

# 计算机辅助设计股骨远端个性化解剖型接骨板

任龙韬<sup>1</sup>, 张云鹏<sup>2</sup>, 郭志坚<sup>1</sup>, 卜祥坤<sup>3</sup>, 林树忠<sup>1</sup>

## Computer-aided personalized anatomic plate of the distal femur

Ren Long-tao<sup>1</sup>, Zhang Yun-peng<sup>2</sup>, Guo Zhi-jian<sup>1</sup>, Bu Xiang-kun<sup>3</sup>, Lin Shu-zhong<sup>1</sup>

### Abstract

**BACKGROUND:** The existing anatomic plates are lack of personalization.

**OBJECTIVE:** To establish a three-dimensional solid model of distal femoral fracture based on CT scanning data and to design a solid model of personalized anatomic plate.

**METHODS:** One case of male patient with distal femoral fracture was used in the experiment, and the raw data of selected regions was obtained through the thin slices CT scan. The data was saved in Dicom format and exported into the Mimics software, and then a solid model of distal femoral fractures was obtained. The model was saved in IGES format, and imported into Geomagic software, transformed IGES point cloud data into polygon model and mesh model of the structure, finally the closed NURBS surface model was obtained. The femur surface model was filed into UG software in IGES format, selected the best surface fitting with the plate according to surgical experience and demand on the femur surface plate.

**RESULTS AND CONCLUSION:** ①A three-dimensional solid model of complex distal femoral fracture was established. ②A three-dimensional solid model of personalized anatomic plate which has a good facial fit and a special design of screw holes was established. ③The distal femoral personalized anatomic plate model and distal femur model were machined. The profile of model was realistic and closed to the normal, which has best surface fitting and special design of screw holes.

Ren LT, Zhang YP, Guo ZJ, Bu XK, Lin SZ. Computer-aided personalized anatomic plate of the distal femur. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011;15(13): 2309-2312. [http://www.crter.cn http://en.zgckf.com]

### 摘要

**背景:** 现有解剖型接骨板在个性化方面存在缺点及不足。

**目的:** 用CT原始数据建立股骨远端骨折模拟复位后的三维实体模型, 并设计个性化解剖型接骨板的三维实体模型。

**方法:** 选取1例左股骨远端骨折患者的CT扫描原始数据。导入Mimics软件, 得到股骨远端骨折模拟复位的三维实体模型; 用Geomagic软件转换为符合要求的NURBS封闭曲面模型; 接着用UG软件设计出接骨板的内外表面, 得到模型数据, 确定螺钉孔的位置并设计螺钉孔, 并对设计好的接骨板进行数控编程。将生成的NC代码输入数控机床, 加工出股骨远端个性化解剖型接骨板。

**结果与结论:** ①建立了股骨远端复杂骨折模拟复位后的三维实体模型。②建立了股骨远端个性化解剖型接骨板的三维实体模型及股骨远端个性化解剖型接骨板螺钉系统装配的三维实体模型。③加工出了股骨远端个性化解剖型接骨板模型及股骨远端骨骼模型。模型外形逼真, 接近真实情况, 具有良好的骨面贴合性和特殊的螺钉孔设计。

**关键词:** 接骨板; 个性化; 三维重建; 数字化技术; 股骨骨折, 远端

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2011.13.008

任龙韬, 张云鹏, 郭志坚, 卜祥坤, 林树忠. 计算机辅助设计股骨远端个性化解剖型接骨板[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(13):2309-2312. [http://www.crter.org http://cn.zgckf.com]

## 0 引言

股骨远端骨折发生率占有所有股骨骨折的4%~7%<sup>[1]</sup>, 在其内固定治疗中, 解剖型接骨板的应用较广泛<sup>[2]</sup>。现有的解剖型接骨板由于患者个体在骨骼形态上存在的差异性和骨折的差异性, 即个性化差异, 即使接骨板制造商将其规格型号分得足够细, 其接骨板与骨骼表面的吻合性与螺钉的位置等并不理想, 术前必须准备足够的、可能用到的接骨板型号和规格, 即便如此仍不可避免手术时医生临时性的再塑形, 除非牺牲复位正确性而迁就接骨板的形状。不仅增加了手术的随意性和操作难度, 接骨板与骨表面的吻合性、内固定的稳定性和复位的

