

# 磁系统

Christopher R. Mascott

随着计算机技术和计算机化成像术的发展，图像引导的神经外科近年来发展迅速。引导需要将成像数据集与手术时的实际空间进行联系。这需要定义一个与参考框架相关的手术空间。传统上，在图像采集时使用带有刚性颅骨固架的立体定位框架来定义成像数据集上的空间以及手术时的实际空间。更强大的计算机处理能力和体积成像术使得通过在患者头部采用表面标志点而不采用放置框架的方式来进行成像和手术<sup>1</sup>，从而将按体积采集的图像与手术空间联系起来成为可能。然而，表面解剖标志点和皮肤标记并不具有颅骨固定框架那样的精度。

## ■ 无框架图像引导手术

在无框架的情况下，在手术时必须用头部支架将头部严格固定到手术台上以定义手术空间。接下来对患者标志点的表面配位需要使用一个可在定义空间内跟踪到的探头。已采用一系列的方法以在空间内跟踪探头。一些系统在连接于头部固定器的数字化接合臂上使用探头。<sup>2-3</sup>另外一些采用超声辐射和三角测量<sup>4-6</sup>。许多系统采用视觉跟踪和主动（光辐射二极管）<sup>7</sup>或被动（反射性标记）<sup>8</sup>探头的三角测量。这需要一个紧密附着在头部固定器上的标记阵列作为参照框架。在磁场中定义空间的另一种方法是将磁场发生器连接到头部支架上，然后使用连接的磁性接收器跟踪探头<sup>9-10</sup>。这就是本章中描述的 Cygnus-PFS 系统（Compass International, Rochester, MN）的工作原理。

## ■ 立体定位空间的磁场参照

一旦用三点固架将患者头部固定，就可采用静磁场作为参照框架。将磁铁连接到头部固架上，并在配位开始后保持不动。给患者盖上消毒帷帘时，磁铁就一直隐藏在帷帘下。使用替代的

消毒接收器和探头替换现有的接收器和探头。在手术时，使用磁场定义手术空间可以对探头进行精确的持续跟踪，因为不像使用跟踪照相机、参照标记及探头标记三者之间必须保持一条视线的视觉跟踪系统那样存在干扰。从理论上讲，手术区的金属物体可能影响跟踪精度。但实际上，这尚未成为一个问题。（见本章后面的精度讨论）

## 应用和装置

因为立体定位空间的定义与磁体有关，Cygnus-PFS 系统拥有前所未有的便携性——既不需要跟踪照相机，也不需要笨重的结合臂系统。Cygnus-PFS 系统的核心是带有控制单元和便携式计算机的磁体（图 6-1）。这样便于在医院之间运输。磁体通过一个可调节的 L 型支架连接在三点式头部固架外的星形接口上。带有触摸屏控制面板/监视器的立架选件可用于固定更多的部件（图 6-2）。

数据的采集效率很高，采集时间少于 5 分钟。通过以太网卡或者用连接到便携式计算机的小型计算机系统界面（SCSI）端口上的外部数字存档磁带（DAT）驱动器来采集数据。计算机随即构建头部的三维模型来配位图像空间的标志点。然后，第二数据集与主数据集发生联系，[即磁共振成像(MRI)计算机 X 射线断层摄影术(CT)]，因而可以在手术期间同时应用两个数据集（图 6-3）。进行“图像配位”期间，在成像数据集上选择标志点和基准点，以在手术时与患者身上实际空间中的对应标志点相联系。所有常规应用的图像引导系统的图像的处理及随后的患者配位操作都是相似的。使用 Cygnus-PFS 便携式计算机可以在任何地方进行所有的手术前规划。

手术时，将患者定位于三点式固定支架之后，

通过 L 型支架将 Cygnus-PFS 磁铁连接到头部固定器上。将便携式计算机连接到电磁控制单元上并加载适当的患者研究。将未消毒的磁场接收器和探头连接到 Cygnus 控制单元上，通过使用探头接触标志点的方式对患者标志点进行配位。

执行配位并盖上消毒帷帘后，使用消毒的接收器和探头替换原来的接收器和探头，此时系统已经可以用于执行手术。



图 6-1 用于手术的 Cygnus-PFS 设置，图中显示了通过 L 型支架连接到头部固定器上的磁体、便携式计算机和计算机下面的磁体控制单元 (Compass International, Rochester, MN)。

