

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2013.04.004 [http://www.crter.org]

陈镇秋, 张秋霞, 周广全, 庞智晖, 魏秋实. 膝关节单髁置换三维参数化建模 [J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(4):588-593.

膝关节单髁置换三维参数化建模**☆

陈镇秋¹, 张秋霞¹, 周广全¹, 庞智晖¹, 魏秋实²

1 广州中医药大学第一附属医院, 广东省广州市 510407

2 解放军广州军区总医院, 广东省广州市 510010

文章亮点:

1 文章的关键信息: 单髁置换术是治疗膝关节单侧间室疾病的主要方式, 是膝关节表面置换的有效替代方法。下肢力线的恢复及术者的术前经验与手术的成败有很大的关系, 因此有必要寻找一种能快速、准确建立个体化手术演练模型的方法。参数化技术的应用, 将提高临床医生的建模效率, 降低工作量, 提高模型二次应用率。

2 文章的要点: 实验结合三维扫描技术与参数化技术利用 Pro/Engineer 建立膝关节单髁假体模型, 该模型可以根据参数变化进行自适应改变, 从而获得一系列的膝关节假体模型, 满足不同手术方案、不同病例对假体模型零件的要求。该方法提高了建模的准确性和效率, 减少了重复性工作, 提高了模型应用的灵活性, 也为单髁假体的形态优化设计提供了新的思路和基本模型平台。

3 文章的创新之处与不足: 实验将参数化技术应用到膝关节单髁置换的数字化研究中, 显著提高了建模的效率, 减少了重复性工作, 提高了模型的二次使用率, 但是需要既有一定骨科手术经验, 又要熟练掌握计算机 CAD 技术的科研人员才能开展参数化建模工作。

关键词:

骨关节植入物; 人工假体; 单髁置换; 单髁假体; 参数化建模; 三维模型; 假体模型; 有限元分析; 三维有限元分析; 生物力学; 数字化; 计算机辅助设计; 省级基金; 骨关节植入物图片文章

摘要

背景: 用于外科训练和演练的单髁假体模型因尺寸和特征固定而无法满足不同患者的实际需求。

目的: 为膝关节单髁置换的数字化研究提供一种三维参数化建模方法。

方法: 运用三维重建技术建立膝关节三维模型, 然后通过参数化软件 Pro/Engineer 5.0 设计与骨性模型相匹配的单髁假体, 最后模拟膝关节单髁置换并进行三维有限元分析。

结果与结论: 三维参数化建模法效率高, 实现了膝关节单髁假体设计的自动化和高效化, 所建模型形态逼真, 精确度高。三维参数化建模法为膝关节单髁置换的生物力学研究提供了模型基础和新的实验思路。

Three-dimensional parametric modeling during unicompartmental knee arthroplasty

Chen Zhen-qiu¹, Zhang Qiu-xia¹, Zhou Guang-quan¹, Pang Zhi-hui¹, Wei Qiu-shi²

1 The First Affiliated Hospital of Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510407, Guangdong Province, China

2 General Hospital of Guangzhou Military Region, Guangzhou 510010, Guangdong Province, China

Abstract

BACKGROUND: The models of unicompartmental knee arthroplasty used for the surgical training and drilling cannot meet the individual requirements due to the size and the fixation.

OBJECTIVE: To provide a three-dimensional parametric modeling method for the digital research of

陈镇秋☆, 男, 1972年生, 广东省普宁市人, 汉族, 2009年广州中医药大学毕业, 博士, 副教授, 主要从事股骨头坏死的基础与临床研究。

Qiu5413@yahoo.com.cn

通讯作者: 张秋霞, 硕士, 副研究员, 广州中医药大学第一附属医院, 广东省广州市 510407

triqu2006@126.com

中图分类号: R318

文献标识码: A

文章编号: 2095-4344

(2013)04-00588-06

收稿日期: 2012-04-10

修回日期: 2012-09-14

(20120410018W · C)

