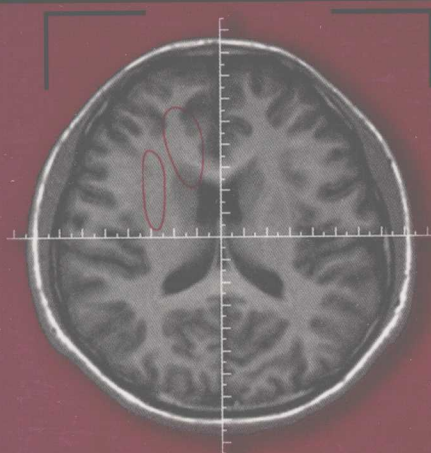


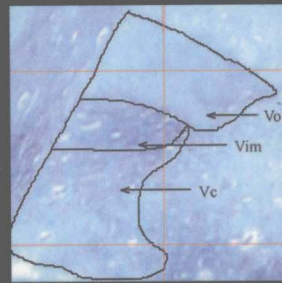
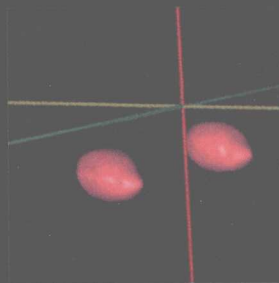
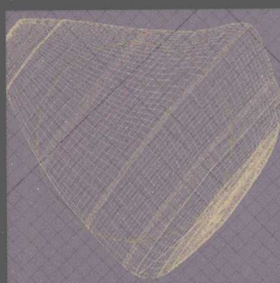
“十一五”国家重点图书出版规划项目



中国人脑立体定向 MRI

应用解剖图谱

○ 主编 林志国 付宜利 刘鹏飞



上海科学技术出版社



中国人脑立体定向MRI 应用解剖图谱

主编

林志国 付宜利 刘鹏飞

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国人脑立体定向MRI应用解剖图谱/林志国, 付宜利, 刘鹏飞主编. —上海: 上海科学技术出版社, 2009.2

ISBN 978-7-5323-9559-0/R · 2575

I. 中… II. ①林…②付…③刘… III. 脑—人体解剖学—磁共振成像—图谱 IV. R323.1-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第140896号

上海世纪出版股份有限公司 出版发行
上海科学技术出版社
(上海钦州南路71号 邮政编码200235)

上海精英彩色印务有限公司印刷

新华书店上海发行所经销

开本 889×1194 1/16

印张 13 插页 4

2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷

定价: 128.00元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向工厂联系调换

出版说明

科学技术是第一生产力。21 世纪，科学技术和生产力必将发生新的革命性突破。

为贯彻落实“科教兴国”和“科教兴市”战略，上海市科学技术委员会和上海市新闻出版局于 2000 年设立“上海科技专著出版资金”，资助优秀科技著作在上海出版。

本书出版受“上海科技专著出版资金”资助。

上海科技专著出版资金管理委员会

内容提要

本图谱系应用 120 例健康中国自愿者人脑立体定向 MR 图像，在标准的立体定向空间内，制作成的标准的中国活体人脑立体定向 MR 解剖图谱，并对部分相关核团进行立体定向三维重建，描述了中国人脑立体定向颅内标志点或线——前连合 (AC)、后连合 (PC)、连合间线 (LI)、第三脑室宽度 MR 影像学特点、靶点坐标及体积，发现了另一条立体定向颅内标志线——大脑内静脉 (VCI)，探讨其作为立体定向影像学基线的可行性；确定了中国人脑帕金森病、精神病、癫痫等脑功能疾病相关靶点——丘脑底核 (STN)、苍白球内侧部 (GPi)、丘脑腹中间内侧核 (Vim)、内囊、杏仁核、扣带回、海马、胼胝体等立体定向 MR 影像学特点、靶点坐标及体积，分析了坐标、体积与性别、年龄关系；应用计算机技术，构建了 STN、杏仁核、豆状核、尾状核、丘脑、脑室系统、第三脑室、壳核和黑质数字化可视化解剖图谱；根据术中相关电生理数据所确定的最佳有效靶点坐标，通过空间转换建立“Gpi 最佳靶点概率功能图谱”；利用组织学和计算机技术实现 Vim 核团在 MR 影像资料上的可视化，构建了“立体定向 Vim 数字化、可视化图谱”；通过虚拟成像技术，利用一次任意扫描图像便可完成对任意方位解剖图像的观察，同时对 MRI 定位的准确性进行了研究。