## 功能

Cygnus-PFS 的许多功能与其他图像引导系统相同，包括目标体积设计、轨迹设计和图像关联（图像融合）。图像关联可以用来联系 CT 和 MRI（见图 6-3）、不同的 MRI 排列（即扰相梯度回波（SPGR）与液体衰减反转恢复（FLAIR））或功能成像。Cygnus-PFS 系统的手术前规划和图像关联特别具有用户友善性，通常只需不到 5 分钟的时间。

独有的硬件功能包括活检针支架，还包括不同长度的、成角的或直的、可作为抽吸器探头的探头。这在手术中极为有用，因为抽吸器是手术期间最常用的工具。在这种方式下，图像引导不需要使用专用探头就可以一直显示抽吸器头的位置。我们发现这比跟踪双极热烙器或其它任何手术工具都要实用。Cygnus-PFS 探头（包括抽吸器探头）都是一次性的，这在当代医学实践中也是重要性日益增加的一个独有的特征。

Cygnus-PFS 有许多极为智能化的、有用的、

指导性的软件功能。手术时对患者的配位完成后，配位屏幕将显示计算出的总精度（根均方误差），这与所有的图像引导系统一样。此外，还显示出每个相关点各自的计算误差（图 6-4）。这在许多系统不能做到的。特别引人注意的是，一个称作 Show Registration on Image（显示图像配位）的功能可以并列显示“图像空间”与“实际空间”中标志点的图像（图 6-5）。已经证明在执行患者配位时，这种功能对于理解不精确的原因十分有益，所以能够生成更高的、真实的手术精度。

手术期间有许多有用的选项。除了三个正交的（轴向的、冠状的、矢状的）视图外，同时还可使用第四个“轨迹视图”进行观察（图 6-6）。可以通过简单地旋转探头和接收器，直至得到解剖结构和手术特征更直观的图片的方式来改变轨迹的方向和目标，这一点与其它一些系统的轨迹视图有所不同。这样就消除了使用多轨迹视图的必要。简单的一步放大功能可以对较小的损伤进行理想的放大（2 倍放大）。如果进

行了预设，单击图标就可以在主图像集与第二相关数据集之间进行切换。



图 6-2 供选择的 Cygnus-PFS 立架以具有可移动的触摸屏监视器为特色 (Compass International, Rochester, MN)。

## ■ 关于图像引导精度的教程

### 计算精度

图像空间与实际空间的关系基本上是一种拓扑关系，其中一个空间的每个点须与另一个空间的另一个点相对应。在图像空间中选择一定数量的点，将其与实际空间中相当的点进行联系，图像引导系统就会找到二者之间最匹配的算

法。如果一个点发生了移动（例如头部支架针位附近的皮肤标记），整体最匹配的算法可能或不能确定真正最差的点。这在使用 Cygnus 进行患者配位时可以得到很好的证明。任何时候，重新配位一个点或者删除一个点都会改变其他所有点的计算精度值，因为算法会尽量寻找全部一群点的最佳匹配而不是一次一个点的匹配（见图 6-4）。我们发现清楚地提出这个信息可以更好地理解图像引导，而且实际上并不会使配位过程变得复杂。正如所预期的那样，应用颅骨植入螺旋基准标记 (Leibinger, Freiburg, Germany) 的计算精度要高于用粘贴性皮肤标记或解剖标志点。大多数图像引导系统的目标是获取小于 3 毫米的计算精度。放置植入颅骨的基准点时的精度通常可以提高到 1 毫米或者小于 1 毫米。Cygnus 计算的植入螺旋基准点配位的精度为  $1.0\text{mm} \pm 0.4\text{mm}$  ( $n=33$ )，计算的皮肤标记点配位精度为  $2.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$  ( $n=56$ )。

### 真实精度

必须牢记的是，计算出的精度不能代表真实的手术精度，手术精度依赖于许多因素。框架式立体定位及应用 CT 成像（不存在 MRI 的场畸变）能得到的最好精度是  $1.0\text{mm}$ <sup>11, 12</sup>。

