

颅颌面整形手术仿真模拟的研究

杨 斌¹, 黄洪章¹, 李 晶², 江贵平²

(1. 中山医科大学孙逸仙纪念医院整形外科、颌面外科, 广东 广州 510120;

2. 第一军医大学全军重点图像实验室, 广东 广州 510515)

摘要:【目的】为实现颅颌面外科整形手术仿真模拟, 术前制订量化的手术方案, 术后客观地评价疗效。【方法】应用医学三维可视化技术和 Visual C++ 编程语言开发出立体结构三维重建、三维测量和手术模拟软件, 建立了 3DCMFCAS 系统。将空间子区域操作模拟原理和方法应用于手术模拟。【结果】在 3DCMFCAS 系统上, 以准确的三维测量分析为基础, 实现了颅颌面外科经典术式的仿真模拟和量化手术方案的制订。【结论】本研究结果为颅颌面整形外科量化手术设计、术后疗效评价提供了新的技术方法。亦为颅颌面整形外科教学培训、多学科会诊及远程会诊提供了新的工具。

关键词: 颌面整形外科; 三维测量; 计算机模拟

中图分类号: R782.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-257X(2000)04S0-0087-05

A Research on Three-dimensional Simulation of Craniomaxillofacial Plastic Surgery

YANG Bin¹, HUANG Hong-zhang¹, LI Jing², JIANG Gui-ping²

(1. Department of Plastic and Craniomaxillofacial Surgery, Sun Yat-sen Memorial Hospital, Sun Yat-sen University

of Medical Sciences, Guangzhou 510120, China; 2. The Key Laboratory for Medical Imaging of PLA,

the First Military Medical University, Guangzhou 510515, China)

Abstract: 【Objective】 The present research aimed to realize plastic operative simulation of craniofacial surgery, pre-operatively quantitative design of surgical procedures, and postoperatively objective assessments of surgical result on a microcomputer graphic system. 【Methods】 By applying technique and principles of 3-D visualization the authors developed a integrated computer software of 3-D reconstruction, 3-D measurement and 3-D simulation, which is written in Visual C++ language. The method of spacial subregion volume data manipulation was adopted to surgical simulation that could be operated fast without compromising image quality. 【Results】 The microcomputer-based 3DCMFCAS system was built which consist of several function modules. Based on the precise 3-D measurement, the simulation of classic craniofacial operations were realized on the 3DCMFCAS system and the quantitative surgical plans could be obtained. 【Conclusions】 Through this research we get a novel and practical technique for quantitative planning of craniofacial plastic surgery and evaluating surgical therapy outcome. 3DCMFCAS system could be used as a instrumentality for training of craniofacial surgeons, multidiscipline consultation and teleconsultation.

Key words: craniofacial plastic surgery; three-dimensional measurement; computer simulation

1984年, 国外学者开始将计算机图形图像处理技术应用于 X 线头影测量和正颌外科手术的模

拟^[1]; 另有一些学者则在研究探讨利用三维重建的 CT 影像进行颌面外科手术模拟的可能性。Marsh

收稿日期: 2000-03-28

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(522205021)

作者简介: 杨 斌(1963-)男, 广东梅州人, 医学博士, 主治医师。

和 Vannier(1984)^[2] 首先在重建颅面畸形三维 CT 影像的基础上进行了颅眶整复手术三维模拟设计。1986 年、1989 年, 相继建立起基于 CT 影像资料的计算机辅助颅颌面外科手术三维模拟设计系统^[3,4], 在这样的计算机系统上进行的手术模拟, 同真实的手术操作大体相似, 这一技术被称之为“手术仿真”。在国内, 我们率先开始这一领域的研究探索, 建立以 CT 数据为信息源基于多媒体微型计算机的颅颌面整形外科立体可视化和手术仿真模拟系统(3DCMFCASS)和相关的技术方法, 为颅颌面外科临床诊断分析、手术方案选择、整形疗效评价提供了全新的技术手段, 实现了三维可视化颅面外科整形手术的模拟设计和疗效预测。

1 材料与方 法

1.1 系统软件组成、特点和功能

1.1.1 操作系统 以 DOS 6.22 和 Windows 98 作为多媒体微型计算机操作系统。

1.1.2 应用软件 由图像输入程序、配准和数据格式转换程序、体数据构筑程序、三维重建显示程序、三维测量程序、仿真手术模拟程序六大功能模块组成。本应用软件系统是以 Microsoft Windows 98 和 Microsoft Visual Studio 97 为开发环境, 以 OpenGL 图像处理软件作为开发软件接口, 用 Visual C++ 语言设计编制而成。由于 Visual C++ 语言有面向对象、易于修改扩充的优点, 本系统软件可以根据研究和临床需要不断优化升级, 增加新的软件模块和功能。

