

颅颌面皮肤和骨组织结构立体可视化应用研究

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和颌面外科, 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】为实现颅颌面结构立体可视化并对其全面、准确的定性和定量分析。【方法】应用 Visual C++ 语言设计开发出一个多功能应用软件包, 其功能模块包括: 三维重建、精确测量、电子解剖等。借助所开发的软件包, 将面向多边形的表面绘制显示方法应用于颅颌面软、骨组织结构的三维重建研究。【结果】由二维断层 CT 图像构建出颅颌面皮肤软组织和骨组织立体结构模型, 其立体模型可旋转以利于不同角度的观察分析, 可用任一个剖面显示及操作其局部结构。【结论】为颌面外科临床提供了定性和定量诊断分析的新技术, 实现了颅颌面电子解剖。为解剖学、人类学和医学美学研究提供了立体分析模型和新方法。

关键词: 颅颌面结构; 立体可视化; 计算机图像处理

中图分类号: R782.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-257X(2000)04S0-0083-04

A Study on Three-dimensional Visualization of Craniomaxillofacial Skin and Skeletal Structures

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】To achieve three-dimensional visualization and quantitative analyses of craniomaxillofacial structures. 【Methods】A versatile software package written in visual C++ language has been developed, which consist of several functional modules including three-dimensional reconstruction, 3-D measurement, and electronic anatomy etc. By means of the comprehensive software package, the polygon-oriented surface rendering algorithm was adopted to implement 3-D volume digital data of craniofacial skeletal and soft-tissue structures. 【Results】The 3-D stereo models of craniofacial soft-tissue and osseous-tissue were retrieved from a series of 2-D CT slices. With rotating of these 3-D visual models, the anatomic structures could be observed and analyzed from different view points. The arbitrary cross-section and partial structure could be displayed and manipulated on the 3-D visual models. 【Conclusions】The aforementioned microcomputer software system provides novel technique of qualitative and quantitative diagnoses, and analyses for craniofacial surgery. The electronic anatomy of craniofacial morphology was realized, which provide useful methods and stereoscopic models for researches of anatomy, anthropology, medical aesthetics, as well as medical education.

Key words: craniomaxillofacial anatomic structures; three-dimensional visualization; computer image processing

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。

颅颌面外科是医学图像立体可视化技术应用最多的临床医学领域之一, 三维重建 CT 影像能够再现人体组织、器官的形态特征及其与毗邻结构的空间关系, 可在计算机屏幕上对头颅进行“无损伤的活体电子解剖”^[1]。但是, 颅颌面结构三维重建尚无固定的算法或模式, 目前无论是三维建模的可靠性还是真实感图像的逼真度, 都有待于进一步深入研究。有鉴于此, 作者建立了颅颌面外科立体可视化、三维诊断分析和手术模拟计算机辅助手术系统

(Three-dimensional Visualization, Quantitative Diagnosis/Simulation Computer-assisted System for Craniomaxillofacial Surgery, 3DCMFCAS)。借助该系统进行了颅颌面结构的立体可视化研究。

1 材料与方 法

1.1 3DCMFCAS 系统的构成和配置(图 1)

