

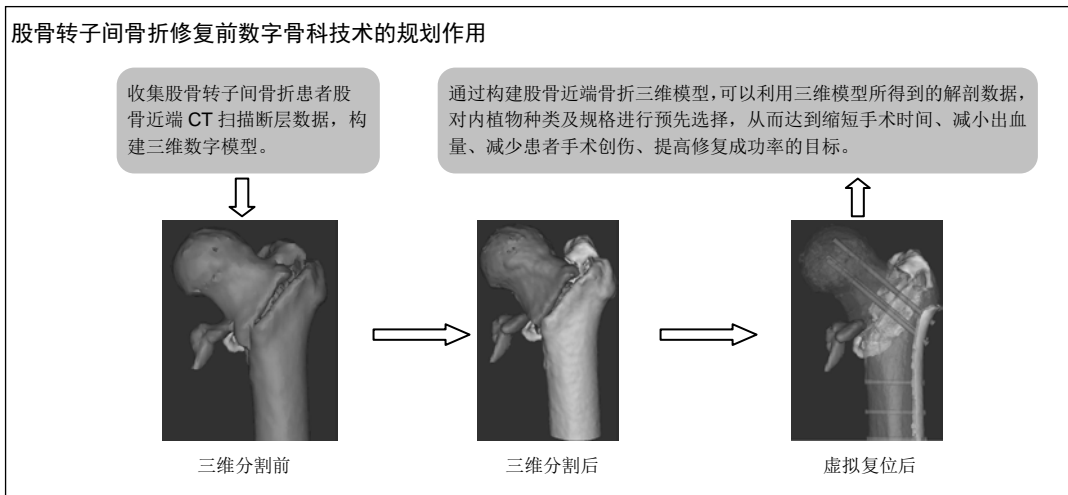
数字骨科技术在股骨转子间骨折植入物修复前的规划作用

缪 铨, 邓高荣, 凌 强(南昌大学第四附属医院骨科, 江西省南昌市 330000)

引用本文: 缪铨, 邓高荣, 凌强. 数字骨科技术在股骨转子间骨折植入物修复前的规划作用[J]. 中国组织工程研究, 2016, 20(13):1918-1924.

DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.2016.13.013 ORCID: 0000-0002-7584-6962 (凌强)

文章快速阅读:



缪铨, 男, 1988 年生, 湖南省长沙市人, 汉族, 南昌大学医学院在读硕士, 医师, 主要从事创伤及关节外科研究。

通讯作者: 凌强, 副教授, 硕士生导师, 南昌大学第四附属医院骨科, 江西省南昌市 330000

中图分类号: R318

文献标识码: A

文章编号: 2095-4344

(2016)13-01918-07

稿件接受: 2016-02-24

http://www.crter.org

文题释义:

股骨转子间骨折三维重建模型: 通过收集患者股骨近端 CT 扫描断层数据, 利用通过 mimics 多种分割工具可以将所有骨折块一一分割, 利用三维重建功能, 能将所有骨折块空间立体位置逐一展现, 并且可以将骨折块标记以不同的颜色加以区分。重建后的模型不但可以透明化、整体平移、旋转任意角度, 而且还可以将单个独立的骨折块透视化、隐藏、平移及旋转, 模拟骨折的复位。

股骨近端锁定加压钢板: 其具有锁定和加压双重功能, 能够降低患者治疗后并发症发生率。该系统锁定螺钉为空心螺钉, 先置入克氏针透视定位, 再沿克氏针拧入螺钉, 提高螺钉拧入速度及准确性, 如何准确置入定位克氏针, 成为修复成功的关键。

摘要

背景: 股骨转子间骨折一般以手术治疗为主, 随着对股骨近端生物力学研究的深入, 近年来出现了股骨近端锁定加压钢板, 其并非坚强固定, 可以减少局部应力遮挡, 维持系统的最佳稳定性, 但却经常出现因钉板选择不当致使骨折固定失效等问题。

