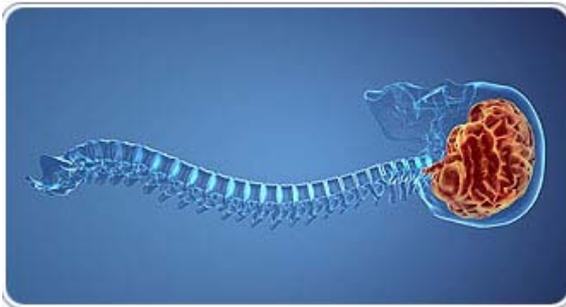


NEURONAVEGADOR

La Neurocirugía es la especialidad médica que se ocupa del diagnóstico y tratamiento de enfermedades o anomalías que puedan afectar el sistema nervioso, teniendo como pilar, para poder llevar a cabo este propósito, a la Cirugía. Muchas veces se le asocia directamente a las cirugías de cerebro, sin embargo, la neurocirugía es mucho más amplia, pues también abarca las demás áreas del sistema nervioso, como son la médula espinal y los nervios periféricos, así como sus sistemas de protección y soporte (Cráneo y columna vertebral).



Representación del Cerebro y la Columna Vertebral

En el caso de las cirugías de Cerebro y Columna vertebral, los procedimientos son más delicados y con mayores riesgos, debido a que la intervención quirúrgica se efectúa directamente sobre el centro de "Comando" del cuerpo, humano existiendo un riesgo de producir lesiones que afecten de manera importante el desempeño de las funciones propias que controla el sistema nervioso, no solo a nivel físico (mediante los sistemas nerviosos simpático y parasimpático), sino también a nivel de la función mental, que es en suma, lo que nos hace realmente "Humanos".



Instrumental Para Craneotomía (Siglo XVIII)

Lo indicado anteriormente, significa que una intervención del sistema nervioso central puede afectar tanto las funciones físicas como mentales, por ello resulta primordial que el Neurocirujano cuente con todas las herramientas para llevar a cabo esta labor, minimizando en medida de lo posible los riesgos que este tipo de intervención quirúrgica representa.

En un principio, la Neurocirugía solo contaba con unas pocas herramientas para llevar a cabo su labor, conocido es el caso de los antiguos peruanos que mediante el cuchillo denominado "Tumi" efectuaban de modo efectivo la descompresión del cráneo ante contusiones que eran muy frecuentes debido a enfrentamientos y al empleo en éstos de las porras de piedra y metal.

Por otro lado, en otros lugares del mundo, poco a poco se fueron sofisticando los medios que los médicos tenían a su alcance para efectuar intervenciones a nivel cerebral, en muchos casos había que limitar las intervenciones a operaciones de emergencia, ya que los riesgos que se corría de afectar las funciones cerebrales eran bastante elevados, sin embargo, se pudieron desarrollar diversos sets de cirugía craneal, incluyendo sistemas de trepanación más funcionales.

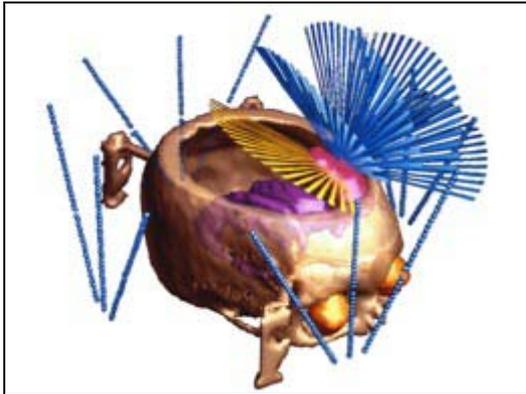
Dado el riesgo señalado, resulta especialmente crítico planificar previamente la operación en sí, evaluando cada una de las alternativas de intervención según el paciente y su patología específica, esta planificación engloba una serie de parámetros, siendo uno de los más importantes, la evaluación de la ruta o camino que se seguirá desde el exterior hasta la patología a tratar, eligiéndose el camino que menos probabilidades de daño secundario presente, a mayor profundidad dentro de la masa encefálica de la patología a tratar mayor será la importancia y dificultad de planificar esta ruta.