Chen Zhen-qiu☆, Doctor,
Associate professor, the First
Affiliated Hospital of
Guangzhou University of
Chinese Medicine, Guangzhou
510407, Guangdong Province,
China
Qiu5413@yahoo.com.cn

Corresponding author: Zhang
Qiu-xia, Master, Associate
researcher, the First Affiliated
Hospital of Guangzhou
University of Chinese Medicine,
Guangzhou 510407,
Guangdong Province, China
triqu2006@126.com

Supported by: Special
Research Fund for the Doctoral
Program of Higher Education of
China in 2010,
No.20104425120012*; General
Program of Guangdong Natural
Science Foundation,
No.S2011040005966*

Received: 2012-04-10
Accepted: 2012-09-14

unicompartmental knee arthroplasty.

METHODS: The three-dimensional knee arthritis model was established by three-dimensional reconstruction technique, then, a unicompartmental prosthesis which matched with the osseous model was designed with parametric software Pro/e 5.0. At last, unicompartmental knee arthroplasty was simulated and the three-dimensional finite element analysis was performed.

RESULTS AND CONCLUSION: Three-dimensional parametric modeling method was high-performance, and it could make the design of unicompartmental prosthesis automated and high-performed. The model established based on three-dimensional parametric modeling method had realistic shape and high precision. Three-dimensional parametric modeling method provides new model-basis and experimental ideas for biomechanical study of unicompartmental knee arthroplasty.

Key Words: bone and joint implants; artificial prosthesis; unicompartmental knee arthroplasty; unicompartmental prosthesis; parametric modeling; three-dimensional model; prosthesis model; finite element analysis; three-dimensional finite element analysis; biomechanics; digitization; computer-aided design; provincial grants-supported paper; photographs-containing paper of bone and joint implants

Chen ZQ, Zhang QX, Zhou GQ, Pang ZH, Wei QS. Three-dimensional parametric modeling method during unicompartmental knee arthroplasty. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2013;17(4): 588-593.

0 引言

膝关节单髁置换又称为单室成形术,是膝关节单侧间室疾病的首选术式之一^[1-2]。单髁置换具有创伤小,手术时间短,出血量少,保留骨量,关节功能恢复快等优点^[3-7],是膝关节表面置换的有效替代方法^[8-11],有助于防止全膝关节退行性疾病的进展,但其并发症发生率和翻修率仍较高^[12-15]。下肢力线的恢复及手术的成败与术者的术前经验有很大的关系,因此,有必要为临床医生提供膝关节单髁置换术反复使用的训练和演练模型,增强临床医生术前动手的能力和經驗。然而目前针对膝关节外科手术三维数字化研究的计算机辅助设计技术还不够深入,临床中往往单纯利用CT或MRI建立演练模型,这种方法建立的模型简单,精确度低,一般只限于骨性结构或软组织结构,而用于手术训练和演练的单髁假体模型因尺寸和特征固定而无法满足不同患者的实际需求,从而所做的手术训练和演练既不能反映临床的实际情况,医生所获得的演练经验对临床操作的指导也非常有限,因此,有必要寻找一种自适应的、可快速实现的建模方法,高效率地建立各种尺寸及特征的单髁假体模型,以确保手术的模拟与临床实际更接近。

参数化技术是计算机辅助设计技术在实际产品设计应用中发展的一种新的自适应的快速建模技术^[16];自问世以来,因在机械领域取得巨大成功而受到人们的青睐^[17-18]。参数化技术以一组可调参数来控制医疗产品的设计结果,通过变换调整参数值实现一系列相似医疗产品的建模设计。利用三维参数化技术设计医疗产品,研究人员只需调整产品基础参数就能修改模型而得到系列化的设计效果^[19],充分满足临床医生在手术模拟时对假体模型的需求。该方法减少了建模时间,提高了建模效率^[20-21]。因此,实验将三维参数化技术引入到膝关节单间室疾病手术模拟中来,为膝关节单髁置换术的仿真研究提供新的快速建模方法。

