

基于逆向工程技术的人体股骨近端形态参数误差分析***

孟祥杰, 葛世荣

Human proximal femoral morphological parameters error analysis based on reverse engineering

Meng Xiang-jie, Ge Shi-rong

Abstract

BACKGROUND: Accurately describing the proximal femur morphology is very critical to the design and implantation of prosthesis.

OBJECTIVE: Based on reverse engineering, this paper tried to analyze the error generated when the proximal femoral morphological parameters describe the morphology of the proximal femur (Proximal femoral morphological parameters Error), classify the areas generating proximal femoral morphological parameters error, and give suggestions for improvement.

METHODS: Mimics and Imageware were used to measure the morphological parameters of a 25-year-old female's healthy hip to establish a model based on the parameters reversely. The commands "Curve-Cloud Difference" and "Surface to Cloud Difference" were used to analyze the proximal femoral morphological parameters error.

RESULTS AND CONCLUSION: The overall proximal femoral morphological parameters error of this female femoral was (1.29 ± 0.99) mm. Among the error, the out surface of the femoral shaft's matching error accounted for 70.43%, medullary cavity accounted for 21.46%, and the femoral head only accounted for 8.11%. The proximal femoral morphological parameters error existed in the following areas: the femoral head was not standard sphere; the intersecting curves between the five planes near the small rotor and the cortical bone surface was not simply circle or ellipse with same axis directions; the measurement of the small rotor's geometrical characteristics was also neglected. Improvements are as follows: researchers should measure both the length of the axes and the angle between the axes and the anteroposterior plane; researchers should also take more attention in measuring the geometrical characteristics of the rotor.

Meng XJ, Ge SR. Human proximal femoral morphological parameters error analysis based on reverse engineering. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011; 15(35): 6471-6474. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景: 准确描述股骨近端形态特征对髋关节假体设计和假体置入十分关键。

目的: 基于逆向工程技术, 对股骨近端形态参数描述股骨近端形态时产生的误差(简称股骨近端形态参数误差)进行有效分析。

方法: 基于 Mimics 软件、Imageware 软件, 对 1 例 25 岁女性健侧髋关节的股骨近端形态参数进行测量、逆向建模, 并利用 Imageware 中差异分析命令进行相关的曲线-点云及曲面-点云差异的计算与分析。

结果与结论: 该例股骨基于股骨近端形态参数逆向建模后模型与人体股骨点云的整体差异为 (1.29 ± 0.99) mm, 其中外壁的匹配误差占 70.43%, 髓腔占 21.46%, 股骨头占 8.11%。股骨近端形态参数误差存在于以下方面: 股骨头并不是标准球形; 股骨干于 5 个平面皮质骨内、外壁交线简单地认为是圆, 或者认为是长短轴方向不变的椭圆; 忽视小转子的几何特征的测量。提出以下改进意见: 应在测量长短轴长度的同时, 补充测量长短轴与正位片平面的夹角; 增加小转子几何特征的测量。

关键词: 股骨近端; 形态参数; 逆向工程; 误差分析; 数字化骨科技术

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2011.35.003

孟祥杰, 葛世荣. 基于逆向工程技术的人体股骨近端形态参数误差分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(35):6471-6474. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

0 引言

髋关节和膝关节作为人体的重要承重部位, 是关节损伤和炎症的多发部位。假体置换是缓解人体关节严重失效的常用方法之一^[1], 所以针对人体股骨近端形态的研究十分重要。研究发现, 国人股骨近端几何形态与白种人乃至韩国人差异有显著性意义($P < 0.001$)^[2]。基于此, 国内学者薛文东等^[2]、丁悦等^[3]、朱建炜等^[4]、梁捷宇等^[5]均对国人近端的几何形态进行研究。但目前股骨近端的形态参数所涵盖的信息仍有限, 针对股骨近端形态参数的误差分析研究亦较少。