目的: 探讨数字骨科技术在股骨转子间骨折股骨近端锁定加压钢板置入内固定修复前的规划作用。

方法: 选取股骨转子间骨折行股骨上段 CT 断层扫描患者 40 例, 分为两组, 常规组在常规 X 射线及 CT 阅片后行股骨近端锁定加压钢板置入内固定治疗; 计算机规划组修复前根据 Mimics 软件建立骨折模型、分割骨折碎块、模拟手术复位并运用 3-matic 重建锁定加压钢板及螺钉, 在 Mimics 装配锁定钢板, 取得最佳钢板安放位置、最佳螺钉置入角度、螺钉长度后行股骨近端锁定加压钢板置入内固定治疗。对比两组患者的透视次数、手术操作时间、失血量及骨折愈合时间。

结果与结论: 重建得到股骨近端三维模型, 测量得到一系列解剖数据, 得出每例患者锁定钢板的最佳安放位置, 预测螺钉长度, 可以实现修复术前规划。所有患者均获得随访, 随访时间 6-20 个月。计算机规划组患者修复过程中透视次数、手术操作时间及失血量显著少于常规组 ($P < 0.05$), 而骨折愈合时间与常规组差异无显著性意义 ($P > 0.05$)。提示将数字骨科技术应用于股骨转子间骨折, 可以在修复术前模拟锁定钢板的安放位置, 提前确定螺钉置入角度及螺钉长度, 减少老年股骨转子间骨折患者的透视次数、手术操作时间、失血量及螺钉位置失准发生率。

关键词:

骨科植入物; 数字化骨科; 股骨转子间骨折; 三维重建; 术前模拟规划

Miao Xin, Studying for master's degree, Physician, Department of Orthopedics, Fourth Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang 330000, Jiangxi Province, China

主题词:
股骨骨折; 骨钉; 骨折愈合; 组织工程
基金资助:
江西省科技支撑计划项目(20112BBG70072)

Digital orthopedics technology in preoperative planning of implant fixation for intertrochanteric fracture

Corresponding author: Ling Qiang, Associate professor, Master's supervisor, Department of Orthopedics, Fourth Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang 330000, Jiangxi Province, China

Miao Xin, Deng Gao-rong, Ling Qiang (Department of Orthopedics, Fourth Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang 330000, Jiangxi Province, China)

Abstract

BACKGROUND: Intertrochanteric fractures can be generally treated by surgical treatment. Along with deep research on the biomechanics of the proximal femur, proximal femoral locking compression plate appears recently. The locking plate fixation is not strong, can reduce the local stress shielding, and maintain optimal system stability, but fracture fixation failure often occurs due to the inappropriate choice of nail plate.

OBJECTIVE: To evaluate the value of digital orthopedics technology in preoperative planning in locking plate fixation for intertrochanteric fracture.

METHODS: Forty intertrochanteric fracture patients receiving CT tomography femur upper segment were selected and divided into two groups. In the conventional group, after reading X-ray films and CT images, patients received locking plate fixation. In the computer planning group, before repair, fracture model was established using Mimics software to segment fracture fragments, simulate operation reset and 3-matic software was used to reconstruct locking plate and screws. Locking plate was assembled with Mimics to obtain the best plate position, best screw angle and screw length. Proximal femoral locking compression plate fixation was performed. Fluoroscopy times, operation time, blood loss and fracture healing time were compared in both groups.

RESULTS AND CONCLUSION: Three-dimensional models of proximal femur were reconstructed, and a series of data were obtained. The optimal position of each plate was obtained from each patient. The screw length was predicted, so preoperative operation planning was realized. All patients were followed up for 6-20 months. Fluoroscopy times, operation time, and blood loss were significantly less in the computer planning group than in the conventional group ($P < 0.05$). No significant difference in fracture healing time was detected between the two groups ($P > 0.05$). These findings suggest that digital orthopedics technology used in intertrochanteric fracture can simulate the locking plate position, determine the screw placement angle and length of the screw in advance, and reduce fluoroscopy times, operation time, blood loss and screw position misalignment.

Subject headings: Femoral Fractures; Bone Nails; Fracture Healing; Tissue Engineering

Funding: the Jiangxi Science and Technology Support Program, No. 20112BBG70072

Cite this article: Miao X, Deng GR, Ling Q. Digital orthopedics technology in preoperative planning of implant fixation for intertrochanteric fracture. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2016;20(13):1918-1924.

