论著

文章编号:1000-5404(2013)08-0722-05

# 人脑深部核团三维模型的构建与数据测量

荣晶晶[1],彭 霞[2],谭立文[1],李七渝[1],张绍祥[1] (400038 重庆,第三军医大学基础医学部人体解剖学教研室,重庆市计算医学研究所[1];400013 重庆,重庆市妇幼保健院生殖与遗传研究所[2])

[摘要] **目的** 构建大脑深部核团三维可视化模型,以对其立体形态和空间位置进行研究。**方法** 选取可视人体数据集头部连续横断位图像,将其重采样到平行前后连合平面方向后,逐张分割出其中的脑深部核团及前后连合等结构的二维轮廓;采用面绘制和体绘制对各分割结构进行三维重建和虚拟显示,并根据重建模型测量计算各核团在大脑空间坐标系中的位置范围、重心点坐标和体积。**结果** 获得了平行于前后连合平面的头部连续断面真彩色图像集和附有解剖学标识的脑深部核团二维轮廓分割图像集,重构了各核团的面绘制和体绘制三维模型,并获得其在前后连合中点为原点的大脑空间坐标系中的核团重心点坐标,核团在X、Y、Z轴上的投影范围和核团体积等解剖数值。**结论** 基于可视人体数据集所构建的脑深部核团三维可视化模型充分显示了各核团在大脑中的立体形态和空间位置关系,并提供了核团重心点坐标、范围、体积等解剖数值。

[关键词] 脑深部核团;中国可视人;三维重建;测量

[中图法分类号] R319;R322.81 [文献标志码] A

# Three-dimensional reconstruction and measurement of human deep brain nuclei

Rong Jingjing[1], Peng Xia[2], Tan Liwen[1], Li Qiyu[1], Zhang Shaoxiang[1] ([1]Department of Human Anatomy, Chongqing Institute of Computing Medicine, College of Basic Medical Sciences, Third Military Medical University, Chongqing, 400038; [2]Institute of Reproductive and Genetics, Chongqing Health Center for Women and Children, Chongqing, 400013, China)

[**Abstract**] **Objective** To study three-dimensional morphology and spatial location of human deep brain nuclei. **Methods** Cross-sectional head images of Chinese Visible Human Ⅱ (CVH-2) were selected and adjusted to a certain angle to meet anterior commissure (AC) and posterior commissure (PC) axial plane. The locations and outlines of deep brain nuclei were tracked in transversal, sagittal and coronal images continuously, and then the cross-sectional images as well as related structures were segmented by image processing software. Surface rendering and volume rendering were used to reconstruct nuclei and related structures. Meanwhile, the anatomical data of deep brain nuclei, such as spatial range, coordinate value of gravity center and volume, were measured and calculated. **Results** The true-color cross-sectional head images that paralleled to AC-PC axial plane were obtained, and the outlines of deep brain nuclei in cross-sectional head images were segmented. Three-dimensional visible models of nuclei in deep brain were reconstructed, and the anatomical data such as coordinates of the gravity center, coordinate ranges and nuclear volume were acquired. **Conclusion** The reconstructed three-dimensional model based on CVH-2 not only displays the three-dimensional morphology and spatial relationship of human deep brain nuclei, but also provides the anatomical data of the nuclei.

[**Key words**] deep brain nuclei; Chinese visible human; three-dimensional reconstruction; measurement

Supported by the General Program of National Natural Science Foundation of China (30872659) and the Major Program of National Natural Science Foundation of China (61190122). Corresponding author: Li Qiyu, Tel: 86-23-68753708, E-mail: liqiyu_99@163.com

人体端脑深部以及间脑、中脑等部位包括了纹状体、背侧丘脑、底丘脑核、红核、黑质等众多核团,它们形态多样、功能复杂,与大脑皮质一起构成运动和情感控制环路。临床常见的帕金森病等运动障碍疾病和强迫症、抑郁症等精神障碍疾病都与该部位核团病变有

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(30872659);国家自然科学基金重大项目(61190122)

[通信作者] 李七渝,电话:(023)68753708,E-mail: liqiyu_99@163.com

[优先出版] http://www.cnki.net/kcms/detail/51.1095.R.20130106.1002.008.html(2013-01-06)