1.2 研究对象

选择正常青年志愿者及唇腭裂、颅面畸形患

者。用 HVCT 采集全头颅 CT 体数据。将此 CT 数据格式转换后存储, 并输入 3DCMFCAS 系统进行三维显示、立体模型构建及手术模拟研究。

1.3 CT 数据资料获取方法

所有研究对象的头颅 CT 影像资料获取均采用统一规范方法^[5]。

1.4 3DCMFCAS 系统工作原理与技术方法

1.4.1 图像输入 由 Somatoma ART III CT 机获取的 CT 断层影像由图像扫描仪经模拟-数字信号转换(analogous-digital signal conversion)以数字化图像输入 3DCMFCAS 系统主机; 由高速螺旋 CT(HVCT)获取的 CT 图像数据经数据格式转换后输入 3DCMFCAS 系统主机并存储。

1.4.2 图像配准 输入系统的 CT 断层图幅之间无统一标准的位置关系, 难以将无序的断层图像构建为三维图像, 因此, 必需对断层图像进行配准(registration)。

1.4.3 三维体数据构筑和存储 运行 3DCMFCAS 系统的体数据构筑程序将配准后的全部二维 CT 断层图像有序地排列起来, 形成三维图像序列, 即构建整体的三维图像体数据。

1.4.4 三维手术模拟技术方法和算法原理 显示患者颅颌面图像于图形终端, 操作者按预定计划划出截骨线, 位于截骨线上的所有边界像素构成“切割线”(cutting lines)输入并存储于系统; 所有边界像素均予以标记, 使“截骨段”由边界像素切割线界定为独立、有确定大小和厚度的多面体操作块——三维体数据中的一个空间子区域, 该切割线的所有轮廓点均经过世界坐标到屏幕坐标的转换并标记于头颅图像上, 轮廓线不连续之处则予以插值(图 1)。

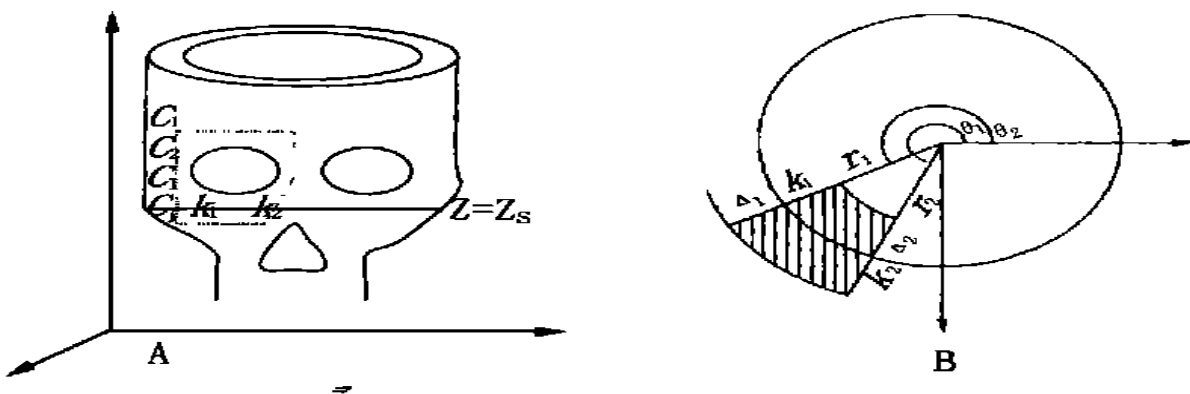


图 1 手术模拟算法原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the algorithm of surgical simulation

A. Definition of the cut line points and skeletal segment B. Removal part in a CT slice

子区域(截骨段)的移动操作需逐个断层进行。在相邻断层上找到一对对应的轮廓点, 两点间所连线段与断层相交。此后, 断层上的轮廓点则由直线和断层间的交点决定, 一系列的轮廓点由 C_1 、 C_2 、 \dots 、 C_m 来表示, 这些点的 Z 坐标用 Z_1 、 Z_2 、 \dots 、 Z_m 来表示。对应点 C_i 和 C_{i+1} 应满足下列条件:

$$(Z_i - Z_s) \times (Z_{i+1} - Z_s) < 0 \quad (1)$$

其中 $1 < i < m$, $Z_{m+1} = Z_1$

断层中轮廓点的 X 、 Y 坐标分别为 X_k 和 Y_k , Z 坐标为 Z_s , 用 X 、 Y 、和 X_i 、 Y_i 对上述已找到的点进行 X_{i+1} 、 Y_{i+1} 坐标插值, 来确定 X_k 、 Y_k 和 Z_s 即:

$$X_k = (X_i |Z_{i+1} - Z_s| + X_{i+1} |Z_i - Z_s|) / |Z_{i+1} - Z_i| \quad (2)$$

$$Y_k = (Y_i |Z_{i+1} - Z_s| + Y_{i+1} |Z_i - Z_s|) / |Z_{i+1} - Z_i| \quad (3)$$

所有轮廓对应点对满足式(1)条件, 插值轮廓点则由式(2)、式(3)决定, 在断层上所有轮廓点 $Z = Z_s$ 。操作者选定的轮廓中的任何一点的世界坐标由 Z -buffer 缓冲和视点方向来决定。在 $Z = Z_s$ 断层找到 K_1 、 K_2 轮廓点, 它们的位置由 CCE (cylindrical coordinate expression) 方法^[6] 确定为 (r_1, θ_1) 和 (r_2, θ_2) , 通过这些坐标值来决定移动区。首先, 计算移动区最大和最小半径 r_{\max} 和 r_{\min} 如下:

$$r_{\max} = \text{Max}(r_1, r_2) + \Delta_1 \quad (4)$$

$$r_{\min} = \text{Min}(r_1, r_2) - \Delta_2 \quad (5)$$

其中 Δ_1 和 Δ_2 为预先设定的常量, 使 r_{\max} 和 r_{\min} 覆盖整个移动区, 可移动此区域中所有像素。

应用上述过程于切割线界定的空间子区域中所有断层, 即可从颅颌面三维结构整体数据中移动所界定的某一局部体数据集(截骨段)。设置移动的方向、距离和旋转角度等参数, 并将截骨段体数据集与原颅颌面体数据同屏显示, 即可实现仿真手术模拟。

1.4.5 目标光学信息的引入 灰度阴影图像生成后, 对于每一个像素点, 根据相应位置处的目标代号获取颜色信息, 并以阴影图像在该点的灰度值作为亮度信息, 采用 SIGGRAPH 标准化委员会提出的色度、亮度、饱和度(HLS)到红、绿、蓝(RGB)的变换方法, 获得该点彩色处理后的 RGB 值。经过这种处理后, 灰度阴影图像或其中的某些结构图像就转换为目标信息鲜明的立体感彩色图像。

2 结 果

2.1 建立 3DCMFCAS 系统

利用此系统实现了颅颌面立体结构三维可视化; 实现了颅颌面畸形量化三维诊断分析及颅颌面外科整形手术仿真模拟。

2.2 建立三维精确测量法

选定相关解剖标志点和测量项目, 系统将自动给出所选标志点的三维坐标值, 并计算出线距、角度、面积和体积等所选测量项目的准确数值。系统可将颅面畸形结构的测量数值与正常人颅颌面结构相应测量数值进行比较, 根据正常值范围进行判别分析, 得出量化诊断结论。

2.3 颅颌面整形手术量化仿真模拟设计

运行颅颌面整形外科手术模拟程序, 根据测量诊断结果选择整形手术术式并预设颅颌面截骨段移动的距离和旋转的角度, 系统将按预设参数以自动方式模拟经典的颅面截骨整形手术(图 2、图 3)。此后, 操作者可根据临床经验、咬合关系、复发倾向等以人机交互方式继续模拟手术, 调整截骨段位置。最后, 操作者可选定最满意的量化手术方案,

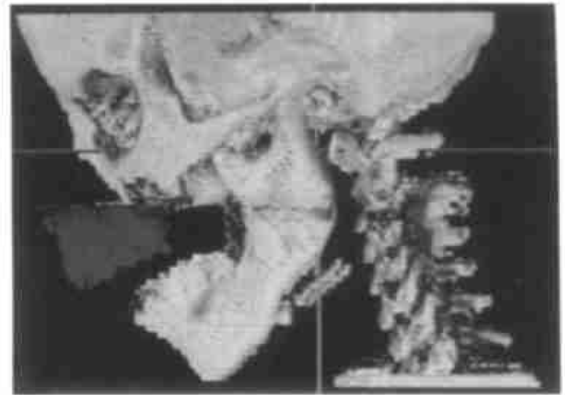


图 2 Le Fort I 型截骨手术模拟

Fig. 2 The surgical simulation of Le Fort I osteotomy



图 3 眶-鼻-颌截骨联合下颌前部根尖下截骨手术模拟

Fig. 3 The surgical simulation of orbito-naso-maxillary osteotomy combined with anterior mandibular subapical osteotomy