0 引言 Introduction

股骨转子间骨折, 又名股骨粗隆间骨折, 是老年人常见的低能量损伤性骨折。髋部是老年人骨质疏松性骨折的好发部位, 同时转子间以松质骨为主, 骨质疏松使骨小梁微结构破坏, 轻微暴力即可引起骨折, 所以老年患者是转子间骨折的高发人群, 且高龄患者长期卧床可引起诸多并发症, 病死率为15%-20%^[1]。随着医学的进步和发展, 目前股骨近端骨折手术治疗优于非手术治疗已得到国内外学者的广泛认同^[2]。股骨近端骨折修复方法很多, 股骨近端锁定加压钢板是近年来出现的新产品^[3], 其具有锁定和加压双重功能^[4], 能够降低患者治疗后并发症发生率。该系统锁定螺钉为空心螺钉, 先置入克氏

针透视定位, 再沿克氏针拧入螺钉, 提高螺钉拧入速度及准确性, 如何准确置入定位克氏针, 成为手术成功的关键。现今数字骨科临床应用快速发展^[5], 螺旋CT的出现明显缩短了患者的检查时间, 随着三维重建技术的逐渐成熟, 其价格相对降低, 目前基于CT数据的三维重建技术广泛应用于医学领域。在骨科领域, 数字化技术已逐步得到全方位的应用^[6], 文章就该技术在股骨转子间骨折修复方面进行探讨。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 数字化骨科对比观察试验。

1.2 时间及地点 于2013年6月至2014年12月在南昌

大学第四附属医院骨科完成。

1.3 材料 文中所使用的股骨近端锁定加压钢板内固定系统由山东威高医疗器械有限公司提供, 属于钛合金锁定钢板系统, 该系统内植物由锁定螺钉、钢板组成, 锁定加压钢板具有锁定和加压双重功能, 能够降低患者治疗后并发症发生率。该系统锁定螺钉为空心螺钉, 先置入克氏针透视定位, 再沿克氏针拧入螺钉, 提高螺钉拧入速度及准确性, 其材质为钛合金, 其具有较好的耐腐蚀性及较高的强度, 组织相容性良好, 在人体不会被腐蚀且不会产生毒副作用, 比如致癌性、致畸等。

断层图像采集设备: 由荷兰飞利浦公司提供的Brilliance 64排螺旋CT。CT扫描条件: 层厚3 mm, 扫描电压140 kV。

主要术前规划软件: 由比利时Materialise 公司提供的Mimics 15.0版本及其配套软件3-matic 7.0。

术前规划操作平台: 个人笔记本电脑, Windows 7旗舰版32位操作系统。

游标卡尺1把。

1.4 对象

诊断标准: 股骨转子间骨折是指股骨小转子下方水平以上至颈基底部的骨折, 属于关节囊外骨折, 根据髋关节正侧位X射线片进行诊断^[7]。

纳入标准: ①股骨转子间闭合骨折。②年龄≥ 60岁。③骨折前无特殊骨骼肌肉系统疾病可独立行走。④病例随访时间≥6个月。⑤对治疗方案知情同意。

排除标准: 病理性骨折、各类陈旧性骨折、髋关节假体周围骨折、全身多发骨折患者, 排除存在出血倾向及免疫力低下易合并感染者。

选取2013年6月至2014年12月因各种原因导致股骨转子间骨折在南昌大学第四附属医院行股骨近端锁定钢板置入内固定的患者40例, 其中男13例, 女27例, 均为闭合性损伤, 无神经、血管损伤, 平均年龄70岁。骨折按Evans分型^[8], I型4例, II型8例, IIIA型14例, IIIB型17例, IV型5例, V型2例。收集患者病历资料, 采集患者修复前X射线片、CT断层图像及修复后X射线片。

根据试验目的以患者来院先后顺序, 依次确定为常规组及计算机规划组, 每组20例。常规组在修复前常规X射线及CT阅片后行内固定修复治疗, 不进行术前计算机模拟。计算机规划组除了由相同2名高年资医师阅读髋关节X射线片及CT外, 另外由专人利用Mimics 15.0建立骨折模型、复位骨折并装配钢板螺钉、测定螺钉长

度等, 规划结果告知手术医师。

两组间患者在年龄分布、性别、骨折类型等方面差异无显著性意义($P > 0.05$), 研究取得所有患者的知情同意, 符合《医疗机构管理条例》的相关要求。

1.5 方法

1.5.1 采集CT图像 患者平卧位, 扫描L₅椎体至股骨中段, 扫描基准线: 横断面连续扫描, 每例患者扫描后约可获得270张左右Dicom(Digital Imaging and Communication in Medicine)格式的CT断层图像, 图像先保存于CT室本地计算机上, 然后用光盘刻录拷出, 共获得40例完整的股骨近端CT断层图像, 并收集患者修复术前及术后患肢髋关节正侧位片。

