

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2013.13.015 [http://www.crter.org]

黄若昆, 谢鸣, 余嘉, 任义军, 勘武生, 黄雯洁. 虚拟现实技术应用于髋部骨折手术仿真的建立[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(13):2383-2389.

虚拟现实技术应用于髋部骨折手术仿真的建立*★△

黄若昆¹, 谢鸣¹, 余嘉²△, 任义军¹, 勘武生¹, 黄雯洁¹

1 华中科技大学同济医学院附属普爱医院骨科, 湖北省武汉市 430033

2 香港理工大学医疗科技与资讯系, 香港特别行政区

文章亮点:

1 此研究基于患者的CT数据及临床实践。采用三维图像重建软件对数据在个人计算机上进行图像重建, 并且结合先进的逆向工程软件, 重建了骨折的三维模型, 然后对骨折进行了手术模拟, 建立了髋部骨折数字化虚拟可视重建及手术模拟的技术方法。

2 通过规划系统将手术方案思路向患者及其家属展示, 获得最大的理解和配合。甚至能够建立骨科手术的设计与评估系统, 其内容包括建立常用内固定器械库、骨折三维分类数据库、骨内固定器的选择等, 更加真实的模拟手术真实环境。

关键词:

骨关节植入物; 骨与关节图像与影像; 虚拟现实; 髋部骨折; 三维重建; 计算机辅助; 数字化; 64排螺旋CT; 快速成型; 导航模板; 内固定; 其他基金; 骨关节植入物图片文章

摘要

背景: 髋部骨折的病情较复杂, 临床医师选择适当治疗方案和手术入路的主要依据来源于影像学检查, 常难以准确判断空间立体关系。

目的: 探讨基于64排螺旋CT扫描数据对髋部骨折进行虚拟手术设计的可行性和临床应用价值。

方法: 将髋部骨折患者.dicom格式CT数据导入Mimics软件, 进行图像分割, 建立骨折三维模型并进行虚拟复位, 将.stl格式复位模型导入Imageware12.0, 根据钢板放置位置选择合适长度钢板, 螺钉固定。并快速成型形成实体与导航模板。

结果与结论: 重建三维可视模型可准确反映出骨折特点、骨折移位方向和程度, 并可进行任意旋转观察, 实现了内固定手术模拟。可见术前应用计算机辅助虚拟现实手术设计可以制定合理的个体化手术方案, 有很好的临床应用价值。

黄若昆★, 男, 1976年生, 湖北省监利县人, 汉族, 2008年昆明医学院毕业, 硕士, 主治医师, 主要从事足踝外科、数字骨科学研究。

whfoot@gmail.com

中图分类号:R318

文献标识码:B

文章编号:2095-4344

(2013)13-02383-07

收稿日期: 2012-09-22

修回日期: 2012-11-20

(20120722005/M·C)

Establishment and application of virtual reality technique in hip fracture operation

Huang Ruo-kun¹, Xie Ming¹, Yu Jia², Ren Yi-jun¹, Kan Wu-sheng¹, Huang Wen-jie¹

1 Department of Orthopedics, Pu Ai Hospital Affiliated to Tongji Medical College of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430033, Hubei Province, China

2 Department of Health Technology & Information, the Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China

Abstract

BACKGROUND: The hip fractures are difficult to treat because of its complexity. Clinicians select appropriate treatment options and surgical approaches according to imaging studies, which are difficult to accurately determine the spatial three-dimensional relationship.

OBJECTIVE: To study the feasible and clinical value of computer-assisted preoperative design for hip fractures based on 64-slice spiral CT scanning data.

Huang Ruo-kun★, Master,
Attending physician,
Department of Orthopedics, Pu
Ai Hospital Affiliated to Tongji
Medical College of Huazhong
University of Science and
Technology, Wuhan 430033,
Hubei Province, China
whfoot@gmail.com

Supported by: Funds of Wuhan
Health Bureau, No.WX11D09*

Received: 2012-09-22
Accepted: 2012-11-20

METHODS: CT data in .dicom format from the patients with hip fractures were imported into Mimics. In segmentation process, the three-dimensional model of fracture was built to perform simulated reduction. The reduced model in .stl format was transferred into Imageware 12.0 to determine an appropriate dynamic hip screw in a suitable place and fixed with screw. And then using rapid prototyping, the entity and navigation template were formed.