并通过再次三维测量来明确畸形经“手术整复”是否已被矫正而恢复到正常解剖形态。

3 讨论

3.1 颅颌面整形手术仿真模拟设计的意义

颅颌面部解剖结构复杂,生命感觉器官密布,容貌美学意义重大。涉及此区域的颅颌面外科手术难度高、危险性大、必须容貌与功能兼顾^{7]}。因此,颅颌面三维结构和复杂颅面畸形的观察分析、定位和定量诊断以及周密准确的手术设计模拟对于成功的颅颌面整形外科治疗尤为重要。近10年来,计算机科学技术日新月异迅猛发展,三维重建立体显示、全息摄影、跟踪传感器、多媒体技术能为外科医生构建一个接近自然的可视化虚拟现实环境,医生可以在这种虚拟现实的“手术室”中,以“真实自然”地感觉观察分析解剖结构的空间关系、模拟操作整个手术过程、处理各种意外情况、熟悉一些高难度手术和选择最佳手术方案^{8]}。虚拟现实技术的基本技术构成即高分辨率三维可视化、多传感器交互式技术。因此,积极进行医学三维图像可视化研究是步入虚拟现实技术研究前沿的必要步骤。

为适应我国颅颌面外科兴起和发展的需要,有必要自行开发建立适合我国国情的颅颌面外科三维诊断分析、手术模拟设计、疗效评价计算机辅助手术系统,改变仅凭主观经验诊断畸形和设计手术方案的传统模式,提高颅颌面外科手术的安全性和整形效果。为颅颌面外科协作组成员、患者及家属在计算机屏幕前就颅颌面整形手术方案、预期疗效及并发症等问题会诊协商、达成共识创造条件,为颅颌面生长发育规律研究、解剖学、人类学、医学美学研究提供全新的技术方法;为将来在虚拟现实环境中培训外科医生以及通过通讯网络远程会诊奠定基础。

3.2 颅颌面外科手术模拟的算法理论探讨

手术仿真操作的过程即是交互式目标结构体数据操作的过程。首先将三维体数据分解成若干空间子区域,在每个子区域内选择不同的目标,对子区域内指定目标进行空间平移和旋转显示。在本系统中,这种空间子区域用一个多面体来进行定义,运用计算机图像图形学方法,不必对原始数据作任何改动,即可对该多面体内的指定目标进行任

意方向移动和旋转,不将其简单的消隐,而是与余下的部分同屏显示。由于将原始三维体数据完好地保存着,改变的只是子区域的多面体描述结构,因此,可以反复模拟操作。本系统的定量化手术模拟是以准确的三维测量为基础的,精确度的变异系数为0.41%~1.37%,能够满足临床诊断和治疗的需要。

3.3 颅颌面外科整形手术仿真模拟功能和特点

颅颌面外科手术模拟系统和方法有两种类型^{3,9]},其一为基于三维CT图像的三维手术模拟,其二则是基于侧位X线头影的二维手术模拟。后者当应用于现代颅颌面外科领域时表现出一些局限性,X线定位头影是颅颌面骨的二维重叠影像,丧失了许多空间三维信息;影像模糊不清常致定点和测量误差;正位定位X线头影由于影像重叠致使无法清晰显示上颌骨、颧骨、鼻-筛-眶区整体外观形态;侧位定位X线头影不能反映颅颌面不对称畸形的特征,手术模拟是在颅颌骨侧位轮廓剪影上进行二维平面的操作,视觉效果类似于传统的剪纸模板拼对疗效预测。