1.5.2 计算机组修复术前规划

利用Mimics软件重建转子间粉碎性骨折三维模型:

将采集的计算机术前规划组患者Dicom格式的CT断层图像导入Mimics软件, 定义上、下、左、右、前、后方向之后, 软件自动生成矢状面、冠状面、水平断面图像, 经过图像的阈值分割、区域增长、蒙版编辑、布尔逻辑运算等操作^[9], 再经3D重建计算获得股骨近端三维数字模型, 模型碎骨块分别用不同颜色标记。

三维数字骨折模型复位与手术模拟: 通过上述计算机规划组数字化骨折模型为基础, 在Mimics 15.0软件通过行平移、旋转等操作中将分割出的骨折团块按手术要求模拟复位, 有时可与对侧健肢三维重建后的镜像模型进行比对, 以确认模拟复位的对位对线准确性。通过常用股骨近端锁定钢板内植物的形态、尺寸数据, 利用Mimics软件配套3-matic软件建立内植物三维可视模型库。根据对股骨模型进行多种角度三维数据测量, 选择出合适的内植物以及每个锁定螺钉的大致长度, 利用Mimics平移、旋转操作将选取的合适内植物及螺钉与模拟复位后的股骨三维骨折模型进行模拟装配, 评估术中是否需加用钢丝或不可吸收缝线捆扎零散骨折块。利用有限元分析软件对装配模型进行初步生物力学观察, 排除潜在拔钉、断板、切割等内固定失败可能风险, 术前确定螺钉个数、位置和钢板最佳长度, 见图1。

修复术前谈话: 计算机规划组可以利用建立的三维模型任意角度旋转、平移、切割功能, 形象地像患者及家属展示受伤机制、骨折断端移位及骨块碎裂情况, 术中将采用何种修复方式及不同修复方式可能带来的并发症, 让患者及家属充分了解自己的病情, 利于医患沟通, 减少医患双方因对病情及修复方式理解偏差导致的纠纷。



图1 男性75岁股骨转子间粉碎性骨折患者三维数字模型建立及修复前后X射线片

Figure 1 X-ray films of a 75-year-old male patient with intertrochanteric comminuted fracture before and after treatment and establishment of three-dimensional digital model

图注: 图A为股骨转子间骨折术前正侧位X射线片, 可见左侧股骨转子间骨折; B为三维分割前; C为三维分割后正位; D为三维分割后侧位; E为虚拟复位后正位; F为虚拟复位侧位; G为修复术后半个月复查正位X射线片, 可见X射线骨折对位线均理想; H为术后半个月复查侧位X射线片, 未见螺钉穿出关节面。

1.5.3 修复方式 常规组及计算机规划组均采用以下相同的修复方式: 腰硬联合麻醉成功后, 患者取仰卧位, 在牵引床上复位后, C臂透视机透视, 见骨折复位良好, 采用股骨近端外侧手术入路暴露股骨大转子, 安置锁定钢板, 并用克氏针临时固定, 透视确认钢板位置正确, 锁定板近端用3个长的锁定拉力螺钉固定, 3个螺钉约成三角形分布, 螺钉经过骨折线进入股骨颈和股骨头部分, 随后用锁定螺钉固定股骨远端, 其他无法用螺钉固定的骨折块, 选用缝线或钢丝捆扎, 透视观察骨折复位情况, 依次逐层缝合切口, 弹力绷带加压包扎。虽然两组修复方式相同, 但计算机规划组因已行术前模拟, 术中可以直接找到术前定义的最佳钢板安放位置, 而无需再透视定位, 且螺钉长度、方向也可术前确定, 在术中无需再逐个测量螺钉深度, 可以明显缩短患者手术时间及提高手术精度。术前简单的生物力学测试可以得出锁定钢板的最佳长度和螺钉安放的最佳位置, 而不再是根据术中透视观察骨折长度来确定钢板长度和盲目置钉换钉, 可以减少术后拔钉、断板、切割等内固定失败风险。

