

镁合金空心螺钉内固定治疗股骨颈骨折的有限元分析研究

方永刚¹, 徐景超², 张雁儒^{2,3*}, 杨越², 李昊⁴, 李洁洁⁴

(1.中国人民解放军联勤保障部队第988医院, 河南 焦作 454003; 2.河南理工大学 骨科研究所, 河南 焦作 454001;
3.宁波大学 医学院, 浙江 宁波 315211; 4.河南理工大学 医学院, 河南 焦作 454001)

摘要: 利用有限元分析方法探究镁合金空心螺钉内固定治疗股骨颈骨折的生物力学特性, 旨在为临床治疗股骨颈骨折提供一种新的思路. 选取一例青年健康志愿者的下肢CT数据建立股骨三维模型, 在Mimics插件3-matic中建立股骨网格并赋予网格材料属性, 利用Solidworks 17.0软件建立空心螺钉模型, 将上述2个三维模型导入Workbench 2020软件中, 分别赋予空心螺钉镁合金、钛合金材料属性, 进行对比分析, 记录股骨及空心螺钉的峰值、应力分布值和股骨位移. 结果表明, 钛合金螺钉内固定模型最大应力为357.27 MPa, 最大位移为0.034 mm; 镁合金螺钉内固定模型最大应力为311.27 MPa, 最大位移为0.034 mm; 2组不同材料的空心钉结果数值差异不大. 研究表明镁合金空心螺钉和传统钛合金空心螺钉力学性能相似, 且镁合金更加亲和人体, 在临床方面可以镁合金空心螺钉代替钛合金空心螺钉治疗股骨颈骨折.

关键词: 股骨颈骨折; 镁合金; 钛合金; 有限元分析

中图分类号: R615

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2022) 01-0007-04

股骨颈骨折是中老年人常见的临床问题^[1]. 近年来临床对股骨颈骨折治疗方法大致分为2种: 关节置换法和空心钉内固定法, 其中关节置换法主要是针对老年患者, 空心钉内固定法则主要针对年轻患者^[2]. 本研究主要针对内固定方法, 对关节置换法不予过多评述. 临床治疗股骨颈骨折所使用的螺钉材料多为钛合金^[3-4]. 钛合金在生物医学领域有着广泛的应用, 这与钛合金其良好的生物相容性和力学性能有关. 但是, 由于钛合金的力学性能远远大于人体骨骼, 所以两者之间会产生“应力遮挡”效应^[4-6]. 而镁合金则不同, 镁合金具有良好的生物相容性, 而且镁合金具备生物降解特性, 能够更好地促进骨的愈合, 镁合金屈服强度也更接近人体骨骼, 产生“应力遮挡”效应的几率也会大大降低^[5-8].

本研究主要以有限元分析方法测试钛合金与镁合金空心螺钉力学性能差异, 分析镁合金空心螺钉代替传统钛合金空心螺钉的可行性.

1 资料与方法

1.1 模型建立

选取一例青年健康志愿者的下肢CT数据, 以Dicom格式储存, 将Dicom格式文件导入Mimics 20.0软件中, 经过阈值对比, 阈值编辑, 阈值分割, 三维重建功能, 建立股骨三维模型, 并以矢状面为基准面, 以20°为方向对股骨颈进行切割, 模拟股骨颈骨折(图1). 使用Solidworks 17.0软件建立镁合金空心螺钉模型, 并建立装配体(图2). 为减少计算当量, 特忽略了空心钉的螺纹.

1.2 模型装配

将骨折模型以及空心钉模型导入Solidworks 17.0软件中进行装配, 采用“倒三角”排列方式将空心螺钉与骨折模型进行布尔操作, 完成模型的装配.

1.3 设置参数

使用Mimics内置插件3-matic对骨折模型进行

收稿日期: 2021-10-27.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.lg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 河南省科技攻关重点项目(201402003).

第一作者: 方永刚(1979-), 男, 河南周口人, 副主任医师, 主要研究方向: 创伤骨科. E-mail: fyg19790730@163.com

*通信作者: 张雁儒(1970-), 男, 河南西华人, 教授, 主要研究方向: 创伤骨科. E-mail: zyr@hpu.edu.cn



图1 股骨颈骨折模型



图2 空心螺钉模型

网格划分, 利用材料赋值功能对网格进行赋值, 具体数值见表1, 单元节点数值见表2.