所有与计算精度有关的信息必须和真实的手术精度进行比较，最好通过手术时的解剖标志点加以证实。通过在手术时选择清晰可辨的解剖标志点可以对真实精度进行视觉证实。图 6-6 中，可以在图像上看到：探头放置于几乎接触到前交通动脉动脉瘤的穹窿的位置。这是良好的真实手术精度的图例。

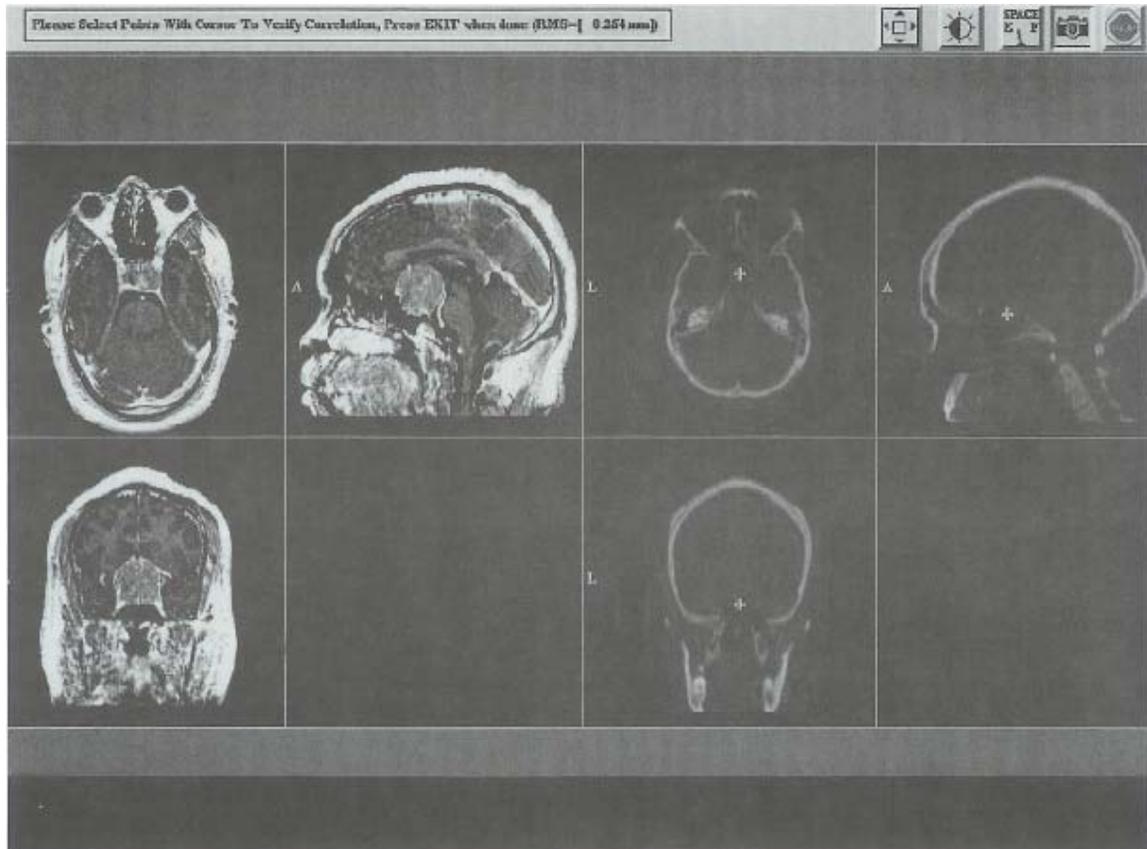


图 6-3 磁共振成像与计算机 X 射线断层造影数据集的图像关联。

### 比较磁系统与光学系统

在过去的两年中，我们进行了一项比较磁系统 (Cygnus-PFS) 精度与光学跟踪系统 (Stealth-Station, Medtronic Surgical Navigation Technologies, Louisville, CO) 精度的研究。使用定制的支架将两个系统同时连接到 50 多个患者的外科头部支架上。估计配位的计算精度和真实的手术精度，在文章的其他部分，将其作为详细报告的主题。在第一次研究的 50 个患者中，在 42 例患者身上观察到极好的真实手术精度。使用磁跟踪系统的精度小于光学跟踪系统精度的患者有 3 例。相反地，使用光学跟踪系统的精度小于磁跟踪系统精度的患者也有 3 例。另外两例中磁系统与光学系统的精度都较差。除了使用两个系统都有错误的两例患者外，其它患者手术精度不足的原因并不清楚。在这两个病例中，精度差是因俯卧姿势所致，这将在本章以后部分中加以讨论。

