DOI:10.3724/SP.J.1008.2011.00291

·论 著·

三维数字人脑模型的构建与验证

杨治荣,李勇杰*,马 腾
首都医科大学宣武医院功能神经外科,北京 100053

[摘要] **目的** 构建、验证并优化3-D数字人脑模型,为准确展示人脑组织、指导临床实践奠定基础。**方法** 以1例24岁健康成年志愿者头颅MRI T_1加权二维断层图像176张图片为原始数据,联合应用Mimics 8.0、Z-brush、Imageware、Photoshop、Maya 8.5等软件对原始图像进行预处理,精准分割目标结构,进行三维重建形成3-D粗模,对粗模进行雕刻,模型验证后进行3-D彩绘和选染等加工。**结果** 根据176张原始图像数据成功完成了人脑组织三维模型的重建,经验证计算所得的模型轮廓线与原始图像边缘吻合较好,经过3-D彩绘和渲染后所得模型具有较好的展示度。所建模型可任意旋转、放缩,从各个角度观察。**结论** 成功构建出准确性高、展示度好的仿真人脑及部分相邻器官的三维模型,为后续指导临床实践奠定了基础。

[关键词] 脑;计算机模拟;三维模型
[中图分类号] R 322.811 [文献标志码] A [文章编号] 0258-879X(2011)03-0291-04

Construction and verification of a three-dimensional digital human brain atlas

YANG Zhi-rong, LI Yong-jie*, MA Teng
Department of Functional Neurosurgery, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China

[**Abstract**] **Objective** To construct, verify and optimize an interactive three-dimensional(3-D) digital anatomic model of human brain, so as to pave a way for accurate display of the cerebral tissues and for guiding clinical practice. **Methods** A series of 176 sections (T_1WI)of a healthy male volunteer, who aged 24 years old and underwent 1.5 T General Electric Signa MRI examination, were used as the original data, which were pretreated using commercially available software (Mimics 8.0, Z-brush, Imageware, Photoshop and Maya 8.5). The rough model was established and was adjusted. After verification, the model was subjected to 3-D painting and rendering. **Results** The 3-D model of human brain was successfully constructed based on the 176 original images. The outline calculated according to the model corresponded well with the edge of the original MRI image. After painting and rendering, the 3-D model showed a satisfactory display efficacy. The model could be viewed from any angle and could be rotated 360 degrees in any plane. Moreover, it could be rotated, reduced and enlarged using the zoom function, allow viewing from different directions. **Conclusion** We have successfully constructed a 3-D model of the human brain and some adjacent organs with high accuracy and satisfactory displays efficacy, which lays a foundation for guiding future clinical practice.

[**Key words**] brain; computer simulation; three-dimensional model
[Acad J Sec Mil Med Univ, 2011, 32(3): 291-294]

大脑皮质和脑深部结构分别是癫 外科和立体定向神经外科展开工作的基本部位。但大脑皮质及其深部核团的空间结构十分复杂,难以清晰、准确地把握。神经外科医生常借助头颅CT或MRI二维平面图像信息,根据脑部解剖学知识,抽象重构脑部三维信息,但是如果重构出现偏差,就会形成错误和风险。因此,有必要构建一个仿真度高、误差率小的三维数字可视化脑模型以利于神经外科手术选择合理的手术路径,有效指导神经外科临床实践。

各种三维重建计算机软件及影视专业软件的开发应用为上述目标的实现提供了可能。Filippi等[1]采用3D Max和其他软件构建出人股骨和大鼠脑组织等三维模型。Z-brush、Maya等影视专业软件以及Imageware等工程软件也具有强大的3-D功能和动画效果,能够编辑和修改三维模型[2-3]。Mimics是优秀的医学有限元仿真软件,能处理影像资料粗略构建人体器官[4]。因此,本研究综合应用上述各种软件技术,尝试构建人脑模拟三维模型,为临床数字神经外科手术模拟奠定基础。

1 资料和方法

1.1 原始资料的获取及工作平台 1例24岁健康

[收稿日期] 2010-08-14 [接受日期] 2010-12-23
[作者简介] 杨治荣,博士,讲师、主治医师. E-mail: zhirongy@hotmail.com
*通信作者(Corresponding author). Tel: 010-83198899, E-mail: liyongjiebj@gmail.com