逆向工程技术主要涉及物体数据化、从采集数据中分析物体的几何特征、物体三维模型重建、检验修正三维模型等。作为一种反求技术, 逆向工程技术的检验修正三维模型模块提供了一种可有效分析股骨近端形态参数误差的办法。Gu等^[6]基于逆向工程技术, 对髋臼软骨表面几何形态进行了研究, 但其研究基于尸骨, 进行点云取样时髋臼处于无载荷状态, 与人体髋臼形态存在差异。FU等^[7]基于逆向工程技术对一个有缺陷的头骨模型进行了重建。Zhang等^[8]基于逆向工程技术及三维建模技术对导航模板在微创髋髌关节骨折内固定的有效性进行研究, 证明了导航模板的有效性。本文基于逆向工程中检验修正三维模型技术, 对股骨近端

College of Mechanic and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu Province, China

Meng Xiang-jie★, Studying for master's degree, College of Mechanic and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu Province, China mxjdream8@163.com

Correspondence to: Ge Shi-rong, Doctor, Professor, College of Mechanic and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu Province, China

Supported by: the Major International Cooperation Project of the National Natural Science Foundation of China, No.30810103908*; the Scientific and Technological Research Project, Ministry of Health, China, No. LW201004*

Received: 2011-02-22
Accepted: 2011-05-03

中国矿业大学机电工程学院, 江苏省徐州市 221116

孟祥杰★, 男, 1988年生, 山东省平邑县人, 汉族, 中国矿业大学在读硕士, 主要从事生物摩擦方面研究。
mxjdream8@163.com

通讯作者: 葛世荣, 博士, 教授, 中国矿业大学机电工程学院, 江苏省徐州市 221116

中图分类号: R318
文献标识码: A
文章编号: 1673-8225 (2011)35-06471-04

收稿日期: 2011-02-22
修回日期: 2011-05-03
(20110222022/M · W)

形态参数误差进行有效分析, 旨在归类股骨近端形态参数误差产生区域, 并给出改进意见。该分析结果对髌关节形态参数的不断完善具有重要意义。

1 对象和方法

设计: 单一样本分析。

时间及地点: 2011-01-18在中国矿业大学摩擦学与可靠性工程研究所完成。

对象: 徐州医学院提供1例女性志愿者CT数据, 年龄25岁, 复习病史并进行X射线平片检测排除健侧髌关节疾患。

方法:

股骨近端形态参数制定: 近几年, 在股骨近端形态测量中, 闫宏伟等^[9]认为股骨干外壁、髓腔壁截面曲线是椭圆型二次曲线, 进行截面冠状径、矢状径测量。但是本文为了方便进行股骨近端形态参数误差分析, 决定沿用初始的髓腔壁、股骨干外壁拟合内、外径(简称拟合内、外径)。

具体16个参数为: 股骨头拟合球半径(R_1)、股骨颈干角(θ_1)、股骨前倾角(θ_2)、股骨颈长(D_1)、股骨头球心距小转子(LT)平面高度(H_1)、髓腔狭部平面距小转子平面高度(H_2)、股骨LT+20 mm平面处拟合内径(R_2)、股骨LT+20 mm平面处拟合外径(R_3)、股骨LT平面处拟合内径(R_4)、股骨LT平面处拟合外径(R_5)、股骨LT-20 mm平面处拟合内径(R_6)、股骨LT-20 mm平面处拟合外径(R_7)、股骨LT-40 mm平面处拟合内径(R_8)、股骨LT-40 mm平面处拟合外径(R_9)、股骨髓腔狭部平面处拟合内径(R_{10})、股骨髓腔狭部平面处拟合外径(R_{11})。