本图谱为神经外科手术计划的制定及实现人脑立体定向相关靶点的精确定位提供解剖和功能参数，是第一本中国活体人脑立体定向 MRI 数字化、可视化解剖图谱。该图谱适用医学院校学生、研究生、神经内外科医师、医学影像学医师、科研人员，特别是从事立体定向神经外科医师使用。

作者简介



林志国

林志国 神经外科博士，立体定向功能神经外科博士后。哈尔滨医科大学附属第一医院神经外科教授，博士研究生导师。现任哈尔滨医科大学附属第一医院神经外科四病房主任。黑龙江省十大杰出青年，农工民主党黑龙江省委副主任，黑龙江省政协常委。1998年获第四届黑龙江省青年科技奖，2001年获黑龙江省青年岗位能手称号。现任中国抗癫痫协会理事，中国功能神经外科专家委员会委员，中华神经外科学会立体定向功能神经外科专业委员会委员，中国医师协会神经外科专业委员会委员，黑龙江省神经科学学会常务副理事长兼秘书长，黑龙江省医学会神经外科专业委员会副主任委员，黑龙江省抗癫痫协会副会长兼秘书长，黑龙江省神经科学学会立体定向和功能神经外科专业委员会主任委员。《中国临床神经外科杂志》和《立体定向和功能神经外科杂志》编委，《中华神经外科杂志》审稿专家。近几年，先后在国家级杂志发表论文46篇，专著3部。共获国家卫生部、省政府、卫生厅和哈尔滨医科大学科技成果奖11项。现承担国家自然科学基金课题、省“十五”攻关课题和省教委攻关课题各一项。



付宜利

付宜利 博士，教授，博士生导师。现任哈尔滨工业大学 BIO-X 中心副主任，黑龙江生物医学工程学会副理事长，黑龙江省神经科学学会理事，黑龙江省立体定向与功能神经外科专业委员会副主任委员，中国人工智能学会机器人专业委员会常务理事。美国 IEEE 学会会员，《国防仿人机器人杂志》副主编。哈尔滨工业大学生物机械工程方向学术带头人。在各种国际和国内学术刊物和会议上发表论文200余篇，获国家发明专利5项，承担国家自然科学基金、国家高技术发展计划项目30余项，省、部级科技进步奖6项。主要研究领域为脑图谱、手术计划系统、医疗机器人、仿生机器人。



刘鹏飞

刘鹏飞 哈尔滨医科大学第一临床医学院影像教研室副主任、磁共振中心主任；教授，硕士生导师。中国医学影像技术研究会第五届理事会理事，中国康复医学会第三届创伤康复专业委员会委员，黑龙江省 CT、MRI 学会副主任委员，黑龙江省放射学会委员兼神经学组组长，黑龙江省生物工程学会常务理事，中国截瘫研究会黑龙江省分会第三届理事会常务理事，黑龙江省干部医疗保健会诊专家组专家，黑龙江省司法鉴定委员会司法医学专家组成员，黑龙江省医学会医疗事故技术鉴定专家库成员。主要从事神经放射学和腹部放射学的影像诊断，曾承担国家和黑龙江省科研课题6项。先后获黑龙江省或卫生厅科技成果及医疗新技术成果5项。发表学术论文约20余篇，编著著作4部。

编者名单



主 编

林志国 付宜利 刘鹏飞

副 主 编

王 丹 沈 红 李晓陵

主 审

周 晋 王树国 杨富明

主编助理

陈晓光 王跃华 高文朋 那 婧 刘 芳

编 委
(按姓氏笔画排序)