Marco para Cirugía Estereotáctica

En la práctica, si bien se planificaba una ruta de acceso a la patología (por ejemplo un tumor), era muy difícil seguir de modo subjetivo esta ruta trazada, con el consiguiente aumento en el riesgo de daño. Este problema dió como fruto la incorporación de los llamados "Marcos

Estereotáticos”, que mediante una serie de posicionadores mecánicos capaces de trabajar en el espacio volumétrico (ejes X, Y y Z) permitieron fijar la posición de ingreso y la ruta a seguir hasta el tumor, sin embargo, este marco estereotáctico presenta la dificultad de ser voluminoso, pesado y requiere ser firmemente fijado al cráneo del paciente mediante tornillos. El uso del marco estereotáctico permitió una pormenorizada documentación de la anatomía cerebral, la elaboración de puntos de referencia y desarrollo de las tolerancias de estas medidas de paciente a paciente.



Planificación de Radiocirugía Estereotáctica

La incorporación de los marcos Estereotácticos fue un notable avance en la tecnología aplicada a la Neurocirugía, pero se potenció aún más con la llegada y masificación de los sistemas de cómputo. Se empezaron a desarrollar programas que permitían la planificación de intervenciones complejas en función de la aparición y uso de mejores medios de adquisición de información como la Tomografía Computarizadas, el sistema de cómputo asociado a su software realiza una serie de complejos cálculos de trayectorias y probabilidades que permite obtener la mejor ruta de acceso para efectuar la intervención.



Posicionamiento del Marco Estereotáctico

La combinación de estos tres elementos fue un paso sin precedentes para el avance de las cirugías cerebrales, sin embargo, la mayoría de los usos dados al sistema estereotáctico fue principalmente la obtención de biopsias cerebrales y la radio cirugía, debido a que el sistema no es capaz de presentar adecuadamente el movimiento y

ubicación de diverso instrumental en tiempo real, limitándose en el mejor de los casos solamente a estimar dónde se encuentra el operador dentro de una línea de ruta ante una serie de condiciones, pues el sistema de cómputo no es constantemente realimentado por la información que se genera durante la intervención quirúrgica.

Para finales del Siglo XX la complejidad de las intervenciones quirúrgicas se hacía mayor, lo que obligó a la creación de nuevos medios para facilitar estas intervenciones, el desarrollo vertiginoso de la informática y la electrónica posibilitó la aparición de un nuevo elemento en apoyo al Neurocirujano: **El Neuronavegador**.



EL SISTEMA DE NEURONAVEGACION

El Neuronavegador, o navegador virtual, es un equipo que permite la planificación y visualización en tiempo real de una intervención quirúrgica a nivel cerebral por ejemplo, valiéndose para ello de instrumentos especialmente formulados para indicarle al sistema exactamente dónde se encuentran con respecto a una referencia en cada momento, lo que permite literalmente navegar a través del cerebro, visualizando en una imagen virtual, en qué posición exacta del cráneo se encuentra el cirujano, mostrándose esto en un modelo tridimensional presentado en un monitor a color, haciendo posible evaluar la forma, ubicación y volumen exactos de la patología a tratar, visualizando además las estructuras cercanas como venas, arterias o zonas delicadas que bajo otras circunstancias podrían ser innecesariamente dañadas, por lo que el empleo de este equipo hace mucho mayor el nivel de seguridad y efectividad de la intervención quirúrgica.

Partes y Componentes

El Neuronavegador consta principalmente de tres elementos:

- Sistema Informático

- Sistema de Localización Espacial.
- Interfaces / Actuadores externos.

Además de estos elementos, se requiere elementos de referencia como por ejemplo Marcador Mayfield infrarrojo, puntero, marcadores para paciente y el respectivo instrumental para neuronavegación con reflectores infrarrojos.