对于手术期间金属物体引起磁场不精度的可能性，我们没有发现这方面的问题。手术期间使用的 Budde Halo 牵引器系统 (OMI, Cincinnati, OH) 看来对 Cygnus-PFS 系统并无不利影响。当在切口内放置几个大的自持牵引器时，我们确实观察到对磁场有些干扰。只保留一个牵引器，移去所有其它牵引器或者使用牵引线代替牵引器可以容易地校正这种干扰。

总之，磁性跟踪和光学跟踪看来在手术精度方面具有可比性。

### ■ 应用

Cygnus-PFS 在脑外科中有许多实际应用。神经外科医生、眼外科医生、耳鼻喉科医生可以很好地加以应用。

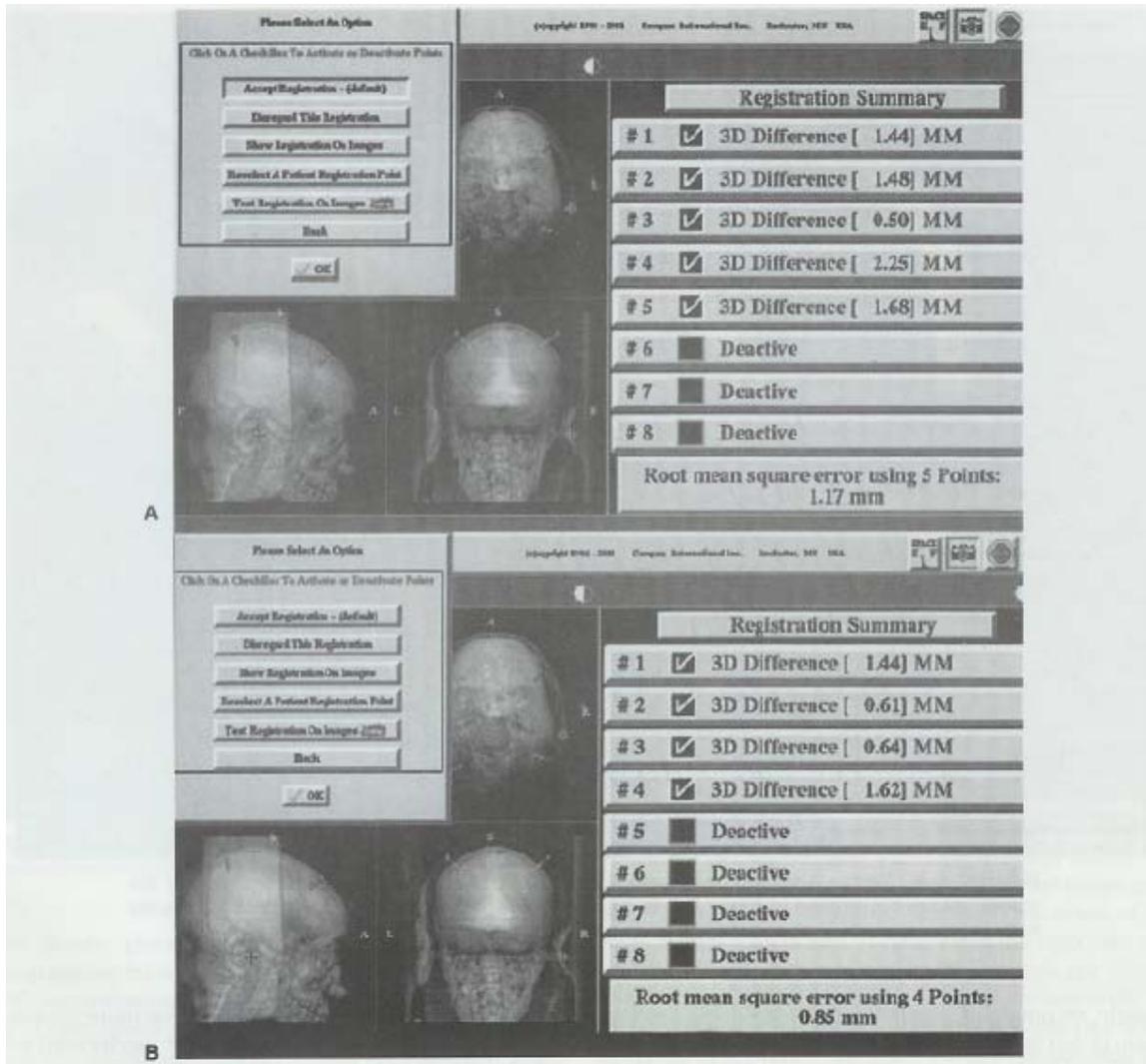


图 6-4 采用 5 个点的记录读出屏 (A)。在使一个点失活之后, 修改相应患者的配位 (B)。高计算精度是应用植入性颅骨基准的反应。

## ■ 神经外科

### 肿瘤

无框架立体定位在脑外科最显著、最经常的应用是用于脑肿瘤。不管采用何种系统, 其原理和应用都是相似的。手术前规划可以在手术前确定最佳的手术方式。在手术示教室, 无框架立体定位在配位后能有助于将切口和骨瓣放置于中心位置。硬脑膜开口以及通向深部损伤的通道和轨迹都可以进行图像引导。

### 幕上

对于小损伤的定位, 图像引导具有明显的优势。对于小的转移瘤, 其优势极为明显。因为小的转移瘤在皮层表面常常看不到。因为没有框架, 所以对多发性转移损伤进行多个小片颅骨切开术更具有可行性。对特别小的损伤、深部或颅后区域损伤, 我们强烈推荐植入颅骨基准点螺丝, 经过处理就可以产生象框架一样的精度。

