

第三军医大学

博士学位论文

CT三维表面重建辅助颌面部整形手术系统的研究

姓名：唐震

申请学位级别：博士

专业：影像医学与核医学

指导教师：巫北海

20040501

CT 三维表面重建辅助颌面部整形手术系统 的研究

博士研究生：唐震

导师：巫北海教授(主任医师)

第三军医大学西南医院放射科，重庆 400038

中文摘要

前 言

颌面部结构复杂，是多个重要器官集中区，同时又关系到容貌，涉及颌面部的外科手术难度高，危险性大，而且必须容貌与功能兼顾。颌面部整形外科对影像学提出了较高的要求，要求术前必须准确诊断，确定病变范围，提供三维立体视觉，显示复杂的空间结构，准确测量三维形态参数，设计手术径路和方案，模拟手术，预测手术对面容的影响等。为了满足颌面部整形外科的临床需求，CT 三维重建辅助颌面部整形手术系统开始出现，它是最近的 10 多年间兴起的新兴交叉学科，正方兴未艾，特别是在最近几年得到了广泛的应用，发展非常迅速，一直是国内外研究与应用的热点。但是，目前所有虚拟颌面部整形手术系统都存在这样或那样的不足或缺陷，临床使用的虚拟手术系统远没有达到理想的目的，多数也只是进行切割，旋转，测量，观察器官间的比邻关系。操作比较麻烦，使临床应用受到了限制和不方便。面部三维计算机手术设计和结果预测的研究目前尚处于起步阶段，不能达到交互式 and 实时。手术预测也仅局限于骨性部分，而且不能预测软组织改变。本研究利用三维影像可视化和计算机技术，通过 CT 扫描得到患者的头颅断面数据，将采集到的数据传入自行开发的计算机虚拟颌面部虚拟手术和预测系统，目的是开发一种使用方便，能虚拟手术和预测手术对面容的影像的系统。

第一部分：建立颅面部虚拟手术系统

目的：

建立一个可以进行虚拟颅面部整形手术的计算机系统。

材料与方法：

在上海英迈吉东影图像设备有限公司的帮助下，在计算机 Windows 2000 环境下，采用面向对象的设计和软件工程规范，用 C++ 语言编写。要求具有丰富的图形图像处理与分析功能，不仅具有完善的二维图像处理分析功能，而且具有强大的三维处理与分析、网络传输与数据存储等功能。在软件开发过程中，借鉴了国内外优秀图像工作站的相关技术，还集成了大量课题组成员自己过去的研究成果。系统采用全中文用户图形界面。

结果：

该系统实现的功能如下：

1. 全面的数据接口解决方案

- (1) 支持网络环境。
- (2) 支持 DICOM 通信网关方式从网络获取影像数据，可以直接读取标准 DICOM 3.0 格式文件。
- (3) 可以直接读取多数厂家以 ACR-NEMA2.0 格式为主体的数据文件。
- (4) 支持各种通用图像格式如 BMP/JPEG/TIFF 等。

2. 强大的二维和三维影像操作处理功能。

- (1) 丰富的二维图像处理功能，能对影像进行窗宽/窗位调整、滤波、去噪、缩放、翻转、CT 值的读取、镜像、多部位同步播放与放大等操作。
- (2) 具有对正常组织和异常病变部位的分割功能和三维重建等功能。
- (3) 具有对三维模型进行旋转变换及多层组织的面显示、体

显示功能。

(4) 可以实现切片重组、手术模拟等操作。

(5) 具有对象、标注、测量功能。

3. 灵活的数据管理方式

(1) 用户可以选择数据库或文件管理方式。

(2) 本地数据库，可以管理 10000 个病人资料。

结论：

手术仿真操作的过程即是交互式目标结构数据操作的过程。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。所谓切割即将某集合内的数据去除，而让其两边的数据分开。而所谓移动，即是将该集合内的数据搬走。由于将原始三维数据完好地保存着，改变的只是子区域的多面体描绘结构，因此可反复模拟操作。

第二部分：辅助颅面部虚拟手术系统准确性检测

目的：

通过计算机三维模型测量和直接测量的比较，检测辅助颅面部整形手术系统的准确性，以便应用于临床。

资料与方法：

1. CT 图像采集：

(1) CT 检查对象：5 名，男 10，女 5，年龄 8~67 岁，平均 58 岁。10 名是因头晕、头痛等症状来检查，需要进行头部、鼻

咽部 CT 扫描，但 CT 检查结果正常的患者。

(2) CT 扫描方法：用螺旋 CT 对检查对象进行常规 CT 扫描，电压 125KV，电流 150mA，1.0s, slice 3mm，pitch 1: 1.5，矩阵 512×512 ，重建算法为标准算法。扫描支架无角度，扫描时检查者仰卧于检查床，扫描范围从下颌骨最低点连续向上扫描至颅顶，包括整个头颅，行水平扫描。扫描后，将 CT 图像的原始数据进行厚层到薄层再重建，重建成为 1mm 层厚的图像。

2. 重建模型三维测量：

分别将每人的二维 CT 扫描图像输入 CT 工作站和虚拟手术工作站，进行三维表面重建。然后用工作站上的测量软件对重建的三维模型进行三维测量，包括纵向、横向和前后方向的测定。具体有头最大长、头最大宽、全头高和头矢状弧等 4 项。

3. 人体头面部直接测定：

分别对上述 10 人进行头面部直接测定，按经典人类学测量方法选定解剖标志点。测量项目与 CT 工作站、虚拟手术工作站三维重建模型测量一致，由另一高年资主治医师测定。将二种测量方法所得结果用双盲法进行比较，用配对 t 检验统计方法处理。

结果：

对头最大长、头最大宽、全头高和头矢状弧等分别用人体直接测量、CT 工作站测量和计算机辅助三维系统测量三种方法测量的结果进行比较。发现所有 4 项测量项目的三维重建模型测量值与直接测量值略有差别，有的值直接测量略大，有的是三维模型测量值略大，但是对三种方法测量的数据进行两两对照，行 t 检验示差异无显著差异 ($P > 0.5$)。

结论：

我们认为无论 CT 工作站还是虚拟手术工作站进行三维重建模型测定与直接测定应该没有明显差别，误差可能为每次测定时的误差；横向测定值较纵向测定值偏差更小可能是因为 CT 扫描时要纵向移动而产生偏差；而与其他作者的差别可能是系

统不同所致。这些偏差在允许的范围内，平时不能被察觉，不影响模拟手术。所以这套虚拟颅面部整形手术系统准确性较高，能用于模拟颅面部整形手术的模拟和预测手术对面容的影响。

第三部分：在三维重建模型上进行虚拟颅面部手术

目的：

用虚拟整形手术系统在三维重建模型上进行颅面部虚拟手术，进一步检验该系统，证明该系统能应用于临床。

资料与方法：

1. 患者：共 5 例患者，其中男 3 例，女 2 例，年龄 12~55 岁，平均 34.6 岁。1 例因下颌骨过长而造成反牙合畸形，1 例由于下颌骨发育不良形成下颌骨缩短畸形，1 例右面部先天性膨隆畸形，1 例外伤后左面部塌陷畸形。5 例患者中有 2 例在虚拟手术后，按照模拟手术设计的方案进行了整形外科手术，另 3 例还未进行矫形手术。

2. CT 扫描：螺旋 CT 进行常规 CT 扫描，slice(层厚)3mm，pitch(螺距 1: 1.5)，方法与第二部分相同。扫描后，将 CT 图像的原始数据进行厚层到薄层再重建，重建成为 1mm 层厚的图像。

3. 虚拟手术：

(1) 将 CT 断层图像输入辅助颅面部整形手术系统工作站。单击工作站的菜单栏的文件，打开 Dicom3.0 图像，出现选择多幅图像的对话框，选择需要打开的文件。先观看读入数据的二维断层图像。选择冠状面、矢状面和横断面三个切割方向，视图区域那就会显示出在所选方向上体数据的相应的二维断层图像，移动工具栏中的滑杆，选择在不同位置的断层图像。

(2) 预处理：单击工具栏中的阈值分割按钮 (Threshold Segment)，指定 CT 值窗口范围的窗宽(Win)和窗位 (Lev)，选

选择合适的阈值分割出骨组织，执行骨组织分割和预处理，通过种子填充方法分离出下颌骨。

(3) 三维显示：在菜单栏的视图菜单中选择三维视图，出现用于三维显示的新视图。然后单击三维显示选项执行三维显示功能，运行完成后就可以看到三维图像。在三维场景中可择某块骨组织，按住鼠标左键移动来旋转三维物体，从各个方向观察骨组织的三维图像，按住鼠标右键移动平移物体，也可以选择菜单中的视点菜单可以选择从正面、左侧面、右侧面观察三维物体。

(4) 手术模拟：首先是对需要延长的骨切割。用鼠标在想要切割的骨上画切骨线，切割骨组织后，将骨拉长或缩短。再选择视图菜单的三维显示项重新绘制出切割后的组织，得到切割后新的三维图像。观察咬合情况或对位情况，可反复操作，直至满意为止。

结果：

本系统可很好的显示颅颌面部二维 CT 断层图像和三维 CT 表面重建图像，可以任意旋转三维物体，从各个方向观察骨组织的三维图像。利用该系统成功地模拟进行了下颌骨过长造成的反牙合手术，也可以很方便的进行颅面部其它虚拟手术，可对任意部位随意进行切割、分离、移动等操作，并可将不同的部分进行伪彩色染色。所有操作均可交互式反复进行。并且可以将虚拟手术过程以动画和视频的形式供医生或病人及其家属观看。

结论：

使用虚拟手术系统，整形外科医生可以在没有实际进行手术的情况下，预先模拟手术的过程，预见到一些在实际手术中可能会遇到的问题，从而事先考虑好补救方法，采取预防措施，并可以通过不同手术方案的模拟，比较各种方案的优劣，找出最好的方案来进行实际的手术。CT 三维表面重建辅助颅面部整形手术系统可以对许多颅颌面部手术进行模拟，除下颌骨延长

术外，对其它手术如整形美容手术也能进行模拟。近年来要求整形美容手术的日益增多，我们有理由相信该系统能对整形美容手术起到一定帮助作用。

第四部分：预测颅面部手术后面容

目的：

用面部复原技术产生一系列虚拟的面部，让外科医生预先知道手术后可能的面容。

资料与方法：

1. 患者：从 5 例进行虚拟手术病例中选取 2 例。病例 1，男性，12 岁，患有下颌发育不良（俗称天包地）。病例 2，男性，45 岁，患双侧面部不对称，右侧明显膨隆。
2. CT 扫描：螺旋 CT 进行常规 CT 扫描，方法与前面相同。扫描后，将 CT 图像的原始数据进行厚层到薄层再重建，重建成为 1mm 层厚的图像。
3. 面貌复原：使用了两种方法对虚拟手术后的颅骨进行面部复原，一种是用犀牛软件构建三维面貌模型，另一种是利用虚拟工作站复原面貌。在第二种方法，虚拟手术后的头颅三维模型被再次横切，并分别在每个切面图像上添加软组织，然后重建成三维模型。

结果：

用两种方法均能对上述两例患者虚拟手术后的颅骨复原面貌，能客观地产生一系列三维面部模型。可以为临床医生、患者及其家属提供这些模型，让他们在术前知道整形手术后可能的面貌。整形外科医生可根据虚拟的面貌选择手术计划。用犀牛软件复原的面貌较光滑，与术后患者照片较相似，用在虚拟手术后颅骨模型断面加软组织再重建的面貌较粗糙。

结论：

使用犀牛软件或直接用虚拟工作站均能复原出与真正整形手术后的面容。使用犀牛软件复原的较好，但缺点是手工操作。尽管目前用虚拟工作站复原的面容较粗糙，但这种方法有潜力，为计算机自动面貌复原打下了基础。

关键词：断层摄影术，X 线计算机；表面重建；辅助三维手术设计；计算机模拟；图像处理。

The study of a CT three-dimensional SSD for computer-aided craniofacial plastic surgery

Postgraduate: Tang Zhen

Tutor: Wu Behai

Department of Radiology, Southwest hospital, Third Military
Medical University, Chongqing 400038, China

Abstract

Craniofacial structure is complicated and concern the facial features at the same time again. There are many important organs in that area. The surgical operation that involves craniofacial areas is difficulty, and dangerous, and the facial features as well as functions must be taken into account.

The Craniofacial plastic surgery has been put forward the higher demand to medical imagelogy. Giving a accurately diagnosing, and defining the pathological changes scope, and providing three dimensional stereoscopic vision, displaying the complicated space structure, measuring three-dimensional morphology parameter accurately, designing surgical operation footpath road and scheme, imitating surgical operation, and forecasting the influence of surgical operation opposite appearance are asked. For the clinical requirement of plastic surgery, the CT three-dimensional assistant craniofacial plastic surgery systems (CT 3D-ACP) appear. It is a new and developing overlapping branch of learning that rises between late 10 years, and is being gotten especially the extensive application in nearer year. It develops quickly, and is the hot spot that the home and abroad studys and applys continuously. But all CT 3D-ACP exist such or of that kind shortcoming or defect at present, and the invented surgical operation system of clinical use does not far

achieve the purpose of ideal, and the majority also is only to cut, and revolve, and measures, and observe the near relation between the organ. The operation is fairly more troublesome, and makes the clinician practice suffer the restriction with not convenient. The research that the Craniofacial operation design by the three-dimension computer and forecasting facial features still is in starting stage at present, and can not achieve interactively and the real time. Only the bone part can be forecasted, and the soft tissue changes can be not forecasted in those systems. The three dimensions image and computer technology are utilized in this paper. The head section data of patient is gotten by way of CT scanning, and the data gathered are passed in the system by self development, and virtual plastic operations are taken and the facial features after operation are forecasted. The purpose of this paper is developing a kind of useful convenience system that can take virtual surgical operation and forecast facial features after operation.

Part I : Establishing assistant craniofacial plastic surgical system(ACPSS)

Purpose: to open out a assistant craniofacial plastic surgical system(ACPSS).

Material and Method: the software were compiled under Windows 2000 environments with the help of Yingmai ji east image equipment limited company at Shanghai. According to criterion engineering standard design towards the object, the C++ language was adopted to compile the software. The system must possess rich image processing and the analysis ability. It not only possessed the perfect two dimension image processing analysis ability, but also possessed powerful three dimensions handling

ability such as analysis, network transfer and data storage etc. During software development course, correlation technique of outstanding image stations in home and abroad was used for reference, and a large number of the research achievements of the members in the past were integrated. The full Chinese user picture interface was used in this system. The system hardware was formed: Pentium 4. 2.66GHz CPU, double 80Gs' hard disk at a high speed, 512MB's memory, 64MB shows the slow video adaptor deposits, 21 inch colour monitor and colored printer of EPSON STYLUS PHOTO 890.

Results: The functions of this system are following

1. Overall data interface settlement scheme:
 - a. Supporting the network environment
 - b. Supporting the method of DICOM communication network pass to procure data, and can directly read standard DICOM's 3.0 formats files from the network.
 - c. Can directly read the data file ACR-NEMA2.0's format.
 - d. Support the various general image format like BMP/JPEG/TIFF etc.
2. Powerful two dimension and three dimensions handling ability:
 - a. It possesses the powerful two dimension image processing ability such as window wide and window level adjustment, wave filtration, dispelling chirp, contracting pictures, inverting image, reading CT value, taking mirror image, broadcasting images of many positions synchronously and magnifying image, etc.
 - b. Possessing the functions to divide up normal tissue from abnormal pathological areas. Possessing the functions of three dimensional reconstruction.
 - c. Possessing the ability to revolve the three dimensional model, and show the multiplayer organization in surface and substance.

- d. Section combination over again, operation imitation.
- e. Possessing the object, mark and the measurement ability.
- 3. The nimble data management method:
 - a. User can select data warehouse or file management method.
 - b. 10000 patient's datum can be managed to the local datum base.

Conclusions: the virtual operations, the courses of interactive target structure data manipulation can be done in this system. 3D datum were decomposed into multiple space subdomains. The different objectives selected by each space area were displayed when it were moved and rotated. This kind of space subdomains comes to be in progress the definition with a polyhedron in this system. By using the computer image graphics method, each appointing objective can be moved and revolved in all direction without any change to the initial datum. It is showed with shielding with the remaining part without simple blanking. So-called cutting is that the certain datum inside the gathering are divided out. So-called moving is that that the datum are moved away. Owing to preserving original three dimensions intactly and the changes take place in what depict the structure of polyhedron in the subdomains, the operations can be imitated repeatedly.

Part II ACPSS Accuracy Checkout

Purpose: to check the accuracy of the assistant craniofacial plastic surgical system, in order to apple this system to clinic.

Material and Method:

- 1. Obtaining CT image:
 - 1). Objective: Of 10 patients, 5 were male and 5 were female. Age ranged from 8 to 67 years old and average age was 58 years old. 10 patients had the symptoms such as headache and halo and came to check up CT scanning, but the CT check results were normal.

2). CT scanning method: Convention CT scanning was carried on with spiral CT to the patients. The voltage was in 125KV, current in 150mA. Time was 1.0s, slice 3mm, pitch 1: 1.5, matrix 512×512, and reconstruction algorithm (Recon Type) was standard algorithm (Std). The scanning frame was not any angle. The patients lay on back in checking bed during scanning. Whole head was scanned from the lowest point of mandible to cranium top continuously. After the scanning, the initial data of CT images was reconstructed from thick slice to thin slice, and the slices became 1mm.

3). Instrument: Double-slice spiral CT Hi-speed NX/I is produced by American GE corporation. Its space resolution is for 18LP/cm, and density resolution is 4.0 mm @ 0.3%.

