

# SEMINARIO DE INGENIERIA BIOMEDICA 2012

## Sistemas de ayuda gráfica pre-operatoria para cirugía hepática

Andrés González Rincón

Derivado de la conferencia de:

Dra. Karina Rando: "Sustitución de la función hepática"

**Abstract.** *La importancia de los trasplantes de hígado a partir de donantes vivos ha crecido, fundamentalmente a la partir de la escasez de donantes fallecidos. En los trasplantes con donantes vivos se le extrae a un donante sano una parte del hígado y se trasplanta a un paciente que presenta severas disfunciones hepáticas. Para estos casos, la determinación de los planos de segmentación y el cálculo del volumen a ser extraído se transforman en aspectos relevantes. Se han desarrollado varias aplicaciones para ayudar a los cirujanos en la etapa preoperatoria, a estimar estos valores y a hacer una correcta planificación.*

### I. Introducción

El trasplante a partir de donantes vivos se ha vuelto una alternativa para trasplantes de hígado, debido a la escasez de donantes fallecidos. Dado que el sistema vascular hepático, formado por la vena hepática y la vena porta, es muy complejo, tener una visualización de este sistema antes de la cirugía ayuda a minimizar los riesgos quirúrgicos. Al paciente donante se le extrae una porción del hígado y por esta razón, es de suma importancia conocer el plano de segmentación del hígado y los volúmenes extraído y remanente. Se han desarrollado técnicas y software especializados para ayudar a los cirujanos en la planificación preoperatoria de este tipo de intervenciones.

### II. Computer Assisted Surgery (CAS)

#### A. Generalidades

La cirugía asistida por computadora es un conjunto de técnicas y métodos que utilizan una computadora para ayudar en la planificación pre-quirúrgica y para guiar y realizar intervenciones quirúrgicas. También se han utilizado estas técnicas para el desarrollo de la cirugía robótica.

El aspecto más relevante en la utilización de CAS es la creación de un modelo exacto del paciente. Para esto se toman varias imágenes médicas que pueden ser CT, MR, rayos X, ecografías, etc. Estas imágenes se cargan en una computadora y se procesan con el objetivo final de obtener un

conjunto de imágenes 3D que representan la ubicación exacta de los tejidos patológicos y estructuras de una región.

A partir del análisis de imágenes del modelo 3D se puede extraer información relevante. Usando los diferentes niveles de contraste de los diferentes tejidos en la imagen, se puede mostrar estructuras duras como hueso o el flujo en venas y arterias a través de un órgano.

Usando algún software especializado, como por ejemplo OsiriX, la información recolectada puede ser mostrada como un modelo virtual 3D del paciente. Este modelo puede ser manipulado fácilmente por un cirujano para tener vistas desde cualquier ángulo y cualquier profundidad del volumen. El cirujano podrá estudiar mejor el caso y hacer un diagnóstico más ajustado. Además, la intervención quirúrgica podrá ser planificada y simulada en forma virtual, antes de que se lleve a cabo.

Mediante software dedicado, se puede programar un robot para que lleve a cabo las acciones predefinidas. La CAS es el comienzo de una revolución en la cirugía. Hace una gran diferencia en el campo de la cirugía de alta precisión y en procedimientos estándar.

OsiriX es una aplicación para el manejo de imágenes tomadas por equipos médicos, que cumple con el estándar DICOM. Puede leer varios formatos de archivo TIFF, JPEG, PDF, AVI, MPEG y Quicktime. Puede recibir imágenes transferidas por el protocolo de comunicación

DICOM desde cualquier PACS (Picture Archiving and Communication System) o modalidad de manejo de imágenes médicas (STORE SCP – Service Class Provider, STORE SCU – Service Class User, y Query/Retrieve).

#### B. Técnicas y metodología

La importancia de los trasplantes de hígado a partir de donantes vivos (Living-related Liver Transplantation) ha crecido, debido fundamentalmente a la escasez de donantes fallecidos. En los trasplantes con donantes vivos se le extrae a un donante sano una parte del hígado y se trasplanta a un paciente que presenta severas disfunciones hepáticas. Para estos casos, el cálculo del volumen a ser extraído se transforma en un aspecto relevante. También para una completa planificación pre-operatoria, son de suma importancia la ubicación exacta de la enfermedad en el hígado (p.ej. tumores), de las zonas a ser extraídas o conservadas y de los volúmenes de tumores y de las zonas residuales.