RESULTS AND CONCLUSION: The three-dimensional reconstructed visualization model could reflect the features of fractures, and the direction and degree of fracture displacement. And the fracture models could be rotated in any direction and space for observation which could simulate the internal fixation surgery. Preoperative computer-assisted virtual reality surgery can help to make a reasonable individualized surgical option, which has good clinical value.

Key Words: bone and joint implants; bone and joint imaging; virtual reality; hip fracture; three-dimensional reconstruction; computer-assisted; digitalization; 64-slice spiral CT; rapid prototyping; navigation template; internal fixation; other grants-supported paper; photographs-containing paper of bone and joint implants

Huang RK, Xie M, Yu J, Ren YJ, Kan WS, Huang WJ. Establishment and application of virtual reality technique in hip fracture operation. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2013;17(13):2383-2389.

0 引言

临床骨科三维重建与快速成型技术相结合, 即通过计算机将CT或MRI二维数据进行重建、转换得到数控加工命令, 利用快速成型技术制作三维医学模型, 为制定个性化的诊断和治疗方案提供了便利。尤其是在临床骨创伤及修复重建的应用中, 能够为骨折及骨畸形的治疗提供前瞻性手术及整复效果的评估。

近年来医学影像学发展非常迅速, 随着CT、MRI等成像设备功能愈发强大, 能够得到的数据也更加精确, 由此重建的三维模型精度不断提高, 与实际情况差距越来越小, 利用计算机模型模拟整形术以及设计方案逐渐成为实际手术前重要的辅助手段。当然, 模拟手术还有很多局限, 模拟效果与实际手术结果也存在一定差距, 主要原因是实际手术时受限于手术入路和无法直视手术面等因素, 医生操作仍要借助主观经验及感觉。此外, 对于肌肉等软组织, 也可以建立计算机模型, 但是对于术后肌肉萎缩等非线性变化, 还没有办法模拟, 这是目前模拟手术的缺憾^[1-2]。然而可喜的是, 随着计算机图形处理速度的迅速提高, 相应软件处理能力的提高, 计算机辅助设计、快速成型技术的发展, 实现了从二维图像到三维实物, 这一切使得临床医生对疾病的诊断、病变点的定位、手术方案的确定提供了重要的依据, 使得手术的安全性和手术的质量有了明显的提高^[3-4]。

髋部骨折是临床最常见的骨折之一, 大多为老年患者, 随着社会人口老龄化和高能量损伤日益增多, 髋部骨折的发生率也不断增高。治疗的原则是确保骨折解剖复位, 牢固内固定, 最大限度恢复关节功能。而对于转子间骨折, 股骨矩在股骨的压应力侧是重要的承载结构, 其解剖复位固定在股骨转子部骨折的治疗中非常重要^[5]。骨折固定不当, 易发生畸形、内固定松动, 致畸形愈合或延迟愈合、不愈合。

髋部骨折患者由于病情复杂, 治疗较困难, 临床医师选择适当治疗方案和手术入路的主要依据来源于影像学检查, 数字化虚拟现实技术可更精确地手术模拟、设计以及生物力学检测等, 帮助医生提供精确的参数和依据。在此作者探讨在个人计算机上对髋部骨折进行虚拟术前设计的可行性和临床应用价值。

1 材料和方法

设计: 探索性试验。

时间及地点: 实验于2008年12月至2010年10月在华中科技大学同济医学院附属普爱医院创伤骨科研究所完成。

材料: 6例髌部骨折患者的CT扫描断层数据(参与研究的患病个体同意将其诊疗经过信息用于科学研究)。定位像选定兴趣区进行薄层扫描。扫描参数: 电压120 kV, 电流94 mA, 层厚0.625 mm, 512×512矩阵。其进行连续水平扫描。将CT工作站上的Dicom图像数据光盘刻录到研究组的计算机系统中。