男性志愿者，获取其 1.5 T 磁共振头颅矢状位薄层成像 T_1 加权 *.dicom 格式原始数据。成像条件：层厚 1.0 mm，层距 0.99 mm；W×H＝256×256；层数 176。工作平台：图形工作站(Core 中央处理器，4 GB 内存，256 色彩色显示器，分辨率为 1 024 ×768，1 200 GB 存储空间；Windows XP 操作系统)，Maya 8.5、Mimics 8.0、Imageware 12.1 及其相关软件。

1.2　*头颅结构的三维重建*　在头颅解剖和磁共振断层影像的基础上，对研究资料进行预处理，精准分割目标结构，然后进行三维重建形成粗模，对粗模进行雕刻使模型符合解剖的本来面目，实现模型的科学化；在此基础上对模型进行艺术加工以实现良好的视觉效果。

1.2.1　*图像预处理*　图像预处理包括断层图像的滤波增强、目标图像轮廓线的描绘、抠图(图像的分割)和数据的生成。在 Matlab 7.0 中增强和轮廓线描绘，然后利用 Photoshop 进行图像分割，提取出目标图像。目标图像从前到后以 3 位序数重新命名(001brain.bmp～)。分割后的各组织图像背景色为白色，保证后续工作中无底色干扰。为每一分割组织新建文件夹，文件夹命名规则为名称＋起始层面及终止层面。

1.2.2　*二维图像转化为三维图形*　工作平台为 Mimics 8.0，打开 Mimics 将预处理所得 *.bmp 格式数据文件按顺序依次导入指定图层。设定图片的空间方位，使图像在 Mimics 中的空间位置和实际空间位置统一，然后载入。设定输入位置参数(first table position，slice distance＝0.95 mm，pixel size＝1.0 mm)。生成蒙板：分割图像背景为白色，因而设定最小阈值(threshold value＝1)，生成分割组织蒙板。然后设定像素参数(number of pixels＝2)，交替进行两次形态学开运算和闭运算，以消除边缘细小的凸凹不平。接着执行三维运算，设定优化的重建质量为高(quality＝high)，对分割组织进行三维重建。然后输出以 *.stl 格式保存，以分割组织的英文名称命名文件，如 brain.stl 为以 *.stl 格式保存的脑三维模型。到此完成了三维粗模的构建。

1.2.3　*模型雕刻*　生成的粗模表面有突起、凹陷和孔洞，甚至某些解剖标志不明显。需要对模型进行打磨、填平、补洞和雕刻。首先，将粗模用 Imageware 软件打开，执行去除噪音点、光滑点云和重新排序点云等相关命令。相关参数设定必须保证不改变点云图像的完整。处理后的模型保存为 *.obj 格式。粗模细节的完善和雕刻在 Z-brush 中进行，打开 Z-brush 软件，调入标准人脑正侧位参考图，导入粗模切换到雕刻界面，根据需要选择不同画笔进行雕刻。满意后以 *.obj 格式保存。打开 Maya 软件，导入雕刻好的 *.obj 格式的模型数据，以三维立体的形式显示并观察，然后转换为 *.stl 格式数据保存。

1.3　*模型验证及 3-D 彩绘和渲染*　打开 Mimics 软件导入本研究原始头颅 MRI 数据，分别在轴位、冠状位和矢状位显示。导入雕刻好的 *.stl 格式的模型数据，计算模型的轮廓线，并分别在轴位、冠状位和矢状位显示。观察轮廓线和原始图像边缘是否吻合。3-D 彩绘和渲染：打开 Maya 软件，在场景中导入雕刻好的 *.stl 格式的模型数据，对显示的 3-D 图形进行着色、彩绘和渲染。模型结构以三维立体的形式进行自由旋转与组合，并充分显示。

2　结　果

2.1　*图像预处理结果*　176 张原始 *.dicom 数据经预处理后变成 176 张脑组织裸图，边界清晰，结构完整，以 *.bmp 格式保存。第 70 张原始数据预处理后图像见图 1。