2. The measuring of three dimension reconstruction model:

The two dimension CT scanning images of everyone were inputed into the CT station and the ACPSS respectively. The three dimensional SSD was taken and three dimensional models were measured with measurement software on the system. There were four parameters including maximum head length, maximum head breadth, total head height and head sagittal arc.

3. Direct craniofacial measurement:

The heads of 10 persons mentioned above were measured directly. Traditional anthropology measurement methods were used to decide the dissecting points. The measurement items were same as that in CT the station or in the ACPSS. Three technicians took part in the measure respectively, The results were compared with two blind laws by a seniority radiologist. T-test was used in statistical analysis.

Results: the values of the four parameters including maximum head length, maximum head breadth, total head height and head

sagittal arc slightly had a difference with the difference measuring method. T-test shows that there was not notable difference among three kinds of methods ($P>0.5$). The result of this paper was slightly different from the literature that the value of image measurement was slightly more than that of direct measurement. Moreover we find that the value difference of horizontal measurement was smaller, and that of vertical measurement was slight bigger.

Conclusions: There is not obvious difference among the value measured by virtual station, CT station and direct measurement. The longitudinal motion may give rise to slight deviation, so there is little difference between direct measurement and image station measurement. The difference between this paper and the paper by other authors may be caused by fact that the system is not same. These deviations are in the scope permitted, and can not be perceived at ordinary time, and do not influence the virtual surgical operation. We consider that this kind of computer-aided craniofacial plastic surgery possesses higher veracity and can be used to imitate craniofacial plastic operation and to forecast the facial features after surgery.

Part III : The virtual craniofacial surgery on three dimensional reconstruction model

Purpose: to demonstrate the virtual craniofacial plastic surgery in the ACPSS and prove ACPSS can be used in clinic.

Materials and methods:

1. Patients: Five patients (3 male and 2 female) with aging 12~55 years old were given virtual operation. Of them, 3 suffer from mandible malformation, and other two suffer from facial malformation.

2. CT scan: The methods of CT scan were just like those in Part two.

3.Virtual operation: the section images were imported into ACPSS. Dicom 3.0 images were opened by clicking the file of menu bar. When many dialogs of image selection, files that the selection needed to be opened. Look at the two dimension image of read-in data first.

4. Pretreatment: The threshold segment push-button in the tool fence was clicked to appoint the Window Wide (Win) and the Window Level (Lev) of CT value. The suitable threshold was selected to cut apart a bone tissue. Mandible was separated by way of the seed.

5. Three-dimension display: at first, three dimensions views was choosen in the view menu at the menu bar and the new view that was used the three-dimension display appeared. After that, three-dimension display option was clicked and graphics portrait could be seen after the operating was accomplished. Then you could select certain bone organisations of three dimension in the scene and revolved the three dimensions bodys by pressing the mouse left button and moving so you could observe three dimensions of bone tissue in all directions. The virtual body could be moved with pressing the mouse right button. You also could observe the three dimensional bodys in the front, left and right side by chosing the viewpoint menu.

5. Imitating plastic operation:

First step was the bone cutting. In this step, two lines were drawn with mouse and the distance between two lines was the length of the removal bone. After bone cutting, the three-dimension displaying item was choosen to protract the tissue cut and the new three dimensions images were displayed. Then the bones of both

sides were moved to join each other in order that shape of bone was dainty.

Results: The two and three dimensional CT images of head can be demonstrated in this ACPSS. You can turn the three dimensional skull model at will and observe in all directions. You can do the cutting, separating and moving as well as you can do virtual craniofacial surgery conveniently and you can carry on false colour dye with the different parts. All operations all can interactively be done in progress repeatedly. At last, the course of virtual plastic surgery can be seen by doctors, patients and their family members in the form of moving drawing and video frequency.

Conclusion: using this virtual plastic surgical system, surgery can imitate the operation cause and do cutting, separating without doing real operation, The ACPSS helps surgery foreseeing problems that some may be run into in the real surgical operation and taking into account preventive measures to repair in advance. Also, imitating multiple operations, surgeries can compare various plastic operation and find the best one. The ACPSS can imitate not only many kinds of craniofacial plastic surgery, but also cosmetology operations.

Part IV Feature reconstruction and forecasting facial feature after plastic operation

Purpose: to product a series of virtual faces and let surgeries, patients and patients' family members foresee the possible patients' facial feature after operations.

Materials and Methods:

Object: of two male patients, 12 years old one suffered from short mandible, and 45 year old one manifested facial malformation.

2). CT scan method: Convention CT scanning is carried on with spiral CT to the patients. The methods are same as those in the second part. After the scanning, the initial data of CT images is reconstructed from thick slice to thin slice, and the slices become 1mm.

Feature reconstruction: two methods were used to reconstruct the facial features from the skulls after virtual surgeries. One is building the three dimensional models of facial features with Rhinoceros software. Another method is reconstructing faces with the ACPSS. In second method, the three dimensional skull models after virtual surgeries in two patients are cut to sections again. After that, soft tissue is added to each section respectively. Then, the sections added soft tissue are reconstructed to 3D models.

Results: the facial features of two patients after virtual operations in skulls were recovered with two kinds of method above. Both methods of this research used all can objectively produced a series of three dimensions face models and provided these faces to clinicians, patients and patients' members, and let them know the face after surgical operation before the plastic surgical operation. The plastic surgeries could choose operation scheme according to the virtual facial features. The faces recovered with Rhinoceros were smooth and were like the pictures after real operations. But the facial features recovered with the method of adding soft tissue on the skull sections were

rough.

Conclusion: facial features what resemble the pictures after real plastic surgery can be recovered with using both Rhinoceros software and the virtual station. The faces recovered with Rhinoceros software are better than that with virtual station. The shortcoming of using Rhinoceros software to recover facial features is to use handwork in the basis. Though it is rough to recover with virtual station, it possesses potential. And the method of using virtual station put on a bridge to automatism facial feature recovering.

The key word : tomography, X-ray computed; surface shadow display; assistant three dimensional surgery design; computer simulation; image disposal

独 创 性 声 明

秉承学校严谨的学风与优良的科学道德，本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，不包含本人或他人已申请学位或其他用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了致谢。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

论文作者签名：_____日期：_____

保 护 知 识 产 权 声 明

本人完全了解第三军医大学有关保护知识产权的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属第三军医大学。本人保证毕业离校后，发表论文或使用论文工作成果时署各单位仍然为第三军医大学。学校可以公布论文的全部或部分内容（含电子版，保密内容除外），可以采用影印，缩印或其他复制手段保存论文。学校有权允许论文被查阅和借阅，并在校园网上提供论文内容的浏览和下载服务。

论文作者签名：_____导师签名：_____日期：_____

缩略语表

| 缩略语 | 英文全称 | 中文全称 |
|-------------|--|-------------------------------|
| AE | application entity | 应用实体 |
| CACPS | computer-aided craniofacial plastic surgery | 计算机辅助颅面整形 手术 |
| CAD | computer-aided diagnosis | 计算机辅助诊断 |
| CG | computer graphics | 计算机图形学 |
| ACPSS | assistant craniofacial plastic surgical system | 辅助颅面 整形手术系统 |
| CAS | computer-aided surgery | 计算机辅助手术 |
| CT | computer tomography | 计算机辅助 X 线断层摄 影术 |
| CT 3D-ACPSS | CT three-dimensional assistant craniofacial plastic surgery systems | 计算机三维颅 面辅助 颅面整形手 术系统 |
| DICOM | digital imaging and communications in medicine | 医学数学图象通信标 准 |
| FOV | field of view | 视阈 |
| FR | feature reconstruction | 面貌复原 |
| IPO | imitating plastic operation | 模拟整形手术 |
| MPR | multiple planar reconstruction | 多平面重建 |
| ROI | region of interest | 感兴趣区 |
| RTZ | real-time imaging | 实时图像 |
| SCT | spiral computer tomography | 螺旋 CT |
| SSD | surface shadow display | 表面重建 |
| SR | surface rendering | 表面绘制 |
| TCR/IP | tansmission control | 传输控制协议/intern |

协议

protocol/internet protocol

3D

three-dimension

三维

3DR

three dimensional reconstruction

三维重建

TH

threshold segment

阈值分割

VHR

visble human project

可视人计划

VR

volume rendering

容积再现

VR

virtual reality

虚拟现实

WL

window level

窗位

WW

window wide

窗宽

前言和文献回顾

颌面部结构复杂，是多个重要器官集中区，同时又关系到容貌，涉及颌面部的外科手术难度高，危险性大，而且必须容貌与功能兼顾。颌面部整形外科对影像学提出了较高的要求，首先是定性诊断，要求术前必须正确诊断；其次是定量诊断，要求准确确定病变范围，提供三维立体视觉，准确测量三维形态参数，显示复杂的空间结构，了解病变与颅骨、神经以及血管的关系；第三是利用三维可视化技术，在虚拟的三维头面部电子模型上设计手术径路、手术切除的范围和方案，也就是所谓的模拟或虚拟手术。随着近年来整容热的升温，人们对整形外科的要求日益提高，要求术前能估计手术对面貌的影响，即面貌预测。为了满足颌面部整形外科的临床需求，国内外许多学者进行了研究，CT 三维重建辅助颌面部整形手术系统开始出现^[1]，它是最近的 10 多年间兴起的新兴交叉学科，正方兴未艾，特别是在最近几年得到了广泛的应用，发展非常迅速，一直是国内外研究与应用的热点。但是，目前所有辅助颌面部整形手术系统都存在这样或那样的不足或缺陷，临床使用的虚拟手术系统远没有达到理想的目的。这些系统的不足主要有：一是功能不够强大，大多数系统只是进行切割，旋转，测量，观察器官间的比邻关系；二是数据输入较麻烦，不能将 CT 扫描的图像以 DICOM 3.0 的格式直接传到辅助手术系统的工作站，需要将 CT 的横断图像转化成标准图像格式^[2]，如 BMP、JPG 等格式，要经过图像提取等加工，才能输入普通计算机辅助手术虚拟工作站使用，甚至有的需要先将 CT 图像先打印出来，再通过扫描仪扫描，输入图像处理工作站，然后进行三维重建处理^[3]。图像加工过程必定伴有信息损失，这样必然影响图像清晰程度；三是由于存在配准问题，造成重建的三维图像较模糊，与实际人体测量数据有差异；四是操作费时，由于设计不够人性化，造成操作较复杂，学习和使用均较困难。使用目前市面上的计

计算机辅助整形手术系统模拟一个简单的颅面部手术常常需要比较长的时间，使临床应用受到了限制和不方便；五是当前普遍使用的软件，大多数是自己研制，有的使用 Java 编程^[4]，有的使用 C++ 语言，不统一，不规范，参差不齐，不容易推广；六是三维计算机手术预测的研究目前尚处于起步阶段，无法达到交互式 and 实时，完成一个动作需要反复操作。手术预测也仅局限于骨性部分，不能预测软组织改变，这样就无法显示手术后可能的面貌。本文主要进行以下几方面的研究：第一是编写程序，建立一套具有丰富的图形图像处理与分析、网络传输与数据存储等功能的计算机辅助颅面部手术系统；第二是对该系统进行检验，对系统重建的三维电子模型进行全方位的测量，并与患者活体测量的值进行比较，保证该系统的准确性；第三是利用该系统对几种常见颌面畸形患者进行虚拟手术，通过 CT 扫描得到患者的头颅断面数据，将采集到的数据传入自行开发的计算机辅助颅面部工作站，设计切除骨的部位、形态和大小；第四是用 Rhino 3D 软件对模拟手术后的头面部三维骨骼电子模型进行处理，为其添加上软组织成分，进行面容建模，得到虚拟手术后的三维面貌图像。目的是开发一种使用方便，计算机辅助颅颌面手术系统，能进行测量、三维重建、虚拟手术和预测手术后面容的影像系统。

正 文

1 建立辅助颌面部整形手术系统

1.1 引言

随着计算机的广泛的应用和和医学影像学的发展，以计算机和 CT 技术为基础的三维立体可视化得到极其广泛的应用，其在颅面部整形外科方面的应用发展非常迅速。目前已经开发出来了许多软件，主要功能有显示颅面部的二维和三维结构，帮助诊断和估计病变范围；虚拟手术、辅助制定手术计划和手术预演等。但目前临床使用的辅助颌面部整形手术系统尚不完善，其中很多关键性的问题还未得到圆满的解决，所有 CT 三维重建辅助颌面部整形手术系统都有这样或那样的不足或缺陷，使临床应用受到了限制和不方便，远没有达到理想的状态。如操作比较麻烦；不能直接以 DICOM 图像格式输入图像工作站；三维图像较模糊；编程语言不规范；不能达到交互式和实时等^[5-7]。为了更好地满足临床需要，我们在上海英迈吉东影图像设备有限公司的帮助下，自己编写软件，建立了辅助颅面部整形手术的计算机系统 assistant craniofacial plastic surgical system(ACPSS)。

1.2 材料与方 法

1.2.1 软件编写：在计算机 Windows 2000 环境下，采用面向对象的设计和软件工程规范，用 C++语言编写。要求具有丰富的图形图像处理与分析功能，不仅具有完善的二维图像处理分析功能，而且具有强大的三维处理与分析、网络传输与数据存储等功能。在软件开发过程中，借鉴了国内外优秀图像工作站的相关技术，还集成了大量课题组成员自己过去的研究成果。系统采用全中文用户图形界面。

1.2.2 系统硬件组成：Pentium IV 2.66GHz 的 CPU，双 80G 高速硬盘，512MB 内存，21 寸彩色显示器，64MB 显示缓存的显示卡，EPSON STYLUS PHOTO 890 彩色打印机。

1.3 结果

该系统操作窗口如图 1,实现的功能如下:

1.3.1 全面的数据接口解决方案

1.3.1.1 支持网络环境。

1.3.1.2 支持 DICOM 通信网关方式从网络获取影像数据,可以直接读取标准 DICOM 3.0 格式文件。

1.3.1.3 可以直接读取多数厂家以 ACR-NEMA2.0 格式为主体的数据文件。

1.3.1.4 支持各种通用图像格式如 BMP/JPEG/TIFF 等。

1.3.2 强大的二维和三维影像操作处理功能

1.3.2.1 丰富的二维图像处理功能,能对影像进行窗宽/窗位调整、滤波、去噪、缩放、翻转、CT 值的读取、镜像、多部位同步播放与放大等操作(图 2,图 3)。

1.3.2.2 具有对正常组织和异常病变部位的分割功能和三维重建等功能。

1.3.2.3 具有对三维模型进行旋转变换及多层组织的面显示、体显示功能。

1.3.2.4 可以实现切片重组、手术模拟等操作

1.3.2.5 有对象、标注、测量功能。

1.3.3 灵活的数据管理方式

1.3.3.1 用户可以选择数据库或文件管理方式。

1.3.3.2 本地数据库,可以管理 10000 个病人资料。

1.4 讨论

C++是一种混合型语言,它是 20 世纪 80 年代早期由贝尔实验室设计的一种面向对象的语言。它是在 C 语言的基础上增加了对面向对象程序设计的支持。这类语言的特点是既支持传

统的面向过程的程序设计，又支持新型的面向对象的程序设计。C++语言具有 C 语言的丰富的应用基础和开发环境的支持^[8]，它支持抽象类型、函数和运算符重载以及多态性等面向对象的机制^[9]。C++编程比较方便，普及起来也想非常快，这就是目前许多图形图像处理软件用 C++编程的原因。

图像在 C++语言中可以用数组表示，二维的横断面图像、冠状面图像或矢状面图像可以用二维数组表示，二维数组的格式如下：

<类型><数组名>[<大小 1>][<大小 2>]

<数组名>后面的方括号([])表示数组的维，一个方括号表示一维数组，两个方括号表示二维数组，三个方括号表示三维数组。方括号中的<大小 1>表示第一维的大小，<大小 2>表示第二维的大小，依次类推。如：

```
int b [2][4];
```

该数组 b 是一个二维数组，该数组共有 8 个元素依次表示为 b[0][0]，b[0][1]，b[0][2]，b[0][3]，b[1][0]，b[1][1]，b[1][2]，b[1][3]，它们在计算机内存中也是按这个顺序存放的。

当然一幅 CT 图像的大小较上面的数组大了许多，如一幅 256 256 的图像可以表示为一个数组：

```
int b [256][256];
```

该数组共有 256 256=65536 个元素。依次表现为表示为：

```
b[0][0],  b[0][1],  b[0][2],  b[0][3],  b[0][254],  b[0][255]
b[1][0],  b[1][1],  b[1][2],  b[1][3],  b[1][254],  b[1][255]
b[2][0],  b[2][1],  b[2][2],  b[2][3],  b[2][254],  b[2][255]
b[3][0],  b[3][1],  b[3][2],  b[3][3],  b[3][254],  b[3][255]
b[254][0], b[254][1], b[254][2], b[254][3],  b[254][254], b[254][255]
b[255][0], b[255][1], b[255][2], b[255][3],  b[255][254], b[255][255]
```

目前一般 CT 的二维图像为 512 512 个像素，所以一幅用数组表示就应该有 512 512=262144 个元素。

而经过虚拟工作站重建后的三维图形图像则用三维数组表示。例如：

```
int c[2][3][4];
```

该数组 c 是一个三维数组，该数组共有 24 个元素，它们依次表示为：

$c[0][0][0]$, $c[0][0][1]$, $c[0][0][2]$, $c[0][0][3]$

$c[0][1][0]$, $c[0][1][1]$, $c[0][1][2]$, $c[0][1][3]$

$c[0][2][0]$, $c[0][2][1]$, $c[0][2][2]$, $c[0][2][3]$

$c[1][0][0]$, $c[1][0][1]$, $c[1][0][2]$, $c[1][0][3]$

$c[1][1][0]$, $c[1][1][1]$, $c[1][1][2]$, $c[1][1][3]$

$c[1][2][0]$, $c[1][2][1]$, $c[1][2][2]$, $c[1][2][3]$

它们在虚拟工作站内存中也是按这个顺序存放的。

用 3mm 层厚，pitch 为 1: 1.5 扫描全颅一般有 38~48 层，经过厚层到薄层再重建，重建成为 1mm 层厚便有 190~250 层。假设为 200 层，作三维容积重建，用数组表示就应该有：