正确性都难以保证。对于医用不锈钢、钛及钛合金材料而言, 这种冷变形理论上是被禁止的, 因为冷折弯将改变材料内部的金相结构, 降低它的强度及耐腐蚀性能<sup>[3]</sup>。手术中接骨板的再塑形可能是导致内固定失败的原因之一。另外接骨板上螺钉孔的位置, 有时不能满足固定所有骨折块的要求, 有时螺钉孔正好在骨折线上, 影响内固定的强度和效果。上述情况都可能是造成内固定失败的另一原因<sup>[4]</sup>。

基于现有解剖型接骨板在个性化方面存在的缺点及不足等问题。本实验探索利用个人计算机及现有软件, 用CT原始数据建立股骨远端骨折模拟复位及个性化解剖型接骨板的三维实体模型, 对个性化解剖型接骨板的设计进行理论研究。

<sup>1</sup>Taiyuan Central Hospital, Taiyuan 030009, Shanxi Province, China; <sup>2</sup>Heping Hospital of Changzhi Medical College, Changzhi 046000, Shanxi Province, China; <sup>3</sup>Lübo Medical Equipment Co., Ltd., Taiyuan 030006, Shanxi Province, China

Ren Long-tao, Chief physician, Master's supervisor, Taiyuan Central Hospital, Taiyuan 030009, Shanxi Province, China  
Renlongtaoguke@163.com

Received: 2010-11-19  
Accepted: 2011-02-20

<sup>1</sup> 太原市中心医院, 山西省太原市 030009; <sup>2</sup> 长治医学院附属和平医院, 山西省长治市 046000; <sup>3</sup> 太原市绿波医疗器械有限公司, 山西省太原市 030006

任龙韬, 男, 1958年生, 山西省太原市人, 汉族, 1982年山西医科大学毕业, 主任医师, 硕士生导师, 主要从事骨关节疾病研究。  
Renlongtaoguke@163.com

中图分类号: R318  
文献标识码: A  
文章编号: 1673-8225 (2011)13-02309-04

收稿日期: 2010-11-19  
修回日期: 2011-02-20  
(201011190004/W·Z)

## 1 对象和方法

**设计:** 单一样本观察。

**时间及地点:** 实验于2008-07/2010-03在太原市中心医院进行取材设计, 所得数据后由太原绿波医疗器械有限公司加工完成。

**对象:** 选取1例46岁男性志愿患者的左股骨远端粉碎骨折(AO分型33-C3型骨折)的64排CT薄层扫描的原始数据<sup>[2]</sup>。本实验经太原市中心医院伦理委员会审查同意。

**实验设备及软件:**

实验设备及软件	来源
Toshiba aquilion 64 排螺旋 CT	日本东芝公司生产
Mimics12.0 软件试用版	Materialise 公司
Geomagic Studio 9 软件	RainDrop 公司
UG NX 5.0 软件	EDS 公司

**个人计算机主要配置:** CPU: Intel酷睿2双核T5470 (1.6 GHz); 内存: 1 G; 显卡: 384 M; 硬盘: 120 G。

**实验方法:**

**骨折部位的CT扫描:** CT扫描条件: 电压120 kV, 电流120 mA, 扫描时间1.5 s, 连续扫描得到层厚0.5 mm, 512×512像素, 单像素大小0.583, 水平面图像927幅, 将Dicom格式原始数据导出备用。

**股骨远端骨折三维模型重建:** 在Mimics软件中输入选取的CT原始图像数据(Dicom格式), 可得到股骨远端骨折的初步三维模型; 选取远端骨折中有诊断、治疗价值的或准备进一步研究的区域为目标区域; 将影响目标区域的干扰部分骨骼去除, 如正常的胫骨上段、腓骨上段及髌骨, 其中相互独立部分用“分离”命令进行操作, 重叠连接部分用“切割”命令进行操作, 得到骨折的股骨远端三维模型。