表1 材料参数

名称	弹性模量/MPa	泊松比
皮质骨	930	0.300
松质骨	610	0.300
钛合金	102 040	0.300
镁合金	44 800	0.291

表2 单元节点

名称	单元	节点
股骨头	4 495	8 647
股骨干	13 872	26 291
空心螺钉	2 744	5 524

1.4 边界及约束条件

将上述模型导入 Workbench 2020 中进行有限元分析, 由于重力对模型的影响较小, 本实验将重力条件忽略. 假设骨与螺钉之间相互摩擦, 完全接触. 将股骨干螺钉约束条件设为绑定, 摩擦系数为0.3. 股骨远端边界条件为完全约束, 6个自由度都为0. 股骨近端股骨头上给予集中力, 提供CT模型的志愿者体重为70 kg, 经过换算, 股骨头承受轴向载荷应为640 N.

1.5 观察指标

观测镁合金空心螺钉的应力分布和应力峰值, 钛合金空心螺钉的应力分布和应力峰值, 螺钉及股骨头的位移.

2 结果

2.1 镁合金空心螺钉应力及位移

在静态加载640 N的分量后, 3枚镁合金空心螺钉的最大应力分别为197.71、311.27、164.82 MPa(图3), 最大位移为0.034 mm(图4).

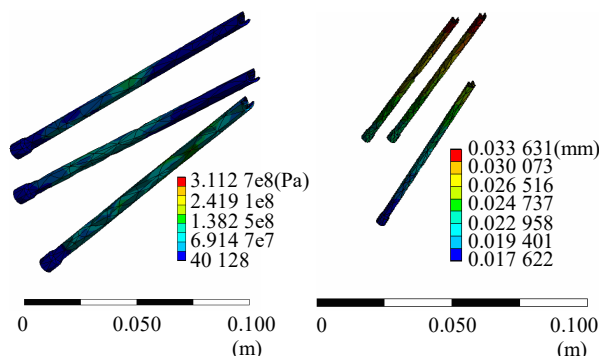


图3 镁合金空心钉等效力

2.2 钛合金空心螺钉应力及位移

3枚钛合金空心螺钉最大应力分别为248.31、357.27、180.53 MPa(图5), 最大位移0.034 mm(图6).

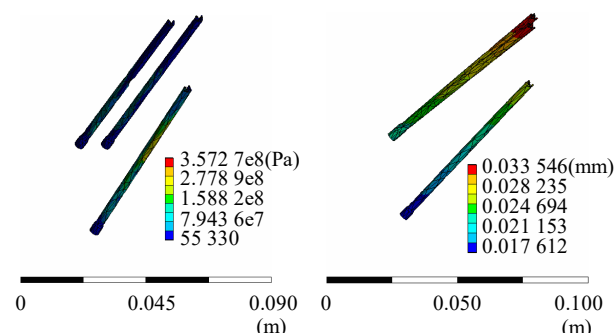


图5 钛合金空心钉等效力

2.3 内固定骨折模型应力及位移

镁合金空心螺钉内固定股骨骨折模型最大等效应力为221 MPa, 位移为0.035 mm(图7). 钛合金空心螺钉内固定股骨骨折模型最大等效应力为256 MPa, 位移为0.035 mm(图8).

