

# Bildbasierte OP-Planung und Navigationsunterstützung in der Leberchirurgie

*Geisler<sup>1</sup>, Benjamin; Bourquain<sup>1</sup>, Holger; Hansen<sup>1</sup>, Christian; Marker<sup>2</sup>, Mathias; Nowatschin<sup>2</sup>, Stephan; Weber<sup>2</sup>, Stefan; Lüth<sup>2</sup>, Tim C.; Oldhafer<sup>3</sup>, Karl, J.; Stavrou<sup>3</sup>, Gregor; Peitgen<sup>1</sup>, Heinz-Otto*

<sup>1</sup>MeVis Research GmbH, Bremen, Deutschland

<sup>2</sup>Technische Universität München, Lehrstuhl Mikrotechnik und Medizingerätetechnik, München, Deutschland

<sup>3</sup>Allgemeines Krankenhaus Celle, Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Celle, Deutschland

## 1. Einleitung und Motivation

Zur Vorbereitung onkologischer Resektionen in der Leber sind für den behandelnden Chirurgen die exakte Kenntnis von Lage, Größe und Morphologie der Läsionen, Informationen über deren Lagebeziehung zu Lebergefäßen und Gallengängen, sowie die Abwägung möglicher Operationsstrategien unter Einhaltung des notwendigen Sicherheitsabstandes von herausragender Bedeutung.

Bei besonders komplexen Eingriffen ist darüber hinaus die Übertragung bildgestützter Planungsdaten in den operativen bzw. interventionellen Situs - mit dem Ziel einer Unterstützung des Chirurgen während des therapeutischen Eingriffs - wünschenswert. Dies gilt insbesondere für die Resektion kleinerer bzw. tief im Leberparenchym gelegener Läsionen. Eine umfassende Navigationsunterstützung muss den logischen Bogen spannen von der präoperativen Bildakquisition, über die Rechner-gestützte Operationsplanung und Risikoabschätzung, den Transfer der Planungsdaten in den Operationssaal, die Registrierung der Planungsdaten mit den intraoperativen Ultraschalldaten bis hin zur intraoperativen Visualisierung der OP-Strategie und der Navigation des chirurgischen Instrumentariums.

Die technische Umsetzung und die Vorteile einer intraoperativen Navigation werden am Fallbeispiel eines Patienten mit zwei Lebermetastasen (bei Kolon-Karzinom) erläutert. Nach neoadjuvanter Chemotherapie konnte für die Metastasen in der CT-Verlaufskontrolle eine signifikante Größenreduktion nachgewiesen werden; eine der beiden Läsionen war in der Verlaufsbildgebung sogar gänzlich nicht mehr nachweisbar. Metastatischen Läsionen können unter einer hocheffektiven Chemotherapie deutlich schrumpfen; letztlich bleiben sie aber als maligner Fokus mit hohem Rezidivrisiko bestehen. Deshalb wurde für die in der Verlaufskontrolle nicht mehr abgrenzbare Läsion, von der zu erwarten war, dass sie für den Chirurgen unter der OP weder sichtbar noch tastbar sein würde, eine Navigationsunterstützung zur gezielten Resektion als sinnvoll erachtet.

## 2. Methoden

### *Präoperative Planung und Risikoanalyse*

Grundlage für die Patienten-individuelle OP-Planung ist die Software MeVis LiverAnalyzer (MeVis Research, Bremen, Deutschland), welche auf die Analyse von bi- bzw. triphasischen CT- und MRT-Daten der Leber spezialisiert ist<sup>1,2</sup>. Mit Hilfe der Software können chirurgische Strategien geplant und evaluiert werden. Die Software wird regelmäßig und mit klinisch nachweisbarem Nutzen in der onkologischen Leberchirurgie sowie im Vorfeld von Leber-Lebendspenden eingesetzt<sup>3</sup>.