本研究所建3DCMFCAS系统是以患者头颅CT数据为信息源,首先进行颅颌面结构三维重建,获得形象逼真、可随意操作的颅颌面畸形立体模型。继之用三维精确测量法分析畸形性质范围,得出量化的诊断作为整复手术的依据。本系统的整形手术模拟有两种形式,①根据定量诊断所示的畸形性质和程度,选择经典的颅颌面外科整复术式并确定截骨段在X、Y、Z三维轴向移动的距离及旋转的角度,采用自动模拟方式进行。②由于颅颌面畸形复杂多样,某一特定的经典术式有时难以获得满意的疗效,因此,可采用灵活的人机交互方式,根据医生经验、畸形特点、复发倾向、植骨吸收率、咬合关系等进行细致的手术模拟设计以获得医患双方均感满意的手术方案。3DCMFCAS系统上的手术模拟是在接近真实解剖形态的立体模型上施行,三维方向的模拟操作可以不同角度观察分析,与经典的颅颌面外科截骨手术相近似,清晰的图像上准确的定点和三维测量一则可以准确的定量诊断,二则可以得到量化的整复手术方案。以上特点使得3DCMFCAS系统在适用范围、操作使用、准确程度和视觉效果等方面均较基于X线头影的二维手术模拟系统具有明显的优越性。目前,由于二维手术模拟系统拥有较大样本量的正常头颅X线头影测

量数值作为参考标准, 而三维手术模拟系统受 CT 设备条件的限制, 因此, 这两种手术模拟系统及技术在现阶段可以同时并存、相互补充、相辅相成。

参考文献:

- [1] Bhatia S N, Sowry J H. A computer-aided design for Orthognathic surgery [J] . Br J Oral Maxillofac Surg 1984, 22(3): 237.
- [2] Vannier M W, Marsh J L, Warren J O. Three-dimensional CT reconstruction images for craniofacial surgical planning and evaluation [J] . Radiology, 1984, 150(1): 179.
- [3] Cutting C, Grayson B, Bookstein F, *et al* . Computer-aided planning and evaluation of facial and orthognathic surgery [J] . Clin Plast Surg, 1986, 13(3): 449.
- [4] McEwan N, Fukuta K, Recent advances in medical imag-

ing: surgery planning and simulation. World J Surg, 1989, 13(4): 343.

- [5] 杨 斌, 张涤生, 龙 公, 等. 颅面三维影像测量分析研究. I . 方法与原理[J] . 口腔颌面外科杂志, 2000, 10 (2): 5.
- [6] Yasuda T, Hashimoto Y, Yokoi S, *et al* . Computer system for craniofacial surgical planning based on CT images [J] . IEEE Trans Med Imag 1990, 9(3): 270.
- [7] David D J. Aesthetic Surgery of the bony facial skeleton [J] . Asian J Surg, 1997, 20(1): 2.
- [8] Rosen J M. Advanced surgical technologies for plastic and reconstructive surgery[J] . Otolaryngol Clin North Am, 1998, 31(2): 357.
- [9] Wagner A, Rasse M, Millesi W, *et al* . Virtual reality for orthognathic surgery: the augmented reality environment concept [J] . J Oral Maxillofac Surg, 1997, 55(5): 456.

(编辑 张敏瑞)

(上接第 86 页)

析使临床医生不需要再由 X 线平片或 CT 胶片上的二维图像想象颅颌面部各解剖结构三维形态及相互关系。正常颅面立体结构模型的建立可供解剖学、医学美学研究, 探讨各结构间对称平衡、比例和谐的内在美学规律, 并用于指导美容整形手术。畸形立体结构模型的建立可以深入细致地定性、定位和定量分析各种颅面畸形的病理解剖特征, 可以在此基础上进行手术模拟、术前手术方案设计, 为提高颅颌面整形外科的诊断和治疗水平提供了极大便利。

参考文献:

- [1] Zonneveld F W. A decade of clinical three-dimensional imaging [J] . Invest Radiol, 1994, 29(7): 716.
- [2] 杨 斌, 张涤生, 龙 公, 等. 颅面三维影像测量分析研究. I . 方法与原理[J] . 口腔颌面外科杂志, 2000, 10 (2): 5.

- [3] Hemmy D C, Herman G T, David D J, *et al* . Three-dimensional reconstruction of craniofacial deformity using computer tomography[J] . Neurosurgery, 1983, 13(5): 334.
- [4] Vannier M W, Marsh J L, Warren J O. Three-dimensional CT reconstruction images for craniofacial surgical planning and evaluation[J] . Radiology, 1984, 150(1): 179.
- [5] Vannier M W, Marsh J L. Three-dimensional imaging, surgical planning, and image-guide therapy [J] . Radiol Clin North Am, 1996, 34(3): 545.
- [6] Barillot C. Surface and volume rendering techniques to display 3D data [J] . IEEE Eng Med Biol, 1993, 12(3): 111.
- [7] Cutting C, Grayson B, Bookstein F, *et al* . Computer-aided planning and evaluation of facial and orthognathic surgery [J] . Clin Plast Surg, 1986, 13(3): 449.

(编辑 关淡庄)