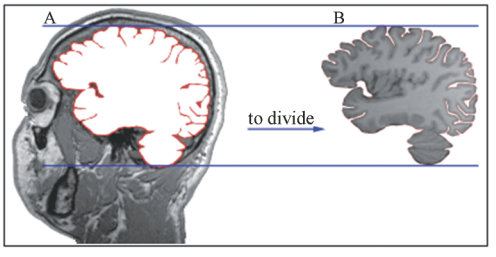

图 1　图像预处理效果图

Fig 1　Images after pretreatment

A: Parasagittal MRI slice; B: Brain map of parasagittal MRI slice

2.2　*三维粗模的重建结果*　预处理图像在冠状位、轴位和矢状位观察，透视位为 3-D 粗模，可见比较粗糙的三维模型(图 2)。

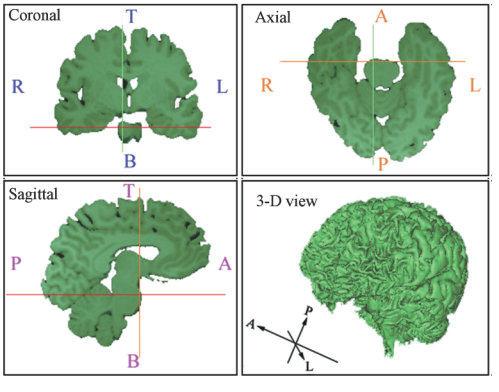

图 2　重建的三维粗模

Fig 2　Constructed rough model

A: Anterior; B: Bottom; R: Right; L: Left; P: Posterior. T: Top. Segmentation results: slices from the original image volume; coronal view of the 3-D reconstruction of brain based on the segmentation