A continuación, pasaremos a explicar cada uno de estos elementos:

Sistema Informático.- Consiste en la computadora y el software asociado a ésta. En cuanto al Hardware, consiste en una unidad central de proceso (CPU) compuesto por Procesador, RAM, Tarjeta Aceleradora Gráfica, Sistemas de Almacenamiento de información de gran capacidad, sistema de lectura de imágenes provistas a través de diversos medios (Discos Magnéticos, Discos ópticos, Conexiones de Red, etc.), Monitor de alta resolución, entre otros. A modo de ejemplo mencionaremos que los primeros sistemas de neuronavegación que se comercializaban alrededor del año 1980 tenían base en procesadores Pentium II © de 433 MHZ, 2 discos duros de 4 y 9 GB respectivamente tipo SCSI, RAM de 512 MB, Tarjeta de video de 32 MB, Lector de discos y monitores CRT a colores, para el 2007, dicha configuración se ha incrementado a Procesador Dual de 3.4 GB, RAM 4GB, dos discos duros de 80 GB c/u, tarjeta de video de 512 MB, Lectora grabadora de discos, monitor LCD a color.



Mainboard de CPU

Como se observa, a nivel de Hardware existe un notable incremento en la capacidad de cómputo de los sistemas, por lo tanto, los aplicativos tienden a ser de mayor complejidad y prestaciones, lo que se hace más evidente en la parte gráfica, posibilitando ahora la obtención de mejores vistas texturizadas que hace cuatro años, gracias al software especializado, que es en realidad el elemento que tiene el mayor costo dentro del sistema, este software permite tomar las imágenes generadas por el área de imágenes médicas ya sean de un tomógrafo o un sistema de resonancia magnética, para poder efectuar la simulación y planificación de la operación, dichas imágenes contienen

la visualización de la estructura interna del cráneo en cada uno de sus detalles.

Asimismo, el software permite presentar en el monitor la visualización virtual de la operación según la data tomada en tiempo real del sistema de posicionamiento espacial y representando los elementos y al paciente virtualmente en la pantalla.



Tipo de Monitor LCD usado en Neuronavegación

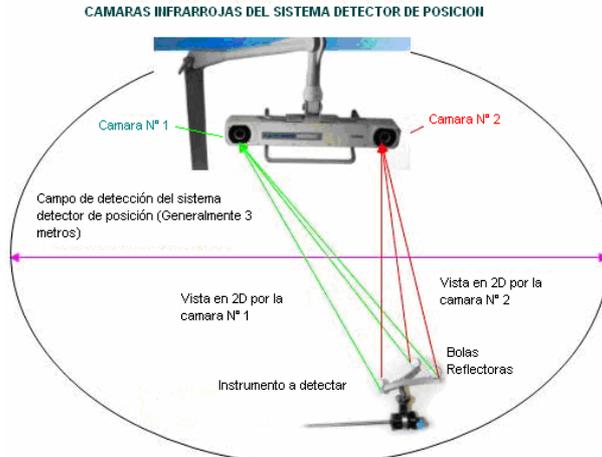
El computador también controla los interfaces / actuadores externos según el requerimiento del cirujano o comandos propios del programa.

Sistema de Localización Espacial.- Haciendo una analogía con el cuerpo humano, si el sistema de cómputo es el cerebro, el sistema de posicionamiento espacial sería equivalente al sentido de la vista, es decir, este elemento se encarga de ver tanto al paciente como al instrumental en cada momento, informando al computador de las pequeñas variaciones que instante a instante se producen dentro del campo operatorio.



