

半月板三维有限元模型的建立

任世红 刘洪涛[△] 刘晓阳 张祚福 齐晓军

(青岛大学医学院附属烟台毓璜顶医院 骨科 山东 烟台 264000)

摘要 目的:建立膝关节半月板三维有限元模型。方法:拍摄健康成人膝关节 CT 图像,使用 Materialise Interactive Medical Image Control System 10.0(Mimics10.0)、Freeform Modeling System 10(FMS10)、ANSYS12.0 等软件建立半月板三维有限元模型并进行初步生物力学分析验证模型的有效性。结果:建立的半月板三维有限元模型几何形态与实体解剖标本相似性高。初步生物力学分析结果显示模型能准确反映半月板的生物力学特性。结论:采用 CT 扫描图像建立膝关节半月板三维有限元模型是切实可行的。

关键词 半月板;三维有限元;模型;生物力学

中图分类号:R318.01 R68 文献标识码:A 文章编号:1673-6273(2011)07-1318-03

Establishment of Three-dimensional Finite Element Model of the Menisci

REN Shi-hong, LIU Hong-tao[△], LIU Xiao-yang, ZHANG Zuo-fu, QI Xiao-jun

(Department of Orthopaedics, Yantai Yuhuangding Hospital affiliated to Qingdao University Medical College Yantai 264000 China)

ABSTRACT Objective: To establish the three-dimensional finite element model of the menisci. **Methods:** Knee joint of a healthy adult was used as specimen. CT scan images and Materialise Interactive Medical Image Control System 10.0(Mimics10.0)、Freeform Modeling System10 (FMS10), ANSYS12.0 were used to build the three-dimensional finite model of menisci. And the model was used to analyze the biomechanics of the menisci to verify the validity of the model. **Results:** An three-dimensional finite element model of menisci was established successfully, and the model provides a precise anatomic morphology of the menisci. The finite element analysis of the model demonstrated that could reflect the biomechanics of the menisci approximately. **Conclusion:** It is practical to build Menisci three-dimensional finite element models with CT scan images.

Key word: Menisci;Three-dimensional finite element; Model; Biomechanics

Chinese Library Classification: R318.01, R68 **Document code:** A

Article ID:1673-6273(2011)07-1318-03

前言

临床上半月板损伤较常见,损伤后多行切除术。术后晚期发生骨关节炎的主要原因是膝关节载荷传导紊乱^[1]。利用生物力学研究方法可分析半月板损伤的机制,提出相应的预防及治疗措施。

本文利用 CT 扫描获得的影像数据通过医学图像软件处理,建立了半月板三维有限元模型并进行了初步生物力学分析以验证模型的有效性。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 实验标本 根据中国人解剖学数值^[2]选取健康成年男性志愿者,25岁,身高172cm,体重65kg,体重指数(BMI)≈22.0,无膝关节外伤史。膝关节MR检查,排除膝关节骨关节炎及骨肿瘤、骨坏死等病理改变。

1.1.2 设备、软件 美国GE公司64排螺旋CT扫描仪,高性能计算机,Mimics10.0、FMS10、ANSYS12.0。

1.2 方法

1.2.1 获取CT影像数据 志愿者知情同意后,取仰卧位,膝关节处于0°伸直位,不承受任何载荷,于髌上缘10cm至髌下10cm行CT连续扫描。所得影像数据以.dicom格式刻录光盘保存。

1.2.2 建立三维实体模型 在导入向导的指引下,Mimics10.0自动导入.dicom格式的文件,进行三维重建。重建好三维模型后导入FMS10进行模型修改、表面光滑处理、曲面匹配拟合,生成三维实体模型(图1)

1.2.3 建立三维有限元模型 FMS10生成的半月板模型导入ANSYS12.0,进一步修改模型达到满意效果,定义半月板的材料性质为线弹性、各向同性、均质,半月板弹性模量为59MPa,泊松比为0.49。材料性质的设定及弹性模量、泊松比数值的选取均引自文献报道^[3-9]。建立了半月板三维有限元模型(图2)。