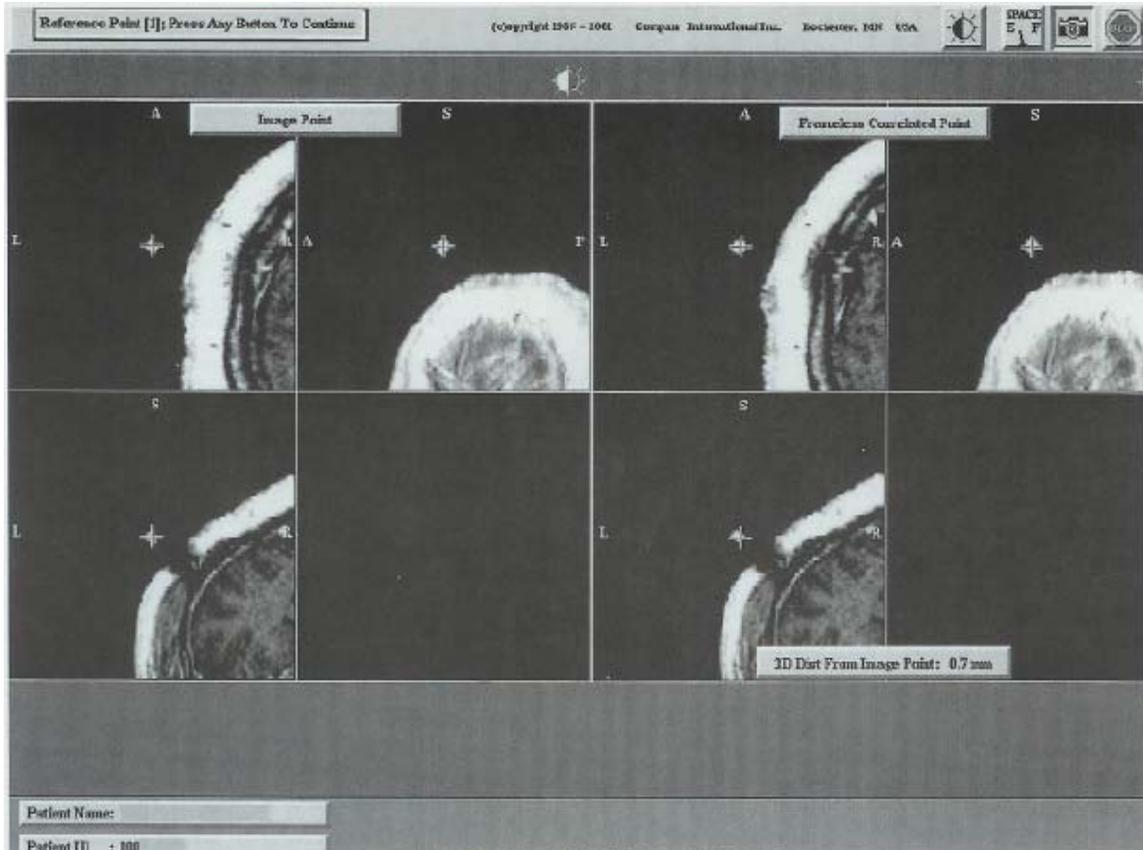


图 6—5 “显示图像配位”功能的屏幕照片。屏幕左侧显示图像空间的配位。屏幕右侧以图形的形式估计每个配位点在实际空间的误差并显示相应的图像。

为了保持精确的图像引导，通常我们尽可能长时间地保持肿瘤的完整性。对于较软的大肿瘤来说，这也许是不可能的。在这样的病例中，肿瘤的内部减压（其间用棉球代替切除的组织——我们愿意使用 **Merocel surgical patties**, **Xomed Surgical Products, Jacksonville, FL**）以保持合理程度的立体定位精度。在这些情况下，**Cygnus-PFS** 抽吸器探头提供连续的成像反馈，具有独特的优势。这可以用最近的一个复发性颞叶神经胶质瘤的病例来说明。在该病例中，增大的肿瘤深面正导致中脑和基底神经节发生相当大的移位。尽管我们通常没有看到在手术时有特别的加速优势，但在硬膜切开后不久，麻醉师就发现所述患者的心电图出现了明显的改变。鉴于有可能出现心肌梗塞，我们讨论了紧急结束程序。结束手术前，使用双极烧灼器和图像引导的抽吸器进行了历时 5 分钟