**骨折三维模型模拟复位:** 在Mimics软件中综合利用多种功能, 将各个骨折块变成单独个体, 每个骨块指定成不同的颜色。在分析不明确的骨折线或骨折块嵌插等情况时需人为界定。用定位命令进行移位、旋转等操作对各骨折块进行复位, 保证相应的面、角、线的对合, 恢复其正常的解剖结构, 然后用合并命令将分离并模拟复位后的所有骨折块拼成一个整体。以IGES标准格式将模型输出, 得到复位后的点云数据。通过Geomagic软件的曲面重构功能, 完成IGES点云数据到多边形模型和网格模型的构造。

**个性化接骨板的外形及螺钉孔的设计:** 将股骨曲面模型文件导入UG软件, 根据手术要求及经验在股骨曲面上选取最佳的接骨板贴合面, 将与接骨板贴合处的股骨外表面按照设计要求裁剪下来作为个性化解剖型接骨板

的下表面(即板骨贴合面), 再用UG软件的曲面造型功能设计接骨板的上表面和侧面, 形成接骨板空腔模型, 实体化后得到个性化解剖型接骨板的模型数据。把接骨板模型数据保存为STL格式文件, 将设计出的个性化解剖型接骨板与复位后的骨骼模型在UG及Mimics软件中进行装配, 以此来检验接骨板设计的合理性。参照Mimics软件中的骨骼复位情况确定最佳的接骨板螺钉打孔位置及方向。经对比, 在UG软件中确定个性化接骨板表面螺钉孔的位置; 根据螺钉孔的尺寸要求在接骨板上设计钉孔。依据在Mimics软件中的3D测量结果, 在UG软件中选用合适尺寸和型号的螺钉并按手术要求进行虚拟装配。将螺钉数据保存为STL格式的文件并导入Mimics软件。由于Mimics软件中有复位后的股骨进行对比, 操作医生即可在Mimics软件中的装配图验证接骨板设计, 螺钉孔设计, 螺钉打入位置及方向是否符合要求。

**个性化解剖型接骨板的制造及复原骨骼模型的建立:** 在设计好接骨板后, 利用UG软件中的计算机辅助制造(CAM)模块对接骨板进行数控编程, 生成NC代码后输入到数控机床中生产出接骨板和复位后的股骨远端模型, 接骨板消毒后备用。

**主要观察指标:** ①个性化接骨板与复位骨骼的贴合程度。②个性化接骨板上螺钉孔的位置是否满足固定主要骨折块的要求。

## 2 结果

本实验中应用DICOM格式的CT扫描原始数据直接导入医学图像建模软件Mimics中所建立的股骨远端复杂骨折三维实体模型, 接近骨折后的真实情况。并在Mimics中建立股骨远端骨折模拟复位后的三维实体模型, 外形逼真, 见图1。

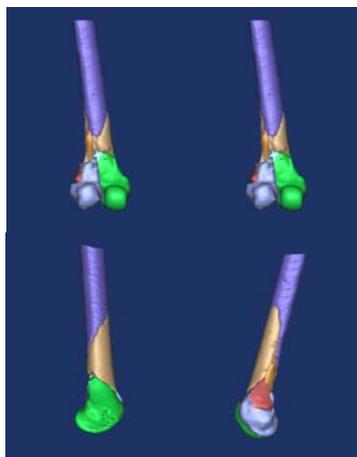


Figure 1 A three-dimensional solid model of complex distal femoral fracture  
图1 股骨远端骨折模拟复位后的三维实体模型

所得结果在Geomagic及UG软件中建立的个性化解剖型接骨板的三维实体模型及个性化解剖型接骨板螺钉系统装配的三维实体模型, 见图2。

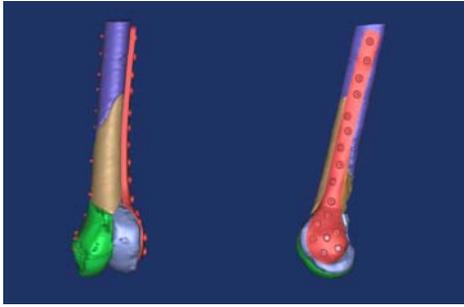


Figure 2 A three-dimensional solid model of personalized anatomic plate which has a good facial fit and a special design of screw holes

