Ein radiologisches Softwaremodul für die computergestützte Operationsplanung in der onkologischen Leberchirurgie

G. Glombitza[1], C. E. Cardenas S. [1], M. Thorn[1], V. Heid[1],
M. Vetter[1], P. Hassenpflug[1], W. Lamadé[2], H.P. Meinzer[1]

[1]Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg
Institut für Med. und Biol. Informatik (H0100)
Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg
[2] Chirurgische Universitätsklinik Heidelberg, Abt. Allgemeine Chirurgie
Email: g.glombitza@dkfz-heidelberg.de

Zusammenfassung. Gerade in der Leberchirurgie ist die computergestützte Planung chirurgischer Eingriffe von großer praktischer Bedeutung. Die hohe Rate anatomischer Abweichungen macht hier die genaue Auswertung der präoperativ gewonnenen Bilddaten zur Grundlage jeder Lebertumorresektion. Da die makroskopische Anatomie der Leber im Wesentlichen durch die Struktur der intrahepatischen Gefäßbäume definiert wird, bildet die dreidimensionale Analyse der kontrastmittelverstärkten Darstellungen den zentralen Baustein einer Operationsplanungssoftware in der Leberchirurgie. Im Folgenden werden wir die verschiedenen Arbeitsschritte beschreiben, die im Rahmen einer solchen Operationsplanung durchlaufen werden müssen. Die Implementierung der Software wurde als PlugIn der radiologischen Workstation CHILI vorgenommen.

Schlüsselwörter: Computer Assisted Surgery, Leberchirurgie, Computertomographie, Gefäßerkennung, Visualisierung

1 Einleitung

Die Ziele einer Planungssoftware in der Leberchirurgie müssen die Objektivierung der Patientenselektion und die möglichst exakte Vorbereitung des chirurgischen Eingriffs sein [1, 2]. Der erste Punkt beinhaltet eine quantitative Voraussage der postoperativen Leberfunktionsleistung. Dies ist erst möglich, nachdem ein individueller Resektionsplan erstellt wurde, um abschätzen zu können, welche Areale der Leber entfernt werden müssen und wie groß das Volumen der verbleibenden Leber nach der Operation sein wird. Insofern hängt auch die Patientenselektion von einer individuellen Operationsplanung ab.

Diese Planung muss sich auf die individuelle Anatomie stützen, die durch die Struktur der intrahepatischen Gefäßbäume definiert wird. Die Leber wird über die Verzweigungsstruktur ihrer Gefäße in acht Segmente aufgeteilt. Neben der Lage des Tumors und der relativen Lage der Gefäße zum Tumor und seinem Sicherheitsabstand ist die Lage der Grenzflächen zwischen diesen Segmenten die für die Chirurgie wesentliche Information. Eine Näherung bei der Einteilung der Leber in ihre Segmente

ist die Analyse des Pfortadersystems, also des zuführenden venösen Gefäßbaumes. Mit Hilfe seiner Struktur lassen sich Versorgungsgebiete der verschiedenen Gefäßäste berechnen und die bei einer Resektion des Sicherheitsabstandes verletzten Gefäßteile mitsamt den von ihnen abhängigen Gewebevolumen bestimmen.

Den Abschluss einer Operationsplanung bildet die Visualisierung aller anatomischen Zusammenhänge und der vorgeschlagenen Resektionsflächen in Kombination mit den Ergebnissen einer quantitativen Auswertung der Volumen von Tumor, dem gesunden, aber zu entfernenden Lebergewebe und dem verbleibenden Lebergewebe.

Um eine solche Planungssoftware in die klinische Routine zu integrieren, müssen alle notwendigen Arbeitsschritte in eine Umgebung eingebettet sein, in der der Empfang der Bilddaten und der Versand der Ergebnisse und der Resektionsplanung möglich ist. Die Arbeitsschritte bestehen aus

- der Segmentierung der Leber und der erkrankten Areale
- der Segmentierung der Gefäßbäume
- einer Bearbeitung der Gefäßbäume im Sinn einer Extraktion des portalen Gefäßsystems
- der Bestimmung eines darauf aufgebauten Resektionsvorschlages
- der Visualisierung der Ergebnisse.

