成 (图 1)。

三、有限元分析

(一) 材料属性

假设皮质骨、松质骨和新型内植物均为连续、各向同性、均匀的线弹性材料。计算中用到的材料属性参考相关文献^[7], 模型均采用 C3D4 网格单元进行网格划分。

(二) 接触关系与边界条件

根据前人研究, 将股骨隧道表面与假体接触面设定为面面滑动接触, 摩擦系数为 0.3, 其他接触关系设定为绑定关系。为了便于计算将股骨远端完全固定, 在股骨头负重区和内植物顶部分别施加 3 倍体重来模拟单腿站立环境, 设定股骨机械力线方向为载荷方向。最后进行有限元仿真计算。主要观察指标为完整股骨与内植物模型的应力分布和位移。

结 果

完整股骨与内植物模型的应力分布: 完整股骨应力分布均匀, 主要集中在股骨颈下方和股骨干皮质骨两侧, 最大应力为 48.25 Mpa, 内植物股骨模型的应力主要分布在金属内植物主体结构下方, 最大应力为 147.2 Mpa (图 2)。

完整股骨与假体植入模型的位移分布: 完整股骨位移最大位移为 10.98 mm, 假体植入模型的最大位移为 9.58 mm (图 3)。

讨 论

中老年 ARCO III 期股骨头坏死行髋置换术创伤大、风险高^[8], 针对这一难题, 课题组率先提出股骨头部分置换术, 使微创精准保髋成为现实。理论上, 该手术方式无需暴露髋关节, 只采用一个 2~3 cm

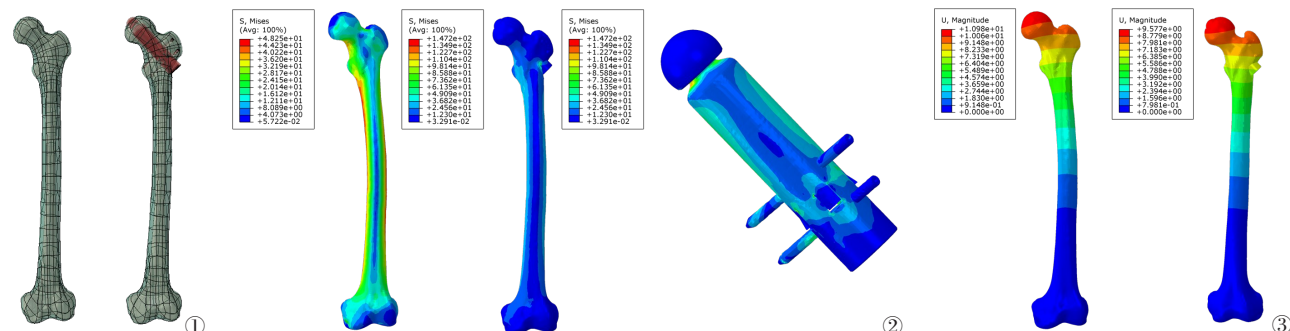


图1 完整股骨与内植物股骨装配图;图2 完整股骨最大应力 48.25 Mpa, 内植物股骨最大应力 147.2 Mpa, 内植物最大应力 147.2 Mpa;图3 完整股骨最大位移为 10.98 mm, 内植物股骨模型最大位移 9.58 mm

的切口即可实现假体的微创植入,最大程度减少软组织切割和牵拉伤,保护血供,利于骨组织快速长入,最终达到保髋或延迟换髋的目的。

本研究以健康的正常髋关节模型为参照,对精准置换术后髋关节的整体稳定性、力学传导以及应力分布进行了分析,结果证实:(1)植入的假体头与股骨头曲率一致,与股骨头坏死区域拟合完好;(2)植入假体后的髋关节整体稳定性与正常髋关节几乎完全一致(位移:10.98 vs 9.58 mm);(3)应力传导模式与正常侧髋关节一致,均沿着内侧皮质(主压力侧)传导至股骨干。不同点在于:正常髋关节力学传导时在股骨头下凹处出现应力集中区;假体置入后,在假体头下与茎部连接处出现应力集中区,最大应力值约是正常髋关节的3倍,因此应重点考虑更大强度的材料。

本研究为后续产品转化及临床应用提供了力学数据支持。

参 考 文 献

- 1 Zhao DW, Yu M, Hu K, et al. Prevalence of nontraumatic osteonecrosis of the femoral head and its associated risk factors in the Chinese population: results from a nationally representative survey [J]. *Chin Med J (Engl)*, 2015, 128(21): 2843-2850.
- 2 Zalavras CG, Lieberman JR. Osteonecrosis of the femoral head: evaluation and treatment [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2014, 22(7): 455-464.
- 3 Seijas R, Sallent A, Rivera E, et al. Avascular necrosis of the femoral head [J]. *J Invest Surg*, 2019, 32(3): 218-219.
- 4 中华医学会骨科分会显微修复学组. 中国修复重建外科专业委员会骨缺损及骨坏死学组. 成人股骨头坏死诊疗标准专家共识(2012年版) [J]. *中华骨科杂志*, 2012, 32(6): 606-610.
- 5 Rittmeister M, Hochmuth K, Kriener S, et al. 5-Jahres-Ergebnisse nach autologer Knorpel-Knochen-Transplantation bei Hüftkopfnekrose [Five-year results following autogenous osteochondral transplantation to the femoral head] [J]. *Orthopäde*, 2005, 34(4): 320-326.
- 6 王娟, 陈伟, 李会杰, 等. 应用自体股骨髁骨软骨整体移植微创治疗 ARCO Ⅲ期股骨头缺血坏死 [J/CD]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2022, 8(4): 193-195.
- 7 Alisdair R MacLeod, Hannah Rose, Harinderjit S Gill. A Validated Open-Source Multisolver Fourth-Generation Composite Femur Model [J]. *J Biomech Eng*, 2016, 138(12): 124501-1~124501-9.
- 8 Gagala J TM, Radiological Outcomes of Treatment of Avascular Necrosis of the Femoral Head Using Autologous Osteochondral Transfer. (mosaicplasty): preliminary report [J]. *Int Orthop*, 2013, 37(7): 1239-1244.

(收稿日期: 2022-10-10)

(本文编辑: 吕红芝)

朱燕宾, 程晓东, 王宇钊, 等. 股骨头部分置换术精准微创治疗中老年 ARCO Ⅲ期股骨头缺血坏死的有限元分析 [J/CD]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2022, 8(5): 257-259.