

虚拟现实技术在足部骨折辅助手术中的应用

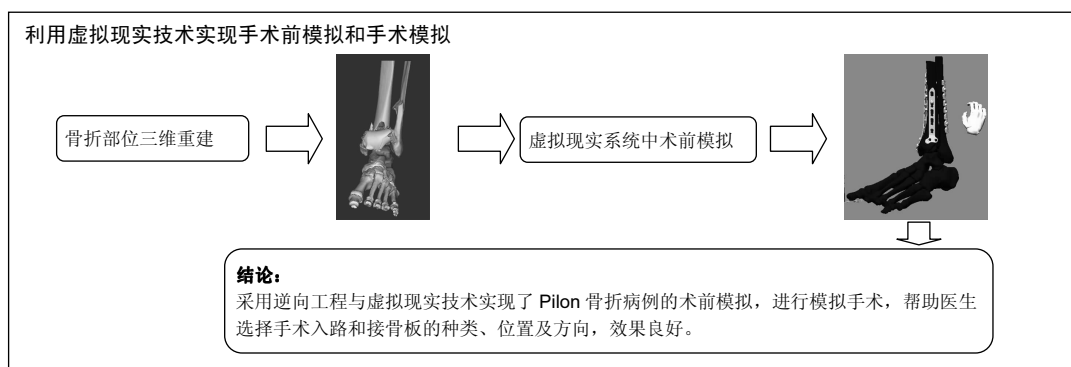
韩曼曼¹, 崔权维¹, 乌日开西·艾依提¹, 滕勇², 张文举²(¹新疆大学机械工程学院, 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市 830047; ²解放军兰州军区乌鲁木齐总医院全军骨科中心, 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市 830000)

引用本文: 韩曼曼, 崔权维, 乌日开西·艾依提, 滕勇, 张文举. 虚拟现实技术在足部骨折辅助手术中的应用[J]. 中国组织工程研究, 2017, 21(3):378-382.

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.2017.03.010

ORCID: 0000-0001-6630-3387(韩曼曼)

文章快速阅读:



韩曼曼, 女, 1990 年生, 河南省上蔡县人, 汉族, 新疆大学在读硕士, 主要从事生物 3D 打印方面的研究。

通讯作者: 乌日开西·艾依提, 博士, 教授, 新疆大学机械工程学院, 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市 830047

中图分类号:R318

文献标识码:B

文章编号:2095-4344

(2017)03-00378-05

稿件接受: 2016-11-16

文题释义:

虚拟现实技术: 是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机仿真系统, 它利用计算机生成一种模拟环境, 是一种多源信息融合的交互式的三维动态视景和实体行为的系统仿真, 使用户沉浸到该环境中。

计算机辅助工程技术: 提出要把工程(生产)的各个环节有机地组织起来, 其关键是将有关的信息集成, 使其产生并存在于工程(产品)的整个生命周期。因此, 计算机辅助工程系统是一个包括了相关人员、技术、经营管理及信息流和物流的有机集成且优化运行的复杂的系统。

摘要

背景: 虚拟现实技术在医疗研究中的应用, 可有效的降低手术风险, 提高手术质量, 在外科手术中的应用有很重要的现实意义。

目的: 采用逆向工程及虚拟现实技术对 1 例 Pilon 骨折患者的脚踝进行三维数字化重构及术前模拟。

方法: 利用患者脚踝部的 CT 扫描数据在 MIMICS 软件中对患处进行了三维重建, 并对骨折形成的碎骨进行了分离; 利用 Geomagic Studio 软件根据虚拟现实操作平台的要求对碎骨模型进行了进一步处理后导出 STL 格式文件, 将其导入虚拟现实操作平台进行复位以检查碎块提是否完整; 利用虚拟现实操作平台进行模拟手术。

结果与结论: 采用逆向工程与虚拟现实技术实现了 1 例 Pilon 骨折病例的术前模拟。将处理后的三维模型导入虚拟现实系统中, 进行模拟手术, 帮助医生选择手术入路和接骨板的种类、位置及方向, 效果良好。

关键词:

骨科植入物; 数字化骨科; 虚拟现实; Pilon 骨折; 辅助手术; 国家自然科学基金

主题词:

足; 骨折; 计算机; 组织工程

基金资助:

国家自然科学基金项目(51165044)

Application of virtual reality technology in the foot fracture-assisted surgery

Han Man-man¹, Cui Quan-wei¹, Wurikaixi·Aiyiti¹, Teng Yong², Zhang Wen-ju² (¹School of Mechanical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830047, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; ²Orthopedic Center of Lanzhou Military Region Urumqi General Hospital, Urumqi 830000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

Abstract

BACKGROUND: The application of virtual reality technology in preoperative simulation can reduce the risk in operation effectively and improve the quality of surgery. Virtual reality technology has very important practical significance in the application of surgery.