- | | |
|-----|--------------------|
| 马晓燕 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院神经外科 |
| 王 丹 | 哈尔滨医科大学第四临床医学院MRI室 |
| 王旭东 | 哈尔滨医科大学临床医学院 |
| 王树国 | 哈尔滨工业大学 |
| 王晓峰 | 哈尔滨医科大学第二临床医学院神经外科 |
| 王跃华 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院神经外科 |
| 车彦军 | 靖江市人民医院神经外科 |
| 毛 颖 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院神经外科 |
| 付宜利 | 哈尔滨工业大学Bio-X中心 |
| 那 婧 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院MRI室 |
| 朱敏伟 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院神经外科 |
| 刘 芳 | 哈尔滨医科大学第四临床医学院MRI室 |
| 刘 利 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院神经外科 |
| 刘玉芳 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院 |
| 刘鹏飞 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院MRI室 |
| 杨 辉 | 双鸭山市人民医院神经外科 |
| 杨富明 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院神经外科 |
| 李 波 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院神经外科 |
| 李晓陵 | 黑龙江中医药大学附属一院MRI室 |
| 肖永飞 | 哈尔滨工业大学Bio-X中心 |
| 沈 红 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院神经外科 |
| 沈维高 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院神经外科 |
| 张 静 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院 |
| 张海军 | 哈尔滨医科大学第五临床医学院神经外科 |
| 陈晓光 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院神经外科 |
| 林志国 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院神经外科 |
| 周 晋 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院 |
| 高 薇 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院 |
| 高 聚 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院神经外科 |
| 高文朋 | 哈尔滨工业大学Bio-X中心 |
| 崔英哲 | 哈尔滨医科大学第一临床医学院MRI室 |

前言

立体定向 (stereotaxis) 一词来源于希腊语 stereo 和 taxis, 前者意思为三维立体, 后者指定向排序。立体定向脑图谱是在立体定向空间内采集脑部信息所制作的脑图谱。立体定向空间是指以人脑前连合 (AC) 后缘中点至后连合 (PC) 前缘中点的连线 (LI) 中点为原点 (O) 所建立的三维坐标系。由此可见, 立体定向脑图谱不同于一般意义上的解剖、CT 和 MRI 脑图谱, 其最主要差别在于前者是在统一的标准下所制作的脑图谱, 脑内结构在三维空间内有了统一的解剖标志点, 使应用此方法研制的不同种族、不同个体立体定向脑图谱可进行比较研究。

国内陈玉敏和姚家庆分别于 1987 年和 1992 年出版了立体定向尸脑图谱, 但由于切片较厚 (5mm), 使部分较小核团坐标及体积的准确性受到一定影响。2003 年张绍祥等出版了第一本《中国数字化可视人体图谱》, 但未在立体定向空间内进行制作。2005 年卢洪煊等在立体定向空间内对 102 具尸脑做 2mm 层厚的连续切片, 对部分脑内神经核团进行了三维重建, 该书实验数据较多, 以文字叙述为主, 图片较少, 为我国立体定向图谱的发展打下一定的基础。目前国内外学者参考最多的是 1977 年再版的《Schaltenbrand-Wahren (S-W) 立体定向脑图谱》, 由于图谱的标本来自西方人尸脑, 标本组织切片方向未完全平行于 AC-PC 平面, 且切片的间隔也不一致, 使其临床应用受到了一定的限制。1993 年 Talairach 和 Tournoux 制作了立体定向皮质 MRI 尸脑图谱, 但由于立体定向功能神经外科所需的靶点大多数位于基底节等中线区域, 故也使其应用受到一定的限制。

目前, 立体定向功能神经外科最常用的解剖定位方法仍为 MRI。数字化人脑图谱是用某种特定的扫描装置将获取的数据经三维 (3D) 分割处理, 加上解剖标识再辅以 3D 可视化的结果, 但有关活体人脑立体定向 MRI 数字化脑图谱未见出版。

立体定向功能神经外科从诞生至今, 从有框架立体定向系统发展到无框架神经外科导航, 经历了一个多世纪的历史, 在这个过程中脑图谱的作用功不可没。随着科技的进步、医学影像技术的不断更新和 CT、MR、PET 等技术逐渐应用于临床, 立体定向脑图谱也从最初的尸脑切片图谱发展到活体人脑影像学图谱。现代计算机技术日新月异, 立体定向手术机器人辅助神经外科系统也已应用于临床,