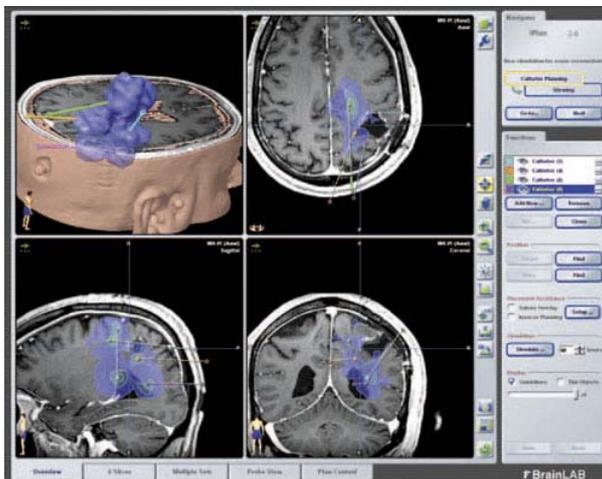
Sistema de Localización y monitor LCD

Está conformado en la mayoría de equipos por dos cámaras infrarrojas con un arreglo de emisores de luz infrarroja, en otros casos se tienen sistemas basados en ultrasonido y otros en ondas electromagnéticas como los sistemas desarrollados por General Electric.



Principio de Triangulación por medio de 2 cámaras Infrarrojas

Los más generalizados son los basados en sistemas infrarrojos, que consisten en dos cámaras con su respectivo sistema de generación de luz infrarroja (Comúnmente Diodos emisores de Luz - LED's infrarrojos del tipo utilizado en los controles remotos domésticos), ya que para ver es necesario tener primeramente una fuente luminosa, en realidad lo que se percibe es el reflejo de luz generada por los Leds, para ello se vale de unos marcadores – reflectores infrarrojos, colocados en puntos específicos del cráneo del paciente (Referencia) y de de los instrumentos, esta luz reflejada es captada por cada una de las cámaras de forma individual para poder tener perspectiva de profundidad y al igual que el ojo humano, utilizan el principio estereoscópico para determinar distancias en los tres ejes del plano cartesiano, que equivale a decir puede discernir distancias en tres dimensiones.



Planificación de Ruta y localización de patología

Como se sabe, la luz infrarroja no es visible para el ojo humano, sin embargo, la cámara de video del sistema sí la

puede diferenciar, en realidad, lo único que ve el sistema de localización espacial son puntos de luz reflejada, que equivale efectivamente de la posición del instrumental y la referencia (por ende del paciente), el sistema de cómputo se encarga en función de la tomografía o resonancia de ubicar virtualmente, de acuerdo a su análisis de estructuras y posición de las referencias, con una precisión aun mejor que 1 mm., el modelo virtual del cráneo del paciente y el instrumental utilizado en la pantalla de video.

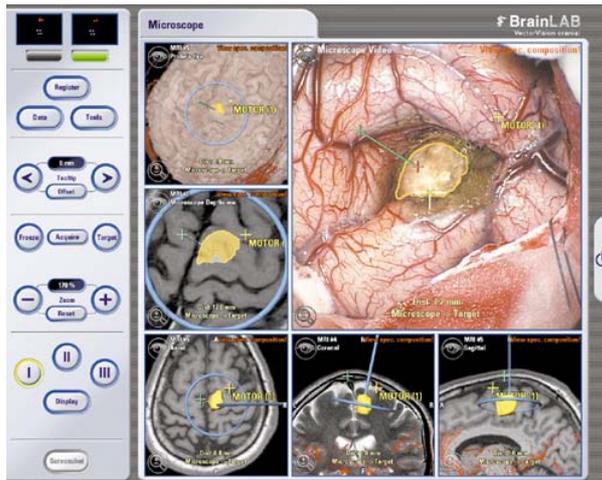
Este sistema sea de uno u otro tipo, es análogo, haciendo las salvedades pertinentes, a un sistema GPS (Sistema de posicionamiento Global) en el que satélites geoestacionarios emiten señales que son captadas por un receptor que mediante un software de triangulación es capaz de determinar la posición exacta del equipo, también podríamos decir que se asemeja a un sistema de radar pero en vez de ser de única fuente, serian dos.

Interfases / Actuadores Externos.- Son los elementos que trabajan en conjunto con el Neuronavegador y que son controlados directamente por su Software en uno u otro grado, un ejemplo de estos sistemas son los elementos de documentación externos como video impresoras, grabadores de video, etc.