硬件: 主内存2 GB, 显示内存512 MB。保证显示器在真色彩和1 280×1 024屏幕分辨率下稳定工作。Serein激光扫描机。64排螺旋CT: SIEMENS, 产自德国。

软件: Windows XP; Mimics 10.1; Imageware12.0
 软件; Pro-E软件。

方法:

CT数据的三维重建: 将CT扫描断层数据以.dicom格式导入Mimics10.1软件, 通过窗宽窗位的调整使感兴趣的区域更加突出, 见图1。同时利用阈值分割来消除一部分干扰区域, 从而可以在更高分辨率的情况下做相应的预处理工作。

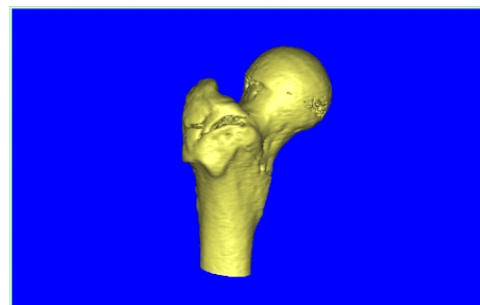
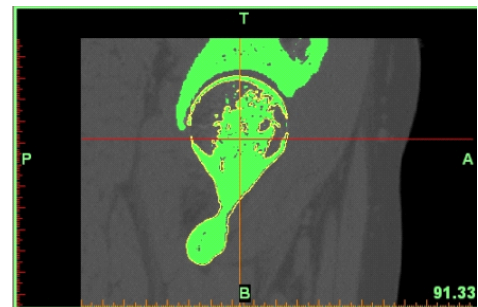
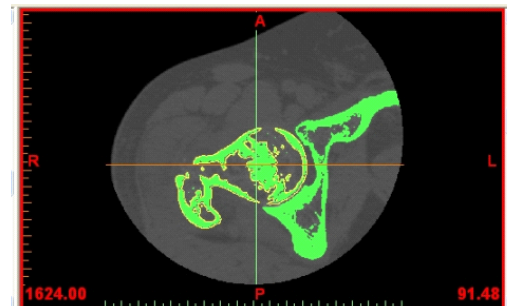
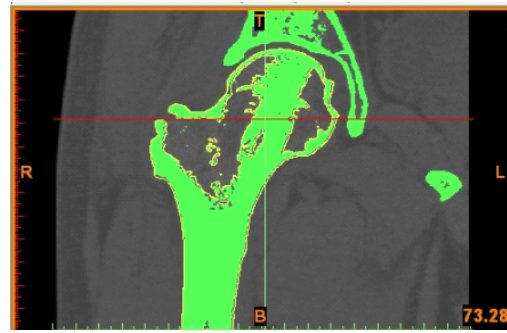
内固定置入物数据库采集: 利用Serein激光扫描机扫描动力髌螺钉钢板, 构建内固定材料数据库(AO/ASIF SYNTHES), 对出现扫描盲点在Pro-E软件上重构, 见图2。以.stl格式输出保存。

虚拟骨折复位内固定手术仿真: 灰度分割提取骨质边界轮廓信息区, 然后应用区域分割再次提取各骨折块信息区, 将每个骨块变成一个单独个体并被指定颜色, 采用最佳重建模式重建三维模型, 见图3A。

将移位骨块进行解剖复位, 恢复解剖结构, 见图3B, 3C。

并以.stl格式输出保存。通过Imageware12.0软件, 定位参考平面, 进行骨折虚拟手术仿真的研究。建立股骨外侧正中颈干角平面、股骨头颈前倾角平面。在两面相交的交集点上建立平面即为动力髌在皮质表面的投影边界和最佳中心轴入点位置, 见图4。