关,而针对该部位目标核团的立体定向手术是治疗此类疾病的有效手段[1-4]。目前临床上对脑深部核团的识别和定位主要依靠核磁共振成像(magnetic resonance imaging,MRI)或神经功能成像,但由于核团自身的组成特点以及现有医学图像分辨率低、容积效应等影响,尚不能获得部分感兴趣核团的准确二维轮廓[5-6]及进一步研究其立体形态。在神经解剖教学中,由于脑深部核团不能直视,常用的二维纸质图谱、实物教学模型以及手工制作的大脑标本等在展示核团的二维、三维形态和空间位置关系时还无法实现全方位、多角度任意观察,给该部位的解剖教学和解剖知识学习造成一定困难。因此,准确认识该区域核团的二维和三维形态,了解其在大脑空间坐标系中的位置范围,对于立体定向手术规划以及解剖教学均有重要意义。本研究拟选取经低温无锯耗铣切和断面图像数据采集技术[7]制作的头部高分辨率连续薄层断面图像,对大脑深部核团及相关结构进行图像分割、三维重建和虚拟显示,并计算测量各核团在大脑空间坐标系中的位置、范围、体积等三维解剖数值,为针对该部位的神经外科手术规划和神经解剖教学提供形态学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 二维图像分割

从首例中国女性数字化可视人体数据集[7](Chinese Visble Human Ⅱ,CVH-2)中选取端脑深部-间脑-中脑的连续横断位图像,自尾状核体出现到黑质消失,共计181张(图像分辨率3 872×2 048像素,片间距0.25 mm)。将连续图像(体素大小为0.15 mm×0.15 mm×0.25 mm)导入HP9300SGI图形工作站,使用Amira软件和Photoshop软件将原来平行于眦耳线的原始横断位图像调整到临床常用的平行前后连合间径线平面,并生成与之垂直的冠状位和矢状位连续图像,经调整转换后图像体素大小为0.15 mm×0.15 mm×0.15 mm。

从横断、矢状、冠状3个方向连续追踪断层图像中的靶点核团,确定其在3个方向上的位置范围。在PhotoshopCS3软件中将待分割图像放大到600%后,由两位头部断层解剖学者通过肉眼同时识别灰质核团与周围白质之间的分界线,并利用磁性套索工具(羽化0 px,光标宽度1 px,频率100)对连续图像中的各核团进行逐个手动分割,以获得各核团及其他相关结构的二维轮廓,再给每个目标结构赋予唯一的名称及RGB颜色进行标记,以利于图像的下一步处理。

### 1.2 面绘制和体绘制三维重建

将分割后图像进行去背景、格式转换、裁切、转灰度等处理后,导入Amira软件并输入体素值;利用阈值分割的方法提取出分割数据集中的各个不同结构后进行面绘制三维重建,生成各核团及相关结构的三维面绘制模型。将与分割图像相同序列号的可视人体头部真彩色图像,按照与分割图像相同的尺寸进行裁切后导入Amira软件,在同一空间坐标系中建立头部体数据场。

### 1.3 体绘制和面绘制模型显示

显示体绘制三维模型,利用斜切工具和Finest重采样方式可看脑内任意切面的高分辨率真彩色图像及其中的各解剖结构。显示面绘制模型,按照观察需要对重建的核团及相关结构进行选择性显示,排除其他结构的遮蔽干扰,全面观察各核团的三维结构和相互位置关系。将面绘制与体绘制同时显示,即结合二维真彩色图像和三维伪彩色模型,并利用缩放、旋转、切割及透明化、选择显示等交互式操作,动态观察核团及相关结构在脑内的二维和三维形态,空间位置以及与周围脑实质的关系。

### 1.4 大脑空间坐标系的建立及核团三维解剖数值获取

头部连续横断位图像导入Amria软件时,生成的体数据被自动赋予笛卡尔空间坐标,并以导入的第一幅图像左上角为原点,原点右侧、后侧、下侧分别为X、Y、Z轴的正方向。为保证与临床常用大脑空间坐标系一致,需对原笛卡尔坐标系进行平移,过前后连合间径线(AC-PC线)中点为原点建立直角坐标系,左右方向为X轴,前后方向为Y轴,上下方向为Z轴,前、右、上方为正。