La segmentación del hígado es el primer paso en la construcción de un diagnóstico CAS y de los sistemas de planificación quirúrgica. Generalmente se utiliza la interpretación visual de imágenes de CT, aunque este método no es perfecto ya que sus resultados pueden ser variables e inexactos, dependiendo del técnico que lo realice. Otra de sus fallas es el consumo de tiempo, que puede llegar a ser muy alto en algunos casos. Por esto, últimamente se ha comenzado a utilizar la segmentación automática.

La planificación pre-operativa de las resecciones del hígado se basa en el conocimiento del modelo esquemático de la anatomía vascular del hígado y en imágenes 2D y 3D obtenidas a partir de CT o MR. Los últimos desarrollos de CAS basado en imágenes han permitido mejorar la visualización de la distribución de las ramas vasculares intra-hepáticas, de las zonas que cubren y calcular sus volúmenes. También posibilitan la realización de cirugías virtuales respetando la anatomía del paciente. Hay varios grupos de técnicas de segmentación y a partir de ellos se han desarrollado varias herramientas.

Estas técnicas son:

- Umbral (thresholding): la pertenencia de un objeto está basada en un umbral simple de densidades o un rango de densidades
- Orientado a bordes (edge-oriented): basado en la identificación de los límites de los objetos

- Crecimiento de regiones (region growing): comienza con pequeñas regiones altamente homogéneas (semillas) y agrega regiones vecinas de acuerdo con algún criterio de homogeneidad
- Línea divisoria (watershed): separa regiones homogéneas por líneas de gradiente de algunas magnitudes por sobre cierto umbral
- Modelos deformables: Comienza con un contorno inicial, el cual se deforma en forma interactiva e iterativa, para abrazar una región blanco tan ajustadamente como sea posible de acuerdo con algún criterio prefijado
- Enfoque top-down: utiliza conocimiento pre-existente en la forma de bases de datos o atlas de data sets preclasificados que sean similares al data set del blanco
- Enfoque híbrido: superan las deficiencias de los enfoques simples

Se han propuesto varios métodos para el análisis de las imágenes de CT abdominal, pero pueden ser divididos en dos tipos: basados en el modelo o basados en los datos.

- 1) Las técnicas basadas en el modelo usan modelos predefinidos para segmentar un objeto a partir de las imágenes disponibles. Estas técnicas básicamente buscan las imágenes que cumplan con el modelo dado, en términos de características del objeto como p.ej. posición, textura, relación espacial con otros objetos.
- 2) Las técnicas basadas en los datos tratan de emular la capacidad humana para identificar objetos usando similitudes presentes en los datos de las imágenes, detectando y clasificando automáticamente los objetos en imágenes.

#### C. Método de segmentación 3D (basado en los datos)

Consta de cinco etapas principales:

- a) Segmentación de órganos y tejidos musculares
- b) Segmentación del hígado
- c) Segmentación de los vasos del hígado
- d) Clasificación de los vasos segmentados: venas hepática y porta
- e) Determinación de los segmentos de Couinaud

#### *Segmentación de órganos y tejidos musculares*

Los órganos y tejidos musculares son la presencia principal en las imágenes abdominales. Los valores típicamente grises de estos tejidos ocurren alrededor del máximo del histograma de valores de grises para toda la secuencia de una imagen de CT. Los valores límite son estimados por el sistema basado en heurísticas derivadas de la observación de múltiples exámenes. Usando estos valores como punto inicial, un operador puede ajustarlos manualmente hasta obtener resultados consistentes con la percepción visual. Una vez establecidos estos valores, se utiliza la técnica del umbral para seleccionar los vóxeles y mostrar los órganos y músculos.

#### *Segmentación del hígado*

El siguiente paso consiste en la segmentación del hígado. Generalmente, el hígado aparece con intensidades restringidas a un intervalo estrecho en la escala de grises (incluido en la escala de grises del punto anterior). Para obtener los límites de este intervalo se procede de la siguiente manera:

Un operador selecciona una imagen de la CT donde el hígado está presente, y la pasa como parámetro de entrada al algoritmo. Luego se localiza la mayor componente ubicada en la parte superior izquierda de la imagen (lado derecho del cuerpo humano), se identifica y su valor medio en la imagen original es computado.