1 材料和方法

设计: 运用三维参数化技术建立单髁置换模拟模型并对模型进行有限元分析。

时间及地点: 实验于2009年9月至2011年12月在广州中医药大学中医骨伤科实验室完成。

材料: 膝关节单髁置换三维参数化建模实验主要材料及设备: 采用64排螺旋CT(AQUILION64, 广州中医药大学第一附属医院)对患者膝关节部进行CT断层扫描。扫描参

数为: 扫描电压120 kV, 扫描电流250 mA, 扫描速度为0.875 s/r; 层厚为0.5 mm, 共64层, 每一层为512×512像素, 采用U盘拷贝格式为DICOM的数据资料并保存。实验用操作系统Window XP; 实验用软件: Mimics 14.1交互式图像控制系统, 广州中医药大学重点骨科实验室提供; Pro/Engineer 5.0参数化设计软件。Ansys workbench 12.0大型有限元分析软件。

膝关节单髁置换选择标准: 选1名成年男性膝关节炎患者, 选择标准为^[22]: 骨性关节炎, 主要局限在膝关节内侧室, 年龄为>60岁, 职业为活动量较少的工作或不从事重体力劳动, 体质量最好<80 kg, 屈曲至少90°, 屈曲挛缩小于5°, 内翻畸形<15°。

实验方法:

实验流程: ①首先利用三维扫描仪对假体样板进行扫描, 直接获得三维点云模型, 然后通过逆向工程、参数化软件Pro/Engineer 5.0对假体零件点云模型进行外型重构, 提取零件形态参数, 并定义特征参数的驱动关系, 通过调整某个参数获得系统化的单髁模型。②基于CT建立膝关节三维模型, 然后根据膝关节三维模型的尺寸, 选择与之匹配的假体模型进行手术模拟; 最后将手术模拟模型导入到有限元分析软件进行二次应用与测试。见图1。

CT扫描: 采用64排螺旋CT(AQUILION64)对患者膝关节部进行CT断层扫描。扫描参数为: 扫描电压120 kV, 扫描电流250 mA, 扫描速度为0.875 s/r; 层厚为0.5 mm, 共64层, 每一层为512×512像素, 采用U盘拷贝格式为DICOM的数据资料并保存。

膝关节三维骨性模型的建立: 将U盘中的数据资料导入交互式图像控制系统Mimics 14.1, 按照人体解剖学坐标确定模型坐标系, 设骨骼CT灰度阈值, 根据阈值提取骨性边界, 然后通过空洞修补和三维计算功能重建出股骨子模型、髌骨子模型、胫骨子模型和腓骨子模型, 见图2。