进而可确定螺钉的长度。按照AO内固定原则进行骨折的内固定手术模拟。根据钢板放置选择合适长的钢板和螺钉。



注: 将 CT 扫描断层数据以.dicom 格式导入 Mimics10.1 软件, 通过窗宽窗位的调整使感兴趣的区域更加突出。同时利用阈值分割来消除一部分干扰区域, 从而可以在更高分辨率的情况下做相应的预处理工作。

图1 髌部编辑后蒙罩与3D实体

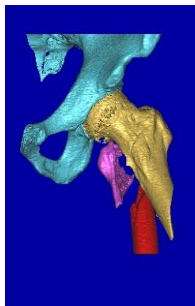
Figure 1 Edited mask and three-dimensional object of the hip joint



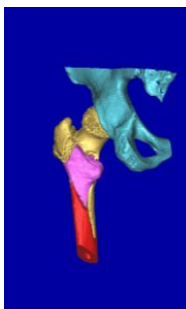
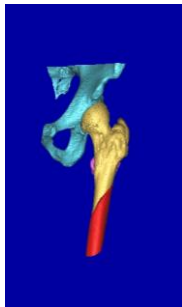
注: 利用 Serein 激光扫描机扫描动力髋螺钉钢板, 构建内固定材料数据库(AO/ASIF SYNTHES), 对出现扫描盲点在 Pro-E 软件上重构。

图 2 构建内固定材料数据库

Figure 2 Establishment of the database of internal fixation materials



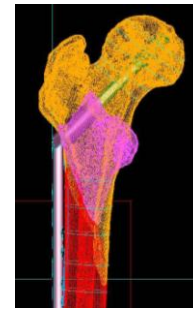
A: 灰度分割提取骨质边界轮廓信息区, 然后应用区域分割再次提取各骨折块信息区, 将每个骨块变成一个单独个体并被指定颜色, 采用最佳重建模式重建三维模型



B, C: 将移位骨块进行解剖复位, 恢复解剖结构

图 3 髋部手术的骨折模型和计算机下复位骨折

Figure 3 Model of hip fracture prepared for virtual surgery and reduction of fracture using computer-aided design

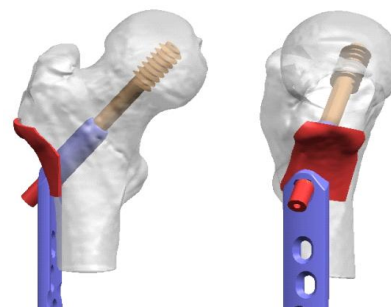


注: 通过 Imageware12.0 软件, 定位参考平面, 进行骨折虚拟手术仿真的研究。建立股骨外侧正中颈干角平面、股骨头颈前倾角平面。在两面相交的交集点上建立平面即为动力髋在皮质表面的投影边界和最佳中心轴输入点位置。

图 4 骨折虚拟手术仿真模型的建立

Figure 4 Construction of three-dimensional simulation model for virtual fracture surgery

导航模板与快速成形建立: 提取外侧特征皮质骨曲面的解剖形态, 在软件中建立与皮质骨后部解剖形状一致的反向模板, 将模板与皮质骨拟合, 观察钉道与皮质骨对应的准确性, 见图5。



注: 提取外侧特征皮质骨曲面的解剖形态, 在软件中建立与皮质骨后部解剖形状一致的反向模板, 将模板与皮质骨拟合, 观察钉道与皮质骨对应的准确性。

图 5 三维手术仿真模型的建立

Figure 5 Construction of three-dimensional simulation model

利用光敏树脂材料通过激光照射逐层固定的光固化成型化将模板制作出来, 见图6。



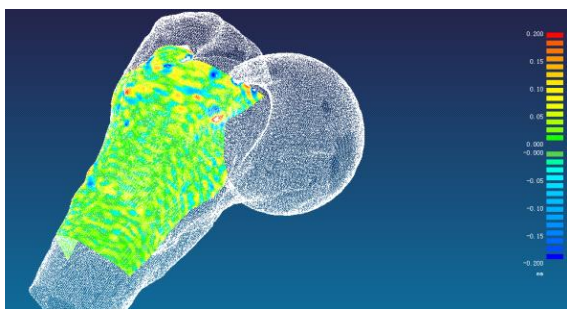
图6 股骨近端与导航模板快速成形实物

Figure 6 Rapid prototyping subjects of the proximal femur and navigation template