OBJECTIVE: The reverse engineering and virtual reality technology were used to achieve the preoperative simulation of a case of Pilon fracture.

METHODS: The affected bones were reconstructed according to the CT data using the patient's ankle portion in

Han Man-man, Studying for master's degree, School of Mechanical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830047, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

Corresponding author: Wurikaixi·Aiyiti, M.D., Professor, School of Mechanical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830047, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

MIMICS software, and the separated bone fractures were restored. According to the characteristics of virtual reality technology, further processing on bone model was carried out using Geomagic software; the models of the fractured bones were exported with STL format. The restored bone fragments were checked up to determine integrity in the virtual reality operation platform. These models were used to do simulated operations in the virtual reality operation platform.

RESULTS AND CONCLUSION: A case of Pilon fracture was simulated by using reverse engineering and virtual reality technology preoperatively. The processed 3D model was introduced into the virtual reality system to simulate the operation and help doctors choose the type, position and direction of the surgical approach and plate; the effect is good.

Subject headings: Foot; Fractures, Bone; Computers; Tissue Engineering

Funding: the National Natural Science Foundation of China, No. 51165044

Cite this article: Han MM, Cui QW, Wurikaixi Aiyiti, Teng Y, Zhang WJ. Application of virtual reality technology in the foot fracture-assisted surgery. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2017;21(3):378-382.

0 引言 Introduction

随着数字化时代的到来以及经济的高速发展和科学的不断进步, 先进制造技术在中国制造业不断发展的过程中得到了迅速的发展。其中在军事、航天、建筑、机械及医学等领域, 计算机辅助设计/计算机辅助工程技术(CAD/CAE)、逆向工程技术、3D打印等先进制造技术得到了越来越广泛的应用。

先进制造技术的发展为正确的医疗诊断、优化治疗方案带来了生机与希望, 多种新技术应用到了医学领域。诸如虚拟现实技术、逆向工程技术、计算机辅助设计/计算机辅助工程技术、3D打印技术等先进制造技术, 为优化治疗方案提供了有效的技术辅助。其中3D打印(3DP)又称快速成型技术或增材制造技术, 能够不受零件形状复杂程度的限制, 直接成型三维实体的零件, 有着其他传统工艺不可比拟的优势。3D打印技术正逐步用于各种复杂手术的术前计划和操作练习, 提高手术的成功率。虚拟现实技术利用计算机生成关于视觉、听觉、触觉等感官的模拟的人为虚拟环境, 让使用者犹如身临其境, 并能与之“交互”。

虚拟现实技术正逐步应用于虚拟解剖学、虚拟实验室和虚拟手术等^[1]。在外科手术中, 虚拟现实技术能够让医生提前练习, 有助于减少手术步骤, 提高手术的成功率, 使手术变得更为安全, 其在外科手术方面的应用具有十分重要的现实意义。Roberts等开发的系统能够将CT、MRI和血管造影数据准确地叠加在手术区域之上, 以此来提供手术导航指导^[2-3]。英国的The Institute of Laryngology and Otology正在积极地开发一个虚拟现实系统, 他们使用了实时绘制技术, 能够对患者的数据进行配准, 并且对手术仪器进行追踪^[4]。日本Jikei大学医学院高维医学成像研究所使用虚拟现实技术开发出了一种手术规划系统, 它能在虚拟空间中模拟用手术刀切割皮肤和器官, 并且采用力反馈设备反馈操作者手部压力, 提供一种力感受功能^[2]。

中国虚拟现实技术在医学中的应用研究尚处于起步阶段, 目前与医学相关的虚拟现实技术的应用主要包括: 虚拟内窥镜检查、放射治疗模拟定位、虚拟手术等领域^[5]。郭燕舞等^[6]利用虚拟影像手术计划系统对15例颅底肿瘤患者进行多入路模拟手术操作, 成功进行了手术计划和模拟手术操作, 患者按最佳模拟手术方案进行手术, 均取得了