图2 骨、板、螺钉系统装配的三维实体模型

利用UG软件对接骨板进行数控编程, 生成NC代码输入数控机床, 可加工出所设计的股骨远端个性化解剖型接骨板及股骨远端模型。再将加工出的个性化解剖型接骨板与现有解剖型接骨板在加工出的股骨模型上进行模拟安装对比, 见图3, 为进一步生物力学研究做准备。

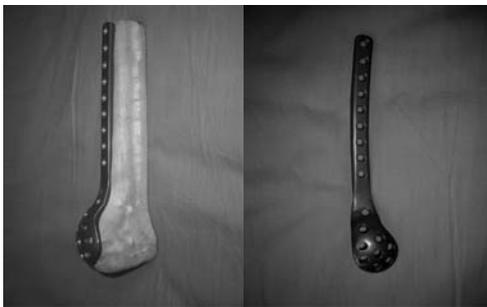


Figure 3 Simulate assemblage of the personalized anatomic plate and distal femur model

图3 接骨板和股骨模型模拟安装

### 3 讨论

**3.1 设计中相关的理论基础** 根据力学原理, 在同等大小的作用力情况下, 接触面积越大, 应力越分散, 压强就越小。本设计增加了接骨板与骨面贴合程度, 即增大接触面积, 同等条件下可承担更大的应力; 同时接骨板近端直型部分和远端解剖型部分厚薄不均匀, 使接骨板应力更加分散, 符合人体生物力学和解剖学的要求。

骨折线处为应力集中的部位<sup>[5]</sup>, 内固定应该加强该部位的强度, 但在实际情况中, 由于既有产品的螺钉孔

是等距离分布, 手术中往往会有接骨板的螺钉孔在骨折线处, 造成此处的应力更加集中, 临床上所见到的接骨板断裂几乎都在空置的螺钉孔处。本实验就是在术前进行设计, 骨折线处的接骨板不打孔, 增大了作用面积, 使应力分散, 理论上降低了接骨板断裂的可能性(有待生物力学实验证明)。

医用不锈钢、钛及钛合金接骨板的特性之一是冷折弯或表面刮擦将导致金属内部结构的改变、显著影响其刚度、抗疲劳强度及耐腐蚀性。本实验根据每个个体的CT原始数据进行完全个性化的骨面情况及骨折情况设计, 增加了板骨结合面, 无需冷折弯, 不会改变其金属内部的金相结构, 不影响其刚度、抗疲劳强度以及耐腐蚀性。

现有解剖型接骨板的形状及螺钉孔是针对所有骨折类型设计的。本实验是根据某一个骨折患者其独特的骨折类型情况进行设计, 在接骨板的形状及螺钉孔的设计上完全针对每个患者的骨折情况, 尽量照顾到各个骨折块的复位和固定要求。

**3.2 实验数据和硬件配置要求** 本实验所采用的数据为CT原始数据, Dicom格式, 此种数据格式包含了所采集影像资料的全部信息。本实验所用的数据为64排螺旋CT薄层扫描得到, 层厚为0.5 mm。但是对于螺旋CT, 只要将扫描层厚设置到一定范围也可达到要求, 层厚越小三维重建的效果越好, 一般不应大于1 mm。本实验所要求的硬件条件也较低, 即为普通的个人计算机, 最低达到本实验计算机配置即可胜任工作, 进入软件处理可获得良好效果的三维实体重建模型。

**3.3 本实验的意义** 根据CT原始数据建立股骨远端复杂骨折模拟复位后的三维实体模型, 可作为个性化解剖型接骨板的设计基础。虽然数字化技术在医学各领域的应用非常广泛<sup>[6-17]</sup>, 但本实验是应用于四肢长骨骨端复杂骨折, 目前这方面的研究和报道较少。本实验所建立的股骨远端复杂骨折模拟复位后的三维实体模型及股骨远端个性化解剖型接骨板的三维实体模型, 为进一步进行骨骼及内植物的生物力学实验及有限元分析奠定了基础<sup>[18-23]</sup>, 并可用于计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)<sup>[24-30]</sup>, 而本实验直接将CT原始数据导入到相关软件进行术前模拟手术复位, 可得到二维或三维图像进行任意长度及角度分割观察, 立体长度、方向测量, 并设计出了个性化的内固定材料, 所得数据可直接导入数控机床即可生产出针对具体某个患者的个性化解剖型接骨板。