该项技术目前亟待解决的问题之一就是如何实时地将 CT、MRI 等图像信息进行三维重建，研制出包含功能和解剖标签的数字化脑图谱。应用这样的图谱，神经外科医生能够模拟手术入路、制定手术计划，演练手术过程，提高手术技艺。

世界上没有两个完全一样的大脑——形状、大小、功能无一相同，它们究竟有哪些不同？如何进行对比？这些问题仍然没有答案。脑图谱研究就是将大脑个体的差异量化，这些差异可以为区别正常大脑和患病大脑提供线索。目前世界科学家共同携手推进的“人类脑计划”是继“人类基因组计划”之后又一国际性的合作科研大计划。“人类脑图谱计划”是“人类脑计划”第一阶段四个重要研究领域（神经元的功能特性、神经元模型、脑图与脑图谱、脑成像）之一，1997 年在美国正式启动。“人类脑图谱计划”大部分影像学数据都是在标准的立体定向空间以 LI 作为大脑的基本参考基线采集，这一参考基线的确立是立体定向神经外科发展史上的一个里程碑，它使脑内结构有了统一的参考标志。

Talairach 首先提出了使用 AC-PC 作为坐标轴对颅内结构进行描述。多年的临床实践已经证实以 AC 与 PC 连线中点作为坐标原点建立的坐标系统是目前最理想的坐标系统，它是国际公认恒定的基线，是不同种族、民族间人脑进行比较的基础，也是人类脑图谱研究工作的基础。2000 年以后国际上的文献多采用这个坐标系统描述脑内结构的位置。MRI 比早期的影像检查方法更具有无创伤、组织分辨率高等优越性，更易识别 AC、PC。

如果我们将脑图像作一定的尺度变换，就会发现不同人脑解剖结构的大小和形状方面还是具有一定的共性的。这就使我们有可能构造一个含有解剖学信息的“标准”脑图谱，利用脑图谱配准后，应用图谱所包含的先验知识自动对病人或其他人的图像进行识别。立体定向数字化脑图谱与人类脑研究的结合为脑解剖和功能的研究提供了新的契机。

临床上对脑内一些靶点的解剖定位主要是通过图谱坐标换算，再进行推算每一个体脑的相关靶点，难以达到精确定位。术中必须应用电生理技术反复矫正不精确的解剖靶点，建立功能靶点坐标，这不但增加了手术的时间，反复的操作也增加了出血的风险，故急需建立中国人立体定向功能性脑图谱。

本图谱通过对大样本的立体定向 MR 图像资料处理,在标准的立体定向空间内,制作成的标准的中国活体人脑立体定向 MR 解剖图谱,并对部分立体定向相关核团进行三维重建,描述了中国人脑立体定向颅内标志点或线、帕金森病、精神病、癫痫等脑功能疾病相关靶点的立体定向 MR 影像学特点、靶点坐标及体积,分析了坐标、体积与性别、年龄关系;应用计算机技术,构建了丘脑底核、杏仁核、豆状核、尾状核、丘脑、脑室系统、第三脑室、壳核和黑质的数字化可视化解剖图谱;根据术中相关电生理数据,首次建立苍白球内侧部概率功能图谱;利用组织学和计算机技术实现丘脑腹中间内侧核团在 MR 影像资料上的可视化,为神经外科手术计划的制定及实现人脑立体定向相关靶点的精确定位提供解剖和功能参数。

中国人脑图谱资源是世界医学宝贵资源的一部分,必须进行积极的开发以保护这一民族资源。一旦中国人脑图谱资源被国外抢先开发、利用、注册,则中国人将花巨资购买该项目的知识产权进行研究和临床应用。如何保护民族资源,正像几年前“人类基因组计划”一样,是我国科技工作者义不容辞的责任和义务。

本课题为国家自然科学基金和黑龙江省科技攻关项目,也是新加坡国家医学生物影像中心与哈尔滨医科大学和哈尔滨工业大学国际合作项目。本图谱在制作过程中,得到了哈尔滨工业大学校长王树国教授、哈尔滨医科大学第一临床医学院院长周晋教授、哈尔滨医科大学第一和第四临床医学院 MRI 室及哈尔滨工业大学 Bio-X 中心相关同志的大力支持,在此,一并表示感谢。