的颞叶切除手术及肿瘤切除手术。在非常紧急的情况下，我们没有更换设备就确定了肿瘤切除的深度。手术后成像证实切除了增大的肿瘤体积的 95%，这与我们手术中的印象相吻合。在类似的时间限制下，采用其它图像引导系统将是不现实的。

#### 幕下

尽管有良好的计算精度，但在最初我们使用磁跟踪系统和光学跟踪系统时，在颅后窝的手术精度都很差。进一步的研究证实，当患者俯卧进行成像时，皮肤标记出现了明显移位。采用完全俯卧或者 3/4 俯卧的姿势，我们不能得到令人满意的手术精度，除非采取用于所有颅后窝通路的系统性植入颅骨标记（基准点）。

#### 颅底

对颅底损伤使用图像引导看起来似乎是不必要的。但对这样的病例应用图像引导，我们从未

后悔过。应用范围包括定义骨瓣的大小，确定颅底骨钻的长度以及避开重要的结构如动脉和神经。在经蝶窦手术中，我们一直用图像引导代替荧光透视法。

## ■ 血管

### 动静脉畸形

我们曾经用图像引导来确定动静脉畸形(AVM)病灶的宽度与深度，证明非常有用。由于一次性切除了 AVMs，手术中一直保持了立体定位

精度。大的动脉和静脉在手术中都是良好的解剖标志点。

### 海绵状血管瘤

当讨论图像引导的有用性时，海绵状血管瘤与肿瘤相类似。对较小或较深的血管瘤的定位引导是个问题。对这些病例无论采用哪种图像引导系统，我们都再次推荐使用颅骨植入标记。当有大的肿瘤时，体积反馈在手术期间对大的损伤十分有用。