良好的手术效果。张晓谔等^[7]利用Dextroscope术前计划系统对26例颅脑疾病的病灶及其局部解剖结构进行观察测量、手术模拟, 均成功地实现了三维立体虚拟现实影像的重建, 术前计划中对于病灶及其局部解剖学特征的判定与术中实际情况吻合。

文章采用逆向工程及虚拟现实技术, 对1例Pilon骨折患者的脚踝进行三维数字化重构及术前模拟的研究。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 利用虚拟现实技术模拟手术。

1.2 时间及地点 试验于2015年7月19日至8月20日在新疆大学一号实验楼虚拟现实实验室完成。

1.3 对象 由解放军某医院全军骨科中心提供的1例Pilon骨折病例。Pilon骨折为胫骨远端累及关节面合并腓骨远端的复杂骨折, 是比较难处理的一类脚踝部骨折, 需手术治疗^[8-9]。本例患者属于III型Pilon骨折, 由于骨质碎裂块数较多, 错位较复杂, 因此术前准备对手术有非常重要的作用。

1.4 材料 使用的软件为Mimics16.0、Geomagic Studio, 操作平台为新疆大学虚拟现实操作系统。Mimics是Materialise公司的医学影像处理软件, 可处理CT、MRI等扫描数据, 根据需要输出为3D打印、有限元分析和虚拟现实等所需的文件格式。Geomagic Studio是一个将三维扫描数据转化为高精度曲面、多边形和通用CAD模型的整套工具组, 具有精确的三维数据处理功能。新疆大学虚拟现实操作系统包含硬件设施和软件设施。如图1所示, 其中DMSP图形工作站是一个集成的数字化装配仿真平台, 它具有一般交互操作仿真、装配操作仿真、装配序列与路径规划、装配过程的距离与间隙分析等功能, 并提供仿真模型管理、与CAD系统数据接口、虚拟人建模、虚拟手建模和虚拟工具建模等多种辅助功能, 同时支持多种操作方式。

1.5 方法

1.5.1 骨折部位三维重建的术前准备 对患者进行了患处的提取、修复, 将数据导入虚拟现实操作平台进行术前分析和模拟, 能够为术前准备提供了有效的支持。图2所示, 为术前准备流程图示意图。