通过Amria软件中的measure工具和分割界面中的Material Statistics参数显示窗口获取原笛卡尔坐标系中重建核团在X轴、Y轴、Z轴上的轮廓投影范围、重心点坐标和体积等三维解剖数值,并通过坐标平移将其转换到以前后连合间径线中点为原点的大脑空间坐标系中,以获得各核团在临床常用大脑坐标系中的三维解剖数值。

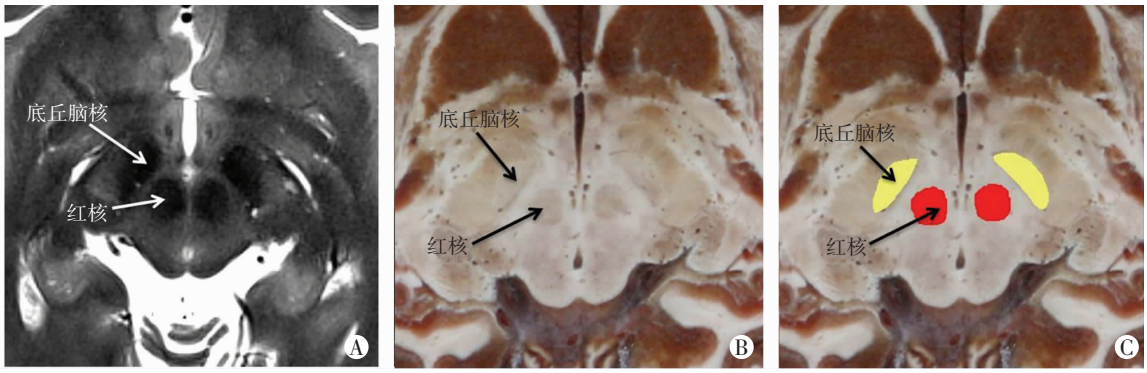
## 2 结果

### 2.1 可视人断面图像与3.0T MRI对照分析

实验中获得的可视人头部连续断面图像平行前后连合间径线平面,图像颜色真实,结构清晰,可分辨出MRI等临床灰度影像资料中无法准确识别的核团轮廓。以底丘脑核为例,在针对底丘脑核的横断位3.0T MRI $T_2$加权图像中(图1A),核团的信号强度出现前后差异:前半部分呈低信号,与周围黑质的低信号区域无明显差异,后半部分信号虽稍高,但同样也无法确定其边界范围。而在相同层面的可视人头部横断面图像中(图1B),可清楚看到底丘脑核边界清晰,呈凸透镜状,浅咖啡色,左右对称,紧邻内囊内侧和红核的背外侧。经分割处理后的断面图像显示了核团的具体位置和边界范围,如图1C所示。