1.3 检验模型有效性

有限元模型是否有效,取决于模型能否进行有限元分析并得出符合实际情况的结果。我们利用建立的三维有限元模型进行初步的生物力学分析,股骨除沿轴向上下移动外各自由度及半月板表面各节点的六个自由度均设置为0。在股骨端施加637N载荷后,模型准确反映了半月板的生物力学特性(图3)。

2 结果

建立的半月板三维有限元模型几何形态与实体解剖标本相似性高。模型可准确反映半月板的生物力学特性。

作者简介:任世红(1982-)男,硕士研究生,专业:外科学(脊柱关节外科) 电话:15098566351 Email: mrgent555@163.com
[△]通讯作者:刘洪涛 E-mail: LHT5793@126.com
(收稿日期:2011-01-23 接受日期:2011-02-18)

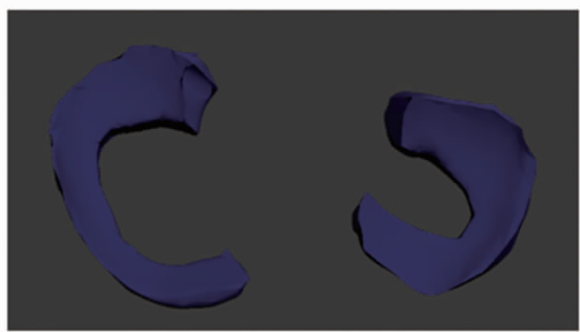


图1 半月板三维解剖模型

Fig.1 Three-dimensional anatomical model of menisci



图2 半月板三维有限元模型

Fig.2 Three-dimensional finite element model of menisci



图3 验证半月板有限元模型的有效性

Fig.3 Verify the validity of the finite element model of menisci

3 讨论

3.1 有限元法在骨科的应用前景

生物力学是力学与医学等学科相互渗透形成的边缘科学。生物力学的研究方法主要有两种,一种是实验生物力学研究,即以动物或尸体标本为模型进行力学测定;另一种方法是理论生物力学研究,如有限元方法,以物理数学方法进行力学分析。

有限元法(Finite Element Analysis),其基本原理是把由无限个质点构成并且有无限个自由度的连续体划分为有限个单元,此过程称为有限元模型的离散化,用这种离散化的有限单元模型代替原有的物体进行生物力学研究的一种方法。

1956年,Turner等^[10]提出有限元(finite element FE)的概念。自20世纪70年代Breklemans WAN和Scholten R等^[11,12]将有限元法用于骨的应力分析后,有限元分析在骨科的应用显示出了广阔的发展前景。因实验生物力学以动物或尸体标本为模型进行力学测定,其实验结果可重复性差、实验时间长、实验条件不易控制等,与之相比,有限元法通过控制组织的形状、结构、材料属性和载荷情况,更准确地模拟了机体的力学环境,对复杂生物力学分析,具有可重复性高、实验时间短和实验条件容易控制等优点,弥补了实验生物力学的不足。随着计算机技术的发展,三维有限元软件的逐步完善,有限元分析作为一种力学分析方法由最初的简单应力分析转向假体磨损的力学分析、植入假体的设计、骨切开分离手术及植入手术的模拟等。有限元法在骨科生物力学分析中的应用正逐渐深入和广泛。

3.2 建模方法探讨

3.2.1 二维图像的获取 在CT扫描时,扫描断层越密,扫描层

越薄,重建的三维影像几何形态越接近实体形态。因此,我们采用64排螺旋CT扫描,层厚为0.625 mm,无间隔。另外,有研究报道^[13,14]采用JPEG、BMP格式保存影像数据,而本研究采用标准数字影像传输.dicom格式保存,避免图像生成、转化与存取中的信息丢失。