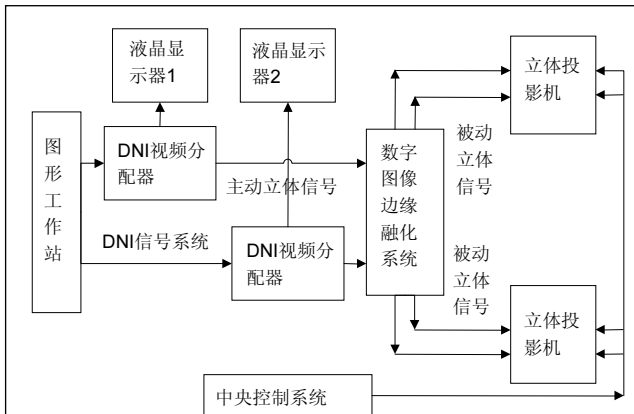


图1 虚拟现实系统组成示意图
Figure 1 Components of virtual reality system

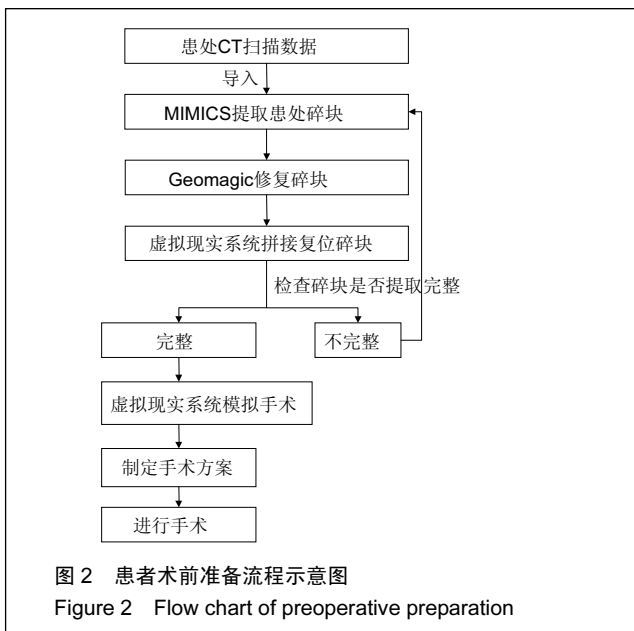


图2 患者术前准备流程示意图
Figure 2 Flow chart of preoperative preparation

1.5.2 建立3D模型 X射线检查作为骨折诊断的重要组成部分, 可以为临床医师提供骨折部位的二维图像, 但无法提供患处的三维图像。CT技术的出现使得医生可通过一系列的断层扫描图像来更准确地分析病情。

患处的CT扫描数据采用医用SIMENS/SOMATOM Definition双源CT机进行扫描。根据课题组经验, 扫描层距设置为1mm。扫描层距是影响三维重构精度的一个重要参数, 层距太大会降低重构模型的精度。CT扫描数据以DICOM格式输出后导入Mimics16.0中进行初步处理。

Mimics16.0导入CT数据后, 用“组织图像”功能对导入的图像进行编辑, 根据图像中不同组织的灰度差异, 利用Mimics软件提供的阈值分割功能可以把不同的组织分离出来。在此病例中, 使用Thresholding命令, 选择Bone(CT)选项, 利用灰度差异将骨与周围的软组织分离, 接受这一阈值范围便获得脚踝原始蒙版, 如图3A所示的绿色区域。

从图3A中可以看出, 骨骼的外部还有斑点状的绿色区域, 这些绿色斑点部分是噪点, 部分是其组织。由于密

质骨的CT值范围是 > 250 , 松质骨的CT值范围是 130 ± 100 , 而人体其他组织的CT值范围跟骨组织CT值范围有交叉, 因而也能被选上。为了仅保留骨骼, 需使用Region Growing命令排出离散的体素, 得到二次蒙版, 如图3B所示的黄色区域, 利用此蒙版即可重构出骨折部位的整体三维重构模型, 如图4所示。

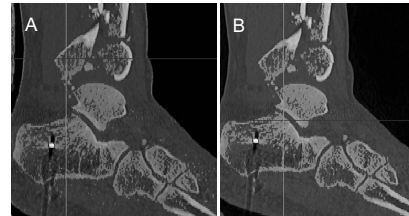


图3 Pilon骨折患者足部蒙版
Figure 3 Foot mask in a patient with Pilon fractures
图注: 图A为原始蒙版; B为二次蒙版。

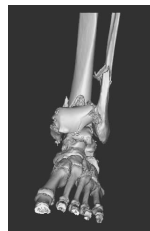


图4 Pilon骨折患者整体三维重构模型
Figure 4 Whole three-dimensional reconstruction model in a patient with Pilon fractures

1.5.3 骨折碎块的分离 在与医生交流后分离碎骨块, 其关键是在多个相互接触的、位置重叠的碎骨块中准确地分离出各个骨块的边界。

边界的分离需要通过对每层蒙版进行细致的编辑。当一个碎骨块被分离后, 即可利用布尔运算分离出其他的碎骨。如图5所示, 为碎块分离过程的流程图。由于Pilon骨折碎块较多, 为了方便蒙版编辑, 每次编辑蒙版之前需要复制蒙版。

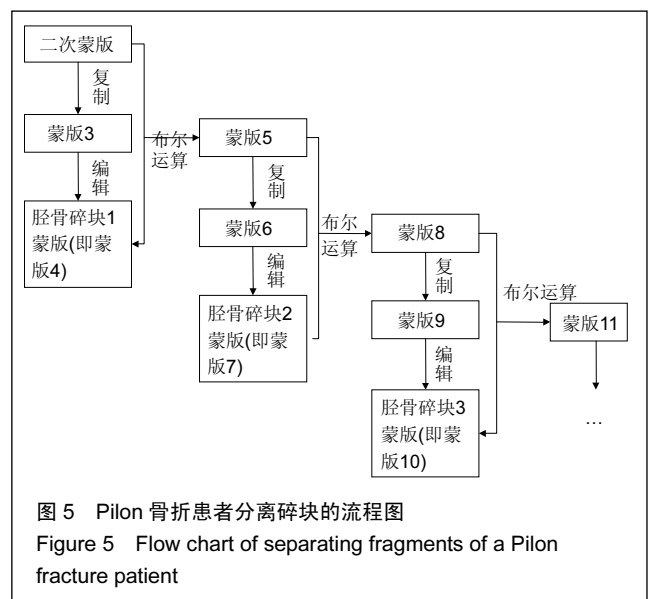


图5 Pilon骨折患者分离碎块的流程图
Figure 5 Flow chart of separating fragments of a Pilon fracture patient