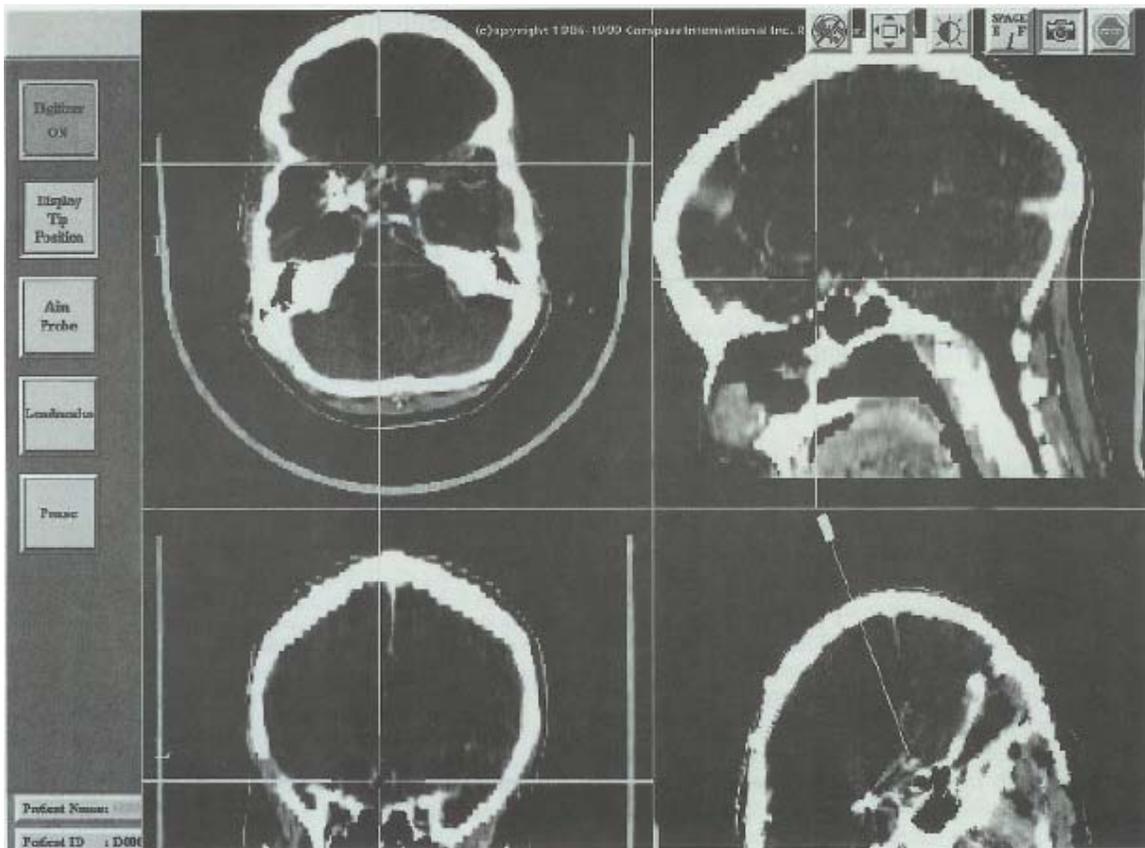


图 6—6 在大脑半球间切除未破裂的前交通动脉瘤 (ACoM) 的手术中的图例。患者以前曾做过左侧大脑中动脉 (MCA) 瘤破裂、左侧 MCA 中风和失语，康复已超过 1 年。选择执行大脑半球间切除动脉瘤的手术以避免危及脆弱的语言皮层。右下图可以看到轨迹视图。

## 动脉瘤

动脉瘤手术期间，很少应用图像引导。我们发现了许多已经证明是有用的并且与 Cygnus-PFS 磁系统的优点相关的指征。大多数血管神经外科医生肯定会认为图像引导系统对动脉瘤手术来说多余的。但由于易于安装、在手术期间不引人注目，Cygnus 在动脉瘤手术中还是有一定的优势的。执行在大脑半球切除交通动脉动脉瘤的手术时，我们发现图像引导特别有用。在这种情况下，尽管有交通后部和胼胝体缘动脉（见图 6-6）作为标志，但一般很难估计到动脉瘤的距离。我们也采用图像引导来确定 Sylvius 裂（大脑外侧裂）内的大脑中动脉(MCA)动脉瘤的位置，接近远端的小脑后下动脉(PICA)动脉瘤。