1.5.4 修复后处理 修复术后常规运用预防感染及防止血栓形成的药物, 加强护理, 预防肺部感染及压疮形成^[10], 术后第1天即开始进行股四头肌、小腿后肌群和

胫前肌等长收缩, 术后第2天进行患肢踝、膝关节屈伸功能锻炼^[3], 术后1周左右不负重扶拐下地, 2周左右伤口愈合后拆线, 术后1个月摄片复查, 后每3个月复查1次, 根据X射线片上骨折愈合情况, 逐渐负重行走, 至骨折断端有明显骨痂生成再逐步完全负重行走, 术后1年左右拆除钢板。

1.6 主要观察指标 观察患者手术时间、术中出血量、术中透视次数及骨折愈合时间。

骨折愈合评估标准: ①局部无压痛及纵轴叩击痛。②局部无反常活动。③X射线显示骨折线模糊, 有连续骨痂通过骨折线。④解除外固定后伤肢能满足以下要求: 上肢向前平举1 kg质量达1 min, 下肢不扶拐在平地连续步行3 min, 并不少于30步。⑤连续观察2周不变形。

1.7 统计学分析 采用SPSS 18.0统计软件进行数据分析, 试验结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 两组间比较采用t检验, $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 按意向性处理, 纳入40例患者, 分为常规组及计算机规划组, 全部进入结果分析, 无脱落。两组分组流程图见图2。

表 2 两组患者修复效果比较

($\bar{x} \pm s, n=20$)

Table 2 Comparison of repair effect of patients in both groups

组别	手术时间(min)	术中透视次数(次)	术中出血量(mL)	骨折愈合时间(月)
常规组	78.11±10.58	5.21±1.93	220.20±60.82	8.16±1.95
计算机规划组	68.23±9.87	4.15±1.58	160.10±55.28	7.55±1.58
t	3.059	3.408	3.268	1.937
P	0.004 0	0.001 6	0.002 3	0.060 0

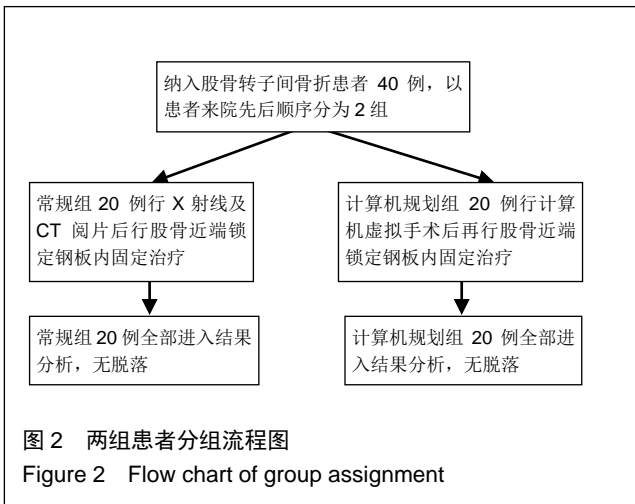


图 2 两组患者分组流程图

Figure 2 Flow chart of group assignment

2.2 基线资料比较 常规组及计算机规划组性别、年龄、病程等一般资料比较差异均无显著性意义($P > 0.05$), 具有可比性, 见表1。

表 1 两组患者基线资料比较

($n=20$)

Table 1 Comparison of baseline data of patients in both groups

项目	常规组	计算机规划组
男/女(n)	7/13	6/14
年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	71.2±2.8	69.8±3.1
病程($\bar{x} \pm s$, d)	2.1±1.1	2.3±0.9

表注: 两组一般资料差异均无显著性意义($P > 0.05$)。

2.3 修复效果比较 在患者对自身疾病知晓率方面, 计算机规划组获得了明显的优势, 患者的依从性及对医生的信任度明显提高。经过统计分析, 计算机规划组与常规组在手术时间、出血量、术中透视次数等方面差异有显著性意义($P < 0.05$)。40例患者均获得随访, 随访时间6-20个月。两组患者骨折均愈合, 骨折愈合时间两组差异无显著性意义($P > 0.05$), 具体分析见表2。计算机规划组因为有了术前规划, 手术思路蓝图已经在手术医师大脑中形成, 使得计算机规划组的操作精度提高, 从而减少术中透视次数, 不但可以减少医护人员及患