Die Bilddaten der Leber werden als dreidimensionale Modelle mit allen wichtigen anatomischen Einzelheiten (Leberoberfläche, arterielle und venöse Gefäße, sowie Gallengänge) und pathologischen Veränderungen dargestellt. Dies erlaubt die Berechnung individueller Gefäßterritorien sowie die Identifikation von abhängigen Gefäßprovinzen, die bei einer Tumor-Resektion - je nach gewähltem Sicherheitsabstand - betroffen sind ("tissue at risk"). Die OP-Planung kann am 3D-Modell vorgenommen und im 2D-Modus beliebig kontrolliert bzw. modifiziert werden. Wichtige Parameter, wie das Tumolvolumen und das nach Resektion verbleibende funktionelle

Lebervolumen, werden routinemäßig bestimmt. Auf diese Weise können die Vor- und Nachteile alternativer Operationsstrategien effektiv gegeneinander abgewogen werden.

#### *Intraoperatives Navigationssystem*

Das verwendete stereotaktische Navigationssystem (TU München, Lehrstuhl Mikrotechnik und Medizingeräte-technik, München, Deutschland) besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten: einem Infrarot-basierten optischen Tracking System (Vicra®, Northern Digital Inc., Kanada), einem Navigations-Computer (PaceBlade) und einer Computermaus mit 6 Freiheitsgraden (Spaceball) zur Kontrolle der Systeminteraktion. Die im stereotaktischen Kontext benutzten Instrumente umfassen eine lineare 2D-Ultraschallsonde (Terason® 8IOL, Tera-tech) sowie einen chirurgischen Ultraschalldissektor (CUSA Excell, Integra Neuroscience), die beide mit einem fest installierten 3D-Referenzsystem versehen sind<sup>4</sup>. Das System erlaubt die Echtzeiterfassung der Lage sowohl der Ultraschallsonde als auch des Ultraschalldissektors im Raum (Aktualisierungsrate 20Hz).

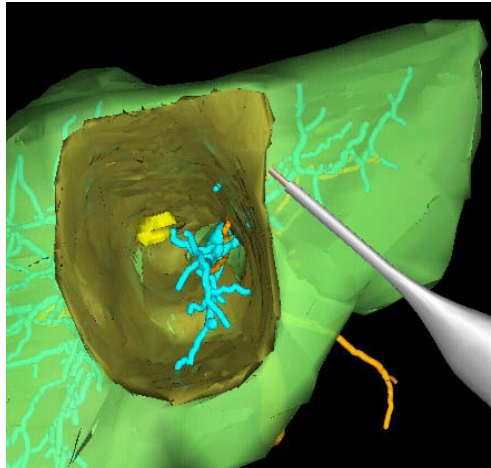
Während der Operation können mit dem System das 3D-Planungsmodell und das aktuelle intraoperative 2D-Ultraschallbild parallel auf einem Monitor visualisiert werden (vgl. Abbildung 1). Nach einer initialen, anhand anatomischer Landmarken (Leberoberfläche, Gefäßabschnitte) vorgenommenen, Registrierung der präoperativ erhobenen Planungsdaten mit dem intraoperativen Ultraschall, können 2D-Ultraschallsonde und Ultraschalldissektor virtuell auf dem Navigationsdisplay, im räumlichen Kontext des 3D-Planungsmodells, visualisiert und nachverfolgt werden<sup>5, 6</sup>. Die Registrierungsprozedur benötigt i.d.R. weniger als 1min Zeit und kann jederzeit bei Bedarf erneut durchgeführt werden. Durch die simultane Visualisierung von Planungsmodellen und getracktem Ultraschalldissektor kann während des Eingriffes jederzeit überprüft werden, ob Operationsplanung und tatsächlicher Fortschritt der Resektion eine gute Übereinstimmung zeigen. Er wird somit in die Lage versetzt, sein operatives Vorgehen so anzupassen, dass der Resektionsvorschlag unter Einhaltung des vorgegebenen Sicherheitsabstandes bestmöglich umgesetzt wird.