分离第一块碎块: 首先将蒙版2复制一层, 得到蒙版3。在蒙版3上进行编辑, 用Crop Mask命令, 调整蒙版范围, 对蒙版3范围进行调整, 以减小后续工作量。之后用Edit Masks命令编辑蒙版, 通过选项Draw、Erase和Threshold,

以及Region Growing命令, 分离出胫骨碎块1。

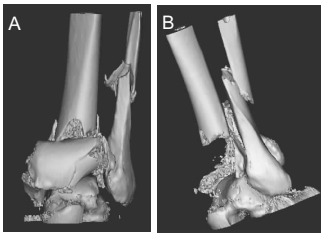


图6 Pilon骨折患者部分蒙版三维图

Figure 6 Three-dimensional image of the mask in a patient with Pilon fractures

图注: 图A 布尔运算前; B 为布尔运算后。

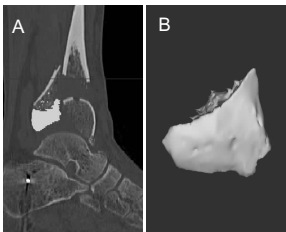


图7 Pilon骨折患者胫骨碎块2

Figure 7 Tibial fragment 2 in a patient with Pilon fracture

图注: 图A 蒙版7; B 为三维重构图。

分离第2块碎块: Boolean Operations(布尔运算)命令比较简便, 如图6所示, 使用Boolean Operations命令, 蒙版2与胫骨碎块1蒙版4做减法运算, 得到蒙版5。通过Boolean Operations命令可以快速分离出碎块蒙版, 方便快捷。在蒙版6上进行编辑, 使用Crop Mask、Edit Masks以及Region Growing, 分离出胫骨碎块2, 如图7A所示的粉色区域, 即蒙版7。如图7B所示, 为胫骨碎块2三维重构图。

采用同样的方法分离出所有碎块。足舟骨、骰骨、楔骨、跖骨、趾骨未发生骨折, 对术前模拟没有影响, 可以不分割。完成蒙版编辑后通过“Calculate 3D”功能建立3D模型。可以根据需要设定3D模型的生成质量, 一般选默认的“Optimal”选项即可, 若生成的3D模型不能满足要求, 可通过光滑系数、容差等参数进行调整。分离结果的三维重构图如图8所示, 为了便于观察, 将分离出的碎块设置成不同的颜色。



图8 Pilon骨折患者碎骨块分离后的三维重构图

Figure 8 Three-dimensional reconstruction image of a Pilon fracture patient after separating fragments

1.5.4 三维数字模型的修复 STL(Stereo Lithography)文件格式是由3D SYSTEMS公司于1988年制定的一个接口协议, 是一种为快速原型制造技术服务的三维图形文件格式, 目前是一种广泛应用于3D打印领域的标准文件类型。模型的精度和三角面片的数量有直接的关系, 三角面片越多, 近似的越准确, 由此产生的STL文件也越大, 因此必须合理的控制STL文件中三角形的数量。

将重构的碎骨模型按STL格式输出, 由于CT扫描的精度限制, 重构的3D模型表面不够光滑。将STL文件导入逆向工程软件Geomagic Studio中对各碎块模型进行交叉三