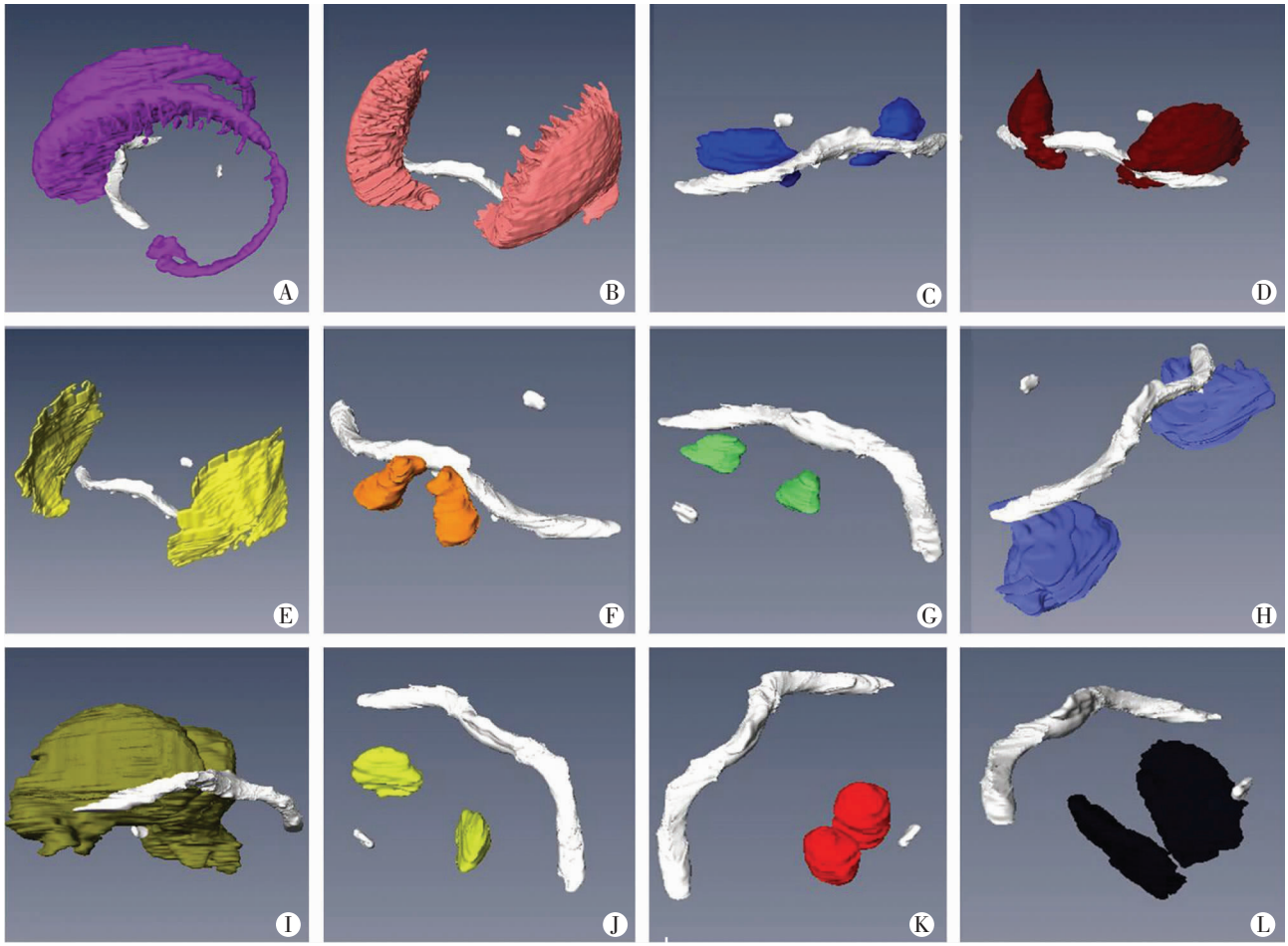
### 2.2 大脑深部核团的三维重建及可视化

面绘制模型清晰显示了位于端脑深部基底神经节区的尾状核、壳核、内外侧苍白球、屏状核、内囊的前后肢及膝部、杏仁核簇,基底前脑的伏隔核和位于间脑及中脑的未定带、底丘脑核、背侧丘脑、红核和黑质等靶点核团及前后连合等脑内定位标志在大脑中的自然三维形态(图2)。多个模型共同显示,可以反映重建结构之间的相对位置关系(图3)。体绘制面绘制一同显示时,通过旋转调整体绘制模型显示平面,能够在任意方向真彩色切面中直观各核团与周围脑实质之间的相互毗邻关系(图4)。