2 Implementierung der Planungssoftware

Die Software wurde als PlugIn des radiologischen Viewing-Systems CHILI implementiert. Dieses bietet über eine sogenannte PlugIn-Schnittstelle die Möglichkeit, eigene Applikationen in die CHILI-Umgebung zu integrieren. Innerhalb dieser Umgebung ist bereits für die Möglichkeit der Kommunikation mit den bildgebenden Modalitäten, die Benutzung einer bereits bestehenden Patientendatenbank, die Verschlüsselung von versendeten und gespeicherten Daten und die zweidimensionale Darstellung der Bilddaten gesorgt. Ein neues Plugin hat den gesamten Arbeitsbereich innerhalb der Anwendung zur Verfügung.

Innerhalb des vorgestellten PlugIns wird dieser Arbeitsbereich entsprechend der oben aufgezählten Arbeitsschritte mehrfach verwendet. Diese können über logisch verknüpfte Auswahlbuttons angewählt werden. Die logische Verknüpfung sorgt dafür, dass die Arbeitsschritte entsprechend der logischen Abfolge abgearbeitet werden und nicht ein Arbeitsbereich ausgewählt wird, für dessen Bearbeitung noch nicht alle notwendigen Informationen verfügbar sind.

2.1 Zweidimensionale Segmentierung

Der erste Arbeitsschritt besteht aus der Bildsegmentierung mit dem Ziel, die Leber als Ganzes und die erkrankten Lebergewebeareale zu markieren. Hier wurden bereits verschiedene Ansätze unternommen, diesen Arbeitsschritt zu automatisieren, die allerdings noch nicht die für die klinische Routine gewünschte Stabilität aufweisen. Deshalb wird hier noch auf eine interaktive, zweidimensionale Technik auf der Grundlage eines bereits vorhandenen Segmentierungsprogramms zurückgegriffen [3]. Parallel dazu wird an Programmen gearbeitet, die als Hintergrundprozesse einfache

Segmentierungsarbeiten automatisch erledigen, sobald ein neuer Datensatz in die Datenbank aufgenommen wurde. Diese sollen dann die spätere interaktive Segmentierung unterstützen.

2.2 Gefäßsegmentierung

Die Segmentierung der Gefäße wird mit Hilfe eines Verfahrens durchgeführt, das auf der Grundlage des Region-Growing-Verfahrens während der Segmentierung parallel die Struktur des Gefäßbaumes erfasst [4, 5]. Dazu muss zu Beginn der Grauwertbereich der Gefäße ausgewählt werden. Dies geschieht interaktiv an einer zweidimensionalen Darstellung der Originalgrauwerte, deren Level/Window-Einstellung solange verändert wird, bis nur noch die Gefäße dargestellt sind. Als Startpunkt für diesen Prozess wird der Pfortaderstamm ausgewählt. Der Algorithmus durchwandert daraufhin den gesamten Datensatz und sucht nach zusammenhängenden Gefäßstrukturen. Da das Auftreten des Kontrastmittelpeaks in der Pfortader von mehreren individuellen physiologischen Parametern abhängt, ist eine alleinige Darstellung der Pfortader sehr schwierig. Die Kontrastierung der Gefäße tritt darum in manchen Fällen, wenn auch nur teilweise, auch in den abführenden Lebervenen auf. Deshalb muss im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass eine weitere Bearbeitung der Gefäßbäume notwendig ist, um zu einer symbolischen Darstellung des Pfortaderbaumes zu kommen.

2.3 Bearbeitung der Gefäßbäume

Die Berechnung der Leberareale, die auf Grund der gewählten Resektionsstrategie mitentfernt werden müssen, geschieht auf der Grundlage der Struktur des Pfortaderbaumes. Die bei dem letzten Arbeitsschritt gewonnene Gefäßbaumstruktur muß in diesem Arbeitsschritt so editiert werden, dass alle Teile der Lebervenen entfernt werden. Hier wurden bereits automatische, graphentheoretische Ansätze getestet, deren Voraussetzungen allerdings nicht allgemeingültig waren, so dass momentan eine interaktive Variante eingesetzt wird [Göpfert98].