1.2 研究对象

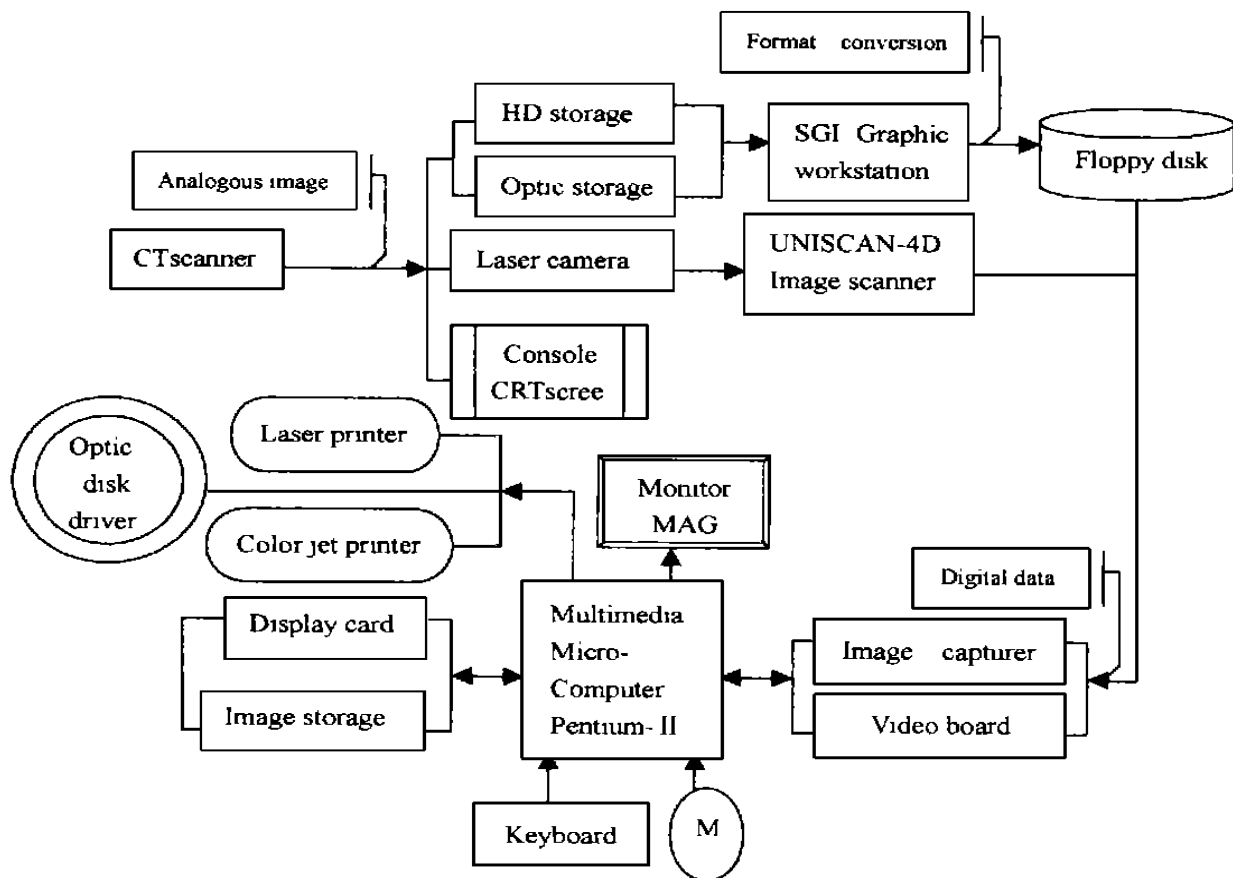


图 1 3DCMFCAS 系统硬件构成和配置框图

Fig. 1 3DCMFCASS hardware configuration schematism

正常青年志愿者及颅颌面畸形患者。

1.3 CT 数据资料获取方法

所有研究对象均采用统一规范方法采集头颅 CT 体数据^[2]。将此 CT 数据格式转换后存储并输入 3DCMFCAS 系统进行立体模型构建及其方法学研究。

1.4 三维重建技术与原理

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-数字化信号转换(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 SGI 格式经转换为 GIF 格式后再输入 3DCMFCAS 系统主机存储。

1.4.2 图像配准 必需对断层图像进行配准(registration)。先在断层图像上选定 6 个基准点, 程序自动搜索四条边框并进行二维线性配准。在连续扫描的 CT 断层图像序列中进行逐幅配准。

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 CT 断层图像有序地排列起来, 即将它们构建为

一个整体的三维图像体数据并存储。整个图像序列可以动画形式演示。

1.4.4 三维图像重建技术方法 ①提取目标结构:根据骨、软组织、皮肤的 CT 值、图像结构的灰度级范围,选用 20~25 灰度级作为皮肤提取阈值,200~255 灰度级为骨骼提取阈值。设置自动程序提取骨、皮肤结构。再利用八邻域边界跟踪算法进行逐个轮廓边界像素搜索,形成目标结构的轮廓边界线。②三维插值:CT 扫描层数和层间距离是有限的,常需要对结构目标进行层间插值。采用形心偏移运算:

$$\text{Cent}[f(x, y)] = f(x - C_x, y - C_y)$$

C_x 、 C_y 为各目标形态中心坐标,作数学形态学内插运算,形态算子中心轨迹为内插后形成的新外轮廓。形态内插中心矢量为 $\vec{p}(x, y) / 2$,对形态内插后形成的新轮廓进行形心偏移逆运算:

$$\text{Cent}^{-1}[f(x, y)] = f(x + C_x, y + C_y)$$

由此获得两层 CT 断层中目标结构轮廓的内插图像。③目标结构轮廓线采样:当结构边界提取后,要对其进行采样处理,后续的表面重建即在采样点间进行。利用采样点而不是整个轮廓数据进行表面重建可减少处理数据量,使得图形变换处理更为容易。本研究采用保持精度的变分辨率轮廓线自动拟合算法,能够自动根据轮廓线形态复杂程度自适应的决定采样间隔,以尽可能少的采样点最大限度的保持原结构形状。④表面重建:采用面向多边形的表面绘制方法,原理如图 2 所示。⑤三维真实感绘制:是针对已建立的三维静态模型,模仿三维物体在特定的光照条件下所表现出的形状、明暗、颜色,以及根据所选择的观察视点位置、视线投影

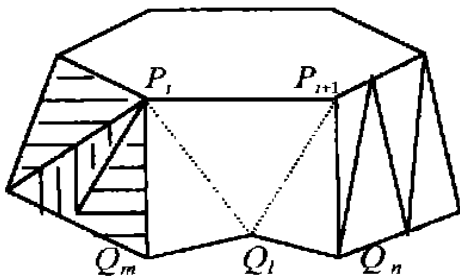


图 2 面向多边形的表面绘制显示算法原理

Fig. 2 The algorithm of surface rendering by triangular elements approximating

P_i, P_{i+1} are sample points on the contour line L_p of cross-section;

Q_m, Q_i, Q_n are sample points on the contour line L_q of adjacent cross-section

平面的位置,在计算机屏幕上绘制出能逼真表现物体三维情况的图像。设置观察点位置,将模型坐标转换成观察点坐标。设置投影平面距观察点的距离,将观察点坐标系中的点映射到投影平面。在计算点投影时,消除隐藏线和隐藏面,采用平面法向量与视线方向夹角及 Z-buff 缓冲器方法来实现。在光照模型中,同时考虑环境光、漫反射光与镜面反射,其数学表达式为: $I = K_a I_a + K_d I_l \cos \theta + K_s \Pi \cos n \alpha$

I 为总的光强, I_a 是入射泛光光强, K_d 是泛光反射常数, I_l 是光源的光强, K_a 是漫反射常数, θ 是入射角, α 是视线与表面法向量夹角, K_s 是物体镜面反射常数。颜色模型采用三通道 RGB 颜色模型。

2 结 果

2.1 建立颅颌面外科立体可视化、三维诊断分析、手术仿真模拟计算机辅助手术系统(3DCMFCASS)

所建系统整机运行性能良好,系统应用软件功能达到设计要求,系统相关技术方法和结果适合于临床应用,系统操作简捷实用。利用此系统研究探讨了不同的三维重建显示算法,实现了颅颌面立体结构三维可视化。

2.2 颅颌面立体结构三维构建

在本系统上将头颅连续序列 CT 断层图像重新构建为颅颌面立体图像(图 3、4)。此立体图像可以动态旋转,从不同角度观察分析。可以在不同部位进行剖面结构显示(图 5),即“电子解剖”分析颅颌面结构特征。



图 3 三维重建的颅颌面皮肤立体结构

Fig. 3 Three-dimensional reconstruction of normal craniomaxillofacial skin structure

3 讨 论

3.1 建立 3DCMFCASS 系统的背景和意义



图4 三维重建的颅颌面畸形立体结构

Fig. 4 Three-dimensional reconstruction of abnormal craniomaxillofacial skeletal structure