200 512 512=52428800 个元素。

这样巨大的数据用一般的工作站处理将非常慢，所以虚拟手术的三维重建不能使用容积重建，只能使用表面重建方式

(surface shaded display, SSD)。由于表面重建则将超过阈值的像素的体积元重建，仅利用容积资料中的边缘的一小部分，它的数据要小得多，计算机处理起来快速、方便。

手术仿真操作的过程即是交互式目标结构数据操作的过程。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。所谓切割即将某集合内的数据去除，而让其两边的数据分开。而所谓移动，即是将该集合内的数据搬走。如假设 $\text{int } d[10][10]$ 是一幅二维断面图像，它的数组表现如下：

$d[0][0]$, $d[0][1]$, $d[0][2]$, $d[0][3]$, ..., $d[0][8]$, $d[0][9]$

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|-------------|---------|
| d[1][0], | d[1][1], | d[1][2], | d[1][3], | ...d[1][8], | d[1][9] |
| d[2][0], | d[2][1], | d[2][2], | d[2][3], | ...d[2][8], | d[2][9] |
| d[3][0], | d[3][1], | d[3][2], | d[3][3], | ...d[3][8], | d[3][9] |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| d[8][0], | d[8][1], | d[8][2], | d[8][3], | ...d[8][8], | d[8][9] |
| d[9][0], | d[9][1], | d[9][2], | d[9][3], | ...d[9][8], | d[9][9] |

如果要虚拟对二维图像中的组织进行 Y 轴方向的切割就是将该数组句矩阵中某一列数组去掉，示意如下：

| | | |
|----------|-------------------------------|---------|
| d[0][0], | d[0][2], d[0][3], ...d[0][8], | d[0][9] |
| d[1][0], | d[1][2], d[1][3], ...d[1][8], | d[1][9] |
| d[2][0], | d[2][2], d[2][3], ...d[2][8], | d[2][9] |
| d[3][0], | d[3][2], d[3][3], ...d[3][8], | d[3][9] |
| ... | ... | ... |
| d[8][0], | d[8][2], d[8][3], ...d[8][8], | d[8][9] |
| d[9][0], | d[9][2], d[9][3], ...d[9][8], | d[9][9] |

再进行一次 Y 轴方向的切割，将另一列数组去掉，示意如下：

| | | |
|----------|-----------------------|---------|
| d[0][0], | d[0][2], d[0][3], ... | d[0][9] |
| d[1][0], | d[1][2], d[1][3], ... | d[1][9] |
| d[2][0], | d[2][2], d[2][3], ... | d[2][9] |
| d[3][0], | d[3][2], d[3][3], ... | d[3][9] |
| ... | ... | ... |
| d[8][0], | d[8][2], d[8][3], ... | d[8][9] |

d[9][0], d[9][2], d[9][3], ... d[9][9]

将图像中间部分组织拿掉，就是将中间部分数组全部拿掉，示意如下：

| | |
|----------|---------|
| d[0][0], | d[0][9] |
| d[1][0], | d[1][9] |
| d[2][0], | d[2][9] |
| d[3][0], | d[3][9] |
| ... | ... |
| d[8][0], | d[8][9] |
| d[9][0], | d[9][9] |

将图像两端的组织拼接在一起，即将两端的数组放在一块，示意如下：

| | |
|----------|---------|
| d[0][0], | d[0][9] |
| d[1][0], | d[1][9] |
| d[2][0], | d[2][9] |
| d[3][0], | d[3][9] |
| ... | ... |
| d[8][0], | d[8][9] |
| d[9][0], | d[9][9] |

其它方向的切割原理与此相同。

在虚拟三维模型上进行虚拟手术的原理也是这样，即进行一些切割、移动、拼接等，与在二维图像上进行的基本相同，但更复杂。如切割，它不是去掉一行，而是去掉一个面的矩阵^[10~12]。如图就是在虚拟工作站上进行虚拟下颌骨缩短手术的过程，就是先在双侧下颌骨上进行两处切割，将中间的骨组织拿掉，然后将两端的下颌骨拼接起来，这样下颌骨就缩短了。

关于三维虚拟模型的显示，并不是直接显示三维图像，实际上是将三维虚拟模型想象为一个多面体，每次显示其中一个

面，如果将三维虚拟模型旋转，则显示其它面。由于将原始三维数据完好地保存着，改变的只是子区域的多面体描绘结构，因此好象真实存在一个立体的三维模型，可反复模拟操作。

1.5 小结

1.5.1 可以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。

1.5.2 可以对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。

1.5.3 可以将某集合内的数据去除，而让其两边的数据分开来实现切割。

1.5.4 可以将该集合内的数据搬走来实现所谓移动。由于将原始三维数据完好地保存着，改变的只是子区域的多面体描绘结构，因此可反复模拟操作。

2 辅助颌面部整形手术系统准确性检测

2.1 引言

辅助颌面整形手术系统（ACPSS）重建的三维模型由于各种原因会与实体有一定差异，产生一定的误差。从 CT 扫描到三维重建各个环节均有可能造成误差，包括 CT 机的原因，扫描参数的设置以及 ACPSS 自身的原因等。误差过大时，可能误导整形手术，造成严重后果，在这方面已经有文献报道^[13]。所

以辅助颅面整形手术系统在投入临床应用前必须经过检测, ACPSS 测量到的数据要与实际直接测量的数据要基本一致。为了验证这套 ACPSS, 我们设计了对 4 项参数进行测定, 包括头最大长、头最大宽、全头高、头矢状弧。通过 ACPSS、CT 工作站和直接测量的比较, 目的是验证 ACPSS 的横向测定、前后测定、纵向测定和忽略线测定的准确性, 以检测 ACPSS 的准确性, 以便应用于临床。

2.2 资料与方法

2.2.1 CT 图像采集

2.2.1.1 CT 检查对象: 10 名, 男 5, 女 5, 年龄 8~67 岁, 平均 58 岁。10 名是因头晕、头痛等症状来检查, 需要进行头部、鼻咽部 CT 扫描, 但 CT 检查结果正常的患者。

2.2.1.2 CT 机校准: 为了图像准确, 在 CT 检查前对机器进行校准。对 CT 机自带的头模进行 CT 扫描, 边在 CT 横断图像上测量模块的大小, 边进行校正, 直至基本准确为止。

2.2.1.3 CT 扫描方法: 用螺旋 CT 对检查对象进行常规 CT 扫描, 电压 125KV, 电流 150mA, 1.0s, slice(层厚)3mm, pitch(螺距 1: 1.5), 矩阵 512×512 , 重建算法 (Recon Type) 标准算法 (std)。扫描支架无角度, 扫描时检查者仰卧于检查床, 扫描范围从下颌骨最低点连续向上扫描至颅顶, 包括整个头颅, 行水平扫描。扫描后, 将 CT 图像的原始数据进行厚层到薄层再重建, 重建成为 1mm 层厚的图像。

2.2.1.4 检查仪器: CT 机器为美国 GE 公司生产的双层螺旋 CT 机 Hi-speed NX/I, 其空间分辨率为 18LP/cm, 密度分辨率为 4.0 mm @ 0.3%。CT 工作站为机器附带的 AW4.0。

2.2.2 重建模型三维测量:

分别将每人的二维 CT 扫描图像输入 CT 工作站进行三维表面重建, 域值取软组织 CT 值(窗位 30Hu, 窗宽 300Hu), 进行测量; 同时将二维 CT 扫描图像输入辅助颌面部整形手术虚拟工作站, 进行三维表面重建, 域值同样取软组织 CT 值。然后用

工作站上的测量软件对重建的三维模型进行三维测量，包括解剖结构的纵向、矢状、冠状直线距离、弧线距离等。具体有头最大长（眉间点至头后点之间的直线距离 maximum head length）、头最大宽（左右头侧点之间的距离 maximum head breadth）、全头高（自颞下点至头顶之间的投影距离 total head height, Ganze Kopfhöhe）、头矢状弧（沿正中矢状面自鼻根点至枕外隆凸点的弧长 head sagittal arc）等 4 项。

2.2.3 人体头面部直接测定：

分别对上述 10 人进行头面部直接测定，按经典人类学测量方法选定解剖标志点^[14]，测量项目与在 CT 工作站和计算机三维虚拟工作站上测量的项目一致。1.头最大长用弯脚规测量，测量者立于被测者的左侧。将弯角规固定脚的一端置于眉间点，活动脚置于枕部，然后在正中矢状面上上下移动，测得的最大数值即为头最大长（如图 4 所示）。2.头最大宽也用弯脚规进行测量，测量者立于被测者后方，将弯脚规的两脚轻轻接触于头侧壁，然后上下前后移动弯脚规，测得的最大数值即为头最大宽。此时，弯脚规两脚圆端所接触的两点即为头侧点。注意左右头侧点应在同一水平面和同一冠状面（如图 5 所示）。3.全头高用园杆直脚规测量。测量者位于被测者的右侧，将被测者的头部固定于耳眼平面时，自颞下点(gn)至头顶点(v)之间的投影距离。测量时注意圆杆直脚规的圆杆中轴应与耳眼平面相垂直。4.头矢状弧用卷尺测量，测量者立于被测者左侧，将卷尺的一端固定于鼻根点(n)，测量鼻根点沿正中矢状面自至枕外隆凸点(i)的弧长。

2.2.4 测量结果比较：

由三名技术员在相互间无交流的情况下分别对 10 名被测对象用直接测量、CT 工作站测量以及三维虚拟工作站测量三种测量方法进行测量。由另一名高年资主治医师将上述 10 名被测对象的四个测量值所得结果用双盲法进行比较。

2.2.5 统计处理方法：

建立检验假设，确定检验水准：

$H_0: \mu_d=0$, 即两种方法测量的结果相同

$H_1: \mu_d \neq 0$, 即两种方法测量的结果不相同

$\alpha=0.05$

用配对设计的定量资料,选用配对 t 检验统计方法处理。

2.2.6 测量工具: 直尺、圆杆直脚规、弯脚规、卷尺、两角规、量角器、游标卡尺等。

2.3 结果

10 测试对象头最大长、最大宽(eu-eu) 全头高以及头矢状弧测量结果见表 1~表 4, 头面部直接测量、CT 工作站测量与虚拟工作站测量的结果略有差别, 有的值直接测量略大, 有的是三维模型或 CT 工作站测量值略大, 但是对三种方法两两进行比较, 各组对应项目测量数据行 t 检验示无显著差异 ($P>0.5$)。

表 1 三种方法对 10 名测试对象颅长(g-op)测量结果

| 编 号 | 实际测量 (mm) | CT 工作站测量 (mm) | ACPSS (mm) | 差值 1 | 差值 2 |
|-----|-----------|---------------|------------|---------|---------|
| 号 | (1) | (2) | (3) | (3)-(1) | (3)-(2) |
| 1 | 170.2 | 169.6 | 170.5 | 0.3 | 0.9 |
| 2 | 165.0 | 165.7 | 165.8 | 0.8 | 0.1 |
| 3 | 155.2 | 156.2 | 155.8 | 0.6 | -0.4 |
| 4 | 167.3 | 167 | 167.5 | 0.2 | 0.5 |
| 5 | 163.2 | 163.5 | 164.5 | 1.3 | 1 |
| 6 | 174.5 | 174 | 173.8 | -0.7 | -0.2 |
| 7 | 180.4 | 179.9 | 180.7 | 0.3 | 0.8 |
| 8 | 164.3 | 164.5 | 164.8 | 0.5 | 0.3 |
| 9 | 162.0 | 163.6 | 162.9 | 0.9 | -0.7 |
| 10 | 172.3 | 172.8 | 172.9 | 0.6 | 0.1 |
| 平均 | 167.44 | 167.68 | 167.92 | 0.48 | 0.24 |

ACPSS 测量的头最大长平均值与直接测量和 CT 工作站测

量分别相差 0.24mm 和 0.48mm。但经过 t 检验 $P>0.5$ ，相差不显著。无统计学意义。即 ACPSS 的测定与直接测量或 CT 工作站测量结果相同。

表 2 三种方法对 10 名测试对象头最大宽 (eu-eu) 测量结果

| 编 号 | 实际测量 (mm) (1) | CT 工作站测量 (mm) (2) | ACPSS (mm) (3) | 差值 1 (3)-(1) | 差值 2 (3)-(2) |
|-----|------------------|----------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 149.6 | 150.1 | 150.9 | 1.3 | 0.8 |
| 2 | 146.9 | 146.1 | 145.8 | -1.1 | -0.3 |
| 3 | 146.2 | 145.8 | 145.2 | -1 | -0.6 |
| 4 | 147 | 147.3 | 147.5 | 0.5 | 0.2 |
| 5 | 153.5 | 153.2 | 154 | 0.5 | 0.8 |
| 6 | 144 | 144.5 | 143.8 | -0.2 | -0.7 |
| 7 | 159.9 | 150.4 | 150.7 | -9.2 | 0.3 |
| 8 | 154.5 | 154.3 | 154.8 | 0.3 | 0.5 |
| 9 | 153.0 | 152.6 | 152.9 | -0.1 | 0.3 |
| 10 | 142.8 | 142.3 | 144.9 | 2.1 | 2.6 |
| 平均 | 149.74 | 148.66 | 149.05 | -0.69 | 0.39 |

ACPSS 测量的头最大宽平均值与直接测量和 CT 工作站测量分别相差 0.39mm 和 -0.69mm。但经过 t 检验 $P>0.5$ ，相差不显著，无统计学意义。

表 3 三种方法对 10 名测试对象全头高 (ba-b) 测量结果

| 编 号 | 实际测量 (mm) (1) | CT 工作站测量 (mm) (2) | ACPSS (mm) (3) | 差值 1 (3)-(1) | 差值 2 (3)-(2) |
|-----|------------------|----------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 140.5 | 143.2 | 142.7 | 2.2 | -0.5 |
| 2 | 139.9 | 141.5 | 140.4 | 0.5 | -1.1 |
| 3 | 141.2 | 143.6 | 143.2 | 2 | -0.4 |
| 4 | 140.6 | 139.9 | 139.1 | -1.5 | -0.8 |
| 5 | 138.9 | 140.5 | 139.2 | 0.3 | -1.3 |
| 6 | 143.1 | 144.5 | 143.8 | 0.7 | -0.7 |
| 7 | 139.7 | 140.4 | 140.5 | 0.8 | 0.1 |
| 8 | 143.6 | 144.2 | 144.2 | 0.6 | 0 |
| 9 | 146.2 | 145.3 | 145.7 | -0.5 | 0.4 |
| 10 | 142.8 | 142.3 | 144.9 | 2.1 | 2.6 |
| 平均 | 141.65 | 142.54 | 142.37 | 0.72 | -0.17 |

ACPSS 测量的头全高平均值与直接测量相差 0.72mm 和 CT 工作站测量分别和 -0.17mm。但经过 t 检验 $P>0.5$ ，相差不显著，无统计学意义。

表 4 三种方法对 10 名测试对象头矢状弧(n-i)测量结果

| 编 号 | 实际测量 (mm) | CT 工作站测量 (mm) | ACPSS (mm) | 差值 1 | 差值 2 |
|-----|-----------|---------------|------------|---------|---------|
| | (1) | (2) | (3) | (3)-(1) | (3)-(2) |
| 1 | 130.2 | 128.3 | 129.5 | -0.7 | 1.2 |
| 2 | 135.7 | 133.6 | 134.7 | -1 | 1.1 |
| 3 | 139.6 | 139.4 | 136.6 | -3 | -2.8 |
| 4 | 138.9 | 139.2 | 137.4 | -1.5 | -1.8 |
| 5 | 140.1 | 138.6 | 140.1 | 0 | 1.5 |
| 6 | 137.2 | 136.2 | 138.1 | 0.9 | 1.9 |
| 7 | 134.6 | 133 | 132.2 | -2.4 | -0.8 |
| 8 | 140.2 | 139.6 | 137.5 | -2.7 | -2.1 |
| 9 | 130.2 | 128.2 | 128.4 | -1.8 | 0.2 |
| 10 | 129.5 | 129.7 | 130.5 | 1 | 0.8 |
| 平均 | 135.62 | 134.58 | 134.5 | -1.12 | -0.08 |

ACPSS 测量的头矢状弧(n-i)平均值与直接测量和 CT 工作站测量分别相差 1.12mm 和 0.08mm。但经过 t 检验 $P>0.5$ ，相差不显著，无统计学意义。即 ACPSS 的测定与直接测量或 CT 工作站测量结果相同。

2.4 讨论

虚拟手术工作站的一个非常重要点是准确，用虚拟工作站测量到的数据要与实际直接测量的基本一致。只有这样，该工作站才能被应用于临床，否则在真正手术时将会受到误导，出现偏差，甚至造成严重的后果。任何供临床使用的三维虚拟手术工作站在临床使用前必须经受检验。

影响三维虚拟工作站准确性的因素有很多，主要有 1.CT 机器的原因：机器本身是有误差的，不同公司生产的机器是有所差异，有的机器误差较大，有的机器相对较小。一般而言，美国 GE、德国 Siemens 和荷兰 Philips 公司生产的 CT 机误差