A:3.0T MRI $T_2$ 图像;B:可视人中相同层面图像;C:分割图像

**图1 过底丘脑核层面的可视人断面图像与3.0T MRI对照分析**




A:尾状核;B:壳核;C:内侧苍白球;D:外侧苍白球;E:屏状核;F:伏隔核;G:未定带;H:杏仁核簇;I:背侧丘脑;J:底丘脑核;K:红核;L:黑质

**图2 面绘制重建脑深部各核团以及前连合(白色弓形长条)、后连合(白色短条)的三维形态**

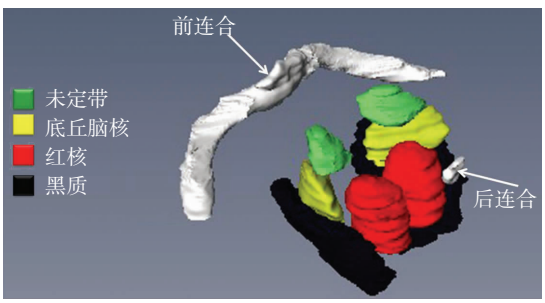



**图3 面绘制显示未定带、底丘脑核、红核、黑质以及前后连合**

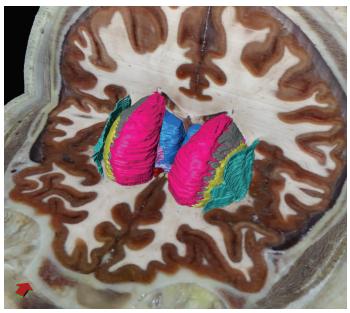


**图4 体绘制、面绘制共同显示核团**

**表1 脑深部核团在以前后连合间径线中点为原点的大脑空间坐标系中的三维解剖数值**

| 结构名称 | | 重心点坐标值(mm) | | | 投影范围(mm) | | | 体积($mm^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | X | Y | Z | X | Y | Z | |
| 尾状核 | 左侧 | -11.49 | 16.57 | 11.24 | -33.45 ~ -2.94 | -21.19 ~32.04 | -7.39 ~26.66 | 4 417.54 |
| | 右侧 | 11.87 | 14.68 | 10.64 | 3.05 ~33.76 | -23.86 ~30.86 | -10.92 ~26.15 | 4 564.14 |
| 壳核 | 左侧 | -21.14 | 11.89 | 4.59 | -30.76 ~ -5.28 | -11.28 ~30.36 | -9.41 ~18.94 | 5 401.41 |
| | 右侧 | 21.24 | 9.67 | 4.54 | 5.96 ~30.11 | -12.69 ~27.15 | -8.98 ~19.47 | 5 369.78 |
| 内苍白球 | 左侧 | -14.16 | 6.29 | -0.5 | -21.07 ~ -4.57 | -2.41 ~11.87 | -7.23 ~4.08 | 453.09 |
| | 右侧 | 13.95 | 5.06 | -0.51 | 4.84 ~21.45 | -3.37 ~11.04 | -6.61 ~4.06 | 432.81 |
| 外苍白球 | 左侧 | -16.43 | 7.95 | 2.45 | -24.68 ~ -4.90 | -4.85 ~18.08 | -6.85 ~10.24 | 963.19 |
| | 右侧 | 16.38 | 6.30 | 2.60 | 5.30 ~24.45 | -7.61 ~16.29 | -6.47 ~10.03 | 956.72 |
| 伏隔核 | 左侧 | -5.44 | 16.27 | -3.80 | -9.76 ~ -1.22 | 12.50 ~20.92 | -8.90 ~1.64 | 178.81 |
| | 右侧 | 5.36 | 15.77 | -3.62 | 1.14 ~9.53 | 11.80 ~20.32 | -8.70 ~1.85 | 176.95 |
| 背侧丘脑 | 左侧 | -11.01 | -6.35 | 7.43 | -27.67 ~0.42 | -20.23 ~9.96 | -7.08 ~20.36 | 7 132.92 |
| | 右侧 | 10.77 | -8.31 | 6.97 | -0.18 ~26.04 | -23.37 ~8.64 | -7.72 ~19.63 | 6 964.45 |
| 杏仁核簇 | 左侧 | -20.90 | 7.71 | -12.89 | -32.68 ~ -10.03 | -1.91 ~16.46 | -20.01 ~ -4.86 | 1 451.82 |
| | 右侧 | 21.07 | 6.64 | -13.23 | 10.02 ~32.78 | -2.77 ~15.51 | -20.96 ~ -5.15 | 1 431.71 |
| 未定带 | 左侧 | -7.57 | 0.87 | -0.42 | -12.13 ~ -4.08 | -2.19 ~4.85 | -2.15 ~1.64 | 67.48 |
| | 右侧 | 7.25 | 0.28 | -0.21 | 3.75 ~11.81 | -3.05 ~3.90 | -2.05 ~1.77 | 59.40 |
| 底丘脑核 | 左侧 | -9.45 | -0.39 | -4.23 | -13.73 ~ -4.69 | -5.09 ~2.97 | -7.55 ~ -1.03 | 137.92 |
| | 右侧 | 9.51 | -0.044 | -4.13 | 4.65 ~13.75 | -5.26 ~3.22 | -7.73 ~ -1.17 | 130.68 |
| 红核 | 左侧 | -4.35 | -5.83 | -6.8 | -7.96 ~ -0.68 | -10.39 ~ -1.43 | -11.33 ~ -2.48 | 246.40 |
| | 右侧 | 4.40 | -6.31 | -6.67 | 0.94 ~8.60 | -10.16 ~ -2.00 | -11.39 ~2.40 | 245.33 |
| 黑质 | 左侧 | -8.73 | -2.83 | -9.59 | -15.09 ~ -1.57 | -11.27 ~5.59 | -15.99 ~ -3.22 | 462.69 |
| | 右侧 | 8.66 | -3.61 | -9.46 | 1.40 ~15.03 | -11.83 ~4.16 | -15.55 ~ -2.84 | 456.78 |