由于本图谱涉及临床和工科等多个学科领域,且工作量较大,编者的组织和写作能力有限,难免有所疏漏,不足之处尚祈读者不吝指教。

林志国 付宜利 刘鹏飞

2008 年 5 月

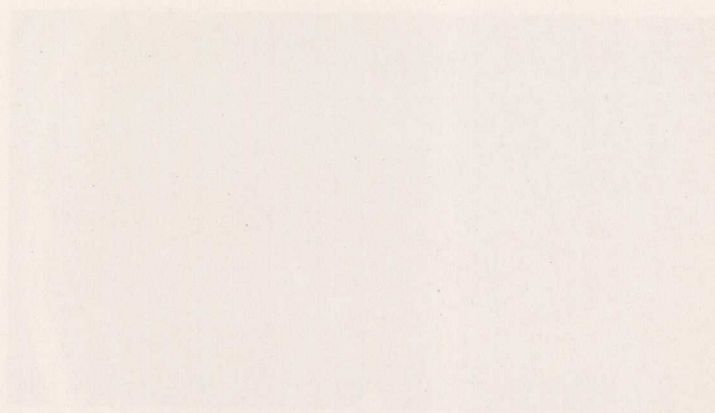
目 录

第一章 中国活体人脑立体定向 MRI 图谱	1
第一节 材料与方法	2
第二节 人脑立体定向轴状位 T ₁ WI	7
第三节 人脑立体定向轴状位 T ₂ WI	18
第四节 人脑立体定向矢状位 T ₁ WI	29
第五节 人脑立体定向矢状位 T ₂ WI	39
第六节 人脑立体定向冠状位 T ₁ WI	49
第七节 人脑立体定向冠状位 T ₂ WI	62
第二章 中国活体人脑立体定向 MRI 三维重建	75
第一节 概述	76
第二节 立体定向 MRI 三维重建图谱	77
第三节 MRI 体数据的可视化——MRI 虚拟成像	83
第三章 中国活体人脑立体定向 MRI 相关核团影像学特点、靶点坐标及体积	87
第一节 材料与方法	88
第二节 立体定向颅内标志点或线 MR 影像学特点、靶点坐标及体积	92
第三节 帕金森病相关靶点 MR 影像学特点、靶点坐标及体积	98

第四节	精神疾病相关靶点 MR 影像学特点、靶点坐标及体积	106
第五节	癫痫相关靶点 MR 影像学特点、靶点坐标及体积	115
第六节	其他立体定向相关靶点 MR 影像学特点、靶点坐标及体积	124
第四章	中国人脑立体定向 MRI 数字化、可视化解剖图谱	127
第一节	丘脑底核和杏仁核 MRI 数字化、可视化图谱	128
第二节	丘脑腹中间内侧核 MRI 数字化、可视化图谱	134
第三节	豆状核 MRI 数字化、可视化图谱	142
第四节	尾状核 MRI 数字化、可视化图谱	145
第五节	丘脑 MRI 数字化、可视化图谱	147
第六节	脑室系统 MRI 数字化、可视化图谱	150
第七节	第三脑室 MRI 数字化、可视化图谱	155
第八节	壳核 MRI 数字化、可视化图谱	161
第九节	黑质 MRI 数字化、可视化图谱	167
第五章	中国人脑立体定向苍白球内侧部概率功能图谱	175
第六章	立体定向 MRI 靶点精确度的研究	181
参考文献		190

第一章

中国活体人脑立体定向 MRI 图谱



第一节 材料与方 法

一、样本的选择标准

健康中国自愿者 120 例,男 60 例(年龄 21 ~ 80 岁,平均 43.32 ± 14.15 岁),女 60 例(年龄 21 ~ 78 岁,平均 45.27 ± 15.83 岁)。自愿者来自中国 23 个省和 4 个少数民族自治区,少数民族自愿者占样本总数的 5%。在数据的采集过程中,详细记录了样本的一般资料,包括职业、文化程度、身高、体重、血型、爱好与特长。所采用的样本均排除高血压、糖尿病、精神病史、遗传病史和重大疾病史;无酒精中毒史,无吸烟史;神经精神检查无阳性发现;在 MR 图像上没有颅内疾病表现。将所有样本按年龄分 6 组, A 组: 21 ~ 30 岁; B 组: 31 ~ 40 岁; C 组: 41 ~ 50 岁; D 组: 51 ~ 60 岁; E 组: 61 ~ 70 岁; F 组: 71 ~ 80 岁, 每组各 20 例(男女各 10 例)。