较小，比较准确。不同档次、不同型号的 CT 机也有差异，在前后径和横径的测量上，普通 CT 或单层螺旋 CT 与多层螺旋 CT 的差别不大。但在纵径测量上，多层螺旋的误差较小，其准确性明显好于单排螺旋 CT 或普通 CT。我们体会美国 GE 公司生产的双层螺旋 CT 机 Hi-speed NX/I 的误差较小，比较准确，其图像能用于虚拟手术；机器的新旧也影响准确性，旧的 CT 机由于进床不如新机器精确，对纵向测量影响较大，误差较大，但对横向测量和前后径测量一般影响不大；CT 机的空间分辨率对测定的准确性有明显的影响，空间分辨率低误差较大，空间分辨率高误差较小。空间分辨率除与 CT 机生产的厂家、CT 机的档次有关外，与机器的校准有关。CT 机如果长时间不进行校准，将会产生明显的误差。所以强调应加强对 CT 机的维护和保养，经常进行校准，最好在扫描前进行校准。

2. CT 扫描参数设置的原因：用螺旋方式扫描时，层厚(slice)和螺距(pitch)对纵向测定有影响，特别是螺距影响较大，我们体会在美国 GE 公司生产的双排螺旋 CT 机 Hi-speed NX/I 螺距用 1:1.5 时较准确，误差较小。

3. 三维虚拟工作站的原因：工作站软件的原因和断面图像配准等均能影响到三维模型的准确性。该工作站开始时误差较大，经过改动后比较准确，误差明显减小。虚拟工作站的校准最好用下列方法：先将 CT 二维断面图像输入该工作站，用虚拟工作站测量的结果与 CT 机或其工作站测量的结果进行比较和校准，待其测量与 CT 机上测量基本一致后，再将横断面图像进行三维重建，并与 CT 工作站三维重建图像进行测量比较。在虚拟工作站三维重建前，要进行配准处理，为了便于配准，在 CT 横断面图像上要保留标尺，以便利用每个层面的标尺进行对齐，配准。

对头最大长、头最大宽、全头高、头矢状弧等 4 个项目分别用人体直接测量、CT 工作站三维重建后测量和虚拟工作站三维重建后进行测量，将三种方法测量的结果进行比较。本文设计这四项测量目的是为了检查虚拟工作站的横向、前后方向、纵向直线的准确性和曲线的准确性。头最大长为检验前后方向

测定，头最大宽为检验横向测定，全头高为检验纵向测定，头矢状弧为检验曲线测定。取这四项测量是头颅测量中在各自方向上最长的线段，目的是容易发现偏差。同时它们的解剖标志最明显，准确容易。实验中发现①所有 4 项测量项目三维重建模型测量值与直接测量值略有差别，有的值直接测量略大，有的是三维模型或 CT 工作站测量值略大，但是对三种方法间各组对应项目测量数据行 t 检验示差异无显著差异 ($P<0.5$)。这与文献报道影像测量值略大于直接测量值稍有不同。②CT 工作站测定与虚拟工作站测定之间相差较小。③横向测定的值差异比较小，而纵向测定的值偏差较横向大。另外每次直接测量也可造成一定误差，如直接测定时由于是在皮肤表面进行，皮肤可能有一定移动能造成误差；头矢状弧直接测定时要受头发的影响，而无论是虚拟工作站还是 CT 工作站均不显示头发，所以直接测量值会偏大。横向测定值较纵向测定值偏差更小可能是因为 CT 扫描时要纵向进床，纵向进床容易产生偏差。而与其他作者的差别可能是系统不同所致。

2.5 小结

2.5.1 无论 CT 工作站还是虚拟手术工作站进行三维重建模型测定与直接测定应该没有明显差别，误差可能为每次测定时的误差；

2.5.2 这些偏差在允许的范围内，平时不能被察觉，不影响模拟手术。

2.5.3 这套虚拟颅面部整形手术系统准确性较高，能用于模拟颅面部整形手术的模拟和预测手术对面容的影响。

3 在三维模型上进行虚拟颌面部手术

3.1 引言

计算机模拟手术是在三维虚拟模型上模拟外科手术的方式进行切割、分离等各种操作，它可以使整形外科医生在没有实际进行手术的情况下，预先模拟手术的过程，预见到一些在实际手术中可能回遇到的问题，从而事先考虑好补救方法，采取预防措施，并可以比较各种方案的优劣，找出最好的方案来进行实际的手术。目前临床使用的辅助颌面部整形手术系统尚不尽完善，其中很多关键性的问题还未得到圆满的解决，还存在许多不足，远没有达到理想的状态。首先，操作比较麻烦，需要将 DICOM 图像转变成为普通图像格式后，要经过图像提取等加工，才能输入普通计算机上使用，图像加工过程必定伴有信息损失，这样必然影响图像清晰程度^[15~18]。其次，由于存在配准问题，造成重建的三维图像较模糊，与实际人体有差异。另外目前多数辅助颌面部整形手术系统也只能进行简单的切割，旋转，测量，观察器官间的比邻关系，不能进行真正意义上的模拟手术^[19~21]。我们用 ACPSS 对 5 例因各种原因造成面部的患者进行了虚拟手术，目的进一步检验该系统，证明该系统能应用于临床。

3.2 资料与方法

3.2.1 病例：

病例选择我院 2002 年 3 月~2004 年 1 月期间来我院整形外科住院手术的病例。选择单纯由于先天或外伤的原因造成面部畸形，而未合并其它疾病。共 5 例，男，其中男 3 例，女 2 例，年龄 12~55 岁，平均 34.6 岁。2 例因下颌骨过长而造成反牙合畸形，1 例由于下颌骨发育不良形成下颌骨缩短畸形，1 例右面部先天性膨隆畸形，1 例外伤后左面部塌陷畸形。5 例患者中有

2 例在虚拟手术后，按照模拟手术设计的方案进行了整形外科手术，另 3 例还未进行矫形手术。

3.2.2 检查仪器：

CT机为美国 GE 公司生产的双层螺旋 CT 机 Hi-speed NX/I，其空间分辨率为 18LP/cm，密度分辨率为 4.0 mm @ 0.3%。

3.2.3 方法学

3.2.3.1 CT 扫描方法：用螺旋 CT 对检查对象进行常规 CT 扫描，电压 125KV，电流 150mA，1.0s，slice(层厚)3mm，pitch(螺距 1: 1.5)，矩阵 512×512，重建算法 (Reco Type) 标准算法 (std)。扫描支架无角度，扫描时检查者仰卧于检查床，扫描范围从下颌骨最低点连续向上扫描至颅顶，包括整个头颅，行水平扫描。扫描后，将 CT 图像的原始数据进行厚层到薄层再重建，重建成为 1mm 层厚的图像。

3.2.3.2 虚拟手术：

3.2.3.2.1 将 CT 断层图像输入辅助颌面部整形手术虚拟工作站。单击工作站的菜单栏的文件，打开 Dicom3.0 图像，出现选择多幅图象的对话框，选择需要打开的文件。先观看读入数据的二维断层图像。选择冠状面、矢状面和横断面三个切割方向，视图区域就会显示出在所选方向上体数据的相应的二维断层图像，移动工具栏中的滑杆，选择在不同位置的断层图像。

3.2.3.2.2 预处理：单击工具栏中的阈值分割按钮 (Threshold Segment)，指定 CT 值窗口范围的窗宽(Win)和窗位 (Lev)，选择合适的阈值分割出骨组织，执行骨组织分割和预处理，通过切割或种子填充方法分离出上颌骨和下颌骨。

3.2.3.2.3 三维显示：在菜单栏的视图菜单中选择三维视图，出现用于三维显示的新视图。然后单击三维显示选项执行三维显示功能，运行完成后就可以看到三维图像 (图 6，图 7)。在三维场景中可择某块骨组织，按住鼠标左键移动来旋转三维物体，从各个方向观察骨组织的三维图象，按住鼠标右键移动平移物体，也可以选择菜单中的视点菜单可以选择从正面、左侧面、右侧面观察三维物体。

3.2.3.2.4 手术模拟：首先是对需要延长的骨切割。用鼠标在想要切割的骨上画出一条或二条切骨线（图 8，图 9）。如果需要将该骨延长的画一条切骨线，而要将骨缩短的画二条切骨线，二条切骨线之间的距离即是切除骨组织的长度。切割骨组织后，将骨拉长或缩短。再选择视图菜单的三维显示项重新绘制出切割后的组织，得到切割后新的三维图象。观察咬合情况或对位情况，可反复操作，直至上下颌骨咬合正常或对位满意。这样就相当于模拟了颌面部骨性部分整形手术（图 10，图 11）。

3.3 结果

本系统可很好的显示颅颌面部二维 CT 断层图像和三维 CT 表面重建图像，可以任意旋转三维物体，从各个方向观察骨组织的三维图像。利用该系统成功地模拟进行了下颌骨过长造成的反牙合手术，也可以很方便的进行颅面部其它虚拟手术，可对任意部位随意进行切割、分离、移动等操作，并可将不同的部分进行伪彩色染色。所有操作均可交互式反复进行。并且可以将虚拟手术过程以动画和视频的形式供医生或病人及其家属观看。

3.4 讨论

颌面部是多个重要器官集中区，生命感觉器官密布，同时又关系到容貌，而颌面诸骨作为其框架支撑，形态不规则。所以涉及颌面部的外科手术难度高，危险性大，必须容貌与功能兼顾。另外，近年来要求整容的日益增多。因此颌面部整形外科对影像学提出了较高的要求，要求影像学术前必须准确诊断，确定病变范围，并能预测手术对容貌的影响。80 年代以来，随着计算机技术、螺旋 CT 的发展，现在已经开发出来了一些三维辅助颌面部整形手术系统的软件，用于虚拟手术^[23~25]。

虚拟手术指在颌面部整形手术前，用三维“电子模型”虚拟外科手术的方式进行切割、分离等各种操作，它可以使整形外科医生在没有实际进行手术的情况下，预先模拟手术的过程，预见到一些在实际手术中可能会遇到的问题，从而事先考虑好补救方法，采取预防措施，并可以通过不同手术方案的模拟，比较各种方案的优劣，找出最好的方案来进行实际的手术。目前国内外各种颌面部虚拟手术系统均不很完善，如不能直接输入 DICOM 格式图像，需要先转变为通用图像格式，这样必然造成信息损失，影响图像质量；或不能交互式操作，这样操作比较费时，使用非常不方便。

本系统能直接接收 DICOM3.0 图像，并能进行交互式操作，非常方便。我们在操作过程中发现，虚拟手术操作时应注意：

3.4.1 数据的骨组织提取最佳 CT 值范围是：Win：1742 左右，Lev：1165 左右。下颌骨提取范围是：Win：1742 左右，Lev：1437 左右。

3.4.2 系统有两个视图，一个是显示二维断层的视图，即程序运行时生成的第一个视图，也可以按工具栏的新建按钮生产。另一个是三维视图用来显示三维图像，当选择视图菜单的三维视图时生产的。通常这两个视图生成一次就可以了。点击窗口菜单，可以选择切换这两个视图。

3.4.3 目前如果要打开另一套数据，或修改前面预处理步骤需要退出现在的程序重新打开程序再打开数据。

3.4.4 选择视频后会出现一个对话框，这时可以选择不同的编码方式。通常选择 MS MPEG-4 V2 或 Microsoft MPEG-4 Version2 编码方式。视频文件存储后的默认路径是图像数据的文件夹名为 test.avi。

3.4.5 三维重建时，首先注意图像配准，需要按顺序排列图像，另外在每幅 CT 横断面图像上最后标记，我们体会在 CT 图像上显示标尺，利用每幅图像的标尺作为标记比较好。

3.5 小结

3.5.1 使用虚拟手术系统，整形外科医生可以在没有实际进行手术的情况下，预先模拟手术的过程，预见到一些在实际手术中可能会遇到的问题，从而事先考虑好补救方法，采取预防措施，并可以通过不同手术方案的模拟，比较各种方案的优劣，找出最好的方案来进行实际的手术。

3.5.2 CT 三维表面重建辅助颅面部整形手术系统可以对许多颅面部手术整形美容手术进行模拟。

3.5.3 该系统能对整形美容手术起到一定帮助作用。

4 预测颅面部手术对面容的影响

4.1 引言

面容预测指在颅面骨骼虚拟手术后，经过计算机图像处理，在颅面部虚拟手术后的骨骼模型上添加软组织部分，而产生的虚拟的手术后面容的三维模型。颅面部手术后面容预测的研究目前尚处于起步阶段，国内外文献较少^[26~28]，只能预测骨性结构，而且需要较长时间，不能达到交互式 and 实时显示。而软组织部分由于手术后牵拉、移位的关系，改变较大，计算比较复杂和困难，需要许多经验公式，目前未见有可以预测软组织手术改变的文献报告。随着近年来整形美容的升温，对手术设计和预测的需求增加，在整容手术中，要求能够对接接受整容手术者的容貌要有一个科学的估价，要设法使接受整容手术者能在手术前看到预期在手术后所能得到的形象，并能有所选择以满

足其本人的意愿。本研究使用两种面貌复原方法为 2 名颅面部虚拟手术后的患者进行了面貌复原，并将预测的面貌与真实整形手术后的面容进行对比。目的是尝试一种面部复原的方法，可以产生一系列虚拟的面部，让整形外科医生和接受整形手术者预先知道手术后可能的面容。

4.2 资料与方法

4.2.1 患者：从 5 例进行虚拟手术病例中选取 2 例。病例 1，男性，12 岁，患有下颌发育不良（俗称天包地）。病例 2，男性，45 岁，患双侧面部不对称，右侧明显膨隆。

4.2.2 CT 扫描：螺旋 CT 进行常规 CT 扫描，slice(层厚)3mm，pitch(螺距 1: 1.5)，方法与前面相同。扫描后，将 CT 图像的原始数据进行厚层到薄层再重建，重建成为 1mm 层厚的图像。

4.2.3 虚拟手术：

4.2.3.1 对病例 1 进行虚拟下颌骨延长手术：首先是在下颌骨双侧进行切割，切割骨组织后，再选择视图菜单的重新三维显示切割后的下颌骨，得到切割后新的三维图像。将下颌骨的前部向前移动，将下颌骨延长，观察咬合情况，可反复操作，直至上下颌骨咬合正常（图 7~11）。

4.2.3.2 对病例 2 进行虚拟右侧上颌骨和颧骨矫形手术：在整形外科医生的指导下，首先在该患者的颧骨和上颌骨颧突进行切割，取一块 5mm×12mm 的骨片。然后将三维上颌骨颧突向后方移位，与颧骨接触。在虚拟手术过程中除直接不断将手术侧与健侧进行比较外，还可随时可以将三维“电子模型”转变成二维横断面图像，将手术侧与健侧的镜像对比，了解矫形是否满意（图 12~23）。

4.2.4 面貌复原：

4.2.4.1 方法一：转动虚拟手术后的模型分别到前视位、侧视位和顶视位，得头部前视、侧视和顶视图片，并将这些片存为通

用的 JPEG 图像格式备用。打开 Rhinoceros3D 程序后，建立新文件（图 24）。系统将显示模板文件(Template File)对话框，在此对话框中选择 Millimeters（毫米）为单位模板，单击[打开]按钮，即可新建一个以毫米为尺寸单位的模板。分别将上面操作得到的头部前视、侧视和顶视图片调入 Rhino 的前视图、侧视图和顶视图作为下面建模的参照物（图 25）。选择菜单 Curve|Free-from|Control points 按钮，在右视图（Right）参照前面虚拟手术后的头颅骨骼模型的侧视图画一条人头像剖面线。选择上一步骤绘制的人头像剖面线，选择菜单 Edit|Copy，接着选择 Edit|Paste，将复制的人头像剖面线粘贴于原处，然后运用移动、旋转工具和通过调整控制点来构建第二条曲线，第二条剖面线是第一条剖面线的简单复制品，它通过复制、旋转（在顶视图）、编辑而成。然后参照虚拟手术后的头颅骨骼模型的前视图、侧视图和顶视图，通过运用移动、旋转工具和调整控制点来修改第二条剖面线，使其与头颅骨骼的形态吻合。反复上面的操作，生成多条剖面线，并进行控制点调整。人头像的最终剖面线绘制完成后，可以使用放样 Loft）工具进行放样（图 26），然后镜像（Mirror）放样的曲面，用混合表面工具进行无缝结合（图 27）。也可镜像人头像剖面线，用放样（Loft）工具进行放样。这样就好象给虚拟手术后的头颅骨骼模型加上软组织，对颅面骨进行面貌复原，即可得到颅面部手术后面貌的预测三维模型。对此三维模型可以进行渲染，加上头发，染上颜色等，甚至可以让面部做出表情^[29~31]。

4.2.4.2 方法二：将虚拟手术创建的纠正畸形的三维颅面部骨骼模型重新进行断层，变为一幅幅横断面图像，将图像转变为通用的 JPEG 图像格式，并将这些图像传出到另一台计算机，将图像按顺序排列，利用标尺校准。将经过第二次断层的图像与原始 CT 图像进行对比，调节窗宽和窗位，使原始图像的软组织能够得到显示。将手术部位的几个层面用手工参考原始 CT 图像的软组织厚度添加软组织。将添加软组织后的下颌骨横断面图像与头颅其它层面的原始图像按顺序排列，全部用软组织

窗宽、窗位。然后再次三维重建，即得到手术后的面貌复原。

4.2.5 检验面貌复原的准确程度：将病例 2 右侧面布面貌复原的图像与他左侧虚拟手术前的照片以及软组织三维表面重建进行对比。由于该例患者后来进行了整形外科手术，所以也将其虚拟手术后的面貌与真实手术后的面貌进行比较。以了解颅面部面貌复原的准确性。