### 2.3 核团在大脑空间坐标系中的三维解剖数值

在以前后连合间径线中点为原点的大脑空间坐标系中,重建核团的重心点坐标、在三维坐标轴上的投影范围和体积等三维解剖数值见表1。

## 3 讨论

### 3.1 构建大脑深部核团三维可视化模型的意义

位于端脑深部-间脑-中脑的诸多重要核团由于结构复杂、组织信号差异小,导致了在MRI等临床断层影像中较难准确识别其边界范围。本研究获得的CVH2脑深部核团真彩色连续断层图像,较临床灰度图像有更丰富的组织结构信息,分割后图像集明确了核团的二维轮廓和边界范围,为MRI等二维脑部断层影像资料中核团的识别定位提供了对照参考解剖图像。在此基础上构建的三维可视化模型包括了该部位诸多核团以及内囊、前后连合等重要结构,其中的底丘脑核、未定带、内侧苍白球、尾状核头腹部、黑质、伏隔核等是神经外科立体定向手术的常用靶点核团[2-4,8-12]。面绘制和体绘制三维模型的建立为临床医师进一步了解目标核团的位置形态、毗邻关系,确定手术入路提供了直观的解剖学资料。获得的核团在以前后连合间径线中点为原点的大脑空间坐标系中重心点坐标、轮廓投影范围以及体积等三维解剖数值为神经外科立体定向治疗的术前靶点核团定位提供了坐标数据参考。

构建的核团三维模型中包括有肉眼无法直视的核团以及内囊、前后连合等重要结构,利用计算机的虚拟显示技术和人机交互功能,结合面绘制和体绘制结果,可直观展示各结构的二维、三维形态和位置毗邻关系。学生可在计算机上选择单个或同时选择多个感兴趣的结构模型进行多方位、多角度、任意缩放地动态观察,以获得在二维纸质图谱、实物模型、人脑标本上无法观察到的解剖结构三维信息。所构数字化三维模型数据集的储存和使用设备均为个人电脑,可被无限次地提取、观察、切割、测量。人脑深部核团数字化三维模型作为常规教学模型的补充,为脑深部核团的神经解剖教学提供了丰富、生动、永久性的形态学资料,有利于学生全面掌握该部位的解剖学知识,也较好地解决了教学用人脑标本资源匮乏以及标本在制作、展示、保存上存在的问题。

### 3.2 可视人体数据集所构建大脑深部核团模型的优势与不足

虽然国内外已有学者[13-16]将TT图谱、SW图谱、Mais图谱等人脑纸质图谱进行数字化处理和重建，但上述人脑图谱所使用的大脑标本在各处理环节中均存在无法估算的三维和二维形变：取脑时脑脊液流失致脑室塌陷，固定脱水时大脑体积的收缩，脑切片及染色过程中的不规则形变等，导致所反映的颅内结构位置信息不够准确[17-18]。此外，由于东西方人种在大脑形态上有统计学差异[19-20]，上述国外脑图谱不具备中国人脑的结构特征。中国可视人体数据集头部连续图像采用中国人体标本，经连续薄层铣切、采集断面高清图像和严格配准等操作构建而成，图像的分辨率高、间距小、无缺损及形变，是构建颅脑组织器官三维模型的可靠数据源。然而，由于可视人断面图像采集方式和计算机图像处理技术的局限，目前尚无令人满意的核团自动分割算法，而肉眼识别核团边界的手动分割方法存在一定的操作者个人主观偏差。采用多人同时识别分割目标结构的方式可以在一定程度上减小主观偏差。此外，可视人断面图像尚不能反映脑深部核团的功能和组织学信息，还需借助影像学和组织学领域不断涌现的新技术方法来丰富完善模型内容。

**参考文献：**


[1] Servello D, Porta M, Sassi M, *et al*. Deep brain stimulation in 18 patients with severe Gilles de la Tourette syndrome refractory to treatment: the surgery and stimulation[J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2008, 79(2): 136-142.

[2] Huff W, Lenartz D, Schormann M, *et al*. Unilateral deep brain stimulation of the nucleus accumbens in patients with treatment-resistant obsessive-compulsive disorder: Outcomes after one year[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2010, 112(2): 137-143.