**Abbildung 1:** Navigationssystem mit Infrarot-Stereokamera, Monitor (3D Planungsmodell, intraoperativer Ultraschall) und getrackter 2D-Ultraschallsonde in der Hand des Chirurgen.

### **3. Ergebnisse - Fallbeispiel**

Es wird der Fall eines 64-jährigen Patienten mit im Mai 2007 diagnostiziertem Kolon-Karzinom und Nachweis zweier Lebermetastasen in der initialen CT-Untersuchung beschrieben. Nach R0-Resektion des Primärtumors schloss sich eine neoadjuvante Chemotherapie an. Die im Segment 6 gelegene Metastase wies in der im November 2007 durchgeführten CT-Verlaufsuntersuchung eine deutliche Größenreduktion auf; die im Segment 4 gelegene Metastase war zu diesem Zeitpunkt bildgebend nicht mehr nachweisbar. Die CT-Datensätze sowohl der initialen als auch der Verlaufsuntersuchung wurden mit der Software MeVis LiverAnalyzer aufbereitet. Um die Lage der Metastase im Segment 4 intraoperativ visualisieren zu können, wurde sie in der initialen Untersuchung (Mai 2007) segmentiert und das Segmentierungsergebnis nachfolgend auf die 3D-Aufbereitung der Verlaufsuntersuchung (November 2007; siehe Abbildung 2) registriert.



**Abbildung 2:** Die präoperative Planung visualisiert Leber und Gefäßstrukturen in 3D (aus CT-Verlaufsuntersuchung), die Lage der Metastase in Segment 4 (gelb; aus initialer CT-Untersuchung) sowie den ausgewählten Resektionsvorschlag. Die aktuelle Position des Ultraschalldissektors wird kontinuierlich im Planungsmodell dargestellt.

Die Operation wurde im Allgemeinen Krankenhaus Celle (Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Celle, Deutschland) durchgeführt. Am Operationstermin wurden die Planungsdaten vor Beginn der OP in das Navigationssystem überspielt. Wie zu erwarten war intraoperativ die Metastase in Segment 4 weder sichtbar noch tastbar; zudem war sie im Ultraschall nicht abgrenzbar. Die notwendige Registrierung der Planungsdaten mit dem intraoperativen Ultraschall konnte mit geringem Zeitaufwand durchgeführt werden; als anatomische Landmarke diente vornehmlich der umbilikale Anteil der linken Pfortader. Danach war es möglich, Ultraschalldissektor (vergleiche Abbildung 2) und 2D-Ultraschallsonde OP-begleitend mit guter Genauigkeit auf dem Navigationsmonitor nach zu verfolgen. Nach Markierung des geplanten Resektionsareals mit dem Ultraschalldissektor auf der Leberoberfläche erfolgte eine kontrollierte Resektion nach Vorgabe der mit der Software MeVis LiverAnalyzer erstellten Planung. Mehrfach wurde die Registrierung überprüft; die Notwendigkeit einer Nachregistrierung ergab sich nicht.

Die Resektion der Metastase in Segment 4 konnte komplikationslos durchgeführt werden. Im Präparat zeigte sich, dass die Läsion vollständig und unter Einhaltung des vorgegebenen Sicherheitsrandes entfernt worden war. Die zweite Läsion im Segment 6 war intraoperativ sichtbar (Kapsel-nah gelegen) und wurde konventionell reseziert. Die spätere histologische Aufarbeitung ergab eine R0-Resektion beider Metastasen. Der weitere klinische Verlauf war unkompliziert, der Patient konnte am 7. postoperativen Tag in gutem Allgemeinzustand entlassen werden.