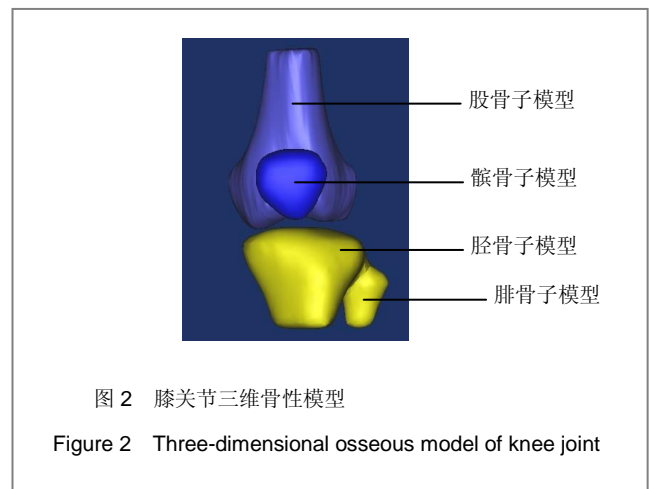


图2 膝关节三维骨性模型

Figure 2 Three-dimensional osseous model of knee joint

单髁置换假体的参数化设计: 首先利用天远三维扫描仪(扫描测量精度0.015 mm, 单面扫描时间≤5 s)自动识别单髁假体上的标志点, 利用全自动识别拼接功能, 将多次识别结果自动拼接起来, 并通过GREC全局误差控制功能确保整体数据不出现“分层”现象, 从而获得单髁假体各零件的完整数据, 分别保存为ASC格式点云数据文件。然后分别将单髁假体各零件各入到逆向工程、参数化设计软件Pro/Engineer 5.0中, 通过“点处理”、“曲线编辑”、“创建曲面”和“实体化”功能重构单髁假体各零件外型。在重构零件外型的过程中, 通过“确定坐标系”、“草绘工具”和“测量工具”获得零件各特征的尺寸参数, 见图3, 对零件特征进行驱动约束, 建立相互依赖关系, 使得研究人员通过调整某个特征的尺寸参数, 系统就能自适应地生成相应的模型, 见图4, 从中选择与膝关节骨性结构相匹配的合适假体并保存。

手术模拟及有限元模型的建立: 首先, 利用截骨工具, 在胫骨上端截去相当于胫骨全聚乙烯垫片厚度减去胫骨软骨缺失厚度的骨量, 根据切下的胫骨平台确定胫骨假体的尺寸; 然后根据股骨假体型号对应的截骨模块, 行股骨后髁及斜面截骨并依此确定股骨假体的尺寸^[23];

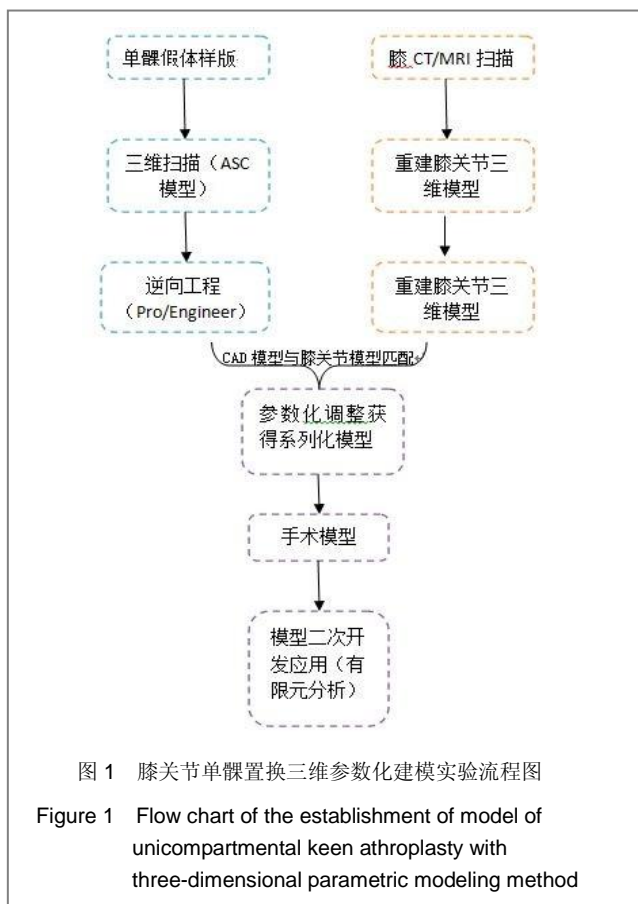


图1 膝关节单髁置换三维参数化建模实验流程图

Figure 1 Flow chart of the establishment of model of unicompartmental knee arthroplasty with three-dimensional parametric modeling method

接着将与骨性结构匹配的单髁置换假体三维模型导入到Mimics 14.1中,通过移动、旋转和放大缩小等功能模拟膝关节单髁置换,见图5a;最后将模拟手术模型导入到Ansys workbench 12.1有限元分析软件,根据研究目的,对不同部位选择疏密程度不同的网格进行网格划分操作^[24],生成膝关节单髁置换三维有限元模型,见图5b。