[3] Andrade D M, Zumsteg D, Hamani C, *et al*. Long-term follow-up of patients with thalamic deep brain stimulation for epilepsy[J]. Neurology, 2006, 66(10): 1571-1573.

[4] Vitek J L, Lyons K E, Bakay R, *et al*. Standard guidelines for publication of deep brain stimulation studies in Parkinson's disease (Guide4DBS-PD)[J]. Mov Disord, 2010, 25(11): 1530-1537.

[5] Dormont D, Ricciardi K G, Tande D, *et al*. Is the subthalamic nucleus hypointense on T2-weighted images? A correlation study using MR imaging and stereotactic atlas data[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2004, 25(9): 1516-1523.

[6] Coenen V A, Prescher A, Schmidt T, *et al*. What is dorso-lateral in the subthalamic Nucleus (STN)? —a topographic and anatomical consideration on the ambiguous description of today's primary target for deep brain stimulation (DBS) surgery[J]. Acta Neurochir (Wien), 2008, 150(11): 1163-1165.

[7] 张绍祥，刘正津，谭立文，等. 首例中国女性数字化可视人体数据集完成[J]. 第三军医大学学报，2003，25(4)：371.

[8] Weaver F M, Follett K, Stern M, *et al*. Bilateral deep brain stimulation *vs* best medical therapy for patients with advanced Parkinson disease: a randomized controlled trial [J]. JAMA, 2009, 301(1): 63-73.

[9] Benabid A L, Marescaux Christian. Method of controlling epilepsy by brain stimulation: US, 5800474[P]. 1998-09-01[2012-09-01]. http://www.google.com/patents/US5800474.

[10] Sturm V, Lenartz D, Koulousakis A, *et al*. The nucleus accumbens: a target for deep brain stimulation in obsessive-compulsive- and anxiety-disorders[J]. J Chem Neuroanat, 2003, 26(4): 293-299.

[11] Mallet L, Polosan M, Jaafari N, *et al*. Subthalamic nucleus stimulation in severe obsessive-compulsive disorder[J]. N Engl J Med, 2008, 359(20): 2121-2134.

[12] Greenberg B D, Gabriels L A, Malone D A, *et al*. Deep brain stimulation of the ventral internal capsule/ventral striatum for obsessive-compulsive disorder: worldwide experience [J]. Mol Psychiatry, 2010, 15(1): 64-79.

[13] Videen T, Campbell M C, Tabbal S D, *et al*. Validation of a fiducial-based atlas localization method for deep brain stimulation contacts in the area of the subthalamic nucleus[J]. J Neurosci Methods, 2008, 168(2): 275-281.

[14] Yelnik J, Damier P, Demeret S, *et al*. Localization of stimulating electrodes in patients with Parkinson disease by using a three-dimensional atlas-magnetic resonance imaging coregistration method[J]. J Neurosurg, 2003, 99(1): 89-99.

[15] Saint-Cyr J A, Hoque T, Pereira L C, *et al*. Localization of clinically effective stimulating electrodes in the human subthalamic nucleus on magnetic resonance imaging [J]. J Neurosurg, 2002, 97(5): 1152-1166.

[16] Starr P A, Christine C W Theodosopoulos P V *et al*. Implantation of deep brain stimulators into the subthalamic nucleus: technical approach and magnetic resonance imaging-verified lead locations[J]. J Neurosurg, 2002, 97(2): 370-387.

[17] Niemann K, Naujokat C, Pohl G, *et al*. Verification of the Schaltenbrand and Wahren stereotactic atlas[J]. Acta Neurochir (Wien), 1994, 129(1/2): 72-81.

[18] Niemann K, Van-Nieuwenhofen I, Berks G. Fuzzy set representation of the Schaltenbrand and Wahren stereotaxic atlas[J]. Neuroimage, 1996, 3(3): s120.

[19] 曾东，张体江，蒋莉君，等. 基于3.0T磁共振高分辨三维像的中国人脑常模[J]. 生物医学工程学杂志，2010，27(3)：561-564.

[20] 汤煜春. 中国人数字化标准脑图谱的建立[D]. 济南：山东大学，2009.


（**收稿**：2012-09-21；**修回**：2012-12-21）

（编辑 栗 嘉）