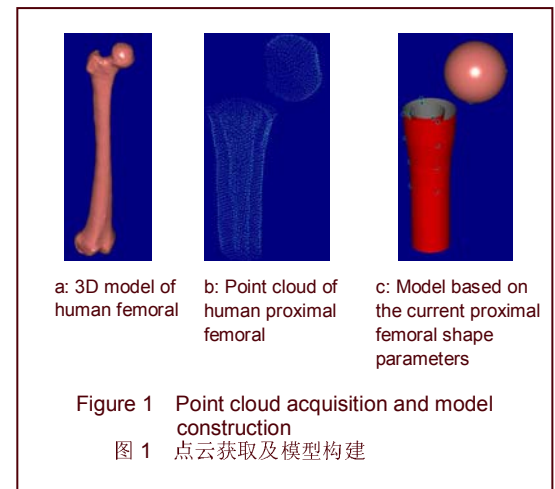
股骨近端形态参数测量: 对志愿者双下肢进行CT扫描, 将DICOM格式的CT数据导入图像处理软件Mimics, 通过对股骨皮质骨CT值的阈值进行分析、设定, 像素修补、区域增长, 生成股骨3D模型。

分别选取股骨小转子上20 mm与股骨髓腔狭部之间的皮质骨内外表面轮廓线进行直线拟合, 获得髓腔拟合中心线 l_1 , 股骨干外壁拟合中心线 l_2 。

将3D模型及两拟合中心线 l_1 、 l_2 均导入Imageware软件, 选择股骨头拟合球球心与 l_2 所决定的平面为正位片, 并分别对描述股骨近端形态的16个参数进行测量。各平面的拟合内外径是通过Imageware软件里面的“Curve form

cloud”指令拟合得到。

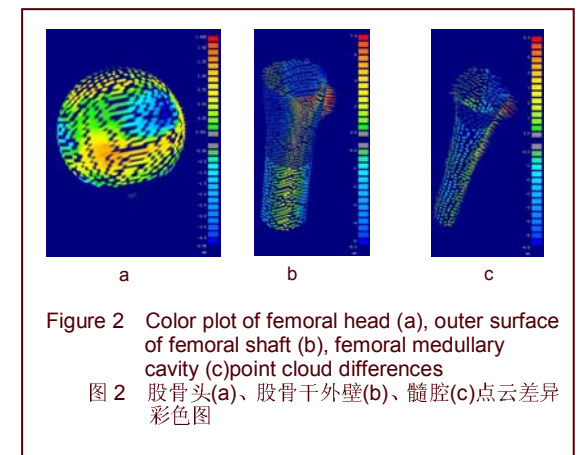
点云获取、模型构建及误差分析: 导入的3D模型, 见图1a; 利用Imageware软件中“Space Sampling”指令, 将股骨头、股骨小转子上20 mm与股骨髓腔狭部间皮质骨内外表面分割出来, 并分别点云化, 点云间距离设为2 mm, 得到股骨点云图见图1b; 根据股骨近端形态参数及股骨髓腔、股骨干外壁拟合中心线 l_1 、 l_2 , 利用Imageware软件中建模块建模型, 见图1c。基于Imageware软件中“Curve-Cloud Different”命令、“Surface to Cloud Different”命令进行相关曲线与点云、曲面与点云的匹配误差分析。



主要观察指标: 点云差异彩色图中颜色分布。在差异彩色图中, 红黄色为正向误差, 且颜色越红表示正向误差越大; 蓝色处股骨头点云为负向误差, 且颜色越蓝表示负向误差越大。

2 结果

2.1 股骨近端整体点云误差分析 见图2和表1。



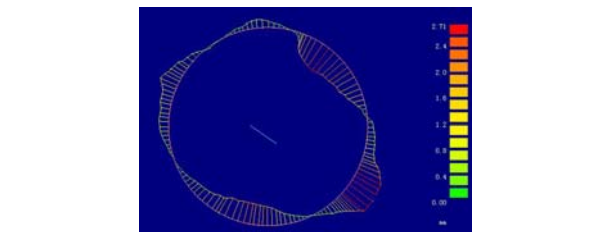
从图2a知, ①股骨头点云差异彩色图中红、蓝色均较多, 股骨头并不是标准球。②股骨头凹处向内误差最大, 股骨头与髌臼接触面, 主要的承力区域均呈红黄色, 属于正向误差。由图2b、图2c知, 以小转子为基准, 差异彩云图中红黄色区域自上向下有逐渐远离正位片平面, 向侧位片平面靠近的趋势, 且整体呈旋转圆柱形。