4.2.6 使用软件：Rhinoceros（犀牛）2.0。

4.3 结果

4.3.1 两种方法均能得到基本满意的面貌复原三维模型。病例 2 右侧畸形侧经虚拟手术和面部面貌复原后与左侧正常侧照片、软组织三维表面还是基本相象（图 28，图 29）；与右侧真实整形外科手术后也基本相象。病例 1 由于未进行真实的整形外科手术，不知是否准确。

4.3.2 方法一使用 Rhinoceros 能得到表面光滑的三维头面部面貌模型。

4.3.3 方法二使用虚拟手术工作站将虚拟手术后的三维头面部骨骼模型还原横断面图像，经过手工添加软组织后，再次三维重建，得到的三维头面部三维模型较毛糙。

4.4 讨论

容貌预测是在虚拟手术的基础上，将模拟手术后的“电子颅骨”进行三维计算机面部复原。目前三维计算机复原的方法有很多，最成熟的是西北大学周明全的方法，他对三维计算机辅助面部复原进行了比较深入的研究，在他计算机复原系统上，首先要把颅骨图像三维数字化，然后，把一个从数据库中检索出来的早已数字化的面部，像面罩一样盖在“电子颅骨”上

[32,33], 同时调整面部软组织厚度以适合其下附颅骨的特征。最后通过三维的显示手法, 在计算机的屏幕上给出具有光照效果的、可以从多角度观察的复原体面貌图像。这些复原方法一般用刑事侦查、考古、空难等人的身份鉴定。

颌面部虚拟手术后的复原更加复杂, 由于面部肌肉比较复杂, 模拟手术后由于牵拉、移位等, 不能向颅面部骨组织样进行简单的移动, 面部复原时, 由于需要许多经验公式, 所以目前国内外水平还比较低, 手工复原居多, 有少量利用计算机半自动进行复原的文献。

目前大多数三维计算机辅助面貌复原是模仿三维手工面貌复原方法, 即先根据许多人的面部数据制造一个“平均”面部, 然后把这个“平均”数字化的面部, 像面罩一样盖在数字化的颅骨上。这种方法对于相貌比较普通的人还是较为准确。但由于人的个体差异比较大, 特别是患有先天或后天面部畸形的患者, 他们的面部常常比较奇特, 这种方法的准确性会因为个体差异而受到影响。

本研究尝试了两种颅面部面貌复原的方法, 一种是使用 Rhinoceros (犀牛) 软件, 另一种是使用虚拟工作站的三维重建软件。区得了较好的结果。不论在可操作性上还是在易于产生多个版本面部的灵活性上, 这两种方法产生的面部比通常的计算机粘贴方式产生的面部都要好得多, 特别是方法一甚至可用计算机进行面部表情的合成和动画辅助面部复原。这两种方法能够客观、迅速地产生一系列可能的面部, 可以将这些面部提供给临床医生、患者及其家属选择。用 CT 扫描获取的数据既快又方便, 而且来本人的数据更加可靠。但目前该复原方法仍然为半自动, 部分需要手工绘制, 还不能做到交互式。

方法一, 使用 Rhinoceros 将传统 CAD 的精确性与曲线 (spline) 为基础之模型建构技术的弹性作完美结合, Rhinoceros 所建构出的对象是平顺的 NURBS 曲线及曲面, 而非直线的区段或多边形的网格面。Rhinoceros 使用修剪自由形式 (trimmed

free—form) NURBS 曲面来精确表现曲线外形, 包括有洞在其上的曲线外形。可以利用相接曲面为边界来建构实体, Rhinoceros 具有完全整合实体与曲面建构能力, 构建的实体可炸开(Explode)为曲面, 编辑之后再结合为实体。Rhinoceros 具有修剪任意曲线、曲面和实体之组合物体的超强能力。在 Rhinoceros 3D 中共有五种元素类型: 包括点、线、面、体及网格。线、面、体都是属于 NURBS 的物体, 它通常被看作作为一种数学的等式意味着这种物体可以非常光滑。这种光滑面能够制作出模型、渲染体、动画程序等。NURBS 的全称是“非均匀有理 B 样条 (Non-Uniform Rational B-spline)”, 是一种处理曲面数据的先进数学方法, 在高端三维软件中都支持这种建模方式(例如 3D Studio MAX 里也有 NURBS 建模工具), NURBS 与传统的网格建模方式相比能更好地控制物体表面的曲线度, 从而能够创建出更逼真、生动的造型。Rhinoceros 中有着丰富的生成和编辑 NURBS 曲面的命令。目前多数电子游戏中的人物和动物是用 Rhinoceros 来建模的^[34~37]。

方法二, 是在需要复原的颅骨各个横断面上加软组织, 然后进行三维表面重建(SSD), 得到三维的头面部立体图像。这种技术不仅可以利用更多解剖点的数据, 而且它比传统的手工复原和一般的计算机辅助复原技术快得多, 并且更灵活。而且无须对面部器官做太大变动就可产生符合原来颅骨的三维面部图像.可以产生一系列可能的面部。但这种方法的缺点就是三维头面部面貌模型表面不光滑, 较毛糙。这可能与分别在每层横断面上加软组织后, 由于配准不好所致。考虑通过改善配准或在三维重建软件上添上修饰光滑的程序。

4.5 小结

4.5.1 本研究使用的两种方法均能够客观、迅速地产生一系列三维面貌模型, 可以将这些面部提供给临床医生、患者及其

家属，让他们在整形手术前知道手术后可能的面貌，并让其选择手术方案。

4.5.2 使用 Rhinoceros 面貌复原的特点是三维模型相对准确，表面光滑，同时还可任意调整，产生一系列面部。其缺点是复原时基本上用手工。

4.5.3 尽管目前用虚拟工作站复原的面容较粗糙，但这种方法有潜力，为计算机自动面貌复原打下了基础。

全文结论

一、本研究建立了一套 CT 三维表面重建辅助颌面部整形手术系统，用 C++语言编写了相应的软件。该系统具有丰富的图形图像处理与分析功能，不仅具有完善的二维图像处理分析功能，能对影像进行窗宽/窗位调整、滤波、去噪、缩放、翻转、CT 值的读取、镜像、多部位同步播放与放大等操作。而且具有强大的三维处理与分析、网络传输与数据存储等功能，具有对三维模型进行旋转变换及多层组织的面显示、体显示功能，可以实现切片重组、手术模拟等操作。

二、通过对头最大长、头最大宽、全头高、头矢状弧等 4 项指标分别用人体直接测量、CT 工作站测量和 ACPSS 测量三种方法测量的结果进行比较。发现使用 ACPSS 测定与直接测定没有明显差别，不影响模拟手术。所以这套辅助颌面部整形手术系统准确性较高，能用于模拟颌面部整形手术的模拟和预测手术对面容的影响。

三、对 5 例反牙合的患者进行了计算机虚拟手术。本系统能直接接收 DICOM3.0 图像，并能进行交互式操作，非常方便。CT 三维表面重建辅助颌面部整形手术系统可以对许多颌面部整形和美容手术进行模拟。

四、对其中 2 例面部畸形的患者除进行了虚拟手术，并进行了预测手术后面容改变表明：本研究有自己的特点，能够客观、迅速地产生一系列可能的面部，可以将这些面部提供给临床医生、患者及其家属选择。但目前该复原方法仍然为半自动，部分需要手工绘制，还不能做到交互式。另外，由于该系统使用例数太少，还有待于在实践中得到进一步检验。