者的放射暴露, 同时也缩短了手术时间及术中出血, 从理论上降低了感染及其他相关的并发症发生。

2.4 不良事件 髋关节功能检查结果提示两组均未见髋关节摩擦感等异常感觉, 未见明显屈伸活动障碍, 无坐骨神经损伤症状。两组均未见治疗后感染病例, 无修复术后再次手术调整内固定物的病例。

3 讨论 Discussion

股骨转子间骨折是老年人常见的低能量损伤。髋部是老年人骨质疏松性骨折的好发部位, 老年人由于视觉、听觉及运动功能的下降, 全身各个系统的综合反应能力降低, 发生外伤的概率也明显增高, 同时转子间以松质骨为主, 骨质疏松使骨小梁微结构破坏, 轻微暴力即可引起骨折, 高龄患者长期卧床可引起诸多并发症, 病死率为15%-20%^[1]。因此, 手术治疗成为目前股骨转子间骨折的首选方法^[11]。锁定加压钢板治疗疗效良好^[12], 尤其是在老年骨质疏松患者, 锁定钢板固定系统并非坚强固定, 可以减少坚强固定所带来的应力遮挡, 并且固定在股骨颈上的锁定螺钉是平行分散的, 呈倒三角、正三角或斜三角形, 这样可以维持系统的最佳的稳定性, 锁定板和螺钉是一体的, 这样不但可以提高抗拔出, 而且可以减少螺钉切割^[13-14]。刘世峰等^[15]回顾分析该院骨科应用股骨近端锁定解剖加压钢板治疗老年股骨转子间骨折60例临床资料, 所有病例骨折愈合, 无髓内翻, 无内植物失效, 认为股骨近端锁定解剖加压钢板治疗老年股骨转子间骨折有一定优势并能获得较好的临床疗效。张柏林^[16]对40例不同类型的股骨转子间骨折患者应用股骨近端锁定加压钢板进行治疗, 未见患者发生畸形愈合、髓内翻等问题, 无断钉、松动、钢板断裂和螺钉切割股骨头等现象, 认为股骨近端锁定加压钢板, 具有较好的临床应用价值, 值得推广。虽然锁定加压钢板可有效地减少螺钉松动、切割、内固定失效的发生, 但仍常出现因钉板选择不当、钢板位置不适宜、螺钉长度失准等问题, 致使骨折固定失效、患者术后活动时髋关

节疼痛等系列并发症^[17-18]。虽然新发展的多排CT三维重建技术能为临床医生的治疗方式、手术入路、复位步骤和内固定选择提供必要的指导^[19], 但其价格较贵, 患者难以接受, 而且临床医师看到的是经影像室后处理软件处理后的静态图片^[20], 这些图片往往不是医师想要的结果, 动态的三维重建过程临床医师根本无法获得, 更别说模拟手术操作。

而现今数字骨科临床应用快速发展^[5], 通过收集患者股骨近端CT扫描断层数据, 利用mimics软件自动重组冠状面及矢状面图像的功能, 可以使医生多方位观察骨折情况。通过mimics多种分割工具可以将所有骨折块一一分割, 利用三维重建功能, 能将所有骨折块空间立体位置逐一展现, 并且可以将骨折块标记以不同的颜色加以区分。重建后的模型不但可以透明化、整体平移、旋转任意角度, 使医师多角度、多方位观察骨折分型情况, 而且还可以将单个独立的骨折块透视化、隐藏、平移及旋转, 模拟骨折的复位。提前利用 3-matic软件建立股骨近端锁定钢板螺钉库, 选择各个病例合适的内植物(型号、长度), 确定内置物安放的最佳位置及测量各个螺钉长度, 并将挑选的锁定钢板、螺钉与复位骨折模型装配, 将这一系列连贯模拟手术操作以视频文件保存, 便于科内病例讨论及临床教学^[21-31]。此外, 利用数字骨科软件, 可以将装配好的模型进行网格划分、赋材质后导入有限元分析软件作进一步受力分析^[32-33], 也可以将装配好的模型导入逆向工程软件进一步修改, 结合快速成型技术, 利用 3D打印软件, 打印出三维模型实体^[34-40], 便于医患之间谈话, 有利于医患沟通^[41]。