Microscopio Quirúrgico para Neurocirugía

Sin embargo, el elemento de mayor relevancia e impacto en la Neuronavegación lo constituye el Interfase de control del Microscopio Quirúrgico, este elemento permite al neuronavegador controlar en cuanto a posicionamiento y parámetros de funcionamiento al Microscopio Quirúrgico, esto quiere decir que, el neuro navegador puede controlar el aumento (Zoom), enfoque y movimiento (solo en caso de tener las opciones presentes), asimismo, puede incluir una cámara de video para documentar y presentar en la pantalla del neuronavegador lo que el cirujano ve exactamente en ese momento a través del microscopio, pudiendo procesar esa imagen, presentando sobre ella vectores de trayectoria sugeridos por el sistema, dichos vectores podrán ser visualizada también en el mismo microscopio a través de sus oculares, para guiar al cirujano que utilice este elemento.

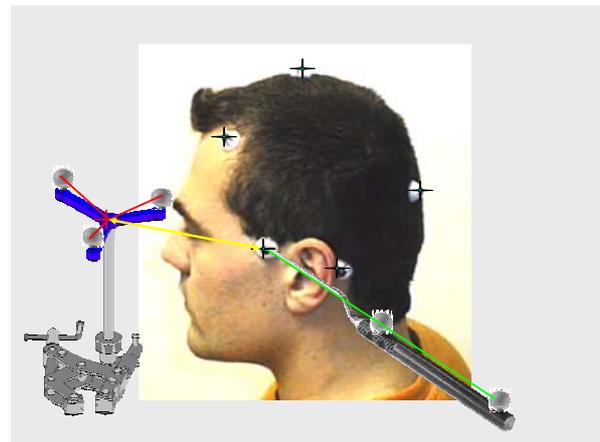


Enmarque del tumor en la imagen de video del Microscopio (Vista superior derecha).

Marcadores e Instrumental.- Como ya se ha mencionado, el sistema solo puede ver puntos que son reflectivos a la luz infrarroja, estos puntos sirven de referencia y evaluación para el sistema, en nuestro caso, se tiene el marcador de referencia patrón Mayfield que generalmente se coloca en la cabecera de la mesa de operaciones, también existen los marcadores que son colocados en la cabeza del paciente, los que son adheridos mediante pegamento temporal, los cuales son puestos previamente al examen de imágenes.



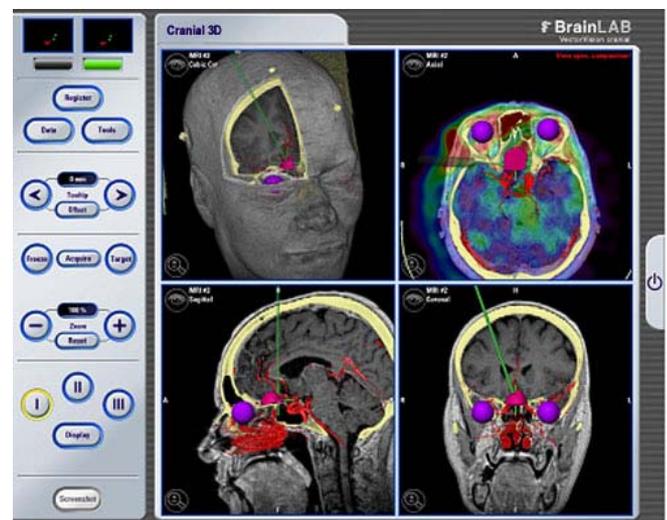
Para indicarle al equipo la posición exacta de la cabeza y el Mayfield, se requiere una programación manual previa al acto operatorio, con lo cual el equipo interpreta punto a punto donde están ubicadas las referencias en el espacio tridimensional, esto se logra mediante el marcador de referencia que debe contar al menos con dos reflectores, este procediendo permite asociar la imagen tomográfica o de RM a las referencias colocadas en la cabeza del paciente, con lo que el sistema está preparado para iniciar la operación. Existe también instrumental específico, con el que se lleva a cabo una serie de procedimientos quirúrgicos, este instrumental suele ser exactamente igual que los de uso común, con la diferencia que poseen al menos dos reflectores infrarrojos, para su ubicación e interpretación por parte del sistema de neuronavegación.