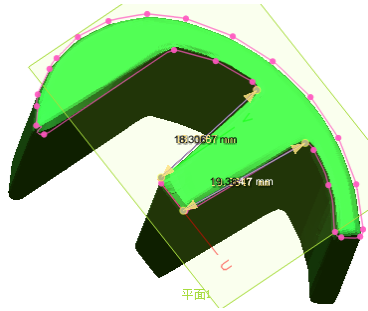


图3 单髁置换假体尺寸测量及特征的重构

Figure 3 Measurements of the size and reconfiguration of features of unicompartmental prosthesis

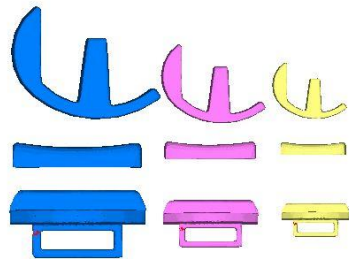
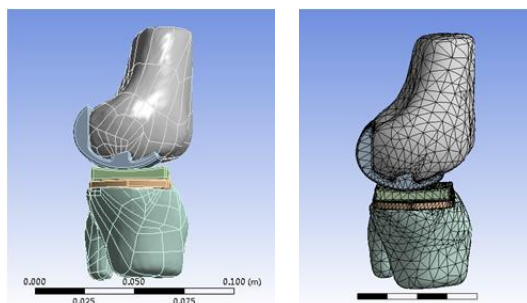


图4 不同尺寸单髁置换假体系列化模型

Figure 4 Series model of unicompartmental prosthesis with different sizes

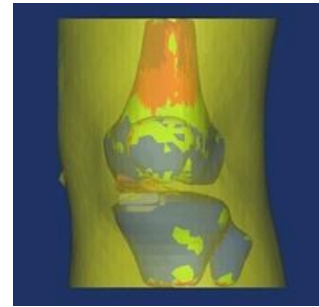


a: 三维模型模拟膝关节单髁置换 b: 生成膝关节单髁置换三维有限元模型

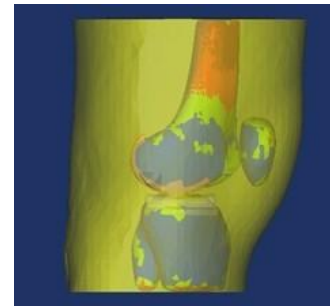
图5 膝关节单髁置换三维模型及有限元模型

Figure 5 Three-dimensional model and finite element model of unicompartmental keen athroplasty

材料和参数:将手术模拟模型导入到Ansys workbench 软件进行网格划分后,获得节点共86 342个,单元共65 398个,同时设置皮质骨的弹性模量为16.8 GPa,泊松比为0.3,假体弹性模量为210GPa,泊松比为0.3^[25-26],见图6。



a: 前视图

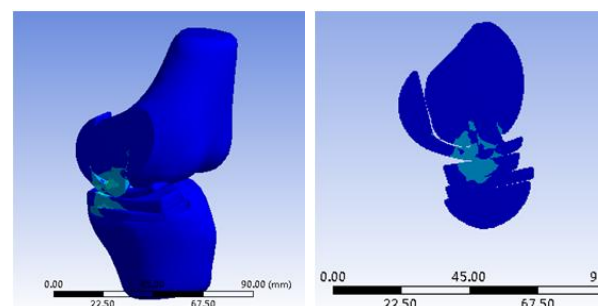


b: 侧视图

图6 膝关节单髁置换数字模型

Figure 6 Mathematical model of unicompartmental keen athroplasty

有限元分析:见图7。



a: 斜切图

b: 剖面图

图7 膝关节单髁置换模型内部应力分布图

Figure 7 Von Mises stress distribution of model of unicompartmental keen athroplasty