本实验采用的是股骨远端骨折模型, 采用相同原理可扩展到所有长骨骨折。

**3.4 不足及后续研究的方向** 现有软件还不够完善, 操作较复杂, 开发一套完善的适用程序作为从导入CT数据到输出供数控机床使用的数据为今后研究的方向

之一。另一个方向是需要建立一套骨骼、接骨板的有限元生物力学系统, 在设计接骨板的形状及设计螺丝钉孔位置时进行生物力学分析, 避免应力过度集中于某个部位影响接骨板的有效性。

#### 4 参考文献

- [1] Wang YZ, Guyu Guan jie Sun shang. 2007:1276. 王亦璠.骨与关节损伤[M].4版.北京:人民卫生出版社,2007:1276.
- [2] Ruedi TP, Marphy WM.骨折治疗的AO原则[M].王满宜,杨庆铭,曾炳芳,等译.北京:华夏出版社,2003:53.
- [3] Leyens C,Peters M.钛与钛合金[M].陈振华译.北京:化学工业出版社,2005:22-23.
- [4] Ren LT,Shiyong Guke Zazhi. 2005;6:522-523. 任龙韬.钢板断裂的原因及其预防[J].实用骨科杂志,2005,11(6):522-523.
- [5] Xu ST,Ge BF,Beijing: People' s Military Medical Perss. 2005:48-51. 胥少汀,葛宝丰,徐印坎.实用骨科学[M].3版,北京:人民军医出版社,2005:48-51.
- [6] Zhang CB, Ma XX, Zhang SF, et al. Shiyong Kouqiang Yixue Zazhi. 2003;19(2):103-106. 张春宝,马轩祥,张少峰,等.根骨内种植体植入牙槽骨吸收的中切牙的有限元应力分析[J].实用口腔医学杂志, 2003,19(2):103-106.
- [7] Yang ZY, Cheng LM, Tu X, et al. Dier Junyi Daxue Xuebao. 2008;29(11):1316-1319. 杨志勇,程黎明,涂熙,等.锁骨三维有限元模型的建立及生物力学分析[J].第二军医大学学报,2008,29(11):1316-1319.
- [8] Li FY. Zhongguo Youxiu Shuoshi Xuwei Lunwen Quanwen Shujuku. 2008. 李芳燕. 基于三维有限元模型的脊柱生物力学特性研究[D].中国优秀硕士学位论文全文数据库,2008.
- [9] Duan LQ. Zhongguo Youxiu Shuoshi Xuwei Lunwen Quanwen Shujuku. 2007. 段丽群.正常儿童髋关节三维有限元模型的建立及初步生物力学分析[D].中国优秀硕士学位论文全文数据库,2007.
- [10] Cao ZY. Zhongguo Youxiu Shuoshi Xuwei Lunwen Quanwen Shujuku. 2009. 曹振羽.有限元方法在骨盆骨折生物力学研究中的应用[D].中国优秀硕士学位论文全文数据库,2009.
- [11] Li G, Gil J, Kanamori A. A validated three-dimensional computational model of a human knee joint. Biomech Eng.1999; 121:657-662.
- [12] Beaugonin M, Haug E, Cesari D. Improvement of numerical ankle/foot model: modeling of deformable bone. 41st Stapp Car Crash Conference Proceedings. 1997: 225-237.
- [13] Moojen TM, Snel JG, Ritt MJ, et al. In vivo analysis of carpal kinematics and comparative review of the literature. J Hand Surg. 2003;28:81-87.
- [14] Jia XH, Zhang M, Lee WCC. Load transfer mechanics between trans-tibial prosthetic socket and residual limb dynamic effects. Biomech. 2004;37:1371-1377.
- [15] Zeng YS. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2008;12(35):6911-6914. 曾育山.假肢接受腔界面应力的有限元分析[J].中国组织工程研究与临床康复,2008,12(35):6911-6914.
- [16] Lai Q, Cao XJ. Zhongguo Kangfu Lilun yu Shijian. 2010;16 (1):40-41. 赖卿,曹学军.生物力学用于假肢性能评价的研究进展[J].中国康复理论与实践,2010,16(1):40-41.
- [17] Tian YY. Zhongguo Youxiu Shuoshi Xuwei Lunwen Quanwen Shujuku. 2010. 田有勇.股骨髁有限元模型的建立及表面软骨不同切除后髌部力学变化的有限元分析[D].中国优秀硕士学位论文全文数据库,2010.