二、样本 MRI 数据的采集

所有 MRI 扫描均由 SIEMENS (1.5 Tesla) MR 机完成。

扫描参数: T_1 加权序列, $TR=390ms$, $TE=15ms$, $FOV=224 \times 256$, $NAQ=2$; T_2 加权序列, $TR=4\ 200ms$, $TE=100ms$, $FOV=192 \times 256$, $NAQ=2$ 。

常规行 MR 定位图像扫描之前,首先确定大脑正中矢状面(midsagittal plane, MSP)。MSP 图像确定的标准:①矢状面图像能够清晰地显示前连合(anterior commissure, AC)和后连合(posterior commissure, PC);②矢状面图像能够清晰显示中脑水管全长;③矢状面图像能够清晰显示大脑正中裂脑脊液密度影(图 1-1-1)。

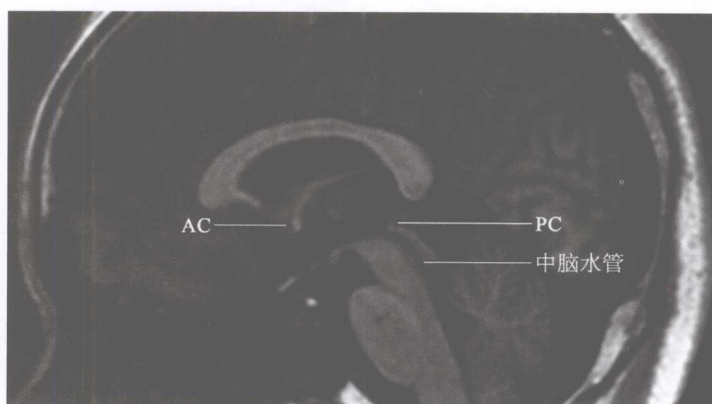


图 1-1-1 大脑 MRI 正中矢状面,各箭头示正中矢状面的解剖标志

在轴位和冠状定位图像上确定正中矢状位后,首先行 T_1 加权序列扫描得到正中矢状面 MRI,在正中矢状面 MRI 上确定 AC 后缘中点和 PC 前缘中点。平行 AC-PC 连线行轴位 MRI 扫描,观察轴位 MRI 上 AC 和 PC 是否位于同一平面,如因为定位误差 AC 和 PC 不在同一平面,则重新定位直到 AC 和 PC 出现在同一平面为止,并将此平面定为 H0 平面。以 H0 平面为中心平面行轴位 MRI 扫描,扫描序列为 T_1 加权和 T_2 加权,两个序列扫描层厚均为 2mm,层间距为 0。其中 H0 平面以上的 MRI 标记为 Hd (dorsal),根据距 H0 平面的距离分别标记为 Hd2、Hd4、Hd6、……、Hd20; H0 平面以下的 MRI 标记为 Hv (ventral),根据距 H0 平面的距离分别标记为 Hv2、Hv4、Hv6、……、Hv20。

在 MRI 屏幕上确定 LI 线的中点,经过此中点行垂直 H0 平面的冠状位 MRI 扫描(扫描序列同上),经过 LI 线中点的冠状面 MRI 标记为 F0 平面,其中 F0 平面以前的 MRI 标记为 Fa (anterior),根据距 F0 平面的距离分别标记为 Fa2、Fa4、Fa6、……、Fa20; F0 平面以后的 MRI 标记为 Fp (posterior),根据距 F0 平面的距离分别标记为 Fp2、Fp4、Fp6、……、Fp20。行垂直 H0 平面的矢状位扫描,正中矢状面标记为 S0 平面。向两侧标记为 S2、S4、S6、……、S20,如需区分左、右侧时,则在 S 后加上 l (left) 或 r (right) 以示区别。