照

片

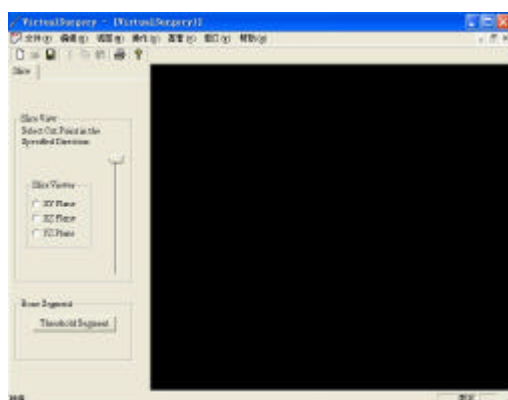


图 1. ACPSS 窗口图: 此即虚拟手术工作站操作界面。

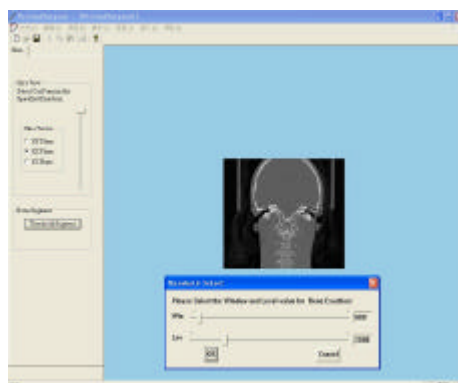


图 2. ACPSS 窗口图: 可以清楚的显示冠状面, 并可移动观察和进行测量。

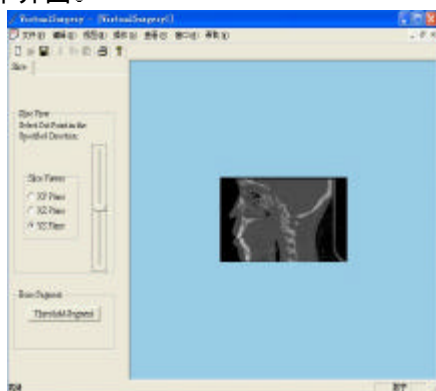


图 3. ACPSS 窗口图: 显示矢状面。可以进行矢状面的测定、观察。

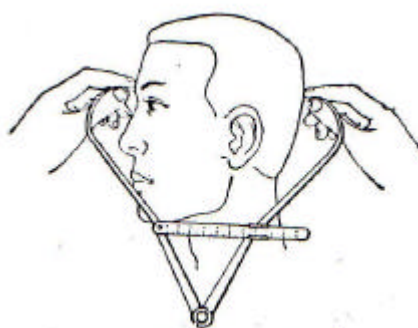


图 3. 颅面部测量方法示意图: 头最大长的测量方法。

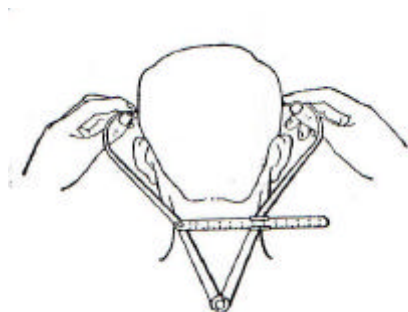


图 5. 颅面部测量方法示意图: 头最大宽测量方法。

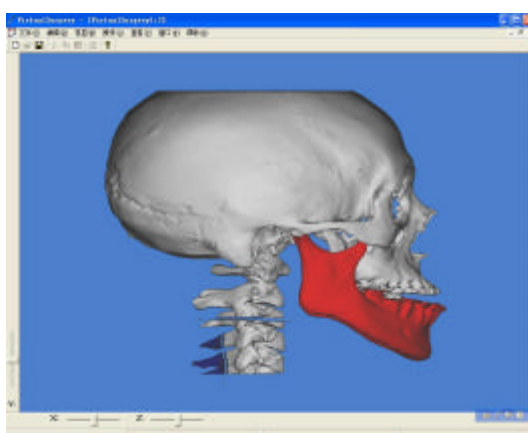


图 6. ACPSS 三维重建图: 1 名反牙合患者颅骨三维表面重建侧面观。

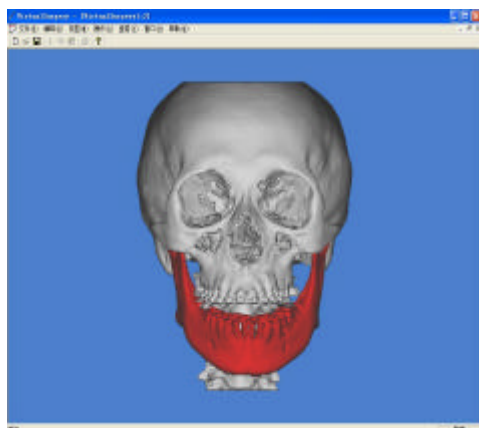


图 7. ACPSS 三维重建图: 该患者反牙合颌骨三维表面重建正面观。

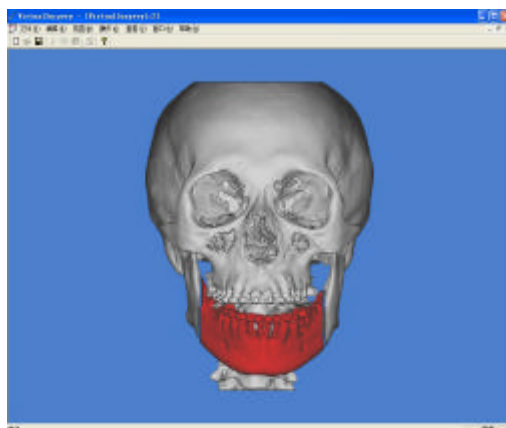


图 8. 对反牙合虚拟手术图: 双侧下颌骨可见切骨线。

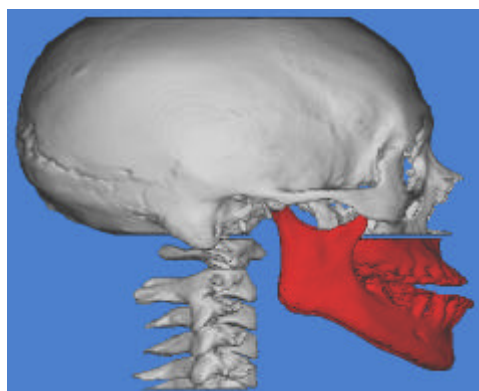


图 9. 对反牙合虚拟手术图: 上颌骨可见切骨线。

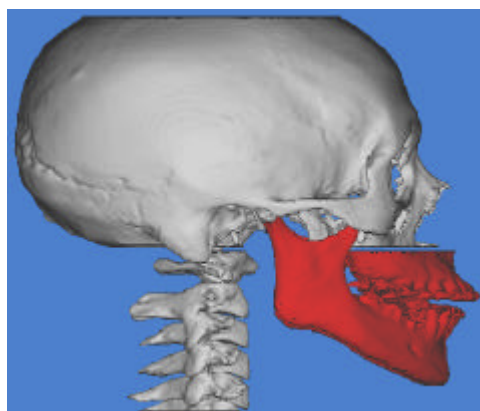


图 10. 对反牙合虚拟手术图: 将上颌骨前移。

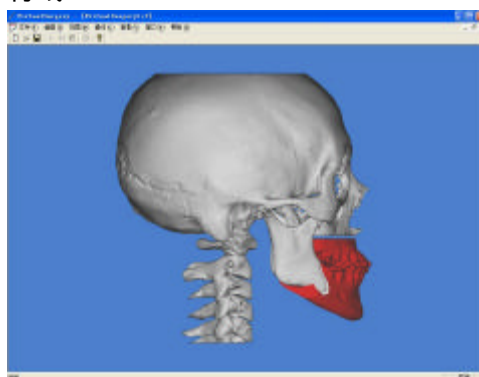


图 11. 对反牙合虚拟手术图: 在上颌骨前移的同时将下颌骨后移, 到咬合正常。



图 12. 术前照片：该患者面部畸形，双侧面部不对称，右侧面部明显膨隆。

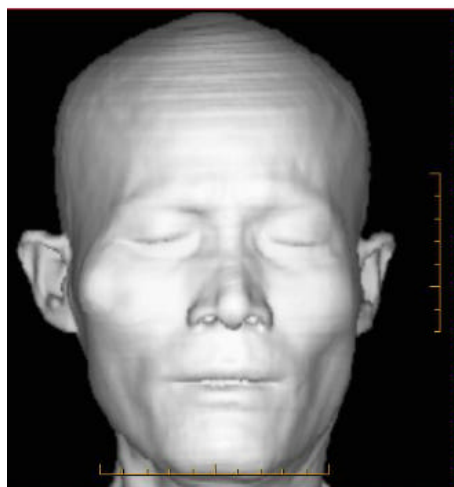


图 13. 颅面部软组织三维表面重建正位图：见右侧上颌部明显突出。



图 14. 颅面部软组织三维表面右侧位重建图：该患者右侧上颌部较突出。

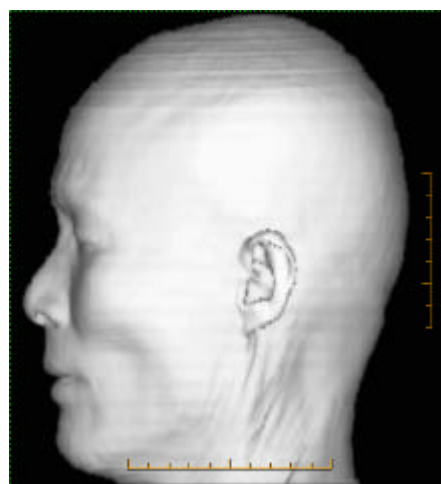


图 15. 颅面部软组织三维表面重建左侧位图：该左侧上颌部正常。

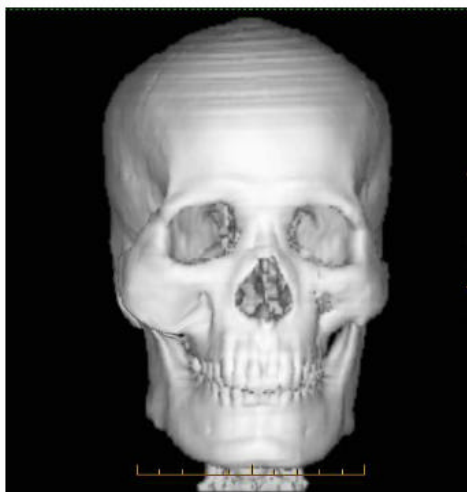


图 16. 颅面骨三维表面重建正位图: 见右侧上颌骨明显突出。



图 17 该患者虚拟手术前三维表面重建右面观 (域值为骨), 见右侧上颌骨明显膨隆



图 18. 该患者虚拟手术前三维表面重建左面观 (域值为骨), 见左侧上颌骨正常。



图 19. 对该患者进行虚拟手术, 在右侧上颌骨上进行切割。

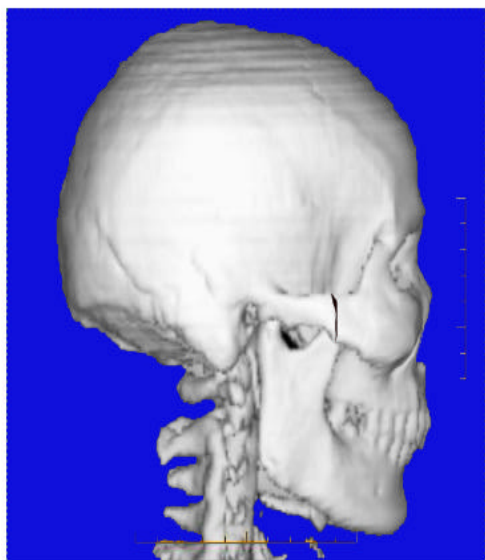


图 20. 对该患者进行虚拟手术，在右侧颧骨上进行切割。



图 21 对该患者进行虚拟手术，在右侧颧骨上切割两刀。

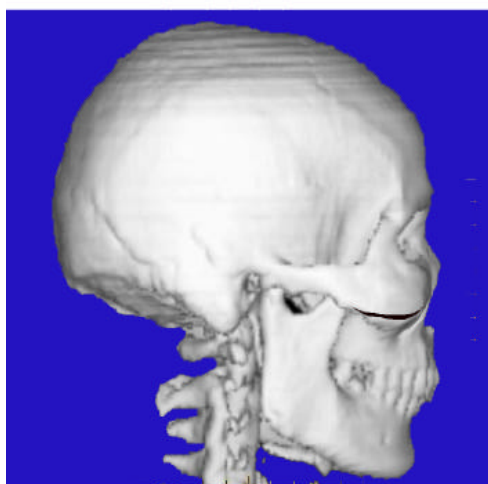


图 22. 对该患者进行虚拟手术，在右侧上颌骨上进行切割。



图 23. 虚拟手术后的颅骨三维重建图：可见右侧上颌骨和颧弓变平。

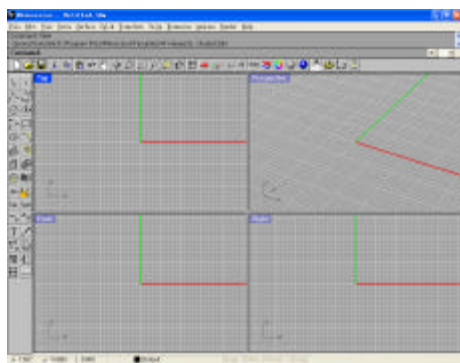


图 24. Rhino(犀牛)界面：使用犀牛软件进行面部复原。

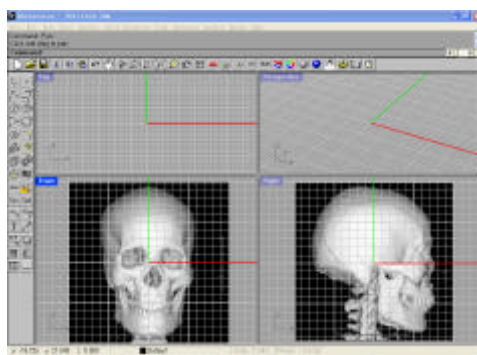


图 25.用犀牛复原情况：将虚拟手术后的颅骨正、侧位输入 Rhino。

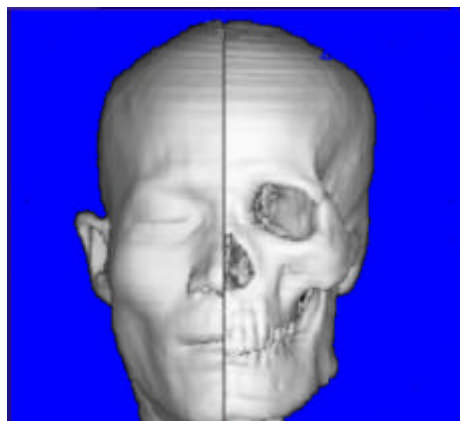


图 26. Rhino 复原情况：仅对患侧进行复原。

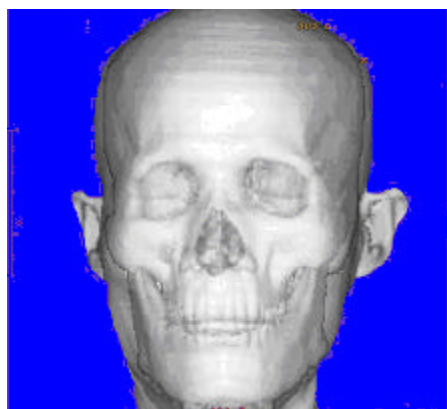


图 27. Rhino 复原情况：使用镜像功能即对全颅进行面貌复原。



图 28.患者真正整形手术后的照片：右侧面部畸形已完全消失。



图 29.术后右侧位照片：面部畸形痊愈。

参考文献

1. Hudgins PA. Flap reconstruction in the head and neck: expected appearance, complications, and recurrent disease. *European Journal of Radiology*, 2002,44:130
2. Burgielski Z, Jansen T, Hanssen N, et al. Julius--a software framework for computer-aided-surgery. *Biomedizinische Technik*, 2002, 47 :101
3. Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF, et al. A new technique for the creation of a computerized composite skull model. *Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 2003, 61:222
4. Dauber S, Heinze P, Kubler C, et al. Analysing the variations of shapes based on surface-models. *Biomedizinische Technik*, 2002,47:267
5. 杨斌,张涤生,黄洪章,等.颅面外科三维诊断分析和手术设计系统的临床应用研究. *中华整形外科杂志*, 2001, 17:80~83
6. 杨斌, 张涤生, 黄洪章, 等.颅面外科三维诊断分析和手术设计系统的建立. *口腔颌面外科杂志*, 2000,10:288~291
7. 杨斌, 黄洪章, 李晶, 等. 颅颌面整形手术仿真模拟的研究. *中山医科大学学报*, 2000,21:87~91
8. 张兰欣,王长富,刘占全, 等. *C语言程序设计与计算方法基础*. 北京:北京航空航天大学出版社,2000.92~167
9. 吕凤翥. *C++语言基础教程*. 北京:清华大学出版社,1999.1~328
10. 张杰. *JAVA 3D 交互式三维图形编程*. 北京:人民邮电出版社,1999.21~271
11. 罗述谦,周果宏. *医学图像处理与分析*. 北京:科学出版社,2003.65~291
12. 容观澳. *计算机图象处理*. 北京:清华大学出版社,2000.254~335

- 13.柯杰, 林珠, 赵佳芝, 等. 用图像法实现模型的三维测量及诊断、矫治设计 CAD 系统. 实用口腔医学杂志, 1995, 11:207~208
- 14.栗淑媛, 郑连斌, 陆舜华, 等. 人体头面部测量项目相关分析. 解剖学杂志, 2001,24:176~178
- 15.杨宝民,朱一宁.分布 3 虚拟现实技术及其应用. 北京:科学出版社,2000.116~451
- 16.Lo LJ, Marsh JL, Vannier MW, et al. Craiofacial computer-assisted surgical planning and simulation. Clin Plast Surg, 1994, 21:501~516
- 17.Altobelli DE, Kikinis R, Mulliken JB, et al. Computer assisted three-dimensional planning in craniofacial surgery. Plast Reconstr Surg, 1993, 92:576~585
- 18.Neumann P, Siebert D, Faulkner G, et al. Virtual 3 D cutting for bone segment extraction in maxillofacial surgery planning. Stud Health Technol Inform, 1999, 62:235~241
- 19.Gorman PJ, Meier AH, Krummel TM. Computer-assisted training and learning in surgery. Comput Aided Surg, 2000,5:120~130
- 20.何冬梅, 张益, 张震康, 等. 三维头颅模型在口腔颌面外科的应用. 中华口腔医学杂志, 2001, 36:334~337
- 21.James WJ, Slabbekoorn MA, Edgin WA, et al. Correction of congenital malar hypoplasia using sterolithography for presurgical planning. J Oral Maxillofac Surg, 1998,56:512~517
- 22.Khambay B, Nebel JC, Bowman J, et al. 3D stereophotogrammetric image superimposition onto 3D CT scan images: the future of orthognathic surgery. A pilot study. International Journal of Adult Orthodontics & Orthognathic Surgery, 2002, 17:331
- 23.Vannier MW, Marsh JL. Three-dimensional image, surgical

- planning, and image-guided therapy. Radiol Clin North Am, 1996, 34:545~563
- 24.Vannier MW, Marsh JL, Warren JO. Three-dimensional construction image for craniofacial surgical planning and evaluation. Radiology, 1984, 150:179~184
- 25.Khambay B, Nebel JC, Bowman J, et al. 3D stereophotogrammetric image superimposition onto 3D CT scan images: the future of orthognathic surgery. A pilot study. International Journal of Adult Orthodontics & Orthognathic Surgery, 2002, 17:331
- 26.吕导中,万荣春.人像面部综合测量特征的特异性研究.江苏公安专科学校学报, 2000, 14:117~121
- 27.栗淑媛,郑连斌,陆舜华,等.人体头面部测量项目相关分析.解剖学杂志, 2001,24:176~178
- 28.马廷豪,依明江,孙泰超.新疆维吾尔青年女性面部美学标准测定.实用美容整形外科杂志, 1993,4: 50~52
- 29.于晓慧,黄金芳.180例正常颌北京汉族人软组织侧貌的X线头影测量研究.中华口腔医学杂志, 1987, 22:222~226
- 30.Subtelny JD. A longitudinal study of soft tissue facial structures and their profile characteristics, defined in relation to underlying skeletal structures. Am J Orthod 1959, 45:481
- 31.周立新,郭宏铭.面部软组织数字化立体摄影测量原理.北京口腔医学. 2001,2001,20(2):81~92
- 32.周明全,耿国华.三维可视化技术在临床医学的应用研究. CT理论与应用研究, 2000,9(增刊):129~132
- 33.周明全,耿国华,范江波.计算机辅助的颅骨面貌复原技术.西北大学学报(自然科学版), 1977, 27(5):375~378
- 34.周豪杰.犀牛 Rhino3D 魔典.北京:北京希望出版社,2002.372~387
- 35.程昱. Rhino 3D 产品建模实例.北京:机械工业出版社, 2003.1~11

- 36.黄永达,陈玉如,杜胜壹,等.3DS MAX R4 全记录. 北京:科学出版社,2001.27~105
- 37.吴大伟. 三维真实人体制作全攻略. 北京:北京希望电子出版社,16~325

附录

综述一：

CT 三维重建辅助颌面部整形手术系统发展的现状

颌面部是多个重要器官集中区，生命感觉器官密布，同时又关系到容貌，而颌面诸骨作为其框架支撑，形态不规则。所以涉及颌面部的外科手术难度高，危险性大，必须容貌与功能兼顾。另外，近年来要求整形美容的日益增多。因此颌面部整形外科对影像学提出了较高的要求，要求影像学在术前必须准确诊断，确定病变范围，并能预测手术对容貌的影响。80年代以来，随着计算机技术、螺旋 CT 的发展，三维医学图像可视化得到了极其广泛的应用，而且正迅速的发展。三维医学图像可视化在临床上应用十分广泛，几乎涉及所有医学分科。其在颌面部整形外科方面的应用发展非常快，现在已经开发出来了一些三维辅助颌面部整形手术系统的软件，主要用于诊断、仿真、计划、手术预演以及引导治疗过程等^[1~6]。

一、发展历史及国内外现状：

最初颌面部整形外科手术依靠 X 线平片来进行诊断、计算术后容貌改变，在矫形外科利用侧位 X 光片进行颌面部软组织测量、评价颜面外观和矫治效果，研究正常咬合情况。由于 X 线平片对颌面部解剖结构显示较局限，对骨性结构显示较好，对骨性病变的诊断、鉴别诊断和范围判定有一定价值。但对软组织的显示较差，对来源于软组织的病变的定位、定性和定量受到了限制。70 年代 CT 出现以来，对颌面部病变的影像诊断有了明显的改善，CT 不仅能清楚显示骨性结构，也能很好地显示软组织结构，这样对于颌面部疾病的诊断和鉴别诊断以及病变范围估计比较准确。但由于技术的原因和颌面部结构太复杂，二维 CT 断面有时对于一些复杂的外伤骨折、先天变异以及范

围较广泛的肿瘤等的显示不够直观具体。无论胶片还是屏幕显示,医务人员所观察到的仍然是二维图像,并且只能以固定方式对图像进行观察,所得到的诊断结果带有医生的主观经验判断,这在很大程度上取决于医生的临床经验,需要医生具有较高的空间想象力,这样才能作出正确的诊断和鉴别诊断,在术前准确地计算出术中切除或植入部分的形态大小,并且制订合理的手术方法和计划。所以无论 X 线平片或普通的二维 CT 断面图像不能很好满足颌面部整形外科的需要。

80 年代以来,随着计算机技术的发展以及相关技术的迅速发展及图形图像技术的日渐成熟,可以对二维 CT 断层图像进行三维重建,可以在胶片或计算机屏幕上展示多角度的立体三维图像。与传统的二维 X 线和 CT 图像相比,三维图像可以进行任意放大、缩小、旋转、对比调整等处理,使医生可以从多方位、多层次的观察角度对影像数据进行详细的观察,可以辅助医生对病变体及其他感兴趣的区域进行定性直至准确的定量分析。这无疑能提高医生的形态学诊断的准确性,并提供更加直观具体的解剖比邻关系。国外部分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,尝试将 X 线影像技术与计算机技术结合起来,形成所谓的基于侧位 X 线头影的二维手术模拟。但更多的学者在研究计算机三维手术模拟^[7~15]。1984 年,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 和 Vannier (1984 年)首先在重建颌面畸形三维 CT 影像的基础上进行了颌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颌面外科手术三维模拟设计系统,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”^[16~18]。目前已经开发出来了一些计算机三维辅助颌面外科系统,如美国的 ANANYZE 系统、加拿大的 Viewing Wand 系统、荷兰的 COVIRA 系统、新加坡的 Virtual Bench 系统等^[19~25]。在国内,中山医科大学孙逸仙纪念医院整形外科的杨斌等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^[26~30],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,实现了三维可视化颌面外科整形手术的模拟设计和疗效预测。这样不仅帮助影像医生对颌面部的病变作出更为准确的定位、定性和定量诊断,同时也帮助颌面外科医生手术前正确估计病变的范围,制订正确的手术计划和方案。甚至可以让整形外科医生在虚拟的三维模型上进行手术模拟,或在手术前显示手术后的效果、对面容的影响,以提高手术的成功率,减少手术带来的风险。

二、应用情况:

CT 三维重建辅助颌面部整形手术系统根据其应用大致可分为三类,一类为植入仿真,二是模拟手术、三为手术结果预测。

(一) 植入仿真:

在颌面部整形外科手术时,有时需要植入一些自体组织(骨、肌肉等)或异体材料来纠正先天性畸形,或治疗因损伤、切除肿瘤、感染等造成的畸形。这些场合的手术治疗要求最好在实际手术之前有定性和定量的解剖学知识,要求准确计算出植入物的大小和形态,最好能准确制造一个植入物,使其与修复的缺损一致。以前这靠手术医生根据自己的经验估计,故其准确性受到影响。目前国内外许多学者对此进行了大量的研究,已经取得了很大的成绩。目前采用的基本方法为先对患者进行常规 CT 扫描,通过阈值处理分割出骨组织图像(对应于骨密度的体素值),将 CT 图像转变为通用格式后,传入普通的计算机,对扫描的断层序列图像进行 3D 图像分割、目标组织面模型提取等步骤,将健侧颌骨的数据引用至患侧,即将健侧颌骨通过镜像的方式对称的复制到患侧需要修补的部位上,可准确生成植入物的计算机三维图像。生成的植入物既可以在电脑上准确测量,又可通过植入物制造设备(如铣床、ZIPPY-型快速成型机、板类件无模多点柔性造型系统)进行一次快速原型制

作，制造出实体植入物^[31~36]。目前常用的植入物有钛网支架、钢板支架和自体骨组织。将个性化的植入物应用于颌面部重建，具有许多优点：首先，能够较为精确地恢复颌面部外型，从而有效地恢复患者面容；其次，术前根据模型设计截骨线、固定等，有利于术中引导移植物准确对位，可避免术后的继发功能障碍；有效节省手术时间，达到事半功倍的效果。

（二）模拟手术：

模拟手术指在颌面部整形手术前，用三维模型模拟外科手术的方式进行切割、分离等各种操作，它可以使整形外科医生在没有实际进行手术的情况下，预先模拟手术的过程，预见到一些在实际手术中可能回遇到的问题，从而事先考虑好补救方法，采取预防措施，并可以通过不同手术方案的模拟，比较各种方案的优劣，找出最好的方案来进行实际的手术。模拟手术有在计算机三维电子模型上虚拟手术，在电子模型上鼠标相当于手术刀，用鼠标在三维的图形上可任意切割^[37~46]。也可在三维头颅实体模型上进行，三维头颅实体模型是以 CT 扫描数据为基础，利用快速成型技术制作出的^[47~53]。三维头颅模型快速成型技术是 1987 年出现并应用于制造业的高新技术。其本质是用积分法制造三维实体，在成型过程中，先由三维造型软件在计算机中生成部件的三维实体模型，然后将其用软件切出设定厚度的一系列片层，再将这些片层的数据传递给呈现机，通过材料逐层添加法制造出来，根据颅骨腔窦众多、结构复杂、薄弱的特点，选择选区激光粉末烧结法，以未烧结的松散聚苯乙烯粉末为自然支架^[53~55]。