3.2.2 Mimics10.0的运用 有文献报道^[15-17]采用CAD、photoshop、3D·doctor等软件进行三维实体建模。由于解剖结构的复杂性,曲面的任意性,所以当前高端的CAD软件设计出的结构模型也存在较多局限。沈光思等^[18]用逆向工程方法建模,逆向工程的建模方法只能得到解剖结构的外部轮廓,无法获取内部结构。而Mimics10.0是一套高度整合且易用的3D图像生成及编辑处理软件。Mimics建立三维模型弥补了上述不足,并具有以下优点:(1)Mimics10.0直接读取.dicom格式影像数据,自动计算生成冠状面和矢状面图,避免了常规软件中图像的重新定位和二次处理,大大提高了模型的准确性;(2)Mimics10.0提供了一系列模块,缩短了建模时间;(3)Mimics10.0软件易学易用。

3.2.3 自由曲面造型系统的运用 (Freeform Modeling System 10 FMS10) FMS10可以迅速生成细节丰富、原始模型,它不仅提供了强有力的曲面生成与修改方法,而且拥有曲面之间的匹配、拟合及外形整体变形等高级编辑工具。它所构建的曲面具有很高的曲面光顺度和质量,是复杂设计、快速造型文件及图片-真实渲染的理想工具。FMS10建模融入了触觉,通过触觉可以与计算机"互动",被称为是"计算机雕刻计术"^[19]。其建模快速、准确,既节约了大量时间与精力,同时又提高了建模精度^[20]。本研究采用FMS10大大减小了人为因素可能导致的误差,修改好的三维模型具有很好的半月板解剖形态及局部细节,可多角度观察,得到了满意的三维模型。

3.2.4 ANSYS12.0的运用 个别情况下,ANSYS12.0进行自动网格划分后仍有网格质量不符合要求。本文采用了手动控制下的自由网格划分,网格更合理,建立的节点和单元更多,共生成1088节点、1578个单元,模型更接近实体。在高性能计算机的辅助下实现了建模过程中的数字化操作,最大限度地减小了操作的误差性。本研究建立了准确的半月板三维有限元模型,为进一步膝关节生物力学研究奠定了基础。

4 结论

采用CT扫描影像数据建立半月板三维有限元模型是切

实可行的,模型可准确地模拟半月板解剖形态及反映其正常的生物力学特性。

有限元法在骨科生物力学研究中有不可替代的优越性,亦尚有较多局限:(1)有限元模型存在许多简化和假设,载荷及边界条件是人为设定;(2)有限元模型反映的是组织特定力学环境下的力学特性;(3)设定的实验条件可能与真实力学环境存在差异,如生物结构材质分布不均一,材质的分布界限是非线性等。上述局限性还有待进一步研究和解决。

参考文献(References)