2.3 粗模雕刻结果 雕刻前去噪音点、点云重排、去噪音点后雕刻前和雕刻后结果见图 3、图 4。

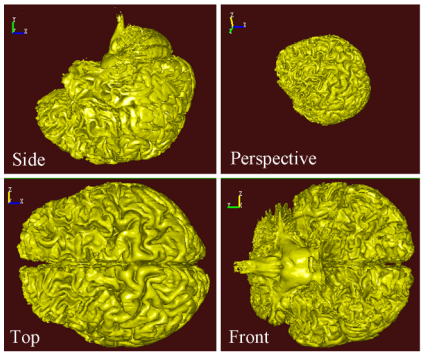

图 3 删除噪点后的图像

Fig 3 Image after removal of noise points

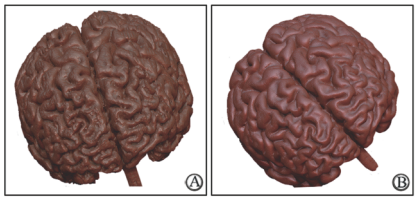

图 4 雕刻前后对比图

Fig 4 Images before and after sculpture

A: Rough 3-D brain model; B: Sculptured 3-D brain model

2.4 模型验证结果 导入原始头颅 MRI 系列图片,计算模型轮廓线并与原始图片匹配,结果轮廓线与脑边缘吻合(图 5)。

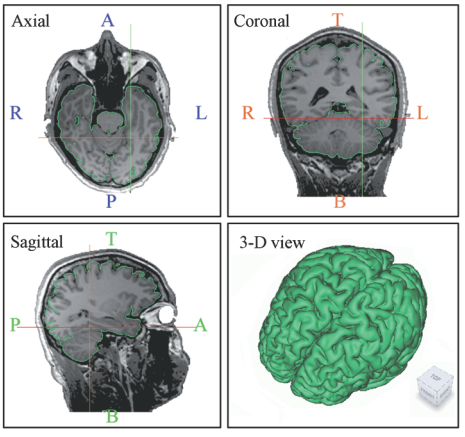

图 5 模型验证结果

Fig 5 Verification of the model

A: Anterior; B: Bottom; R: Right; L: Left; P: Posterior; T: Top

2.5 三维图形着色、彩绘、旋转、放缩和渲染后效果 本模型在 Maya 软件中可以任意着色,任意放缩(图 6~8)。

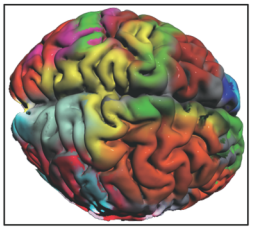

图 6 彩绘与渲染结果

Fig 6 Model after coloration, painting, and rendering

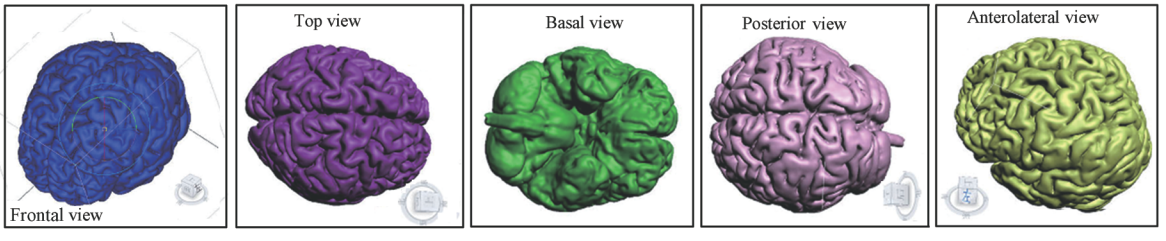

图 7 不同方位皮质观

Fig 7 Overviews of cerebral cortex construction from 5 different directions

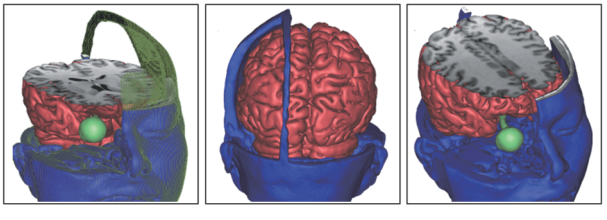

图 8 脑与相邻结构的三维模拟

Fig 8 3-D model of human brain and some adjacent organs (view from 3 different directions)

3 讨 论

21 世纪的人脑图谱包括多种类型,其中数字人脑是最具特色的形式之一[5]。数字人脑可将人脑结构和功能信息数字化、可视化,以三维立体形式展示人脑解剖结构的大小、形状、位置及相互的空间关系,有利于建立能够为计算机处理的数学模型,使得借助计算机的定量分析计算和精确模拟成为可能,为人脑功能动态显示和未来精确手术模拟奠定基础[6]。因此,本研究以头颅 MRI 数据为基础,联合应用多种图像处理、影视动漫软件,初步建立了真人大脑、小脑、脑干、垂体、右眼球和部分头面部 3-D 模型,为 3-D 人脑图谱提供了一个新类型。

3.1 图像分割 很多脑表面及深部的结构在目前

头颅 MRI 图像上难以靠软件将它们与周围组织区分开，因此获取实际头颅 MRI 图像中的脑表面沟回及深部结构比较困难。目前尚缺乏统一的通用算法将图像中的目标区域自动分割出来[7]。本研究前期尝试采用一些数学边缘检测算子（如 Roberts、Sobel、Prewitt 等）对头颅 MRI 图像的目标区域的边界进行检测并分离，结果均不理想；尝试采用 Knockout 方法[8]，也无法将脑底、枕叶和额极等部位理想地分割出来，有其适用范围，并不具有普遍意义。最终，本研究引入影视后期制作抠图理念，应用 PS 和 Matlab 分割工具，在解剖学知识的指导下，通过滤波、增强、蒙板、通道和钢笔等手段，成功地从头颅 MRI 图像中精确分割出了目标图像。

3.2　*重建*　Ganser 等[9]利用印刷图谱和 MRI 图片进行了人脑三维重建，获得了三维人脑模型，但仍存在很多缺陷。本研究采用的重建方法与 Ganser 等[9]的不同，完全是将相邻两层图像的轮廓线用三角面片连接起来构成物体表面，实现由二维变三维、平面变立体的过程，再经过隐面消除和光照处理，得到物体三维图像，直观效果好[10]。很多软件（如 Amira、UG、Maya 等）具有重建功能，由于各自适用范围的侧重不同，重建的人脑图像均不理想。本研究采用的 Mimics 软件具有一些简单的平面图像编辑功能，可对图像分割过程中解剖学判断不准的部位进行再次编辑，但这种编辑只针对灰度图像。人脑组织某些部位灰度变化不明显，软件识别的图像，无论如何编辑，只能接近于真实解剖。本研究重建的立体模型也只是和真实生物体轮廓大致相同，并非完全一样的复制品，所以还须进行后续处理。