三、MRI 相关靶点数据的测量

(一) 测量软件

本研究所用的测量软件为美国 NIH (National Institute of Health) 免费提供使用的 Image (Version 1.26)。该软件在以 Windows 操作界面的医学影像工作站上,可直接读取于 MRI 工作站上下载的 Dicom 格式 MRI 数据,在 PC 机上实现图像浏览、坐标显示、长度测量和中心坐标计算等功能。

(二) MRI 二维图像坐标系的建立

1. 轴位坐标系(XOY)的确立 在 H0 平面 MRI 上直接读取 AC 后缘中点和 PC 前缘中点的坐标值,推算出 AC-PC 连线中点(即原点)的坐标。AC-PC 连线的延长线(前后方向)为 Y 轴,通过原点与 AC-PC 垂直的水平线(左右方向)为 X 轴,如图 1-1-2。

2. 矢状位坐标系(YOZ)的确立 在 S0 平面 MRI 上直接读取 AC 后缘中点和 PC 前缘中点的坐标值,推算出 AC-PC 连线中点(即原点)的坐标。AC-PC 连线的延长线(前后方向)为 Y 轴,通过原点与 AC-PC 连线垂直的直线(上下方向)为 Z 轴,如图 1-1-3。

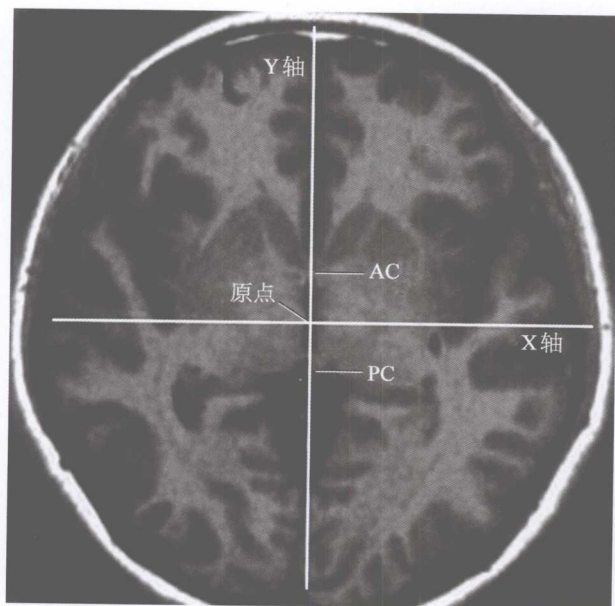


图 1-1-2 轴位坐标系

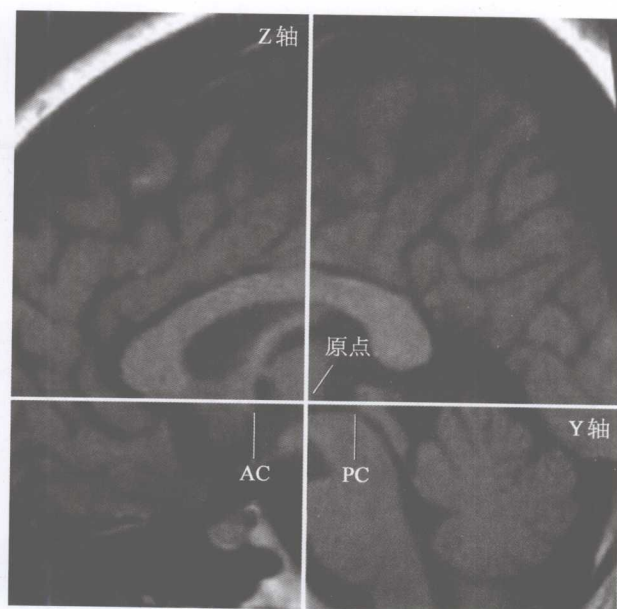


图 1-1-3 矢状位坐标系

3. 冠状位坐标系(XOZ)的确立 将矢状位或轴位原点的坐标通过 MRI 的三维坐标转换,转换为冠状位 MRI 原点坐标,以原点为中心,通过原点的水平轴(左右方向)即为 X 轴,通过原点的垂直轴(上下方向)即为 Z 轴,如图 1-1-4。图像中心所示交叉十字为冠位原点位置,是通过软件的三维坐标转换实现的。