A partir del histograma de vóxeles asignado en la parte anterior a los órganos y tejidos musculares, se determina un nuevo rango en la escala de grises siguiendo un procedimiento similar al del punto anterior. Una heurística determina los valores umbral que definen el rango de intensidad de los vóxeles del hígado. Estos valores calculados automáticamente pueden ser ajustados en forma manual por un operador para obtener un mejor resultado.

Los valores umbrales obtenidos se aplican a las regiones seleccionadas en el paso anterior para todas las imágenes que componen la secuencia de CT.

#### *Segmentación de los vasos del hígado*

Habiendo segmentado el hígado, se considera solamente la región delimitada por este órgano y se determina un umbral tal que las intensidades superiores identifican sin ambigüedades los vasos del hígado. Un segundo umbral se selecciona de forma tal que las intensidades menores claramente indican el parénquima hepático. Estos dos valores umbral definen tres rangos de intensidad de vóxeles. La construcción del árbol de vasos se

realiza usando la técnica de Crecimiento de regiones, y se hace en forma iterativa hasta que el árbol deja de crecer.

En esta etapa es crucial la definición de los umbrales. Nuevamente, se utiliza una solución semiautomática que permite la intervención de un operador para realizar los ajustes necesarios.

#### *Clasificación de los vasos segmentados: venas hepática y porta*

La vena hepática y la vena porta aparecen separadas en la mayoría de los estudios de CT. Sin embargo, algunas veces se tocan en algunos slices y esto puede llevar a identificarlos como el mismo objeto. Si esto sucede, la delimitación de las secciones de Couinaud del próximo paso no tendrá un resultado correcto.

En primer lugar se separan los vasos segmentados previamente en componentes conectados. Como resultado de este proceso, se obtienen segmentos de vasos cuyos extremos están determinados por bifurcaciones. Luego se clasifican como vena hepática o vena porta usando un algoritmo basado en conocimientos anatómicos.

#### *Determinación de los segmentos de Couinaud*

Este método estima la subdivisión del hígado en los ocho segmentos de Couinaud, adecuando los planos a la vena porta y a cada una de las ramas de la vena hepática. Para separar las tres ramas principales de la vena hepática se utiliza un algoritmo sobre las 3 coordenadas de los vóxeles identificados en el paso anterior como pertenecientes a la vena hepática. Luego un procedimiento de mínimos cuadrados determina los planos que se ajustan mejor a cada rama de las venas hepática y porta. Estos planos dividen al hígado en los segmentos de Couinaud.

### III. Productos

#### A. Pathfinder [9]

Pathfinder Therapeutics, Inc. (PTI) son los desarrolladores de equipos orientados a imágenes que permite a los cirujanos guiar de manera precisa y eficiente las intervenciones de cáncer (generalmente resección y ablación) en órganos de tejido blando. Es la primera compañía en desarrollar y lanzar comercialmente un sistema basado en imágenes para la guía de operaciones de hígado.

Provee a los médicos la tecnología mediante la cual se permite “ver” a través de los órganos como el hígado. Esta forma de visualización permite al médico planificar y ejecutar de manera muy ajustada resecciones abdominales, ablaciones y otros procedimientos más precisos.

Este equipamiento está indicado para procedimientos abiertos de hígado y fue certificado por la FDA en la categoría de “Intraoperative Soft Tissue Tracking”. Cumple además con la norma ISO 13485-2003.

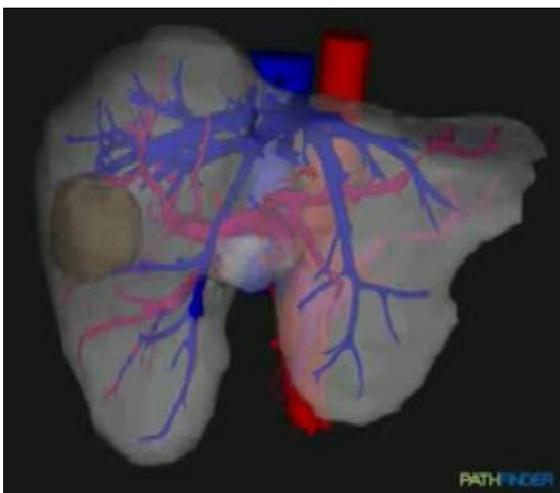


Fig. 1 - Imagen de hígado y sus vasos con Pathfinder

### **Productos:**

Explorer™ Liver es un sistema quirúrgico guiado por imágenes, indicado para cirugías abiertas de hígado donde se puedan tolerar períodos de apnea.