- [18] Joyce H K,Stephen A R.Prediction of femoral fracture load using finite element models:an examination of stress-and strain-based failure theories.J Biomech. 2000;33(2):209-214.
- [19] Schmitt J,Meiforth J,Lengsfeld M.Development of a hybrid finite element model for individual simulation of intertrochanteric osteotomies.Medical Engineering&Physics.2001;23:529-539.
- [20] Waide V,Cristofolini L,Stolck J,et al.Modelling the fibrous tissue layer in cemented hip replacements:experimental and finite element methods.J Biomech. 2004 Jan;37(1):13-26.
- [21] Zhang YP,Ren LT.Zhongguo Xiandai Yisheng. 2010;48(6):42-43. 张云鹏,任龙韬.胫骨平台复杂骨折三维实体模型的建立及应用,[J]中国现代医生,2010,48(6):42-43.
- [22] Wu YJ. Zhongguo Youxiu Shuoshi Xuwei Lunwen Quanwen Shujuku. 2010. 吴彦杰.膝关节有限元模型的建立及交叉韧带应力分布的研究[D].中国优秀硕士学位论文全文数据库,2010.
- [23] Wang X, Ma X, Tao K, et al. Zhongguo Shengwu Yixue Gongcheng Xuebao. 2008;27(2):287-292. 王旭,马昕,陶凯,等.足踝有限元模型的建立与初步临床应用[J].中国生物医学工程学报,2008,27(2):287-292.
- [24] Stahel PF,Smith WR,Morgan S.J.Posteromedial fracture fragments of the tibial plateau: an unsolved problem?J Orthop Trauma.2008; 22(7):504.
- [25] Hu YL,Ye FG, Ji AY, et al. Three-dimensional computed tomography imaging increases the reliability of classification systems for tibial plateau fractures.Injury.2009;40(12):1282.
- [26] Zhang Y,Wan L,Yin QS, et al.Zhonghua Chuangshang Guke Zazhi. 2009;11(6):509-511 章莹,万磊,尹庆水,等.计算机快速成型辅助个体化三踝骨折的手术治疗[J].中华创伤骨科杂志,2009,11(6):509-511.
- [27] Yin QS, Wan L. Zhongguo Guke Linchuang Yuji Chuyan Jiuzhi. 2009,1:77-78. 尹庆水,万磊.数字骨科-信息化世纪的新骨科数字骨科入门(一)[J].中国骨科临床与基础研究杂志,2009,1:77-78
- [28] Schepers T,van Lieshout EM,Ginai AZ, et al.Calcaneal fracture classification: a comparative study.J Foot Ankle Surg.2009; 48(2): 156.
- [29] Zhang YP,Ren LT,Shiyong Guke Zazhi.2009;15(6):427-430. 张云鹏,任龙韬.计算机辅助骨科手术的概况与进展[J].实用骨科杂志,2009,15(6):427-430.
- [30] Ding HW,Tang SL,Zhao ZY, et al.Shengwu Guke Cailiao Yulin Chuangyan Jiu.2005; 2(1):1-4. 丁焕文,唐春雷,赵中岳,等.个体化组织工程支架CAD设计与RP 制作的方法的研究[J].生物骨科材料与临床研究,2005, 2(1):1-4.

#### 来自本文课题的更多信息--

**作者贡献:** 实验设计由第一、二、四作者完成, 实验实施、评估由第一、二、三、五作者完成, 均经过正规培训, 未采用盲法评估。

**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。

**伦理批准:** 本实验经太原市中心医院伦理委员会审查同意。

**本文创新性:** 文章的创新性在于利用个人计算机及现有软件, 用 CT 原始数据建立股骨远端骨折模拟复位及个性化解剖型接骨板的三维实体模型, 对个性化解剖型接骨板的设计理论及方法有所创新。