（三）手术设计和手术结果预测：

手术结果预测指在三维“电子模型”上设计手术方案，按所设计的方案模拟手术后，经过计算机图像处理，产生虚拟的手术后三维图像^[56~58]。颌面部三维计算机手术设计和结果预测的研究目前尚处于起步阶段，国内外文献较少，只能预测骨性结构，而且需要较长时间，不能达到交互式 and 实时显示。而软组织部分由于手术后牵拉、移位的关系，改变较大，计算比

较复杂和困难，需要许多经验公式，目前未见有可以预测软组织手术改变的文献报告。随着近年来整形美容的升温，对手术设计和预测的需求增加，在整容手术中，要求能够对接受整容手术者的容貌要有一个科学的估价，要设法使接受整容手术者能在手术前看到预期在手术后所能得到的形象，并能有所选择以满足其本人的意愿。这将是今后三维影像可视化的一个热点和发展方向。

三、三维重建辅助颌面部整形手术系统的意义、前景与展望、目前的局限性：

（一） 意义：颌面部三维整形外科辅助系统提供了三维立体视觉，显示了复杂的空间结构，研究疾病的隐藏、发展规律，设计手术径路，模拟手术，预测手术对面容的影响。准确测量三维形态参数，使形态学的研究从定性研究向量化发展。建立三维图像，术前辅助手术训练，设计手术方案并预测手术结果[33~36]。

（二） 前景与展望：以计算机和 CT 技术为基础的三维立体可视化系统随着计算机的广泛的应用和普及发展，建立整个颌面部解剖学结构的模拟系统，用来模拟教学，模拟手术，模拟科学实验，必然有着广阔的发展前景。在临床工作中，如将 CT 与三维软件系统相结合，将开辟一个新的诊断、测量、虚拟手术、设计手术、预测手术结果领域[37~42]。颌颌面三维立体可视化系统将是今后国内外三维研究的一个重要方向。

（三） 三维重建辅助颌面部整形手术系统目前的局限性：

目前临床使用的辅助颌面部整形手术系统尚不尽完善，其中很多关键性的问题还未得到圆满的解决，还存在许多不足，远没有达到理想的状态[43~48]。首先，操作比较麻烦，需要将 DICOM 图像转变成为普通图像格式后，要经过图像提取等加工，才能输入普通计算机上使用，图像加工过程必定伴有信息损失，这样必然影响图像清晰程度。其次，由于存在配准问题，造成重建的三维图像较模糊，与实际人体有差异。另外，当前普遍使用的软件，大多数是自己研制，有的使用 Java 编程，有

的使用 C++ 语言，不统一，不规范，参差不齐，不容易推广。再者，面部三维计算机手术设计和结果预测的研究目前尚处于起步阶段，国内外文献较少，大多只能预测骨性结构，不能达到交互式和实时。而且不能预测软组织改变。

综上所述，CT 三维重建辅助颌面部整形手术系统是最近的 10 多年间兴起的新兴交叉学科，正方兴未艾，特别是在最近几年得到了广泛的应用，发展非常迅速，一直是国内外研究与应用的热点。它不仅可以基于现有的医学影像设备来极大地提高颌面部医学临床诊疗水平，而且能为医学培训、医学研究与教学、计算机辅助手术等提供数字实现的手段，为颌面整形外科的研究与发展提供坚实的基础，具有不可估量的价值。另一方面，目前所有 CT 三维重建辅助颌面部整形手术系统都有这样或那样的不足或缺陷，使临床应用受到了限制和不方便，目前临床使用的虚拟手术系统远没有达到理想的目的，多数也只是进行切割，旋转，测量，观察器官间的比邻关系。手术预测也仅局限于骨性部分，软组织部分还不尽如意。这些有待于进一步发展改善。

参考文献

- 38.Hudgins PA. Flap reconstruction in the head and neck: expected appearance, complications, and recurrent disease. *European Journal of Radiology*, 2002,44:130
- 39.Lievin M, Ritter L, Hanssen N, et al. Interactive 3D segmentation and inspection of volumetric medial datasets. *Biomedizinische Technik*, 2002,47:75
40. Burgielski Z, Jansen T, Hanssen N, et al. Julius--a software framework for computer-aided-surgery. *Biomedizinische Technik*, 2002, 47 :101
41. Lievin M, Ritter L, Hanssen N, et al. Interactive 3D segmentation and inspection of volumetric medial datasets. *Biomedizinische Technik*, 2002,47:75
- 42.Hesser J, Krivonos O, Manner R, et al. Operation planning of correction osteotomies in 3D. *Biomedizinische Technik*.2002, 47:9
- 43.Chabanas M, Luboz V, Payan Y. Patient specific finite element model of the face soft tissues for computer-assisted maxillofacial surgery. *Medical Image Analysis*, 2003,7:1
- 44.Heiland M, Schulze D, Adam G, et al. 3D-imaging of the facial skeleton with an isocentric mobile C-arm system (Siremobil Iso-C3D). *Dento Maxillo Facial Radiology*, 2003,32:21
- 45.Eisenmann U, Dickhaus H, Metzner R, et al. A computer system for planning and carrying out neurosurgical interventions. *Biomedizinische Technik*, 2002,1:49
- 46.Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF, et al. A new technique for the creation of a computerized composite skull model. *Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 2003, 61:222
- 47.Dauber S, Heinze P, Kubler C, et al. Analysing the variations of shapes based on surface-models. *Biomedizinische Technik*, 2002,47:267

- 48.Schmitz A, Gabel H, Weiss HR, et al. Anthropometric 3D-body scanning in idiopathic scoliosis. *Zeitschrift fur Orthopadie und Ihre Grenzgebiete*, 2002, 140:632
- 49.Zerfass P, Keeve E. Automatic generation of hexahedral and tetrahedral meshes. *Biomedizinische Technik*, 2002, 47:79
- 50.Shum DT, Lui H, Martinka M, et al. Computerized morphometry and three-dimensional image reconstruction in the evaluation of scalp biopsy from patients with non-cicatricial alopecias. *British Journal of Dermatology*, 2003,148:272
- 51.Meyer U, Stamm T, Meier N, et al. First experience with a public domain computer-aided surgical system. *British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 2002,40:96
- 52.Khambay B, Nebel JC, Bowman J, et al. 3D stereophotogrammetric image superimposition onto 3D CT scan images: the future of orthognathic surgery. A pilot study. *International Journal of Adult Orthodontics & Orthognathic Surgery*, 2002, 17:331
- 53.Vannier MW, Marsh JL, Warren JO. Three-dimensional Ctreconstruction image for craniofacial surgical planning and evaluation. *Radiology*, 1984, 150:179~184
- 54.Vannier MW, Marsh JL. Three-dimensional image, surgical planning, and image-guided therapy. *Radiol Clin North Am*, 1996, 34:545~563
- 55.Hemmy DC, Zonneveld FW. A decade of clinical three-dimensional imaging. *Invest Radiol*, 1994, 29:489~496
- 56.Lo LJ, Marsh JL, Vannier MW, et al. Craiofacial computer-assisted surgical planning and simulation. *Clin Plast Surg*, 1994, 21:501~516
- 57.Cutting CB, Grayson B, Bookstein F, et al. Computer aided planning and evaluation of facial and orthognathic surgery.

- Clin Plast Surg, 1986, 13:449~462
58. Altobelli DE, Kikinis R, Mulliken JB, et al. Computer assisted three-demensional planning in craniofacial surgery. Plast Reconstr Surg, 1993, 92:576~585
59. Neumann P, Siebert D, Faulkner G, et al. Virtual 3 D cutting for bone segment extraction in maxillofacial surgery planning. Stud Health Technol Inform, 1999, 62:235~241
60. Kockro RA, Serra L, Tseng TY, et al. Planning and simulation of neurosurgery, 2000, 46:118~135
61. Gorman PJ, Meier AH, Krummel TM. Computer-assisted training and learning in surgery. Comput Aided Surg, 2000, 5:120~130
62. Cutting CB, McCarthy JG, Karron DB. Three-dimensional input of body surface data using a laser light scanner. Ann Plast Surg, 1988, 2:38~45
63. 杨斌, 张涤生, 黄洪章, 等. 颅面外科三维诊断分析和手术设计系统的临床应用研究. 中华整形外科杂志, 2001, 17:80~83
64. 杨斌, 张涤生, 黄洪章, 等. 颅面外科三维诊断分析和手术设计系统的建立. 口腔颌面外科杂志, 2000, 10:288~291
65. 杨斌, 黄洪章, 李晶, 等. 颅颌面整形手术仿真模拟的研究. 中山医科大学学报, 2000, 21:87~91
66. 龚振宇, 刘彦普, 何黎升, 等. 用螺旋 CT 资料建立颅面三维模型. 口腔医学研究, 2003, 19: 4~6
67. 何冬梅, 张益, 张震康, 等. 三维头颅模型在口腔颌面外科的应用. 中华口腔医学杂志, 2001, 36:334~337
68. Fan H, Lu Y, Stump A, et al. Rapid prototyping of patterned functional nano-structures [J]. Nature, 2000, 405:56
69. Webb PA. A review of rapid prototyping (RP) techniques in the medical and biomedical sector[J]. J Med Eng Technol, 2000, 24:149
70. Ashley S. Rapid prototyping for artificial body parts.

- Mechanical engineering, 1993, 115:50~53
71. Choi JY, Choi JH, Kim NK, et al. Analysis of errors in medical rapid prototyping models. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2002, 31:23~32
72. 王运赣. 快速成型技术[M]. 上海: 华中理工大学出版社, 1999:215~257
73. James WJ, Slabbekoorn MA, Edgin WA, et al. Correction of congenital malar hypoplasia using stereolithography for presurgical planning. *J Oral Maxillofac Surg*, 1998, 56:512~517
74. Brix F, Lambrecht JT. Preparation of individual skull models based on computed tomographic information. *Fortschr Kiefer Gesichtschir*, 1987, 32:74~77
75. Arvier JF, Barker TM, Yau YY, et al. Maxillofacial biomodelling. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 1994, 32:276~283
76. Bill JS, Reuther JF, Dittmann W, et al. Stereolithography in oral and maxillofacial operation planning. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 1995, 24:98~103
77. 荣真, 唐胜建, 梁华, 等. 面部整容计算机辅助设计图像处理系统的研制. *中国医疗器械杂志*, 2000, 24:274~275
78. 孙军, 李军, 张志愿, 等. 上颌骨大型缺损的个体化三维闭合式功能性重建. *中国口腔颌面外科杂志*, 2003, 1:3~7
79. Muzaffar AR, Adams WP, Hartog MJ, et al. Maxillary reconstruction: functional and aesthetic consideration [J]. *Plast Reconstr Surg*, 1999, 104:2172~2183
80. Brown JS, Roger SN, McNally DN, et al. A modified classification for the maxillectomy defect [J]. *Head Neck*, 2000, 22:17~26
81. Kornblith A, Zlotolow I, Goen J. Quality of life of maxillectomy patient using an obturator prosthesis [J]. *Head Neck*, 1996, 18:323~334

82. Brown JS. Deep circumflex iliac artery free flap with internal oblique muscle as a new method of immediate reconstruction of maxillectomy defect [J]. Head Neck, 1996,18:412~421
83. Yasuda T, Hashimoto Y, Yokoi S, et al. Computer system for craniofacial surgical planning based on CT images [J]. IEEE Trans Med Imag, 1990, 9:270
84. David DJ. Aesthetic Surgery of the bony facial skeleton [J]. Asian J Surg, 1997,20:2
85. Rosen JM. Advanced surgical technologies for plastic and reconstructive surgery [J]. Otolaryngol Clin North Am, 1998,31:357
86. Wagner A, Rasse M, Millesi W, et al. Virtual reality for orthognathic surgery: the augmented reality environment concept [J]. J Oral Maxillofac Surg, 1997, 55:456
87. Bhatia SN, Sowry JH. A computer-aided design for orthognathic surgery [J]. Br J Oral Maxillofac Surg, 1984, 22:237
88. McEwan N, Fukuta K. Recent advances in medical imaging: surgery planning and simulation. World J Surg, 1989,13:343
89. 柯杰, 林珠, 赵佳芝, 等. 用图像法实现模型的三维测量及诊断、矫治设计 CAD 系统. 实用口腔医学杂志, 1995, 11:207~208
90. Bhatia SN, Sowry JH. A computer-aided design for orthognathic surgery [J]. Br J Oral Macillofac Surg, 1984,22:237
91. David DJ. Aesthetic Surgery of the bony facial skeleton [J]. Asian J Surg,1997,20:2
92. 陶学金, 袁敬, 殷孝蓉, 等. 三维影像重建在颌面外科的应用研究. 同济医科大学学报, 1999,28:169
93. Xarls FR, Schuknecht B, Sailer HF. Value of three-dimensional computed tomography in craniumaxillofacial surgery. J

Craniofac Surg, 1994,5:282

94. 龚振宇, 刘彦普, 周树夏, 等. 快速成型技术辅助颜面萎缩衬垫物设计. 第四军医大学学报, 2003,24:1189
95. Liu S, Ma W. Seed-growing segmentation of 3-D surfaces from CT contour data [J]. Computer Aided Design, 1999,31:485

综述二：

头颅面貌复原研究的现状

头颅面貌复原(facial reconstruction from skull)最初用于人类学，是再现古代人类的一种重要手段。后来又应用于法医学，被用于识别无名尸骨。近年来，随着计算机图形学的发展，为面貌复原技术提供了良好的可视化平台，同时也为头颅面貌复原赋予新的内容，在面部整形外科或美容手术前，通过面貌复原估计手术对面貌的影响，以及预测术后的面貌。

一、颅骨面貌复原的发展历史

头颅面貌的复原的发展大致分为五个时期：

第一个时期是 1895 年以前，此时期基本以人体雕塑艺术为主，艺术家在进行雕塑时根据对尸体或活体的素描或直接以本人为模型，或者把合适的经特殊处理了的头部肌肉加在颅骨的石膏模型上完成雕像。因此这一时期仅属于面貌复原的艺术创作时期，或科学颅骨面貌复原的萌芽时期。

第二个时期（1895~1930 年）。严格意义上的科学头颅面貌复原技术开始于 1895 年^[1]，当时赫兹用该技术辨别出伟大的音乐家巴赫。1975 年，被誉为“欧洲音乐之父”的巴赫在贫困中死去，葬于德国莱比锡市的圣约翰教堂后花园墓地。1895 年，因教堂要扩建，巴赫及其他人的坟墓不得不迁走。由于墓穴密集和棺木损坏，在迁坟时许多白骨混在一起，以致无法分辨出哪一具被认为可能是巴赫的遗骸。于是人们从白骨中选出一具被认为可能是巴赫的颅骨来，交给解剖学家赫兹鉴定。

赫兹心想，如果使这一颅骨上的肌肤和毛发复原，再将它与巴赫的肖像画进行比较，就可以鉴别真伪。使面部肌肤复原的关键是找出面部不同部位软组织的厚度的规律，再使这些软组织在颅骨上进行雕塑，就可使其复原。赫兹先用 24 具男性自杀者的尸体进行测量，他首先在面部确定了 15 个点，用针垂直刺入，

直至深面的骨头，由此测量各点的软组织厚度。在获得数据后，赫兹将它和颅骨一起交给了雕塑家塞法勒，在事先未说明颅骨可能属于谁的情况下，要求塞法勒按照这些软组织厚度数据对颅骨进行雕塑。结果得到了一个与巴赫生前肖像非常相似的雕塑，因而证实了这正是巴赫的颅骨。这是世界上第一次尝试用科学的方法复原颅骨生前面貌。此后，这一技术得到了重视，方法也逐渐成熟。在此时期内，艺术家与人类学家、解剖学家一起在实践中奠定了颅骨面貌复原的基础，丰富与发展了颅骨面貌复原的内容。在这一时期，德国学者 Wilcker 和 His 分别复原了席勒、哥德、拉费尔等历史名人。美国学者 Widler 提出了通过鼻软骨和骨性鼻的研究明确了形态上的相互关系，这对揭示颅骨和面部软组织之间相关性的存在做出先驱性工作。总之，第二时期的颅骨面貌复原由于有解剖学和人类学的参与，其精确性与科学性较前期大有提高，面部软组织厚度的测定奠定了科学面貌复原的基础，此期可谓颅骨面貌复原的初创时期。

第三时期（1931~1970 年）。这是人类在颅骨面貌复原方面发展非常快的一个时期。首先是解剖学和人类学已作为主要力量从事此项技术；其次方法学上已有明显进步，如面部软组织厚度测量的点已从 15 个发展到 21 个^[2]，测量方法已从单一的针刺法改进为 X 线测量；三，在研究面部五官形态与颅骨结构的相关性方面取得了重要进展；四，科学家们确立了颅骨面貌复原的科学理论依据。前苏联人类学家 Gerasimov 是此期的主要代表人物。他在研究本国多民族颅骨面貌复原基础上总结并提出了较详细的理论和研究方法，他的《从头骨复原面貌的原理》一书被译成多种文字传播于全世界^[3]。

第四时期（1970 年~1990 年）。由于相关学科的渗入以及新技术的运用，颅骨面貌复原的研究对象已由尸体变为活体；测量方法已由过去的针刺法、X 光法发展到超声波、CT 甚至核磁共振扫描，其精确度明显提高^[4~12]。