### **Características:**

- Precisión: sistema de rastreo óptico y algoritmos que aseguran la precisión de la posición
- Visualización: display 3D y tomográfico simultáneo
- Diseño: óptimo para su posicionamiento en la sala de operaciones
- Wireless
- Determina el camino óptimo al objetivo seleccionando un punto de entrada y visualizando la trayectoria resultante
- Verifica el ajuste de la trayectoria mediante una actualización en tiempo real del instrumento cortante
- Visualiza el entorno de un tumor para confirmar la extensión de la enfermedad
- Evita los vasos mayores
- Guía el plano de transección en trasplantes con donantes vivos

Scout™ – Liver es un software de planificación terapéutica que proporciona información visual y volumétrica de muy alto detalle que se utiliza para el análisis abdominal. Basado en estudios rutinarios de CT o MR, la visualización 3D del hígado y de las estructuras anatómicas relevantes clarifica el entorno quirúrgico antes de entrar al quirófano. Permite verificar y optimizar el plan terapéutico.

### **Características:**

- Visualizador DICOM
  - Integrado a PACS
  - Comparación de series múltiples
- Visualización 3D de estructuras anatómicas
  - Hígado
  - Vasos (venas porta, venas hepáticas, arterias)
  - Conductos biliares
  - Lesiones
- Planificación 3D interactiva de resecciones
  - Revisión volumétrica
  - Cálculo de márgenes
- Planificación terapéutica de ablaciones
  - Ubicación de punto de entrada y del blanco
  - Visualización de la trayectoria

### **Beneficios**

- La información 3D aumenta la confianza en la sala de operaciones, reduciendo tiempos de las operaciones y aumentando la efectividad del tratamiento
- Uso del código CPT (Current Procedural Terminology)
- Mejora la comunicación médico/paciente a partir de la visualización de imágenes 3D

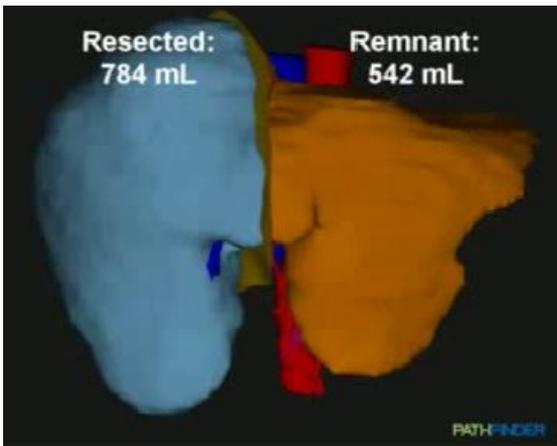


Fig. 2 - Cálculo de volúmenes extraído y remanente con Pathfinder

#### B. Myrian [10]

Myrian es una aplicación desarrollada por la empresa brasileña Inovapar.

Características:

- Segmentación automática del hígado con medidas de volúmenes
  - De tejido hepático
  - Extracción de vasos (arteria hepática, vena porta, vena hepática)
  - Medición automática de volúmenes provista por herramientas inteligentes de edición
- Visualización 3D con diferentes niveles de transparencia para mejorar la comprensión anatómica
- Herramientas de simulación 3D para cirugías hepáticas con múltiples escenarios disponibles
- Cálculo automático de zonas vasculares
- Herramientas quirúrgicas 2D y 3D

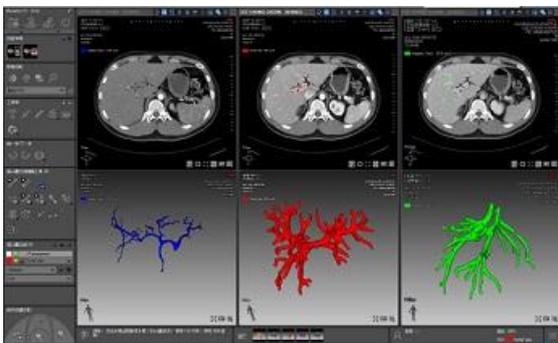


Fig. 3 - Vasos del hígado con Myrian

#### C. HepaVision 2

Hepa Vision 2 es una aplicación amigable con el usuario para planificación pre-operatoria de cirugías hepáticas, basada en imágenes de CT.