角面片的修复、删除钉状物和去噪等处理, 提高其表面质量, 有利于在虚拟现实系统中获得表面光滑的三维模型。

图9为胫骨碎块1, 由于松质骨密度低, 在重建后的模型中存在大量海绵状孔隙, 如图9B, 尽管碎骨的外表面很光滑, 但这些内部孔隙显著增加了模型的复杂程度, 因为这些空隙也是由很多微小的三角面片构成的, 所以这些空隙越多, 则STL文件就越大。如图9A, B所示, 其三角面片数分别为161 848个和40 404个。在虚拟现实操作平台中, STL模型的三角面片数越多, 对系统硬件要求越高。因此, 在不影响术前模拟的前提下, 为了降低模型复杂程度, 对内部的骨松质部分进行填实处理, 处理结果如图9C, D所示, 在碎骨外表面不变的情况下显著降低了模型的复杂程度。

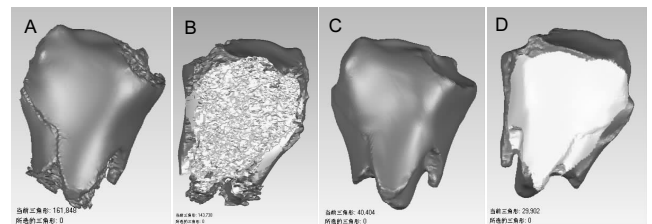


图9 Pilon骨折患者胫骨碎块2三维模型

Figure 9 Three-dimensional model of tibial fragment 2 of a patient with Pilon fracture

图注: 图A 为处理前表面; B 为处理前松质骨; C 为处理后表面; D 为处理后松质骨。

其中胫骨碎块2上的裂痕, 属于骨裂, 骨的连续性未全部打断, 即裂纹骨折, 如图9A, C。医生在进行手术时不会把二者分开, 因此在分离碎块时不必把骨裂分离开。

1.5.5 虚拟现实系统中术前模拟拼接复位 修复之后将各碎块导入到虚拟现实操作系统中进行拼接复位, 其目的是为了验证碎块是否提取完整。复位时以胫骨碎块上端为基准, 这是由于胫骨远端粉碎性骨折后碎块向周围移动产生错位, 而胫骨上端未错位, 因此以其为基准进行复位拼接, 如图10A所示。

如图10B所示, 将碎块导入到虚拟现实系统后, 首先用虚拟手把碎骨分散开以方便下一步碎骨拼接复位, 数据手可由数据手套或鼠标控制。胫骨碎块上端即胫骨碎块3固定不动, 用虚拟手移动碎块1, 使2个骨块的断裂面复位, 如图10C所示。依次进行拼接复位, 最终结果如图10D所示。

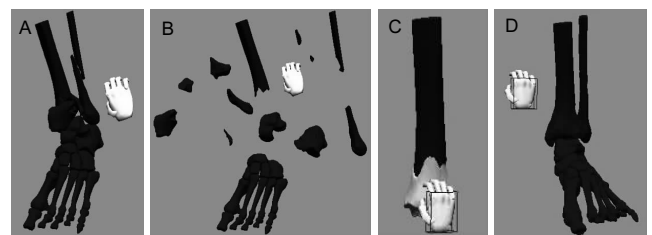


图10 Pilon骨折患者复位结果

Figure 10 Resetting of a patient with Pilon fractures

图注: 图A 初始状态; B 为分散碎骨; C 为复位后状态; D 为最终复位结果。

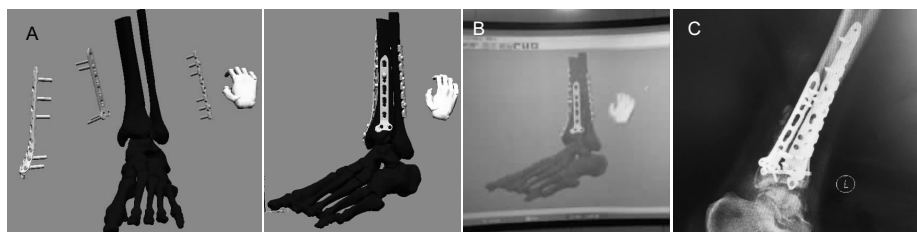


图 11 Pilon 骨折患者术前模拟与手术结果

Figure 11 Preoperative simulation and surgery results in a patient with Pilon fracture

图注: 图 A 为安装接骨板; B 为手术模拟复位结果; C 为患者术后 X 射线平片。

通过对比胫骨、腓骨的复位结果, 确认碎块提取完整。对比胫骨关节面可以发现, 复位后的胫骨关节面有一小块缺损, 与医生交流后得知, 这些缝隙是由于松质骨被压缩造成的, 属于正常现象。