3.3　*粗模雕刻和验证*　模型雕刻是本研究引入影视后期制作技术理念的尝试。雕刻在标准人脑解剖图谱的指导下，结合我们掌握的人脑解剖知识，在粗模轮廓内，对失真结构进行重整。在 Mimics 中生成的粗模点云轮廓有很多噪点，雕刻之前必须对模型进行去噪点处理，逆向工程造型软件 Imageware 具有强大的点云处理能力[11]，本研究的粗模就在 Imageware 中去噪点和点云重排。处理后的粗模视觉效果改善，为后续雕刻奠定了准备。Z-brush 是一款 3-D 艺术雕刻软件，允许自由塑造所需形体且工艺可精细到皱纹和发丝。引入该软件可使研究工作顺利进行，研究结果达到理想。经过雕刻的模型是否忠实于真实解剖还须验证。结果表明，前期计算出的雕刻后模型轮廓线与头颅 MRI 原始图像在轴位、冠状位和矢状位完全吻合。

3.4　*彩绘和渲染*　成功的数字模型必须忠实于真实的解剖结构，经验证该模型初步达到了这一目标。成功的数字模型也必须有较好的展示效果，因此，本研究后续又采用动漫软件 Maya 对模型进行彩绘和渲染，取得了较好的展示度。

综上所述，人脑解剖内容繁多，结构复杂，其空间结构及和垂体、眼睛等器官的毗邻关系用语言、文字和二维图片很难描述，本研究以三维立体的形式充分展示出人脑和部分相邻器官立体结构，并可对这些结构进行全方位的观察，提高了对脑组织及相邻器官的认识效率，为虚拟手术和手术入路可视化奠定了基础。虽然仿真虚拟为外科教学和模拟做出了贡献，但尚不能完全取代尸体解剖[12-14]，且目前仅是初步探讨，后续仍需进一步深入研究来完善。

[参 考 文 献]

[1] Filippi S, Motyl B, Bandera C. Analysis of existing methods for 3D modelling of femurs starting from two orthogonal images and development of a script for a commercial software package [J]. Comput Methods Programs Biomed, 2008, 89: 76-82.

[2] 崔　晋. ZBrush 中高精度模型导入到 Maya 中的两种方法之比较[J]. 影视制作, 2009, 15: 42-45.

[3] 邵向前. Zbrush 软件在次世代游戏制作中的应用[J]. 光盘技术, 2009(2): 50-51, 59.

[4] 谢宏刚，徐　亮，王　汉，蒋世明，范芦芳，唐　敬. 对 Mimics V10.0 软件三种三维重建方法的研究[J]. 西部医学, 2008, 20: 1089-1091.

[5] Toga A W, Thompson P M, Mori S, Amunts K, Zilles K. Towards multimodal atlases of the human brain[J]. Nat Rev Neurosci, 2006, 7: 952-966.

[6] Van Essen D C, Dierker D L. Surface-based and probabilistic atlases of primate cerebral cortex[J]. Neuron, 2007, 56: 209-225.

[7] 林开颜，吴军辉，徐立鸿. 彩色图像分割方法综述[J]. 中国图像图形学报, 2005, 10: 1210.

[8] 苏秀云，裴国献. 中国数字人连续断层图像的局部聚类分割方法[J]. 解剖学报. 2007, 38: 494-497.

[9] Ganser K A, Dickhaus H, Metzner R, Wirtz C R. A deformable digital brain atlas system according to Talairach and Tournoux [J]. Med Image Anal, 2004, 8: 3-22.

[10] 张绍祥，刘正津，何光篪，徐美和，唐泽圣. 生物塑化薄层连续断面的计算机三维重建[J]. 解剖学报, 1996, 27: 113-118.

[11] 罗　阳，刘云峰，潘田佳，万春燕. 人体颌骨三维模型重建及种植牙的仿真[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13: 4269-4271.

[12] Balogh A, Preul M C, Schornak M, Hickman M, Spetzler R F. Intraoperative stereoscopic QuickTime Virtual Reality [J]. J Neurosurg, 2004, 100: 591-596.

[13] Henn J S, Lemole G M Jr, Ferreira M A, Gonzalez L F, Schornak M, Preul M C, et al. Interactive stereoscopic virtual reality: a new tool for neurosurgical education. Technical note[J]. J Neurosurg, 2002, 96: 144-149.

[14] Nieder G L, Scott J N, Anderson M D. Using QuickTime virtual reality objects in computer-assisted instruction of gross anatomy: Yorick—the VR Skull[J]. Clin Anat, 2000, 13: 287-293.

[本文编辑]　贾泽军