#### 4. Diskussion

Die beschriebene stereotaktische Navigation kann somit, in Kombination mit einer Bild-basierten virtuellen OP-Planung, das Problem des Chirurgen bzgl. nicht sichtbarer bzw. tastbarer Leberläsionen, wie sie z.B. nach gutem Ansprechen auf eine Chemotherapie vorliegen können, lösen. Dieses sog. *Downsizing* von Metastasen vor dem chirurgischen Eingriff wird häufig und mit großem Erfolg eingesetzt<sup>7</sup>. Somit ist der geschilderte Fall ein gutes Beispiel dafür, wie eine nicht selten auftretende chirurgische Herausforderung mit Hilfe von Computer- und Navigationsunterstützung gemeistert werden kann.

Jedoch bestehen auch Einschränkungen bzw. Limitationen, die es zukünftig zu adressieren gilt: Ein Problem besteht darin, dass die initiale Registrierung sicherlich nicht in allen Fällen dauerhaft gültig bleibt. Gerade bei Läsionen, die weit lateral im linken oder rechten Leberlappen gelegen sind, ist zu erwarten, dass aufgrund der Verschiebung des Leberparenchyms während der Operation mehrfach - und unter Zeitdruck - nachregistriert werden muss. Die weitere Forschung zielt deshalb insbesondere darauf ab, eine schnelle und verbesserte Nachregistrierung von Läsion bzw. Operationssitus zu ermöglichen; dies könnte z.B. durch ein semi-automatisches Matching von intraoperativ gewonnenen 3D-Ultraschall Gefäßbildern mit den entsprechenden dreidimensionalen Gefäßabschnitten der Planungsdaten erfolgen. Zuletzt sollte nicht unerwähnt bleiben, dass es Lokalisationen in der Leber gibt, die sich einer navigierten Operation per se verschließen (z.B. dorsal in den Segmenten 6 und 7).

Wir sind jedoch zuversichtlich, dass es gelingen wird, die stereotaktische Navigationsunterstützung, in Kombination mit einer Rechner-gestützten OP-Planung, im Bereich komplexer chirurgischer Eingriffen an der Leber zu etablieren. Um dieses Ziel zu erreichen gilt es, eine weitere Optimierung des Navigationssystems in bezug auf seinen Funktions- und Bedienumfang sowie die Visualisierungsmöglichkeiten vorzunehmen. Zum augenblicklichen Zeitpunkt werden kontinuierlich Patienten auf die geschilderte Weise navigiert chirurgisch behandelt, um weitere Erfahrungen mit der Methode zu sammeln.

## 5. Literatur

1. Schenk A., Zidowitz S., Bourquain H., Hindennach M., Hansen C., Hahn H., Peitgen H.-O., "Clinical relevance of model based computer-assisted diagnosis and therapy". Proceedings of SPIE Medical Imaging, 2008. In press.
2. Bourquain, H., Schenk, A., Link, F., Preim, B., and Prause, G., "Hepavision2: A software assistant for preoperative planning in living-related liver transplantation and oncologic liver surgery". Computer Assisted Radiology and Surgery, 2002.
3. Lang, H., Radtke, A., Hindennach, M., et al., "Impact of virtual tumor resection and computer-assisted risk analysis on operation planning and intraoperative strategy in major hepatic resection". Arch Surg, 2005. 140(7): p. 629-38.
4. Markert, M., Weber, S., and Lueth, T.C., "Manual registration of ultrasound with CT/planning data for hepatic surgery". Stud Health Technol Inform, 2007. 125: p. 319-21.
5. Nowatschin, S., Markert, M., Weber, S., and Lueth, T.C., "A system for analyzing intraoperative B-Mode ultrasound scans of the liver". Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2007. 2007: p. 1346-9.
6. Weber, S., Markert, M., Nowatschin, S., and Lueth, T.C., "Concepts for application of a navigated ultrasound aspirator (CUSA) in soft tissue surgery". Int J CARS, 2007. 2(1): p. 171-73.
7. Bismuth, H., Adam, R., Levi, F., et al., "Resection of nonresectable liver metastases from colorectal cancer after neoadjuvant chemotherapy". Ann Surg, 1996. 224(4): p. 509-20; discussion 520-2.