1.5.6 手术模拟 拼接复位确认碎块提取完整后在医生的指导下进行术前模拟, 帮助医生选择手术入路和接骨板的种类、位置及方向, 以确定手术方案。模拟手术在高级职称医师全面评估患者及骨折情况后实施。

2 结果 Results

碎骨三维模型在虚拟现实系统中为医生提供了骨折的真实情况, 医师在手术前根据骨折情况选用合适的接骨板模拟复位固定。图 11A, B 为利用虚拟现实系统中碎骨三维模型进行接骨板固定。图 11C 为患者术后的 X 射线平片。

医生反映用虚拟现实系统中的碎骨三维模型可以直观的观察骨折的具体情况, 而且可以更加合理的选择、验证合适的接骨板与螺钉, 为手术做好准备, 提高手术成功率。

3 结语 Conclusions

文章采用逆向工程及虚拟现实技术, 对 1 例 Pilon 骨折患者的脚踝进行三维数字化重构及术前模拟的研究。

根据患者脚踝的 CT 扫描数据进行了患处的三维数字重建及后处理: ①在三维数字重建过程中, 最关键的是分离碎骨块, 其难度在于需要通过对每层蒙版进行细致的编辑, 从而在多个相互接触的、位置重叠的碎骨块中准确地分离出各个骨块的边界, 这个阶段需要在医师的指导下进行; ②STL 模型的表面精度影响虚拟现实系统中三维模型质量; STL 模型的三角面片数量越多, STL 文件越大。在后处理过程中, 对 STL 模型进行交叉三角面片的修复、删除钉状物和去噪等处理, 提高其表面质量; ③将处理后的三维模型导入虚拟现实系统中, 进行模拟手术, 帮助医生选择手术入路和接骨板的种类、位置及方向, 效果良好。

在外科手术中, 将虚拟现实技术应用到术前模拟中能够让医生真实观察到手术部位的结构, 具有重要的现实意义^[10-11]。虚拟现实技术在医学中的应用, 为临床医师选择正确的治疗方法及手术方式提供了可靠的依据, 给术前诊断、疗效预测等提供了良好的支持, 能够缩短手术时间。

作者贡献: 设计为第一作者和通讯作者, 实施为全体作者, 评估者为通讯作者。

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: 试验方案已经患者/家属知情同意。

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: 文章经国内小同行外审专家双盲外审, 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。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章, 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。根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 3.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

- [1] 吕婷, 刘桂铃, 杜海洲, 等. 虚拟现实技术在生物医学领域中的应用[J]. 中国组织工程研究, 2010, 14(43): 8099-8103.
- [2] Haigron P, Le Berre G, Coatrieux JL. 3D navigation in medicine. IEEE EMB Mar.1996;15(2): 70-78.
- [3] Shahidi R, Tombropoulos R, Grzeszczuk RP. Clinical applications of three-dimensional rendering of medical data sets. Proc IEEE. 1998;86(3): 555-568.
- [4] Soferman Z, Blythe D, John NW. Advanced graphics behind medical virtual reality: evolution of algorithms, hardware, and software interfaces. Proc IEEE. 1998;86(3): 531-554.
- [5] 谢叻, 肖波, 吴巧教, 等. 虚拟现实技术在外科手术中的应用[C]. 2005:77-80.
- [6] 郭燕舞, 张世忠, 柯以铨, 等. 虚拟现实技术在颅底肿瘤手术计划中的应用[J]. 中国临床解剖学杂志, 2008, 26(2): 206-208.
- [7] 张晓路, 吴劲松, 毛颖, 等. 虚拟现实技术在神经外科术前计划中的应用[J]. 中华显微外科杂志, 2007, 29(6): 415-418.
- [8] 顾立强. Pilon 骨折的分类与功能评价[J]. 中华创伤骨科杂志, 2004, 6(8): 894-898.
- [9] Rüedi TP, Allgöwer M. The operative treatment of intra-articular fractures of the lower end of the tibia. Clin Orthop Relat Res. 1979;138:105-110.
- [10] 程琳军. 虚拟手术训练系统框架搭建及数据模型可视化[D]. 南开大学, 2015.
- [11] 张晓芹. 虚拟手术仿真系统的设计与实现[D]. 电子科技大学, 2014.