主要观察指标: ①三维数字可视化及虚拟手术仿真程度。②建模误差分析。

2 结果

三维重建出髌部骨折数字化模型, 具有较强的立体感, 可以任意角度旋转, 通过移除, 增加骨折块的方法可从不同角度, 不同层面进行观察, 清晰显示出各关节面骨折移位的情况, 并可较为准确地测量各骨折块的长度、宽度等。在建立上述模型基础上, 进行骨折复位、内固定置入的手术模拟。确定了内置物的放置位置, 螺钉的长度、直径和方向。建模误差分析, 导向支架处型面 $<0.2\text{ mm}$, 符合手术设计要求, 见图7。为骨科手术治疗提供个体化的治疗方案。



注: 该数字化模型具有较强的立体感, 可以任意角度旋转, 通过移除, 增加骨折块的方法可从不同角度, 不同层面进行观察, 清晰显示出各关节面骨折移位的情况, 并可较为准确地测量各骨折块的长度、宽度等。建模误差分析, 导向支架处型面 $<0.2\text{ mm}$ 。

图7 三维重建出髌部骨折数字化模型

Figure 7 Digital three-dimension model of hip fracture

3 讨论

自从20世纪80年代虚拟现实概念提出以来, 虚拟现实技术作为一门新兴学科正在医学领域蓬勃发展。可以应用于手术操作教学、培训和手术方案制定。每个骨折患者的情况需进行仔细分析评估和制定手术治疗计划。术前计划是保证手术顺利完成的重要步骤从而缩短手术时间和降低失败率。

计算机模拟手术可以在两种环境中进行, 即计算机图像环境和实物模型环境^[6]。近年来, 虚拟环境下的计算机辅助矫形手术规划系统不断涌现。Marchetti等^[7]利用虚拟手术来计划颌面部软组织和骨组织切除后对美学的影响。Seel等^[8]利用虚拟手术来计划全髌置换术, Rommens等^[9]对复杂的全髌置换翻修手术进行假体的虚拟放置, Handels等^[10]虚拟计划骨肿瘤切除和个体化假体制定。虚拟手术设计在临床医疗中正得到不断发展和应用。

目前计算机辅助手术前的手术规划主要通过二维X射线图像, 以及利用CT、MRI数据所构建的三维数字模型来进行^[11-12], 是前景看好的设计手术方案的新途径。并且可从多角度、多平面观察任何细微的可疑骨折线, 对感兴趣区进行三维重建, 重建出的骨折块可以任意组合及任意角度、任意透明度显示, 从而更清楚显示骨折碎片及相互位置关系, 这对于骨折的分型、移位方向、损伤程度具有重要意义, 并且可以进行术前模拟复位, 通过CAD设计更可制作出骨折的个性化模板, 从而有利于内固定物的预塑形。利用三维重建的数据通过快速成型技术制作计算机辅助导航模板, 可以更好地提高手术准确性^[12]。谷方等^[13]选择1例经CT增强连续扫描检查的健康志愿者数据集, 以DICOM格式导入Mimics10.01软件, 运用阈值选取技术、手动编辑技术、三维区域增长技术对颅面部血管进行三维重建, 获得了颅面部血管的三维数字化模型。陆声等^[14]利用逆向工程原理和快速成型技术设计一种新的下颈椎椎弓根定位的方法, 采用患者CT连续扫描数据集, 三维重建软件Amira 3.1建立颈椎三维模型, 以STL格式导出模型。在UG Imageware 12.0平台打开三维重建模型, 定位三维参考平面。利用RE原理寻找椎弓根的最佳进钉钉道, 提取椎板的表面解剖学形态, 建立与椎体后部解剖学形态一致的模板。拟合模板和椎弓根孔道成定位模板, 将椎体和定位模板