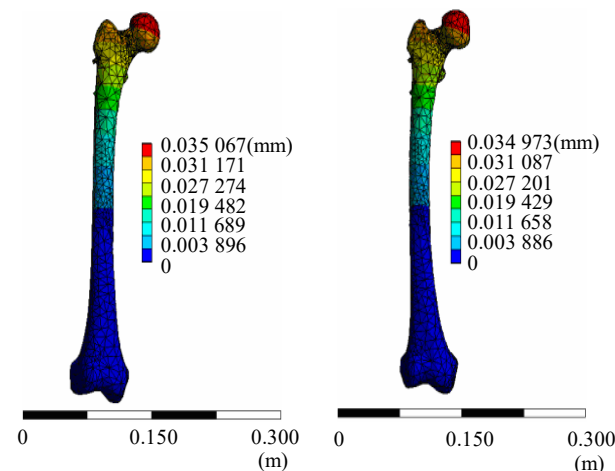


图7 镁合金空心钉骨折模型位移

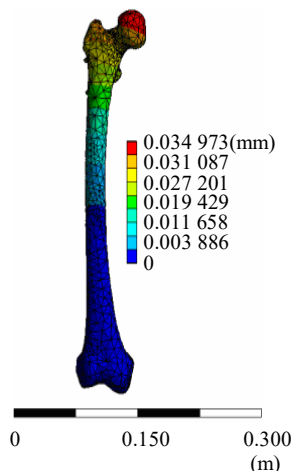


图8 钛合金空心钉骨折模型位移

3 讨论

股骨颈骨折是中老年常见的髋部骨折,有着较高的致残率,多为暴力致伤以及骨质疏松所致^[9]。临床上对于股骨颈骨折常以年龄、骨的质量分级,通常对于年龄超过 60 岁的患者采用关节置换治疗法,而对于 60 岁以下的年轻患者一般采用内固定螺钉的治疗方法^[10]。现阶段临床一般选用钛合金空心螺钉作为内固定的首选,但钛合金其力学性能远远大于人体骨骼,极易产生“应力遮挡”效应,不利于骨折的愈合。相比之下,镁合金较传统钛合金具有良好的生物相容性、可降解性、更高安全性等优点,其生物特性能更好地促进骨折的愈合,与人体骨骼弹性模量相接近(镁合金弹性模量 44 000 MPa,骨骼弹性模量 18 000 MPa),可以有效减少“应力遮挡”效应的产生,此外其可降解性也能减少二次手术给予患者的痛苦^[11-12]。基于以上几点,近年来镁合金成为医用材料领域的热门之一^[13-20]。本研究主要使用有限元分析的方法,评价镁合金内固定空心螺钉与传统钛合金内固定空心螺钉在治疗股骨颈骨折过程的力学性能差异。此外镁合金由于其降解速率远远高于骨折愈合的速度,通常会作表面涂层处理,以降低镁合金的降解速率,但由于表面涂层对镁合金的力学性能影响较小,故本文忽略镁合金的涂层以及降解速率因素。

根据镁合金空心螺钉内固定治疗股骨颈骨折的有限元分析的结果,镁合金空心螺钉的最大应力为 311.27 MPa,钛合金空心螺钉的最大应力为 357.27 MPa,2 组空心钉应力相似,无显著差异。镁合金空心螺钉最大位移为 0.034 mm,钛合金空心螺钉最大位移 0.034 mm,2 组不同材料螺钉位移值相同。镁合金空心钉股骨骨折模型应力和位移值分别为 221 MPa 和 0.035 mm,钛合金空心钉股骨骨折模型应力和位移值分别为 256 MPa 和 0.035 mm,差异较小。2 组不同材料的空心螺钉内固定位移结果类似,微动位移均小于 0.1,证明稳定性较好,有助于骨折的愈合。

本研究结果只是通过有限元分析方法分析镁合金和钛合金空心螺钉在力学上的差异以及镁合金空心螺钉在临床上代替传统钛合金空心螺钉治

疗股骨颈骨折的可行性,由于有限元分析模型过于理想化,与人体实体结构还是有些许差异(韧带、肌肉、镁合金降解等因素),故本实验尚有不足之处。

本研究采用有限元分析方法数字化人体参数,分析内固定在人体中的受力,旨在为镁合金进一步临床应用提供力学参考。

参考文献:

- [1] Torkian A, Faraji G, Pedram M S. Mechanical properties and in vivo biodegradability of Mg-Zr-Y-Nd-La magnesium alloy produced by a combined severe plastic deformation[J]. *Rare Metals*, 2021, 40(3):651-662.
- [2] 孙兴文, 董黎敏, 李炫, 等. 镁合金与钛合金接骨板在股骨骨折愈合中力学性能的研究[J]. *天津理工大学学报*, 2017, 33(3):49-54.
- [3] Amano H, Hanada K, Hinoki A, et al. Biodegradable surgical staple composed of magnesium alloy[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9:14671.
- [4] 尚晓峰, 窦坚, 韩青. 基于 Abaqus 下植入体与股骨腔配合的有限元分析[J]. *临床骨科杂志*, 2018, 21(3):373-375.
- [5] Freitas A, Bontempo R L, Azevedo F, et al. New fixation method for Pauwels type III femoral neck fracture: A finite element analysis of sliding hip screw, L-shaped, and L-shaped with medial plate[J]. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology: Orthopedie Traumatologie*, 2021, 31(6):1069-1075.
- [6] Ramadanov N, Toma I, Herkner H, et al. Factors that influence the complications and outcomes of femoral neck fractures treated by cannulated screw fixation[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10:758.
- [7] Rao M J, Zhang G H, Yuan X J, et al. Internal fixation versus total hip arthroplasty in the treatment of displaced femoral neck fracture: A meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 2021, 33(5):26233-26238.
- [8] Xu W N, Xue Q Y. Long-term efficacy of screw fixation vs hemiarthroplasty for undisplaced femoral neck fracture in patients over 65 years of age: A systematic review and meta-analysis[J]. *Orthopaedic Surgery*, 2021, 13(1):3-13.
- [9] 殷浩, 周恩昌, 潘政军, 等. 4 枚空心钉与 3 枚空心钉结合支持钢板内固定治疗 Pauwels III 型股骨颈骨折的有限元分析[J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(32):5133-5137.
- [10] Chandra G, Pandey A. Design and analysis of