表1 股骨头、股骨干外壁、髓腔点云误差分析结果
Table 1 Point cloud error analysis results of femoral head, outer surface of femoral shaft and femoral medullary cavity

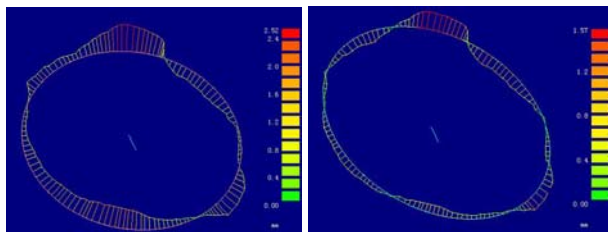
	Number of points (NP)	Max (mm)	Average ± Std. Dev (mm)	Percentage of NP (%)	Percentage of error (%)
Head	758	4.38	0.54±0.57	19.49	8.11
Outer surface	2 182	7.43	1.63±1.14	56.09	70.43
Medullary cavity	950	6.86	1.14±0.97	24.42	21.46
Overall	3 890	7.43	1.29±0.99	100	100

由表1可知, 股骨形态参数误差主要由股骨干外壁产生, 占70.43%, 而由股骨头产生的误差较少, 仅占8.11%, 相同面积的股骨干外壁产生的平均误差是股骨头处的3.02倍, 是股骨髓腔处的1.43倍。

2.2 平面内径(即髓腔壁半径)拟合曲线误差分析 见图3和表2。



a: Medullary cavity point cloud on small rotor plane-fitting circle



b: Direct measured ellipse

c: Fitting ellipse

Figure 3 Color plot of medullary cavity point cloud on small rotor plane-fitting circle, direct measured ellipse and fitting ellipse differences

图3 小转子平面髓腔壁点云-拟合圆, 直接测量椭圆, 拟合椭圆差异彩色图

图3b中, 直接测量椭圆是以髓腔拟合中心线与小转子平面的交点为椭圆心, 以正位髓腔内径(亦称髓腔冠状径)为长轴, 侧位髓腔内径(亦称髓腔矢状径)为短轴。闫

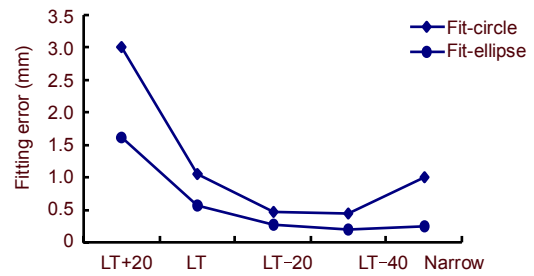
宏伟等^[9]进行的截面冠状径、矢状径测量均是按照该方法进行的测量。

表2 小转子平面髓腔壁点云-拟合曲线误差分析结果
Table 2 Error analysis results of medullary cavity point cloud on small rotor plane-fitting curve

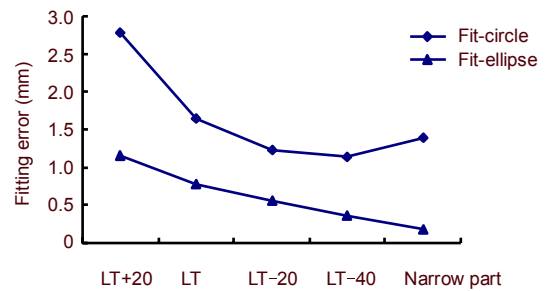
	Max (mm)	$\bar{x} \pm s$ (mm)
Fit-circle	2.71	1.06±0.75
Direct measurement-ellipse	2.52	1.08±0.59
Fit-ellipse	1.57	0.56±0.38

由表2可知, 该例股骨的小转子平面上髓腔壁点云拟合椭圆的匹配误差明显小于拟合圆, 但是直接测量椭圆的匹配误差与拟合圆匹配的误差相近。

基于上面的方法, 分别对小转子上下5个平面上股骨干外壁(去除小转子)、髓腔的点云进行曲线拟合、误差分析, 见图4。



a: Error analyses of fitting circle, fitting ellipse on femoral shaft outer surface



b: Error analyses of fitting circle, fitting ellipse on medullary cavity

Figure 4 Error analyses of fitting circle, fitting ellipse on femoral shaft outer surface and medullary cavity surface