## 癫痫

我们曾将图像引导广泛地用于损伤性和非损伤性癫痫手术。在非损伤性病例中，图像引导对定义轨迹以在选择性杏仁核海马回切除术过程中找到侧脑室的颞角十分有帮助。海马切除的后部范围和杏仁体切除的中上部范围也可以确定。图像引导在执行功能性大脑半球切除术<sup>13</sup>及在定义胼胝体切开术范围时一直是有用的助手。我们曾用 Cygnus 来放置手术时的深部电极。目前，我们正在开发用于放置长期深部植入电极的使用仪器。这曾经使用其它图像引导系统描述过。<sup>3, 14</sup>

## 导管放置

用图像引导放置心室导管并不常见。磁系统不引人注意的特性使我们相对经常地将其用于优化常规的分流器和 Omayya 储存器的放置。

## ■ 耳、鼻、喉科

---

我们曾和耳鼻喉科的同事一起使用图像引导进行蝶骨和上颌窦手术。

## ■ 眼科学

---

在有眶外病症的眼眶肿瘤切除期间，我们和眼科手术医生一道用 Cygnus-PFS 进行图像引导。他们在突眼病例的侧眼窝减压手术中还将 Cygnus 用于图像反馈。

## ■ 结论

---

Cygnus-PFS(Compass International, Rochester, MN)是一个专用的头颅图像引导系统，由于非常不引人注目而被应用于多种头颅方面的疾病，而在这些病例中，其它图像引导系统通常显得十分笨重。事实表明磁系统的精度与光学跟踪系统大体相当。

## ■ 致谢

---

十分感谢 Eugenie M. Donnelly, R.N., C.N.O.R. 予以校阅。

## 参考文献

1. Gildenberg PL, Tasker RR, cds. Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery. New York: McGraw-Hill;1998.
2. Guthrie BL, Adler JR Jr. computer-assisted preoperative planning, interactive surgery and frameless stereotaxy. Clin Neurosurg 1992;38:112-131.
3. Olivier A, Germano IM, Cukier A, Peters T. Frameless stereotaxy for surgery of the epilepsies;

preliminary experience [technical note], J Neurosurg 1994;81(4):629-663.

4. Barnett H, Kormos DW, Steiner CP, Weisenberger J. Intraoperative localization using an armless, frameless stereotactic wand. J Neurosurg 1998;78:510-514.
5. Reinhardt H, Meyer H, Amrein E. A computer-assisted device for the intraoperative CT-correlated localization of brain tumors. Eur Surg Res 1998;20:51-58.
6. Roberts DW, Strohbehn [W, Hatch], Murray W, Xettenberger H. A frameless stereotactic integration of computerized tomographic imaging and the operation microscope. J Neurosurg 1986;65(4):345-549.
7. Smith KR, Frank KJ, Bucholz RD. The NeuroStation: a highly accurate minimally invasive solution to frameless stereotactic neurosurgery. Compu Med Imaging Graph 1994;18(4):247-256.
8. Gumprecht HK, Widenka DC, Lumenta CB, BrainLab VectorVi in 131 cases. Neurosurgery 1999;44:97-104.
9. Maseott CR. The Compass Cygnus-PFS Image\_Guided System. Neurosurgery 2000;46:235-238.
10. Rousu J, Kohls PE, Kall B, Kelly PJ. Computer-assisted image guided surgery using the Regulus Navigator, Medicine Meets Virtual Reality 1998;50:103-109.
11. Maciunas RJ, Galloway RL Jr., Latimer J, et al. An independent application accuracy evaluation of stereotactic frame systems, Stereotact Funct Neurosurg 1992;58:103-107.
12. Maurer CR Jr., Aboutanos GB, Dawant BM, et al. Effect of geometrical distortion correction in MR on image registration accuracy. J Comput Assist Tomogr 1996;20(4):655-679.
13. Vilemure JG, Mascott CR, Peri-insular hemispherotomy: surgical principles and anatomy. Neurosurgery 1995;37:975-981.
14. Mascott CR, Bizzi J, Tekkok I, Oliver A. Frameless stereotactic placement of depth electrodes for investigation of epilepsy. Poster presented at: Meeting of the American Association of Neurological Surgeons, April 22-27, 1995;Orlando, FL.