实验选取双足站立位,双膝承重约为人体总质量的85.6%,假设总体质量为65 kg,因此单膝承质量约为

27.82 kg; 所以于股骨上端截面施加280 N载荷, 模拟人站立时股骨上端所受到的压力; 对胫骨下端施加边界条件模拟其固定不动; 创建四对面接触对, 然后设定分析并求解计算, 获得膝关节单髁置换模型不同结构应力分布情况图。

2 结果

在模型设计过程中, 假体模型的建立速度是决定整个建模法效率的关键。在设计与骨性结构相匹配的假体时, 假体形状和尺寸有一定的模糊性, 要在高级装配验证之后才能确定, 因此需要所设计的假体具有易于修改的柔性; 而参数化设计方法就是将模型中的定量信息变量化, 使之成为任意调整的参数, 那样就可以对变量化参数赋予不同数值, 从而得到不同大小和形状的合适假体并最终装配组合成能满足科研与临床需求的膝关节单髁置换数字模型。实验结合三维扫描技术和计算机辅助设计技术, 运用三维参数化设计技术建立膝关节单髁置换的三维有限元模型, 总节点共86 342个, 单元共65 398个。该模型获得了膝关节单髁置换的形态, 精确度高, 形态逼真, 完整重现了膝关节单髁置换的复杂几何外形, 具有良好的几何相似性, 能够真实地反映膝关节单髁置换的解剖结构。

3 讨论

既往针对膝关节假体三维建模有常用的3种方法, 分别为: 三维测量法、磨片法和基于CT技术建模法, 这三种建模成本较高、效率低, 花费大量的人力物力, 同时, 假体模型的重复利用率低。例如, 同一个病例往往有许多种手术方案, 每个方案需要假体的零件又不一样; 或不同病例又需要不同的假体, 那么原来的模型就无法适应, 因为传统的建模技术大都是用固定的尺寸值定义几何元素, 输入的每一个几何元素都有确定的位置, 要想修改设计内容, 只有删除原来几何元素后方能重新设计, 甚至需要重新建模^[27], 这给科研设计人员带来了大量繁重而又乏味的事务性工作, 极大地阻碍了骨科数字化研究的发展。

使用参数化建模技术可彻底克服传统设计模式的弊端, 研究人员只需调整参数值就能实现自动建模, 减少了重复性工作, 较大幅度的提高工作效率^[28], 这种优势在系列化产品设计中尤为明显。实验正是基于参数化

设计方法联合三维扫描技术、逆向工程技术和有限元技术建立膝关节单髁置换三维有限元模型, 并对设计过程进行了存储, 只需调整参数就能修改模型的尺寸, 从而得到系列化的设计效果。

实验所建立的模型经验证合理可靠。根据参数化设计思想重建的几何模型逼真、客观, 真实反映了膝关节单髁置换的结构特点和生物力学属性, 为膝关节单髁置换的生物力学研究提供了模型基础和新的实验思路。因此, 三维参数化建模技术在膝关节外科的临床和科研中将有广泛的应用前景。

基金资助: 2010 高等学校博士学科点专项科研基金(20104425120012); 2011 广东省自然科学基金面上项目(S2011040005966)。

作者贡献: 第一作者和通讯作者构思并设计本研究, 所有作者参与研究并共同起草, 第一作者与通讯作者对文章负责。

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: 受试者自由参加, 对实验过程完全知情同意。

作者声明: 文章为原创作品, 数据准确, 内容不涉及泄密, 无一稿两投, 无抄袭, 无内容剽窃, 无作者署名争议, 无与他人课题以及专利技术的争执, 内容真实, 文责自负。