图4 股骨干外壁、髓腔上拟合圆、拟合椭圆的匹配误差分析图

由图4可知: ①股骨干外壁、股骨髓腔由上往下, 用圆进行拟合的匹配误差均先变小后又变大, 而以椭圆进行拟合的匹配误差在股骨干外壁均逐渐变小、在髓腔先变小后略大。②股骨干外壁、股骨髓腔用椭圆拟合的匹配误差均小于用圆拟合的, 且前者约为后者误差的一半。③髓腔的圆拟合匹配误差曲线的下降速率明显大于外壁的圆拟合匹配误差曲线, 表明小转子往下区域髓腔比外壁更加快速地逼近圆。

3 讨论

本文基于目前广泛采用的股骨近端形态参数、逆向工程技术,对1例股骨进行了测量、逆向建模,并利用Imageware软件的点云-曲线、点云-曲面差异分析命令,点云与模型间的差异进行了计算、分析。该方法不仅以差异彩色图的形式直观地展示了基于股骨近端形态参数反求出的模型与人体股骨间差异,还能对股骨近端形态参数误差给出准确地定量描述,便于进行统计分析。

本文将股骨近端形态参数误差的产生区域归类总结如下:

股骨头:由图2a知,股骨头并不是标准球。Liu等^[10]研究发现利用标准球拟合的匹配误差随着年龄的增长逐渐减小,但均大于椭球拟合的匹配误差;Anderson等^[11]用蜡线体拟合的匹配误差明显小于球形。他们的研究结论均表明现行股骨形态参数中简单视股骨头为球型是存在较大误差的。

股骨干上5个平面内外径:由表2知,该例股骨的小转子平面上髓腔壁点云拟合椭圆的匹配误差明显小于拟合圆的匹配误差,但是直接测量椭圆的匹配误差与拟合圆匹配的误差相仿。而由图2b、图2c的分析结果知,拟合椭圆的长、短轴自上向下有逐渐由正位片平面向侧位片平面旋转的趋势,这与闫宏伟等默认冠状径、矢状径的方向(即椭圆长、短轴方向)不变矛盾,故闫宏伟等的测量方法可能对减少匹配误差贡献有限。

由图4知,股骨髓腔、股骨干外壁拟合圆的匹配误差自上向下先变小后变大,这可能与椭圆的长短轴方向旋转有关。沈慧勇等^[12]曾对129例股骨标本测量发现股骨髓腔在小转子上20 mm平面冠状径大于矢状径,而在髓腔狭部附近冠状径小于矢状径,可能正是这种变化趋势导致在中间部位冠状径与矢状径基本相等处拟合圆的匹配误差最小。此外,股骨干的主要承载区域在股骨近端不同。由付鑫等^[13]研究得到的股骨有限元模型表面应力分布图知道,股骨干近端的主要承载区域,在股骨颈下端主要在冠状径两端点附近,而小转子往下有向矢状径两端点变化的趋势。本文测量得到的冠状径、矢状径变化趋势可能恰是为了满足相应的力学特性的需求而产生。

小转子:由图2b可以明显观察到,小转子附近呈明显红黄色,误差非常大,是股骨干外壁的重要匹配误差来源。

基于前面分析,文章对股骨近端形态参数改进意见如下:①改用椭球模型描述股骨头。②测量股骨干5个平面内外径时,应补充测量长短轴与正位片平面的夹角。③增加对小转子几何特征的测量。