Dies geschieht in einer dreidimensionalen Rekonstruktion, in der alle segmentierten Gefäßtrukturen dargestellt werden. Der bei der Gefäßsegmentierung ausgewählte Pfortaderstamm wird farblich markiert. Durch Anklicken einer fälschlicherweise mitsegmentierten Lebervene kann der gesamte Pfad bis zum Pfortaderstamm markiert werden. In einer solchen Darstellung kann die Stelle, an der Segmentierungsalgorithmus in die Lebervenen übergelaufen ist leicht erkannt und entsprechend markiert werden. Dies wird für alle fehlsegmentierten Strukturen durchgeführt, bis am Ende nur noch das Pfortadersystem dargestellt wird.

Die Implementierung dieser Interaktion wurde mit Hilfe von OpenGL durchgeführt, das es auch ermöglicht, jede Kante des Gefäßbaumgraphen einzeln auszuwählen und die entsprechenden Trennoperationen auch auf der symbolischen Beschreibung der Struktur durchzuführen. In Abbildung 1 ist eine solche Bearbeitung dargestellt.

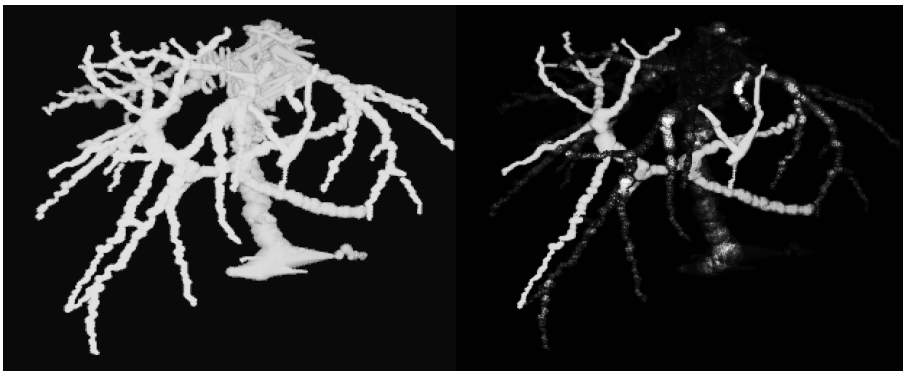

Abb. 1: Bei der Bearbeitung der Gefäßbäume können fälschlicherweise mitsegmentierte Teile der Lebervenen interaktiv entfernt werden, so dass der isolierte Pfortaderbaum für die weiteren Berechnungen zur Verfügung steht.

Die kontrastreiche Darstellung der Gefäße ist nicht bei allen Patienten möglich. Um auch in diesen Fällen eine dreidimensionale Bearbeitung der Daten zu ermöglichen und zu quantitaiven Aussagen zu kommen, wurde ein weiterer Arbeitsbereich implementiert, in dem die klassische Segmenteinteilung nach Couinaud ermöglicht wird [6]. Hierfür müssen die Gefäße nicht bis zur dritten Ordnung dargestellt sein. In einem ersten Schritt werden 10 Landmarks definiert, die die Verzweigungsstruktur der intrahepatischen Gefäße annähern. Davon liegen 3 in der oberen Hohlvene, die als Achse eines Systems aus drei senkrechten Ebene dient. Die Lage dieser 3 Ebenen wird durch 3 Landmarks in den Lebervenen festgelegt. Die so entstehenden 4 Bereiche werden jeweils horizontal geteilt und zwar auf der Höhe der entscheidenden Verzweigungen des Pfortadersystems. Diese 4 Punkte werden ebenfalls markiert.

Das mit Hilfe dieser 10 Landmarks aufgespannte Ebenensystem kann daraufhin noch interaktiv angepasst werden. Die volumetrische Bestimmung aller einzelnen Segmente kann dann bei der Resektionsplanung die Aufteilung des Lebergewebes auf Grund der Gefäßanatomie ersetzen.