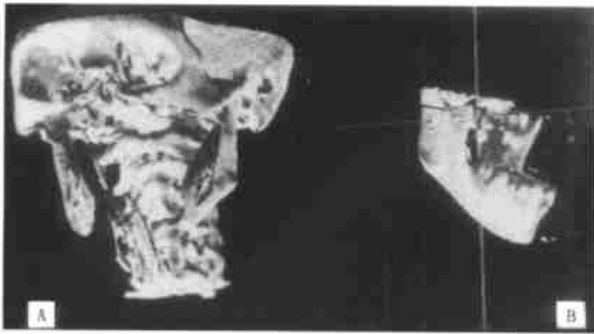


图5 颅颌面立体结构电子解剖

Fig. 5 The electronic anatomy of stereoscopic craniomaxillofacial structure

A. cranium-orbital bone; B. mandible

Hemmy (1983)^[3] 首先报道颅面畸形的三维 CT 分析结果而将此技术引入颅面外科领域。Vannier 和 Marsh (1984)^[4] 创造性的将三维 CT 影像学技术应用于颅面外科的诊断和手术设计, 为颅面畸形的诊断和手术规划提供了重要的技术手段。但最初的图像显示质量尚不能令人满意。

近 10 余年来, 医学三维图像可视化技术迅速发展, 计算机硬件设备、软件功能及图像质量都在改进和提高, 越来越多地应用于颅颌面形态结构基础研究、颅面畸形诊断分析和手术设计^[5]。CT 和三维图像技术以其克服了传统的 X 线定位头影测量的局限性, 适合于颅-眶-颧-鼻窦区诊断分析、能立体精确的显示颅面三维解剖结构及其相互关系等优点而受到颅颌面外科学界的重视。

我们应用医学三维图像可视化技术建立了基于多媒体微机的颅颌面外科立体可视化、三维诊断分析、整形手术模拟计算机辅助手术系统 (3DCMFCASS) 以及相关技术方法。系统硬件配置合理, 整机运行状态良好, 在 Windows 98 平台上

的人机交互式操作简捷实用, 易于非计算机专业的临床医生掌握。

3.2 颅颌面结构立体可视化的方法和理论

立体结构图像体数据 (volume data) 三维可视化方法主要有两类^[6]: 表面绘制显示 (surface rendering) 和体绘制显示 (volume rendering)。

两种绘制显示方法的比较: ①表面绘制显示法是用某种几何面元来拟合目标表面, 几何面元的提取构造要采用阈值分割方法, 虽然阈值分割会使体数据中一些信息丢失, 但是, 它却能明确的提取骨骼和皮肤表面。这有利于骨、皮表面观察诊断、测量和剖切分析。体绘制法则是直接对体数据的体素进行处理操作, 可以绘制出三维数据场中包含的较丰富的信息, 有利于内部深在的微细结构的显示。②表面绘制显示的前处理过程较为复杂费时, 但显示时操作的数据量较少, 存储需求相对较小, 显示速度较快。因此, 可以在基于微机的环境下实现交互式数据显示, 体显示虽然不必作大量的图形学预处理, 而且适合于显示各种组织结构数据。但是其显示操作的数据量大, 显示速度较慢, 一般需要在图像图形工作站环境下实现。③表面显示采用传统成熟的计算机图形学方法, 有较多的高效算法和图形加速硬件可供选用, 因此, 目前在算法效率和实时交互性能方面, 表面显示要优于体显示方法。

本研究出于颅颌面外科的定性、定量诊断分析和手术模拟的临床需要, 根据目前国内各医院中微型计算机较为普及的现状, 初步选用了表面绘制显示方法作为 3DCMFCAS 系统的三维建模方法。获得了较好的图像效果。

3.3 3DCMFCAS 系统颅颌面立体结构三维重建特点及临床应用

骨、软组织结构均能三维重建显示的特点是其他三维形态研究方法, 如近景立体摄影、莫尔云纹影像方法所无可比拟的。本系统三维构建方法与以往通过正、侧位两张 X 线平片相互映射寻找三维坐标并形成颅颌面线框图的方法^[7] 相比具有明显的优越性。在 3DCMFCAS 系统上构建了正常和畸形颅颌面立体结构模型, 这种三维可视化模型形象逼真地反映了颅颌面解剖结构或畸形特征。动态旋转观察、任意剖面显示的电子解剖可满足基础研究或临床诊断分析之需要。可操作的三维图像分

(下转第 91 页)

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)