通过激光Rp技术生产出实物模板,手术时利用建立的定位模板与椎体的后部结构相吻合,通过导航孔进行下颈椎椎弓根的定位,植入椎弓根螺钉。通过在术前获得手术关键技术参数,利用虚拟现实技术的手术规划和模拟系统以“预见”到手术结果,提高手术的可预测性。从而能够在术前及时地调整手术计划。为判断预后、制定康复方案提供了直接的依据。通过在术前获得手术关键技术参数,利用虚拟现实技术的手术规划和模拟系统以“预见”到手术结果,提高手术的可预测性,从而能够在术前及时地调整手术计划,为判断预后、制定康复方案提供直接的依据。

可视化和虚拟现实技术的出现为外科手术的训练和学习开辟了全新的临床医学教育。外科技能的培训可以在真实或者虚拟的环境中进行,且已经在耳鼻喉科、颌面和肝胆外科等得到应用^[15-17]。通过快速成型技术制造模具,在模具中进行骨科器械的置入,也可以利用3D模型模拟骨折能够代替传统模具进行接骨术的演示和训练^[18]。术前在虚拟的三维模型中进行手术训练,可以更好地从整体理解人体的骨骼形态,这样就可以更好地选择置入物。

研究利用患者术前CT数据,通过三维重建、逆向工程设计、并结合快速成形技术构建出个体化定位导向模板,为解决临床医学中长期困扰人们的“量身定做”问题提供了有效的方法和制作手段。

三维重建(three-dimensional reconstruction)是通过一系列的二维图像进行边界识别等分割处理,重新还原被检物体的三维图像,能够在数字化虚拟环境下还原其解剖学结构特征,使数字化的解剖模型在计算机环境下实现三维动态可视化,可使临床医师直观地了解病变在三维立体空间的实际大小、形态、位置及周围组织的立体解剖关系,使手术模拟和手术方案的制订更加精确,具有很强的临床实用性。

逆向工程(reverse engineering, RE)又称反求工程,是指对存在的实物模型或零件进行测量,根据测量数据重构出实物的计算机辅助设计(computer aided design, CAD)模型并通过加工复现实物的一个过程,重构的模型可以全面反映原实物的几何特征。可利用CT、MRI等设备采集骨骼、关节等部位的外形数据,重建三维数据化模型。

快速成型技术(rapid prototyping technology, RP),集成了现代数控技术、计算机辅助设计/制造(CAD/CAM)技术、激光技术及材料科学领域的最新成果,在医学领域应用广泛。主要在医疗诊断和外科手术规划中应用,能有效地提高诊断与手术水平、缩短时间、节省费用。

此研究基于患者的CT数据结合临床实践。采用三维图像重建软件对数据在个人计算机上进行图像重建,并且结合先进的逆向工程软件,重建了骨折的三维模型,然后对骨折进行手术模拟,建立了髌部骨折数字化虚拟可视重建及手术模拟的技术方法。可以通过规划系统将治疗医生的手术方案思路向患者及其家属展示,获得最大的理解和配合。甚至能够建立骨科手术的设计与评估系统,其内容包括建立常用内固定器械库、骨折三维分类数据库、骨内固定器的选择等。如何更加真实的模拟手术真实环境需要计算机技术的进一步发展。相信虚拟手术设计方法会随着数字化技术的发展而不断改进。