4 参考文献

- [1] Yao YL, Yao JL, Cheng YQ, et al. Zhongguo Yiyao Zhinan. 2012; 10(3):274-275.
姚云利, 姚俊利, 程月起, 等. 膝关节单髁置换术患者围手术期护理[J]. 中国医药指南, 2012, 10(3):274-275.
- [2] Xue HM, Cai MW, Tu YH. Zhonghua Guanjie Waikē Zazhi: Dianziban. 2012; 6(3):456-460.
薛华明, 蔡珉巍, 涂意辉. 膝关节外侧间室单髁置换术临床应用进展[J]. 中华关节外科杂志: 电子版, 2012, 6(3):456-460.
- [3] Tang HT, Zhao L, Yan H, et al. Zhongguo Xiufu Chongjian Waikē Zazhi. 2012; 26(1):17-20.
唐恒涛, 赵亮, 燕华, 等. Oxford III单髁系统治疗膝关节内侧间室退变的中期疗效[J]. 中国修复重建外科杂志, 2012, 26(1):17-20.
- [4] Pandit H, Jenkins C, Barker K, et al. The Oxford medial unicompartmental knee replacement using a minimally-invasive approach. J Bone Joint Surg Br. 2006; 88(1):54-60.
- [5] Goodfellow JW, O'Connor JJ, Dodd CA, et al. Unicompartmental Arthroplasty with the Oxford knee. New York: Oxford University Press. 2006.
- [6] Price A, Svard U. 20-year survival and 10-year clinical results of the Oxford medial UKA. In: Proceedings of the American Academy of Orthopedic Surgeons Annual Meeting. 2006; Chicago. III. 538.