第五时期（1990 年以后）。上世纪九十年代以来，随着计算机三维可视化技术的发展，颅骨面貌复原也得到了迅猛的发

展,出现了一个质的飞跃^[10,11]。科学家已不满足于手工制作的颅骨面貌复原技术,而向仪器化、自动化、标准化技术发展;颅骨与面部五官相关性研究方面由以往的经验总结发展为定量分析;人们开始利用计算机进行三维面貌复原^[13~15]。计算机三维表面重建面部复原这种技术不仅可以利用更多解剖点的数据,而且它比传统的手工复原和一般的计算机辅助复原技术快得多,并且更灵活。而且无须对面部器官做太大变动就可产生符合原来颅骨的三维面部图像。为了提高认证率,可以产生一系列可能的面部。同时,这样也可以避免主观因素带来的偏差。添加了描绘程序以后可能得到其他的特征或信息,使其性能进一步提高。不论在可操作性上还是在易于产生多个版本面部的灵活性上,这样产生的面部比通常的雕塑、绘图或计算机粘贴方式产生的面部都要好得多。用 CT、MRI 扫描获取的数据既快又方便,而且来自活的人体的数据更加可靠。面貌复原也开始向颌面外科、整容外科领域辐射,已有不少利用 CT、MRI 扫描测定软组织厚度及颜面整形的报道。

我国在颅骨面貌复原方面起步很晚,1958 年,吴新智等翻译并引进了 Gerasimov 的方法^[3],以后许多专家分别对一些学者对我国一些民族的不同年龄、性别、人种以及不同营养状况的面部软组织进行测量,获得详细的资料^[16~19]。已经开始将面貌复原用于考古、人类学研究^[20],最著名的例子就对湖南长沙马王堆古尸辛锥夫人进行了面貌复原。同时也应用于侦察破案寻找无名尸骨身源等^[21]。但是总的来说,国内从事这一专业人员较少,发表的文献较少,水平较低。以前主要用三维雕塑法进行面部复原,最近西北大学的周明全的国家“九五”攻关课题对三维计算机辅助面部复原进行了比较深入的研究,在他计算机复原系统上,首先要把颅骨图像三维数字化,然后,把一个从数据库中检索出来的早已数字化的面部,像面罩一样盖在空间的颅骨上,同时调整面部软组织厚度以适合其下附颅骨的特征。最后通过三维的显示手法,在计算机的屏幕上给出具有光照效果的、可以从多角度观察的复原体面貌图像^[22~23]。

二、颅骨面貌复原的原理：

当代的面部感知研究表面，个体的面部识别是由面部器官的大小、位置和它们之间相对的比例决定的。在面部识别过程中，这些相对的比例关系比单个器官的特征更为重要。人们根据面部明暗度的局部变化形成对面部的印象，而明暗度的变化是由五官的空间结构的排列特点决定的。这些印象是回忆起某副面孔的基础，无论是不太熟悉的还是十分熟悉的面孔。此外，颅骨提供的面部器官的大小、排列情况，是形成面部印象的最终依据。同时五官的类型在一定程度上也是由颅骨的某些特征所决定，颅骨的形态能部分反映出五官的形状[24]。

颅骨面貌复原是依据人体头面部的解剖学规律进行的。尽管每个人的面貌各不相同，但都有其一般规律。首先，每个人的头面部都是由肌肤、毛发等软组织包裹着的颅骨组成的。颅骨是容貌的构架，五官和头面部的软组织附着在颅骨的相应部位上，形态受颅骨各部位形态和结构关系的影响和制约。例如，额骨、颧骨和上、下颌骨形态决定了每个人的基本脸形；鼻骨的高低曲直决定了鼻子的形态；上、下颌骨，牙齿的大小、形态，是否整齐等决定嘴部的形态；眼部则由眼眶的形态、位置以及鼻骨、眉弓的形态来决定。第二，头面部的软组织厚度，除颊部变化较大外，其余部位较恒定。第三，面貌特征上的年龄变化和不同性别在颅骨上可以明确地反映出来。第四，成年人的颅骨个体形态比较恒定。因此，根据颅骨形态来复原面貌是完全可行的，这已经被一百多年来的国内外实践所证实。

三、颅骨面貌复原的方法：

颅骨面貌复原主要有二维或三维的复原技术，二维或三维的面部复原均有手工复原和计算机辅助复原两种方式。二维手工复原是指通过颅骨的 X 线图像、描摹图形或照片描绘出面部；二维的计算机复原的原理与二维描绘复原稍有不同，二维计算机复原系统包括图像处理和图像编辑两部分。图像处理完成对颅骨形态的测量，产生一个面部框架；图像编辑则把各个面部器官合成在数字化颅骨图像上，为在这个面部框架上复原面部，该系统从

数据库中选出适合此颅骨形态的面部器官的数据,符合解剖学标准的最合适的面部器官样本被贴在面部框架上,描绘程序可以改变面部图像上皮肤的颜色和明暗;三维手工复原直接在人的颅骨或颅骨复制品上雕塑出人面孔,也就是将一个“平均面部”绘制或雕塑在一个特定的颅骨上,所得的面孔就可以用于识别这副颅骨的主人。手工三维雕塑复原应用较为广泛,雕塑复原技术就是用泥土或者其它塑用材料在颅骨或颅骨模型上塑出一个面部,同时雕塑者必须把面部软组织厚度测量数据和死者年龄、性别、种族等信息考虑进去。雕塑者可以直接在颅骨上操作,也可以在颅骨模型上操作,而在颅骨石膏模型上直接复原面部有诸多优点,一个逼真的颅骨复原制品既保留了原有的信息,又无须担心雕塑时会损坏原有的颅骨,而且石膏模型较结实,便于在其上实现面部复原;三维的计算机辅助复原,则在数字化的颅骨图像上通过计算机图形学的方法,产生逼真的面部轮廓和五官。计算机辅助的面部复原技术综合了计算机、法学、医学影像学、数学、系统工程、艺术等多方面的知识,不仅可以利用更多解剖点的数据,减少主观因素带来的偏差,而且可以大大缩短复原时间,无须对面部器官做太大变动就可产生符合原来颅骨的多幅面部图像,提高认证率。三维计算机辅助面部复原的基础是有关的知识库,面部软组织厚度的数据是恢复面貌的依据,因此建立一个面部软组织厚度的数据库和五官数据库是必不可少的。

以上的面部复原方法都有着不容忽视的局限性。其中首要的是受到操作者描绘或者雕塑技艺的局限性。其次,人们对软组织及其下附颅骨之间关系的不完全了解也是造成这种局限性的原因。此外数据的取得也是一个问题,传统的获取数据的方法是用探针对尸体面部直接探测,记录面部的有关标志软组织厚度,实现起来多有不便,而且,人死后的软组织脱水使得探针所测数据的可靠性大打折扣。国外有用电子机械空间数字化仪获取数据。该仪器包括一个活动手臂,手臂上的3格关节轴上各安装一个精确的电位计。电位计的模拟输出电位被转化为数字值,并存贮在计算机内。为取得一系列的三维数据,技术人员必须重复地在颅

骨上人工移动手臂的尖端进行定位。这种方法复杂、非常费时，并且很可能造成人为的偏差。最近伦敦大学开发了一系列用于人面部三维数据的全自动收集系统。该系统包括一计算机控制的旋转平台、激光扫描仪和一台接在计算机上的视频相机。该系统可以以 0.5mm 的分辨率在 30s 内记录 20000 个表面坐标点。数字化的视频信号经简单的三角变换可计算出所需的表面坐标点的数值。这种方法人工干预的成分较少，减少人为的失误。但其设备较复杂，费用较高。

用三维计算机图形技术产生更加真实准确的面部和在一定程度上加快复原进度是各国专家不懈努力的目标。首先，需要更多的面部测量点的软组织厚度数据；其次，不论手工或计算机复原，准确地复原鼻子、耳朵、眼睛和发型上都存在一些问题；最后为使复原的面部更逼真，艺术加工必不可少。可能还会考虑用计算机面部表情的合成和动画辅助面部复原。

四、面貌复原在医学上的应用：

面貌复原是在最近几年才开始在医学上应用，主要应用于面部整形外科。随着近年来整容热的升温，人们对整形外科的要求日益提高，以前面部美容手术主要是在软组织上进行，如抽脂、割双眼皮等，现在开始在颅面骨骼上进行手术，如打磨上颌骨等。这对医学影像学提出了更高要求，要求术前能预测手术对面貌的影响和术后的面貌。面貌复原的方法是利用三维可视化技术在模拟手术后的数字化颅骨上虚拟加上软组织，目的主要是预测面部整形手术后的面容。颅骨和软组织的数据主要来源于 CT 或核磁共振。是把一个数字化的面部，像面罩一样盖在数字的颅骨上，得到三维的头面部立体图像。最后进行美术修饰，加上头发，面部着色等处理，能够客观、迅速地产生一系列可能的面部。目前面貌复原在医学上应用方面的文献较少^[25~29]，还处于初级阶段，大部分文献是二维复原，利用 X 线平片来估计面貌，而且主要用手工操作。

总之，颅骨面貌复原正向数字化、自动化和三维立体方向发展。这项从前主要用于考古、空难、人类学研究的技术开始被

用于临床医学。在颅面部整形外科，面貌复原与计算机虚拟手术结合在一起能帮助手术医生模拟手术、设计手术方案和预测手术后的面貌。面貌复原整形外科有巨大的应用前景，是目前研究的热点之一。

参考文献

1. 建毅.看颅骨,知面容:法医学中的颅骨面貌复原方法.大自然探索. 2000(8):23~24
2. Scheideman GB. Cephalometric analysis of dentofacial mormals. Am J Orthod, 1980,78:404
3. 吴新智译. 从头骨复原面貌的原理, 北京: 科学出版社,1958.2~134
4. Galliff BP. Facial sculpture on the skull for identification. Am J Foren Med Pathol, 1984, 5:327~331
5. Macho GA. An appraisal of plastic reconstruction of the external nose. Journal of Forensic Sciences, 1986,31:1391
6. Hodson G, Lieberman LS, Wright P. In vivo measurements of facial tissue thicknesses in American Caucasoid children. Journal of Forensic Sciences, 1985, 30:1100~1112
7. George RM. The lateral craniograihiic method of facial reconstruction. Journal of Forensic Sciences,1987,32:1305
8. Elizabeth R, Dumont, BA. Mid-facial tissue depths of white children: an aid in faciao feature reconstruction. Journal of Forensic Sciences, 1986, 31:1463~1469
9. Helmar R, et al. Measuring the thickness of facial soft tissue using nuclear magnetic resonance tomografhy for purpose of identification. Arch Kriminol, 1985, 178:139
10. Halmi P. Nuclear magnetic resonance imaging of facial structures. J Neuroradiol, 1984,11:274
11. 陈腾, 刘明俊, 杨广夫. 国人头面部软组织厚度的 MRI 测量. 中国法医学杂志, 1998, 13:28~32
12. Philips V M, Smuts N A. Facial reconstruction: utilization of computerized tomography to measure facial tissue thickness in a mixed racial population. Forensic Science International,

1996,83;51~59

13. Miyasaka S, Yoshino M, Imaizumi K, et al. The computer-aided facial reconstruction system. *Forensic Science International*, 1995,74:155~165
14. Shahrom A W, Vanezis P, Chapman R C, et al. Techniques in facial identification, Computer-aided facial reconstruction using a laser scanner and video superimposition. *Int J. Legal Med*, 1996, 108:194~200
15. Vanezis P, Blowes R W, Linney A D, et al. Application of 3D computer graphics for facial reconstruction and comparison with sculpting techniques. *Forensic science international*, 1989, 42:69~84
16. 傅民魁. 144 名正常颌中国人的 X 线头影测量研究. *北京医学院学报*, 1965, 4:251
17. 黎明, 许彪, 王胤淘, 等. 怒族头面部计算机图形图像测量研究. *云南医药*, 2001, 22:360~363
18. 许彪, 吴荣忠, 杨湛. 云南彝族上唇的测量研究. *中华医学美容杂志*, 1998, 4:166~167
19. 许彪, 吴荣忠. 云南省泸西县彝族外鼻形态学测量研究. *昆明医学院学报*, 1996, 17:29~33
20. 林雪川. 内蒙古庙子沟遗址新石器时代颅骨的人像复原. *北方文物*, 2000 年 64:19~22
21. 张庭深, 富成志, 王文奎, 等. 辽宁锡伯族青少年头面部特征的人类学研究. *沈阳医学院学报*, 1999, 3:131~134
22. 周明全, 耿国华. 三维可视化技术在临床医学的应用研究. *CT 理论与应用研究*, 2000, 9(增刊):129~132
23. 周明全, 耿国华, 范江波. 计算机辅助的颅骨面貌复原技术. *西北大学学报(自然科学版)*, 1977, 27(5):375~378
24. 吕导中, 万荣春. 人像面部综合测量特征的特异性研究. *江苏公安专科学校学报*, 2000, 14:117~121
25. 栗淑媛, 郑连斌, 陆舜华, 等. 人体头面部测量项目相关分

- 析. 解剖学杂志, 2001,24:176~178
26. 马廷豪, 依明江,孙泰超. 新疆维吾尔青年女性面部美学标准测定. 实用美容整形外科杂志, 1993,4: 50~52
27. 于晓慧, 黄金芳. 180 例正常颌北京汉族人软组织侧貌的 X 线头影测量研究. 中华口腔医学杂志, 1987, 22:222~226
28. Subtelny JD. A longitudinal study of soft tissue facial structures and their profile characteristics, defined in relation to underlying skeletal structures. Am J Orthod 1959, 45:481
29. 周立新, 郭宏铭. 面部软组织数字化立体摄影测量原理. 北京口腔医学. 2001,2001,20(2):81~92

个人简介

1980 年 8 月至 1985 年 7 月：在第三军医大学军医系学习，学士学位；

1985 年 8 月至 1988 年 7 月：在第三军医大学西南医院攻读影像学硕士，硕士学位；

1988 年 8 月至 1990 年 9 月：在北京军区总医院放射科工作；

1990 年 9 月至 1994 年 1 月：在四川川北医学院附属医院放射科工作，1992 年 7 月被评为讲师和主治医师；

1994 年 1 月至 2003 年 1 月：在广东医学院附属医院工作，1995 年被任命为放射教研室和放射科副主任，1997 年获副教授和副主任医师职称，1998 年被任命为放射科正主任。2000 年考上第四军医大学影像博士研究生。2003 年 2 月至今在上海公利医院影像科工作，任影像科主任。

研究成果

博士研究生学习期间科研课题和发表的论文：

作为负责人正研究的课题有：

1. 广东省教育厅课题“肝细胞癌 CT 血流灌注和肿瘤间质血管的关系及转移的预测”。
2. 上海市浦东新区课题“多层螺旋 CT 血流灌注对肝细胞癌微转移的预测

发表论文和专著：

1. 在国内权威学术刊物上已经发表 35 篇，其中第一作者 12 篇：

- (1) 唐震. 儿童胸像增生的 X 线和 CT 诊断. 临床放射学杂志, 2001, 20(4): 313~316
- (2) 唐震. 先天性处女膜或阴道闭锁的 CT 诊断. 临床放射学杂志, 2001, 20(9): 689~691
- (3) 唐震. CT 扫描肝细胞癌边缘肿瘤血管与肿瘤转移和预

后的关系.实用放射学杂志,2002,18(6):22

- (4) 唐震. 肝细胞癌影像学表现与转移的关系.广东医学院学报,2002,20(4):89
- (5) 唐震. 经胸膜腔闭式引流管病灶局部注射粘合剂治疗.中华临床杂志,2002,2(10):1~2
- (6) 唐震. 难治性气胸的影像表现.中华新医学,2003,(12):57~58 2124~2125
- (7) 唐震. 儿童膀胱横纹肌肉瘤的影像表现.蚌埠医学院学报,2003,28(9):19~20
- (8) 唐震. 枕骨蛛网膜粒压迹影像表现.蚌埠医学院学报,2003,28(9):23~24

另有五篇待发表。

2. 主编“活体解剖学”，参与编写“泌尿系统影像诊断学”、“皮肤性病学”。

致 谢

本课题是在导师巫北海教授悉心指导下完成的。衷心感谢导师在我四年的学习、工作中所给予的辛勤培养和不倦教诲。他们以严谨的治学态度、忘我的工作热情、执著探索新知的开创精神为我树立了光辉的榜样。感谢西南医院放射科王键主任、牟伟主任、周代全主任、丁仕义教授、陆明副教授在学习期间给予无私指导及大力支持。特别感谢黄学全副教授在整个课题期间给予无私的帮助。

在课题研究阶段，软件得到了南京东南大学影像研究所张济教授、刘文淘教授、何学勇博士等的技术支持，该课题是在他们大力帮助下完成的，部分软件由他们亲自编写。课题还得到了上海东影公司的大力支持，他们为课题研究提供影像工作站，感谢上海东影公司魏建忠先生。在计算机虚拟颅面部整形手术系统软件编写的初期阶段，得到了广东医学院计算机教研室冯天亮主任的支持和帮助，不但提供了许多工具软件用于研究，而且给予了技术指导。同时也感谢广东医学院附属医院整形研究所罗少军院长、汤少明处长的帮助，他们为研究提供了病人，并提出了宝贵的意见。对一切在我四年期间学习、研究中给予帮助和支持的同志，在此一并表示诚挚的感谢。

感谢学校研究生处、研究生管理大队和西南医院医教部的培养。

在三年学习即将结束之季，谨以此论文奉献给我的家人，感谢他/她们给予的支持、鼓励和殷切期盼。