- biodegradable buttress threaded screws for fracture fixation in orthopedics: A finite element analysis[J]. Biomedical Physics & Engineering Express, 2021, 7(4): 045010.
- [11] Jung B T, Kim W H, Park B, et al. Biomechanical evaluation of unilateral subcondylar fracture of the mandible on the varying materials: A finite element analysis[J]. PLoS One, 2020, 15(10):e0240352.
- [12] 冯佳男, 张文化, 雷洋. 闭合复位空心钉内固定与全髋关节置换术在移位型股骨颈骨折老年患者中的应用效果对比[J]. 临床和实验医学杂志, 2018, 17(13):1412-1415.
- [13] Staniger M P, Pietak A M, Huadmai J, et al. Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review[J]. Biomaterials, 2006, 27(9):1728-1734.
- [14] Jia G Z, Hou Y, Chen C X, et al. Precise fabrication of open porous Mg scaffolds using NaCl templates: Relationship between space holder particles, pore characteristics and Mechanical behavior[J]. Materials & Design, 2018, 140:106-113.
- [15] Stroganov G B, Savitsky E, Mikhailovich, et al. Magnesium-base alloys for use in bone surgery: US Patent 3678135[P]. 1972.
- [16] 乔丽英, 高家诚, 王勇. 镁基生物材料表面改性及其生物相容性的研究与发展现状[J]. 中国材料进展, 2011, 30(4):23-29.
- [17] 张岩, 蒋垚. 镁基金属内植物腐蚀防护研究进展[J]. 国际骨科学杂志, 2008, 29(6):397-399.
- [18] Kuwahara H, Al-Abdullat Y, Mazaki N, et al. Precipitation of magnesium apatite on pure magnesium surface during immersing in Hank's solution[J]. Materials Transactions, 2001, 42(7):1317-1321.
- [19] Mukherjee S, Barman S, Msndal N C, et al. Anti-bacterial activity of Achatina CRP and its mechanism of action[J]. Indian Journal of Experimental Biology, 2014, 52(7):692-704.
- [20] 王湛, 杨军, 李建军. 植入体内新型镁合金材料的抗菌性能[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(22):3451-3455.

Finite element analysis research of magnesium alloy cannulated screw internal fixation for femoral neck fracture

FANG Yonggang¹, XU Jingchao², ZHANG Yanru^{2,3*}, YANG Yue², LI Hao⁴, LI Jiejie⁴

(1.The 988 Hospital of the Chinese People's Liberation Army Joint Logistic Support Force, Jiaozuo 454003, China; 2.Institute of Orthopedics, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454001, China; 3.School of Medicine, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 4.School of Medicine, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454001, China)

Abstract: This research explores the biomechanical properties of magnesium alloy hollow screw internal fixation for the treatment of femoral neck fractures by finite element analysis, with an intention to provide new ideas for the clinical treatment of femoral neck fractures. A case of young healthy volunteers' lower limb CT data was stored and a three-dimensional femoral model was established. The femoral mesh was established in the Mimics plug-in module "3-matic", with which the mesh material properties were assigned. Subsequently, Solidworks 17.0 software was used to establish a hollow screw model. The above two 3D models were then input into Workbench 2020 software, where they were assigned with the hollow screw magnesium alloy and titanium alloy material properties for comparative analysis. The peak value, stress distribution value and femoral displacement of the femur and the hollow screw from the analysis were recorded. The maximum stress of the titanium alloy screw internal fixation model was 357.27 MPa, and the maximum displacement was 0.034 mm. On the contrary, the maximum stress of the internal fixation model of magnesium alloy screws was 311.27 MPa, and the maximum displacement was 0.034 mm. Hence, there is little difference in the results of hollow nails of different materials between the two groups. It can be concluded that the mechanical properties of magnesium alloy hollow screws are similar to those of the traditional titanium alloy hollow screws, and magnesium alloys are more compatible with the human body. Therefore, it is possible to consider using magnesium alloy hollow screws instead of titanium alloy hollow screws to treat femoral neck fractures.

Key words: femoral neck fracture; magnesium alloy; titanium alloy; finite element analysis

(责任编辑 章践立)