- [7] Riddle DL, Jiranek WA, McGlynn FJ. Yearly incidence of unicompartmental knee arthroplasty in the United States. *J Arthroplasty*.2008;23(3):408-412.
- [8] Berger RA, Meneghini RM, Jacobs JJ, et al. Results of unicompartmental knee arthroplasty at a minimum of ten years follow-up. *J Bone Joint Surg(Am)*.2005;87(5):999-1006.
- [9] Newman J, Pydisetty RV, Ackroyd C. Unicompartmental or total knee replacement: the 15-year results of a prospective randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg(Br)*.2009; 91(1):52-57.
- [10] Zhang C, Chen Y, Zhang CL, et al. *Zhonghua Guanjie Waiké Zazhi: Dianziban*. 2010;4(2):26-29.
张催, 陈游, 张春雷, 等. 单髁置换术与全膝关节置换术治疗膝关节间室骨性关节炎近中期疗效的对比研究[J]. *中华关节外科杂志: 电子版*, 2010, 4(2): 26-29.
- [11] Jamali AA, Scott RD, Rubash HE, et al. Unicompartmental knee arthroplasty: past, present, and future. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*.2009;38(1):17-23.
- [12] Liu XD, Cai MW, Tu YH. *Zhongguo Jiaoxing Waiké Zazhi*. 2010; 18(7):548-552.
刘晓东, 蔡珉巍, 涂意辉. 微创单髁置换术治疗膝关节内侧间室骨性关节炎的初步临床报告[J]. *中国矫形外科杂志*, 2010, 18(7): 548-552.
- [13] Hamilton WG, Collier MB, Tarabee E, et al. Incidence and reasons for reoperation after minimally invasive unicompartmental knee arthroplasty. *J Arthroplasty*.2006; 21(Supple 2):98-107.
- [14] Eickmann TH, Collier MB, Sukezaki F, et al. Survival of medial unicompartmental arthroplasties placed by one surgeon 1984-1998. *Clin Orthop Relat Res*.2006;452(1):143-149.
- [15] Hernigou P, Deschamps G. Alignment influences wear in the knee after medial unicompartmental arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*.2004;423(1):161-165.
- [16] Wang XB, Wang ZY, Wu SF, et al. *Jixie Kexue yu Jishu*. 2010; 29(2):153-158.
王相兵, 王宗彦, 吴淑芳, 等. 面向模块化、智能化、参数化的产品变型设计技术研究[J]. *机械科学与技术*, 2010, 29(2): 153-158.
- [17] Gao XS, Jiang K. *Jisuanji Fuzhu Sheji yu Tuxingxue Xuebao*. 2004;16(4):385-396.
高小山, 蒋鲲. 几何约束求解研究综述[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2004, 16(4): 385-396.
- [18] Yu ZF, Song WB, Qian JJ, et al. *Feiji Sheji*. 2010;30(3):27-30.
于哲峰, 宋文斌, 钱晶晶, 等. 机翼几何外形的CATIA参数化建模实现方法[J]. *飞机设计*, 2010, 30(3): 27-30.
- [19] Chen L, Zhong LW, Zhu WB. *Jisuanji Yingyong Yanjiu*. 2010; 27(10):3958-3960.
陈龙, 仲梁维, 朱文博. 支持人体模型驱动的三维服装参数化设计[J]. *计算机应用研究*, 2010, 27(10): 3958-3960.
- [20] Yin HT. *Jisuanji Yingyong Jishu*. 2010;1(37):39-41.
尹海涛. 高速列车有限元参数化[J]. *计算机应用技术*, 2010, 1(37): 39-41.
- [21] Wang N, Kong L, Zhang CB, et al. *Shiyong Kouqiang Yixue Zazhi*. 2010;26(3):293-297.
汪娜, 孔亮, 张春宝, 等. 参数化可自适应改变的桩核冠三维有限元模型的建立[J]. *实用口腔医学杂志*, 2010, 26(3): 293-297.
- [22] Zhang QD, Liu CH. *Zhongguo Jiaoxing Waiké Zazhi*. 2009; 17(17):1319-1321.
张启栋, 刘朝晖. 人工膝关节单髁关节置换术研究进展[J]. *中国矫形外科杂志*, 2009, 17(17): 1319-1321.
- [23] Guo WS, Liu CH, Cheng LM, et al. *Zhongri Youhao Yiyuan Xuebao*. 2008;22(5):263-265.
郭万首, 刘朝晖, 程立明, 等. 小切口单髁置换术治疗膝关节骨性关节炎[J]. *中日友好医院学报*, 2008, 22(5): 263-265.
- [24] Li XY, Zhao YW, Zhu X, et al. *Guangdong Yixue*. 2010;31 (Suppl): 51-52.
李晓宇, 赵要武, 朱啸, 等. 下颌第二前磨牙种植体全瓷冠修复三维有限元模型的CT扫描建模[J]. *广东医学*, 2010, 31(Suppl): 51-52.
- [25] Yan SG, He RX, Chen WS, et al. *Zhonghua Guke Zazhi*. 2004; 24(9):561-565.
严世贵, 何荣新, 陈维善, 等. 全髋关节置换前后股骨应力变化的有限元分析[J]. *中华骨科杂志*, 2004, 24(9): 561-565.
- [26] Tan RC, Fan HS, Wu F, et al. *Shengwu Yixue Gongchengxue Zazhi*. 2011;28(4):732-736.
谭瑞昌, 范红松, 吴方, 等. 齿槽型人工髋关节骨应力分布的三维有限元分析[J]. *生物医学工程学杂志*, 2011, 28(4): 732-736.
- [27] Wang WG, Zhang SF, Chen JJ, et al. *Linchuang Kouqiang Yixue Zazhi*. 2011;27(1):8-10.
王卫国, 张少锋, 陈建军, 等. 下颌第一磨牙全瓷冠参数化三维有限元模型的建立[J]. *临床口腔医学杂志*, 2011, 27(1): 8-10.
- [28] Fu JY, Liu Y. *Jisuan Guanli Kaifa*. 2011;1:42-43.
付骏宇, 刘源. 关于机械零件三维参数化实体模型建立的思考[J]. *机械管理开发*, 2011, 1: 42-43.