Mayfield (Izquierda), Reflectores de paciente y Posicionador

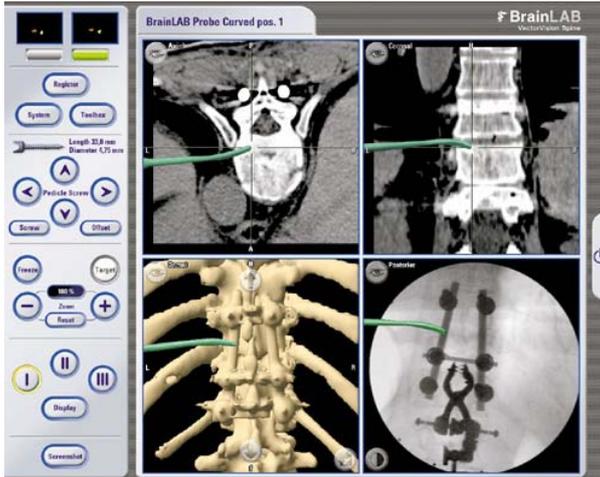
USO DEL NEURONAVEGADOR

El Neuronavegador puede ser empleado en la mayoría de intervenciones quirúrgicas que involucren el cerebro, sin embargo, en los procedimientos en los que claramente aventaja a otros métodos son en los que se llevan a cabo en lugares de difícil acceso del cerebro, es decir, en los lugares más profundos del cráneo. Como se observa, mientras mayor precisión es requerida y el acceso a la zona operatoria resulte difícil, es en donde el neuronavegador aventajará enormemente a los métodos de cirugía convencionales.



Vista en 3D (Superior derecha) mostrando lesión, las demás en 2 D en base a tomografía Computarizada

Asimismo, la Neuronavegación puede verse ampliada a otros lugares además del cráneo, como por ejemplo, la columna vertebral, sin embargo, para ello tiene que disponerse de un software especial, específicamente diseñado para esta aplicación. También se han ideado sistemas de navegación quirúrgica de aplicación en Traumatología, básicamente es el mismo equipo, pero también tiene que contar con un software específico para esta aplicación.



Navegación en Columna Vertebral (Véase el uso combinado con fluoroscopia abajo a derecha)

Una aplicación indiscutible del neuronavegador, muchas veces en combinación con la neuroendoscopia lo constituye el tratamiento de tumores, extirpación de quistes, cirugía para tratar epilepsia, además se esta experimentando el uso del equipo en cirugía para tratar el Parkinson y la implantación de células madre, entre otros procedimientos.



Navegación utilizada para Ortopedia (Implantación de Prótesis de Cadera)

VENTAJAS DEL NEURONAVEGADOR

- Permite planificar la intervención quirúrgica de antemano, esto quiere decir que en función de la información dada por los sistemas de imágenes (TM o RM) se determinará la ruta idónea, la misma que será la menos traumática para el paciente al evitar las zonas de mayor peligro potencial, es decir se obtiene mejor pronóstico.
- Las incisiones y perforaciones de cráneo (Craneotomía) suelen ser pequeñas, exactamente posicionadas, fácilmente reparables, afectando solo una pequeña fracción de la cabeza, solo es necesario afeitar el cuero cabelludo en pequeñas áreas (mejor efecto cosmético).
- La exactitud del sistema permite encontrar pequeñas lesiones, porque la desviación del sistema es menor a 1 mm.

- El tiempo de preparación y de operación es menor que en el caso de la cirugía estereotáctica.
- Menor número de complicaciones post-quirúrgicas.
- Menor tiempo de internamiento post-operatorio.