- [1] 王亦聰.骨与关节损伤[M].4版.北京:人民卫生出版社,2007:1318
Wang Yi-cong. Injury of Bone and Joints [M]. Version 4: Beijing: People's Medical Publishing House, 2007:1318
- [2] 黄瀛.中国人解剖学数值[M].北京:人民卫生出版社,2002:27
Huang Ying. Anatomy Data of chinese people [M]. Beijing: people's medical publishing house, 2002:27
- [3] E.Pena, B.Calvo, M.A. Martinez, et al. A three-dimensional finite element analysis of the combined behavior of ligaments and menisci in the healthy human knee joint [J]. Journal of Biomechanics, 2006(39): 1686-1701
- [4] Shirazi-Adl A, Mesfar W. Effect of tibial tubercle elevation on biomechanics of the entire knee joint under muscle loads [J]. Clinical Biomechanics, 2007, 22(3):344-351
- [5] Shivanna Kiran H, Magnotta, Vincent A, et al. IA-FEMesh: an open-source, interactive, multiblock approach to anatomic finite element model development [J]. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2009, 94(1):96-107
- [6] Barbara Zielinska, Tammy L, Haut Donahue, et al. 3D-finite element model of meniscectomy: changes in joint contact behavior[J]. Journal of Biomechanical Engineering, 2006, 128:115-123
- [7] Bendjaballah MZ, Shirazi-Adl A, Zukor DJ. Finite element analysis of human knee joint in varus-valgus. Clin Biomech (Bristol, Avon) 1997; 12: 139-48
- [8] Nattapon Chantarapanich BEng, Pruetttha Nanakorn DEng, Banha Chernchujit MD, Kriskrai et al. A finite element study of stress distributions in normal and osteoarthritic knee joints[J]. J Med Assoc Thai 2009; 92(Suppl 6): S97-103
- [9] Pena E, Calvo B, Martinez MA, Doblare M. A three-dimensional finite element analysis of the combined behavior of ligaments and menisci in the healthy human knee joint. J Biomech, 2006; 39:1686-701
- [10] Turner MS, Clough RW, Martin HC, et al. Stiffness and deflection analysis of complex structure[J]. Aero Sci, 1956, 23:805
- [11] Brekelmans WAN, Poort HW, Slooff TJ. A new method to analysis the mechanical behavior of skeletal parts[J]. Acta Orthop Scand, 1972, 43(5):301-317
- [12] Scholten R, Svensson NL, Wood RD. Three dimensional stress analysis of the human femur[J]. Comput Biol Med, 1977, 6:130
- [13] 张德盛,宋跃明.下腰椎不同融合方式的有限元研究[J].中国修复重建外科杂志, 2006, 20(4):400-403
Zhang De-sheng, Song Yue-ming. The finite element analysis of lumbar fusions [J]. Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery, 2006, 20(4):400-403
- [14] 张文,倪俊芳,蒋定华,等.基于CT图像构建髌股关节生物力学模型[J].苏州大学学报(工科版), 2009, 29(4):56-58
Zhang wen, Ni Jun-fang, Jiang Ding-hua, et al. Construction of patellofemoral joint biomechanics [J]. Journal of Suzhou University (engineering science edition), 2009, 29(4):56-58
- [15] 陈伯华,孙鹏, Natarajan, et al. 颈椎三维有限元模型的建立及意义[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2002, 12(2):105-108
Chen Bo-hua, Sun Peng, Natarajan, et al. Three-dimensional finite element model of a cervical unit (c4-c7)[J]. Chinese Journal of spine and spine cord, 2002 12(2):105-108
- [16] 余慧琴,顾苏熙,李明,等.脊柱侧凸三维有限元模型的建立及其意义[J].医用生物力学, 2008, 23(2):136-139
Yu Hui-qin, Gu Su-xi, Li Ming, et al. Construction and significance of dimensional finite element model of scoliosis [J]. Journal of Medical Biomechanics, 2008, 23(2):136-139
- [17] 潘哲尔,黄加张,顾湘杰,等.磁共振影像膝关节三维有限元模型的建立[J].中国骨与关节损伤杂志, 2006, 21(4):268-270
Pan Zhe-er, Huang Jia-zhang, Gu Xiang-jie, et al. Construction of the three-dimensional finite element model of knee joint on the basis of magnetic resonance images [J]. Chinese Journal of bone and joint injury, 2006, 21(4):268-270
- [18] 沈光思,徐又佳,周海斌,等.基于MRI的全膝有限元模型的建立与前交叉韧带重建术模拟方案[J].医用生物力学, 2008, 23(5):353-356
Shen Guang-si, Xu You-jia, Zhou Hai-bin, et al. Simulation programs of the knee joint finite element model and the anterior cruciate ligament reconstruction based on magnetic resonance images [J]. Journal of Medical Biomechanics, 2008, 23(5):353-356
- [19] 张美超,张余,黄华扬,等.股骨-胫骨复合体模型在人体体重冲击下的运动力学响应研究[J].第一军医大学学报, 2003, 23(9):908-910
Zhang Mei-chao, Zhang Yu, Huang Hua-yang, et al. Biomechanical response of the femur-tibia model under impact loading of the body weight[J]. First Mil Med Univ, 2003, 23(9):908-910
- [20] 张景僚,顾立强,张美超.骨盆三维有限元模型的建立及意义[J].中华创伤骨科杂志, 2008, 10(1):64-67
Zhang Jing-liao, Gu Li-qiang, Zhang Mei-chao. The establishment and significance of pelvic three-dimensional finite element model[J]. Chinese Journal of Orthopaedic Trauma, 2008, 10(1):64-67