4 参考文献

- [1] Jiang HB, Ge SR. Gongcheng Lixue. 2007;24 (10):156-159. 姜海波,葛世荣. 基于CT扫描人体股骨的有限元分析[J]. 工程力学, 2007,24(10):156-159.
- [2] Xue WD, Dai KR, Long G. Beijing Shengwu Yixue Gongcheng. 2006;25(1):30-34. 薛文东,戴克戎,龙公. 中国人股骨上段几何特征研究[J]. 北京生物医学工程, 2006,25(1):30-34.
- [3] Ding Y, Liu SL, Ma RF, et al. Zhongguo Linchuang Jiepouxue Zazhi. 2003;21(4):341-343. 丁悦,刘尚礼,马若凡,等. 国人股骨假体设计的解剖学基础[J]. 中国临床解剖学杂志, 2003,21(4):341-343.
- [4] Zhu JW, Dong QR, Liu F, et al. Suzhou Daxue Xuebao(Yixueban). 2008;28(4):528-585. 朱建炜,董启榕,刘璠,等. 正常国人股骨近端解剖参数的研究[J]. 苏州大学学报:医学版, 2008,28(4):528-585.
- [5] Liang JY, Li KH, Liao QD, et al. Zhongnan Daxue Xuebao(Yixueban). 2009;34(8):811-814. 梁捷予,李康华,廖前德,等. 股骨上段解剖参数及其临床意义[J]. 中南大学学报:医学版, 2009,34(8):811-814.
- [6] Gu D, Chen Y, Dai K, et al. The shape of the acetabular cartilage surface: a geometric morphometric study using three-dimensional scanning. Med Eng Phys. 2008;30(8):1024-1031.
- [7] Fu HS, Gao L, Ju LY, et al. Personalized Cranium Defects Restoration Technique Based on Reverse Engineering. Tsinghua Science & Technology. 2009;14(1):82-88.
- [8] Zhang YZ, Lu S, Xu YQ, et al. Application of navigation template to fixation of sacral fracture using three-dimensional reconstruction and reverse engineering technique. Chin J Traumatol. 2009;12(4):214-217.
- [9] Yan HW, Zhang J, Liu K, et al. Xi'an Jiaotong Daxue Xuebao(Yixueban). 2006;27(3):236-239. 闫宏伟,张捷,刘凯,等. 股骨骨髓腔的形态学研究及其临床意义[J]. 西安交通大学学报:医学版, 2006,27(3):236-239.
- [10] Liu B, Su TM, Ou ZY, et al. Dongnan Daxue Xuebao. 2009;25(1):47-51. 刘斌,苏铁明,欧宗瑛,等. 基于椭球面拟合的股骨头修复建模[J]. 东南大学学报:英文版, 2009,25(1):47-51.
- [11] Anderson AE, Ellis BJ, Maas SA, et al. Effects of idealized joint geometry on finite element predictions of cartilage contact stresses in the hip. J Biomech. 2010;43(7):1351-1357.
- [12] Shen HY, Ding Y, Liu SL, et al. Zhongguo Linchuang Jiepouxue Zazhi. 1999;17(2):148-149. 沈慧勇,丁悦,刘尚礼,等. 股骨上段的测量与股骨假体设计[J]. 中国临床解剖学杂志, 1999,17(2):148-149.
- [13] Fu X, Ma XL, Ma JX, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2009;13(52):10241-10246. 付鑫,马信龙,马剑雄,等. 应用三维有限元分析正常站立位股骨近端结构生物力学特性[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009,13(52):10241-10246.

来自本文课题的更多信息--

基金资助: 国家自然科学基金重大国际合作项目“亚洲人种髌、膝关节特性研究与人工髌、膝关节基本设计”(No.30810103908); 卫生部科研课题(LW201004)。

致谢: 感谢徐州医学院提供1例女性志愿者CT数据。

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: CT数据由徐州医学院提供,不涉及伦理批准问题。

本文创新性: ①本文基于逆向工程技术,提出一种可对股骨近端形态参数误差进行有效分析的方法,可对活体髌关节进行髌关节表面点云提取。该方法对推进髌关节表面形态的研究具有意义。②本文以髌关节为例,尝试进行了股骨近端形态参数误差产生区域的归类总结,并基于分析结果给出髌关节形态参数的改进意见。该分析结果对髌关节形态参数的不断完善具有意义。