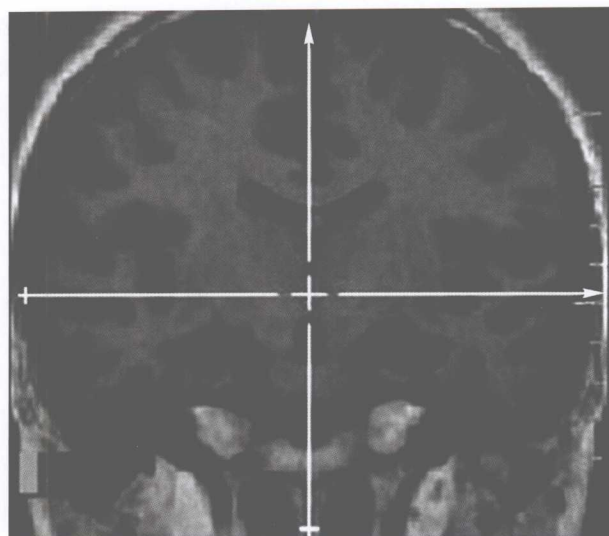


图 1-1-4 冠状位坐标系

(三) 体数据坐标系和立体定向坐标系的建立

体数据坐标系是以 MRI 数据构成的立方体的一个角点为原点, X 、 Y 、 Z 轴平行于通过该角点的棱线, 从而确定体数据的坐标系。

立体定向坐标系是以 AC-PC 连线的中点作为坐标原点, 通过原点平行正中矢状面上下方向的坐标轴称为 Z 轴, 其坐标值上为正, 下为负; 经过 AC-PC 平面且垂直矢状面的左右方向坐标轴称为 X 轴, 其坐标值右为正, 左为负; 经过原点与 X 和 Z 轴相互垂直的前后方向的坐标轴称为 Y 轴, 其坐标值前为正, 后为负 (图 1-1-5)。

立体定向坐标系确定需要两步: 首先确定正中矢状面 (midsagittal plane, MSP), 然后定位 AC/PC。计算过程中坐标均为体数据坐标系下的坐标。

1. 确定 MSP MSP 是按矢状轴方向与水平面和冠状面相垂直, 将人脑分成左右两等份的纵切面。它是一个虚拟的几何平面, 人脑解剖组织在 MSP 两侧达到最大的对称程度。本文利用 Hu 等人提出的方法实现 MSP 的提取。

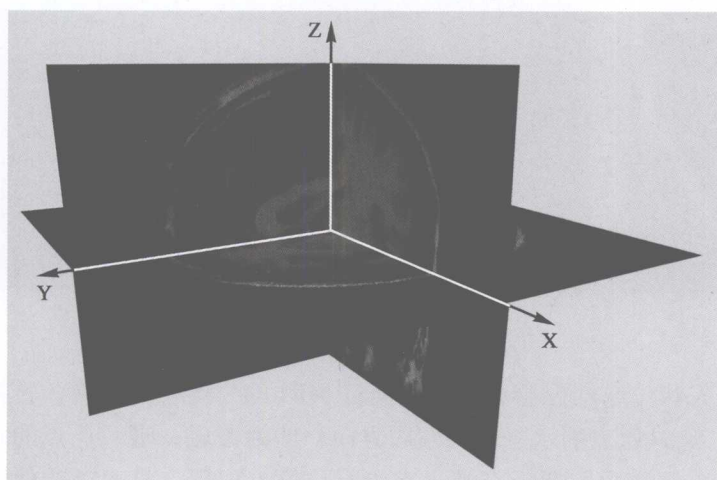


图 1-1-5 立体定向坐标系

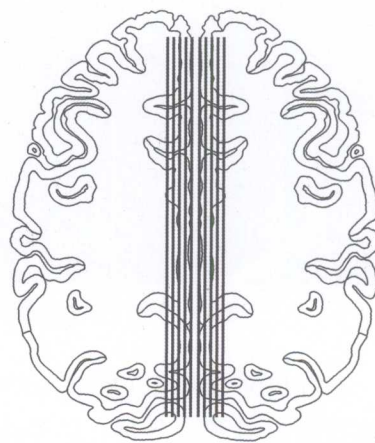


图 1-1-6 搜索线段的几何表述