Características:

- Desarrollado para la evaluación de posibles donantes en trasplantes con donadores vivos y para la planificación de resecciones oncológicas
- Toma en cuenta la anatomía del paciente para realizar cálculos automáticos de propuestas de resección
- Cálculos de zonas vasculares (venas porta y hepática) y análisis volumétrico
- Visualización en 3D que permite elegir la estrategia óptima para cada paciente
- Análisis de riesgos de cada propuesta presentada
- Bajos tiempos promedio de procesamiento
- Interacción del usuario en todo el proceso
- Compatible con DICOM

#### D. MeVisLab [11]

MeVisLab es una plataforma de desarrollo para el procesamiento y la visualización de imágenes médicas. Posee una biblioteca de procesamiento de imágenes que posibilita:

- Manejo de grandes imágenes de 6 dimensiones (x, y, z, color, tiempo, otra definida por el usuario)
- Posibilidad de desarrollar nuevos algoritmos para cambiar o mejorar los existentes a través de una interface C++.
- Ofrece formas fáciles de combinar algoritmos para trabajar en forma de pipeline.
- Compatibilidad DICOM para la integración rápida y fácil en entornos clínicos.
- Buena performance debido al procesamiento de imágenes bajo demanda

Además de los algoritmos de procesamiento de imágenes en general y de visualización, incluye módulos para segmentación, registro y análisis volumétrico y cuantitativo a nivel morfológico y funcional.

La implementación de MeVisLab utiliza varias bibliotecas y tecnologías bien conocidas de terceras partes, como p.ej. el framework Qt, el toolkit para visualización e interacción Open Inventor, el lenguaje Python y el estándar gráfico OpenGL.

En MeVislab el desarrollo puede hacerse en tres niveles:

- Nivel visual: Programando con “plug and play”: Utilizando un entorno de programación gráfica se pueden combinar el procesamiento de imágenes individuales y su visualización, para generar imágenes más complejas
- Nivel de scripts: Utilizando Python o JavaScript se pueden agregar funcionalidades en forma dinámica, a través de macros y aplicaciones
- Nivel C++: Programación de módulos: Se pueden integrar nuevos módulos utilizando las bibliotecas de C++.

- Campos de parámetros – conectados por conectores de fields
  - Números, strings, booleanos
  - Vectores
  - Triggers

Los cambios en los campos disparan eventos manejados por field listeners. Los conectores de fields son una forma especial de field listeners.

Las redes (networks) son conexiones entre módulos mediante las cuales se puede implementar el procesamiento de tareas complejas, a partir de un conjunto de módulos.

Para el desarrollo de interfaces gráficas MeVislab define el MDL (MeVisLab Definition Language) que oculta la complejidad de los módulos subyacentes. El MDL es un lenguaje de configuración y de layout, no un lenguaje de programación verdadero.

#### IV. Conclusiones

Por lo visto anteriormente, existen en el mercado varias propuestas comerciales que apuntan a resolver la planificación pre-operatoria de las cirugías hepáticas. Las reseñadas, así como otras no incluidas en este trabajo, tienen varias similitudes y también, algunas diferencias. Entre las similitudes encontramos: visualización 2D y 3D, compatibilidad con DICOM, varias certificaciones de calidad, capacidad para realizar de forma automática la segmentación tanto del hígado como de sus vasos principales, cálculo de volúmenes, planificación pre-quirúrgica, soporte y entrenamiento de usuarios, constante evolución y actualización del producto final. Entre las diferencias, el producto que se destaca es el desarrollado por la empresa alemana MeVisLab. Las razones de la preferencia para este framework son: la utilización de software libre (también utilizado ampliamente en Myrian), su sistema de múltiples licencias y la posibilidad de extensión de sus capacidades. Los dos primeros puntos están íntimamente relacionados y posibilitan que el producto se ofrezca con dos licencias: *full MeVisLab SDK* y *restricted MeVisLab SDK Unregistered*. La licencia restringida se ofrece para uso académico o no comercial, pero brinda todas sus funcionalidades con algunas limitaciones en la cantidad de módulos que pueden utilizarse. En cuanto a extender el producto, la utilización de módulos posibilita que los usuarios puedan agregar fácilmente, nuevas funcionalidades diseñadas a su medida. Este hecho se refuerza, dado que se le ofrece al usuario varias maneras de extender el producto, como ya se mencionó (vía programación tradicional o gráfica, para agregar módulos nuevos,