综上所述, 通过数字骨科三维重建技术对股骨近端骨折进行重建, 不但可以直观地观察骨折后三维模型, 有利于帮助年轻医师对骨折分型的理解, 而且利用重建三维模型所得到的解剖数据, 可以对内植物种类及规格进行预先选择。通过术前虚拟手术操作, 可以让年轻医师制定精准、微创的个性化修复方案, 让主刀医师掌握更多的手术主动权, 从而达到缩短手术时间、减小术中出血、减少患者手术创伤、提高修复成功率的目标。

致谢: 感谢南昌大学第四附属医院放射科提供课题影像资料, 感谢南昌大学第四附属医院骨科对课题撰写及试验设计的帮助。

作者贡献: 通讯作者负责设计和实施, 第一作者负责

文章撰写, 第二作者负责文章的修改。

利益冲突: 所有作者共同认可文章无相关利益冲突。

伦理问题: 试验方案经南昌大学第四附属医院伦理委员会讨论批准, 经患者和家属知情同意, 并签署知情同意书。

文章查重: 文章出版前已经过 CNKI 反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

文章外审: 本刊实行双盲外审制度, 文章经国内小同行外审专家审核, 符合本刊发稿宗旨。

作者声明: 文章第一作者对研究和撰写的论文中出现的不端行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录及样本已按照有关规定保存、分享和销毁, 可接受核查。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

4 参考文献 References

- [1] 胥少汀. 实用骨科学[M]. 北京: 人民军医出版社, 2012: 947-948.
- [2] Pioli G, Barone A, Giusti A, et al. Predictors of mortality after hip fracture: results from 1-year follow-up. *Aging Clin Exp Res.* 2006;18(5): 381-738.
- [3] 张魁忠, 周荣平, 徐聪, 等. 股骨近端锁定钢板治疗股骨粗隆间骨折的疗效评估[J]. *南方医科大学学报*, 2009, 29(12): 2561-2562.
- [4] 刘晓辉, 张国川. 锁定加压钢板生物力学原理及置入后的失败分析[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2011, 15(4): 717-720.
- [5] 李亚光, 陈向军. 数字骨科临床应用研究进展[J]. *内蒙古医学杂志*, 2012, 44(5): 579-582.
- [6] 王剑, 云文科. 数字骨科在骨科临床的研究进展[J]. *中外医疗*, 2014, 33(26): 197-198.
- [7] 危杰. 股骨转子间骨折[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2004, 6(5): 79-82.
- [8] Evans EM. The treatment of trochanteric fractures of the femur. *J Bone Joint Surg Br.* 1949; 31B(2): 190-203.
- [9] 付淼, 李莉, 何叶松. Mimics与医学图像三维重建[J]. *中国现代医学杂志*, 2010, (19): 3030-3031.
- [10] 刘成芬. 股骨粗隆手术术后护理[J]. *吉林医学*, 2014, 35(29): 6629.
- [11] Jain R, Basinski A, Kreder HJ. Nonoperative treatment of hip fractures. *Int Orthop.* 2003;27(1): 11-7.
- [12] 阮建伟, 宫小康, 孔劲松. 股骨近端锁定钢板内固定治疗股骨粗隆间骨折[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2013, 28(4): 348-349.
- [13] 隋广维. 锁定式钢板治疗股骨粗隆间骨折20例分析[J]. *当代医学*, 2010, (1): 87-88.