FABRICANTES DE NEURONAVEGADORES

Entre los principales proveedores de estos equipos tenemos:

- MEDTRONIC con su StealthStation® TREON™ plus.
- BRAIN LAB con su Vector Vision
- RADIONICS con su OmniSight™ Excel
- GENERAL ELECTRIC con su Instatrak™ 3500 Cranial y FluoroTrak™ 3500 Instatrak™ 3500 Fluoro-Spine (Para cirugía de columna vertebral).



Neuronavegador Radionics Ovni Sight

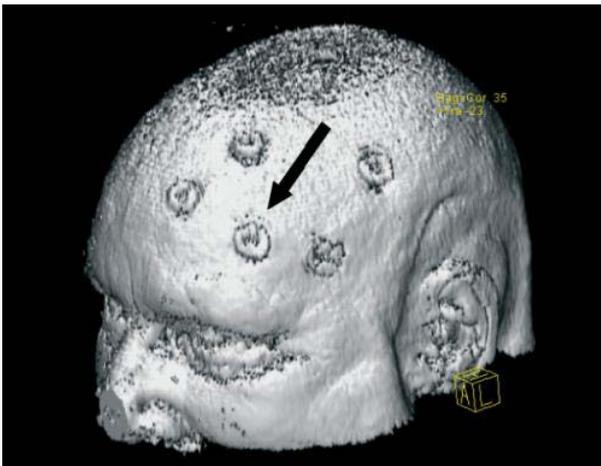
NEURONAVEGACION EN ESSALUD

El Seguro Social de Salud (EsSALUD) adquirió el año 2000, con ocasión de la remodelación del Centro Quirúrgico (2B) del Hospital Nacional Edgardo Rebagliati Martins, un equipo de neuronavegación conformado por un Microscopio Quirúrgico marca Moeller Wedel, Sistema de localización espacial y Computador con Software aplicativo BrainLab, todos los elementos debidamente elementos enlazados por interfaces de comunicación, el sistema se basó en una CPU Pentium © II y localizador PC-Eye de dos cámaras infrarrojas, el precio de adquisición fue de US \$ 588,683.00 dólares americanos a través de la LP-0027-99.

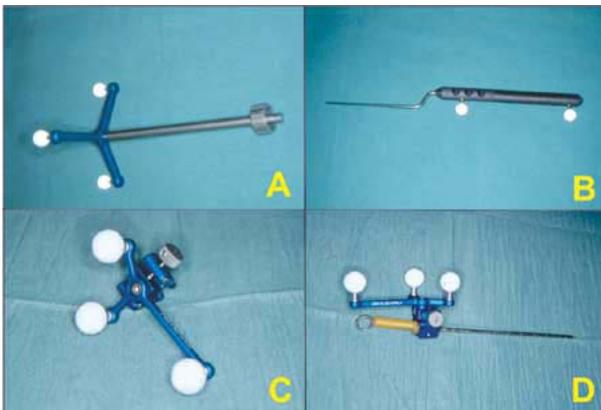
Desde entonces, el equipo ha sido utilizado por el servicio de Neurocirugía del referido Hospital; sin embargo, el equipo ha presentado recientemente una falla a nivel de Hardware (Disco duro), provocando que desde finales del año 2006 el equipo no sea efectivamente usado. A la fecha se está efectuando la evaluación de actualización del sistema.



Reflectores infrarrojos colocados en la Cabeza del paciente



Cráneo y reflectores en una imagen de Resonancia Magnética



Referencias y Marcadores (Nótese las esferas reflectoras)

Se invita a las personas interesadas en difundir artículos tecnológicos, tenga a bien remitirlo a la siguiente dirección electrónica:
luroca@essalud.aob.pe

Boletín Tecnológico Neuronavegador

Boletín N° 23

Edición :

Sub Gerencia de Evaluación Tecnológica
Gerencia de Planeamiento y Evaluación de Inversiones
Oficina Central de Planificación y Desarrollo

Comité Editorial:

- Dra. Elizabeth Zevallos Sánchez
- Ing. Jorge Documet Celis
- Ing. Luis Roca Maza
- Ing. Edgar Vilca Gray

Teléfono : 265-6000 / Anexo 2405

Email: luroca@essalud.gob.pe