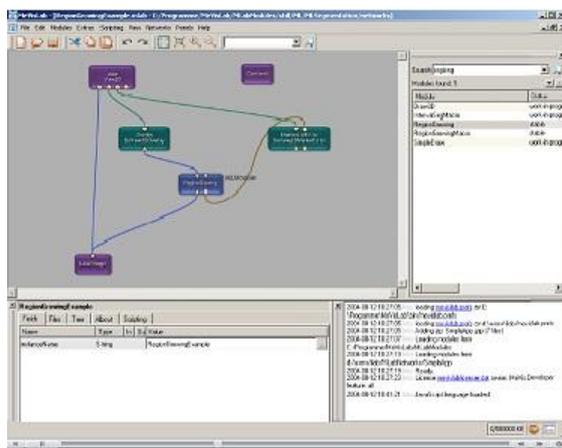


Fig. 4 – Módulos y redes de MeVisLab

En MeVisLab las entidades básicas con las que se trabaja son representaciones gráficas de módulos con funciones específicas para el procesamiento de imágenes, visualización e interacción. Existen 3 módulos básicos, ML, Inventor y macro, y se distinguen por su color.

Para conectar estos módulos se utilizan 2 tipos de conectores: conectores de datos y conectores de parámetros (o de campos), y también tienen una representación gráfica diferencial.

Los campos (fields) definen la interface de un módulo, y pueden ser de 2 tipos:

- In/out – conectados por conectores de datos
  - Imágenes
  - Nodos
  - Objetos

o mediante el uso de scripts). Finalmente, está el hecho de que el paquete completo de MeVisLab puede descargarse directamente de su página web (el tamaño de la última versión estable es de 713 MB). Para acceder a las otras soluciones, se exige el envío de un correo electrónico indicando interés por alguna de las propuestas que ofrecen las empresas.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Radtke, G. C. Sotiropoulos, S. Nadalin, E. P. Molmenti, T. Schroeder, F. H. Saner, G. Sgourakis, V. R. Cicinnati, C. Valentin-Gamazo, C. E. Broelsch, M. Malagó, H. Lang. Preoperative volume prediction in adult live donor liver transplantation: 3-D CT volumetry approach to prevent miscalculations. *European Journal of Medical Research* (2008) pp. 319-326
- [2] Reitinger, B. Liver Surgery Planning Using Virtual Reality *Computer Graphics and Applications, IEEE* Volume: 26, Issue: 6 (Nov.-Dec. 2006) pp. 36-47
- [3] Selle, D, Schenk, A.. Analysis of vasculature for liver surgical planning. *Medical Imaging, IEEE Transactions on*. Volume: 21, Issue: 11. (Nov. 2002) pp. 1344-1357
- [4] Christian Hansen, Alexander Köhn, Stefan Schlichting, Florian Weiler, Stephan Zidowitz, Markus Kleemann and Heinz-Otto Peitgen. Intraoperative modification of resection plans for liver surgery. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* Volume 3, Numbers 3-4 (2008), 291-297.
- [5] Christian Hansen, Jan Wieferrich, Felix Ritter, Christian Rieder and Heinz-Otto Peitgen. Illustrative visualization of 3D planning models for augmented reality in liver surgery. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. Volume 5, Number 2(2010), 133-141
- [6] Christoph Wald and Holger Bourquain. Role of new three-dimensional image analysis techniques in planning of live donor liver transplantation, liver resection, and intervention. *Journal of Gastrointestinal Surgery*. Volume 10, Number 2(2006), 161-165.
- [7] Bernd B. Frericks, Franco C. Caldarone, Björn Nashan, Dagmar Högemann Savellano, Georg Stamm, Tim D. Kirchhoff, Hoen-Oh Shin, Andrea Schenk, Dirk Selle and Wolf Spindler, et al. 3D CT modeling of hepatic vessel architecture and volume calculation in living donated liver transplantation. *European Radiology*. Volume 14, Number 2(2004) 326-333.
- [8] Schenk, A., Bourquain, H., Zidowitz, S., Hindennach, M., Konrad, O., Peitgen, H.-O. Software-supported planning of liver interventions - experience of more than 10 years. Hochberger, C.: *Informatik 2006. Informatik für Menschen*. Bd.1: Beiträge der 36. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI); 2. bis 6. Oktober 2006 in Dresden. Bonn: GI, 2006. (GI-Edition - Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings 93), pp. 529-535
- [9] <http://www.pathsurg.com/>
- [10] <http://www.inovapar.com.br/>
- [11] <http://www.mevislab.de/home/about-mevislab/>