2.4 Visualisierung und Resektionsplanung

In der letzten Bearbeitungsstufe werden die errechneten Ergebnisse visualisiert. In einer Ansichtsauswahl kann zwischen verschiedenen Rekonstruktionen gewählt werden. Hierzu gehören einfache Visualisierungen, die die Lage des Tumors in der Leber und relativ zu den Gefäßbäumen zeigen. Genauso kann eine Markierung derjenigen Gefässe, die innerhalb eines gewählten Sicherheitsabstandes liegen, ausgewählt werden. Für die Operationsplanung auf der Basis dieses Systems ist eine Visualisierung gedacht, bei der die Lage der vorgeschlagenen Resektionsschnitte auf der Oberfläche der Leber gezeigt wird.

Die gezeigten quantitativen Auswertungen können ebenso ausgewählt werden. Für die chirurgische Planung sind im Wesentlichen die Volumina des Tumors, der Leber sowie die prozentuale Verkleinerung des gesunden Lebergewebes durch die vorgesehene Resektion wichtig. Ist eine Klassifizierung aller Segmente mit Hilfe des klassi-

schen Segmentmodells durchgeführt worden, können auch die Volumen aller Segmente berechnet werden.

3 Diskussion und Ausblick

Die computergestützte Planung von chirurgischen Eingriffen ist bei Leberresektionen auf Grund der Größe, der starken Durchblutung und der großen anatomischen Varianz des Organs ein wichtiger Schritt in der Phase der Operationsvorbereitung. Mit dem vorgestellten Softwaremodul wird dieser Arbeitsschritt den speziellen Fragestellungen eines solchen Eingriffs angepasst.

Mit dem momentan beginnenden Einsatz in einer klinischen Testphase wird der Einfluss eines solchen Werkzeuges auf den Erfolg des chirurgischen Eingriffs überprüfbar. In der Praxis wird sich zeigen, welche Methoden der Berechnung des Resektionsvorschlages die höchste klinische Relevanz erreichen.

4 Literatur

1. Glombitza G, Lamade W, Demiris AM, Göpfert MR, Mayer A, Bahner ML, Meinzer HP, Richter G, Lehnert Th, Herfarth C.: Virtual planning of liver resections: image processing, visualization and volumetric evaluation. Int. Journal of Medical Informatics 53 (2-3) pp. 225, 1999
2. Fishman EK, Kuszyk BS, Heath DG, Gao L: Surgical Planning for Liver Resections. IEEE Computer Jan 1996, 64-72
3. Demiris AM, Glombitza G, Göpfert MR, Schroeder A, Albers J, Lamade W, Meinzer HP. Ein ergonomisches System für die Volumenmessung in der Herz- und Leberchirurgie. In: Evers H, Glombitza G, Lehmann T, Meinzer HP (Eds). Informatik Aktuell - Bildverarbeitung für die Medizin 1999 - Algorithmen, Systeme, Anwendungen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer (1999) 233-237.
4. Zahlten C, Jürgens H, Peitgen HO: Reconstruction of Branching Blood Vessels from CT-Data. In: Göbel M, Müller H, Urban B (Hrsg.): Visualization in Scientific Computing. Springer Verlag, Wien, S. 41-52, 1995
5. Göpfert M, Glombitza G, Demiris AM, Lamade W, Meinzer HP. Trennung von Gefäßbäumen in medizinischen Schichtbildserien am Beispiel der Leber. In: Lehmann T, Metzler V, Spitzer K, Tolxdorff T (Eds). Informatik Aktuell - Bildverarbeitung für die Medizin 1998 - Algorithmen, Systeme, Anwendungen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer (1998) 264-268.
6. Thorn M, Sonntag S, Glombitza G, Lamadé W, Meinzer HP. Ein interaktives Tool für die Segmenteinteilung der Leber in der chirurgischen Operationsplanung. In: Evers H, Glombitza G, Lehmann T, Meinzer HP (Eds). Informatik Aktuell – Bildverarbeitung für die Medizin 1999 - Algorithmen, Systeme, Anwendungen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer (1999) 155-159.