基金资助: 武汉市卫生科研项目(WX11D09)。

作者贡献: 第一作者构思并设计本论文,所有作者共同起草,第一作者对本文负责。

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: 无涉及伦理冲突的内容。

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] Abalo A, Dossim A, Ouro Bangna AF, et al. Dynamic hip screw and compression plate fixation of ipsilateral femoral neck and shaft fractures. J Orthop Surg (Hong Kong). 2008; 16(1):35-38.
- [2] Luo CF, Zhu Y, Wang L, et al. Zhonghua Chuangshang Guke Zazhi. 2002; 4(3):188-191.
罗从风,朱越,王磊,等. 459例动力髌螺钉治疗股骨粗隆周围骨折结果分析[J]. 中华创伤骨科杂志, 2002, 4(3):188-191.
- [3] Foley KT, Simon DA, Rampersaud YR. Virtual fluoroscopy: computer-assisted fluoroscopic navigation. Spine (Phila Pa 1976). 2001; 26(4):347-351.
- [4] Simon DA, Lavallée S. Medical imaging and registration in computer assisted surgery. Clin Orthop Relat Res. 1998; (354): 17-27.
- [5] Lu SB. Zhonghua Guke Zhazhi. 1989; 27(6):331.
卢世璧. 转子间骨折分型及其内固定的选择[J]. 中华骨科杂志, 1989, 27(6):331.

- [6] Fei BW,Zhuang TG.Shengwu Yixie Gingchengxue Zhazhi. 1998;15(2):195-202.
费保蔚,庄天戈.计算机辅助外科手术(CAS)的方法和进展[J].生物医学工程学杂志,1998,15(2):195-202.
- [7] Marchetti C, Bianchi A, Bassi M, et al. Mathematical modeling and numerical simulation in maxillo-facial virtual surgery (VISU). J Craniofac Surg. 2006;17(4):661-667.
- [8] Seel MJ, Hafez MA, Eckman K,et al. Three-dimensional planning and virtual radiographs in revision total hip arthroplasty for instability. Clin Orthop Relat Res. 2006;442: 35-38.
- [9] Rommens PM, Hessmann MH.Acetabulum fractures. Unfallchirurg. 1999;102(8):591-610.
- [10] Handels H, Ehrhardt J, Plötz W, et al. Three-dimensional planning and simulation of hip operations and computer-assisted construction of endoprotheses in bone tumor surgery. Comput Aided Surg. 2001;6(2):65-76.
- [11] Wang CT,Bai XL. Zhonghua Chuangshang Guke Zazhi. 2008; 10(2):103-108.
王成焘,白雪岭.骨相关外科中的数字技术[J].中华创伤骨科杂志,2008,10(2):103-108.
- [12] D'Urso PS, Williamson OD, Thompson RG. Biomodeling as an aid to spinal instrumentation.Spine (Phila Pa 1976). 2005;30(24):2841-2485.
- [13] Gu F,Cui YQ,Zeng B,et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(9):1531-1534.
谷方,崔益群,曾兵,等.基于CT增强连续扫描数据的颅面部血管三维重建数字化模型[J].中国组织工程研究与临床康复,2010, 14(9): 1531-1534.
- [14] Lu S,Xu YQ,Zhang YZ,et al. Zhonghua Guke Zazhi. 2008, 28(12):1002-1007.
陆声,徐永清,张元智,等.计算机辅助导航模板在下颈椎椎弓根定位中的临床应用[J].中华骨科杂志,2008,28(12):1002-1007.
- [15] Suzuki M, Ogawa Y, Kawano A,et al. Rapid prototyping of temporal bone for surgical training and medical education. Acta Otolaryngol. 2004;124(4):400-402.
- [16] Zhu XY,Fang CH,Bao SS, et al. Zhonghua Waikje Zazhi. 2008;46(1):27-29.
朱新勇,方驰华,鲍苏苏,等.基于64排螺旋CT扫描数据三维肝脏手术仿真的研究[J].中华外科杂志,2008,46(1):27-29.
- [17] Fang CH,Huang YP,Lu CM,et al.Zhonghua Shiyan Waikje Zazhi. 2008;25(8):1068-1070.
方驰华,黄燕鹏,鲁朝敏,等.个体化仿真手术在肝血管瘤手术治疗中的应用价值[J].中华实验外科杂志,2008,25(8):1068-1070.
- [18] Messmer P,Long G,Suhm N,et al. Three-Dimensional Fracture Simulation for Preoperative Planning and Education . Eur J Trauma. 2001;27:171-177.