- [14] 梅雷, 卞正金, 陈贞庚, 等. 老年股骨粗隆间骨折手术内固定的选择[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2008, 23(12): 1017-1018.
- [15] 刘世峰, 崔文波, 廖志峰, 等. 股骨近端锁定解剖加压钢板治疗老年股骨粗隆间骨折[J]. 中国继续医学教育, 2013, (4): 4-6.
- [16] 张柏林. 股骨粗隆间骨折采用股骨近端锁定加压钢板治疗的临床应用分析[J]. 中国继续医学教育, 2014, 6(6): 39-40.
- [17] 牛庆礼, 孙辉, 杨树彬, 等. 锁定加压钢板治疗四肢骨折术后失败原因探讨[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2009, 24(9): 835-836.
- [18] 彭朝华, 杨彬, 邹秋富, 等. 微创锁定加压钢板固定术中失误及术后早期并发症分析[J]. 四川医学, 2012, 33(6): 965-967.
- [19] 张明辉, 李国军, 宋文超, 等. 多排CT三维重建在股骨粗隆间骨折治疗中的临床应用[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2014, 29(2): 124-125.
- [20] 张野. 多排螺旋CT后处理技术在骨关节创伤诊断中的应用研究[J]. 中国现代药物应用, 2015, 9(1): 33-34.
- [21] 曹振华, 银和平, 李树文. 股骨颈骨折空心钉内固定数字化模板的建立[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(31): 5017-5023.
- [22] 陆建华, 王志刚, 黄莉, 等. 基于健侧三维数字解剖的桡骨头假体逆向工程研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2013, 31(4): 407-410.
- [23] 陈刚, 廉凯, 王邦军, 等. 计算机辅助技术联合2.4mm钢板系统在治疗桡骨远端C型骨折中的应用[J]. 广东医学, 2014, 35(8): 1213-1216.
- [24] 陈刚, 吴农欣, 廉凯, 等. 利用数字骨科技术进行术前规划对儿童II型肱骨髁上骨折复位及进针顺序的影响[J]. 中国矫形外科杂志, 2014, 22(8): 760-762.
- [25] 陈刚, 吴农欣, 崔露, 等. 数字骨科技术结合张力带钢丝在尺骨鹰嘴II B型骨折中的应用[J]. 实用骨科杂志, 2014, 20(2): 106-110.
- [26] 陆建华, 倪慧玉, 王志刚, 等. 数字化定制桡骨小头假体并术前三维虚拟置换验证研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2013, 27(9): 1065-1069.
- [27] 杨晶, 程奎, 倪鹏辉, 等. 数字化快速成形技术在骨折畸形愈合个体化治疗的应用研究[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2015, 30(7): 727-729.
- [28] 赖震, 刘志祥, 张兆飞, 等. 三维重建技术在桡骨远端不稳定性骨折治疗中的应用[J]. 中国骨科临床与基础研究杂志, 2015, 7(2): 69-73.
- [29] 彭镰侨, 张占磊, 钟世镇, 等. 基于全膝关节置换的三维术前规划实践[J]. 中国数字医学, 2013, (12): 45-49.
- [30] 凌遵龙, 周友龙, 沈龙山, 等. 计算机辅助人工髋关节置换术前规划系统及应用[J]. 中国现代医生, 2011, 49(16): 119-120.
- [31] 王小平, 韦展图, 黄俭, 等. 虚拟三维重建术前规划技术在Pilon骨折的应用研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2016, (1): 44-49.
- [32] 王光达, 张祚福, 齐晓军, 等. 膝关节三维有限元模型的建立及生物力学分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(52): 9702-9705.
- [33] Park JC, Shin HS, Cha JY, et al. A three-dimensional finite element analysis of the relationship between masticatory performance and skeletal malocclusion. J Periodontal Implant Sci. 2015;45(1): 8-13.
- [34] Yang M, Li C, Li Y, et al. Application of 3D Rapid Prototyping Technology in Posterior Corrective Surgery for Lenke 1 Adolescent Idiopathic Scoliosis Patients. Medicine(Baltimore). 2015; 94(8): 582.
- [35] 张弛. 3D打印:产品制造的新革命[J]. 设计, 2011, (11): 46-49.
- [36] 王富友, 任翔, 杨柳. 3-D打印技术在关节外科的应用[J]. 中国修复重建外科杂志, 2014, 28(3): 272-275.
- [37] Deng A, Xiong R, He W, et al. [Postoperative rehabilitation strategy for acetabular fracture: application of 3D printing technique]. Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao. 2014;34(4): 591-593.
- [38] Wu AM, Shao ZX, Wang JS, et al. The accuracy of a method for printing three-dimensional spinal models. PLoS One. 2015;10(4): e0124291.
- [39] Zeng C, Xiao J, Wu Z, et al. Evaluation of three-dimensional printing for internal fixation of unstable pelvic fracture from minimal invasive para-rectus abdominis approach: a preliminary report. Int J Clin Exp Med. 2015;8(8): 13039-13044.
- [40] Li XS, Wu ZH, Xia H, et al. The development and evaluation of individualized templates to assist transoral C2 articular mass or transpedicular screw placement in TARP-IV procedures: adult cadaver specimen study. Clinics (Sao Paulo). 2014;69(11): 750-757.
- [41] 尤微, 王大平, 刘黎军, 等. 三维数字规划在肱骨近端骨折手术治疗中的应用研究[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2014, 8(7): 1243-1247.