Integration der Operationsplanung in den OP-Saal für die onkologische Leberchirurgie

Matthias Thorn[1], Lars Fischer[2], Carlos Cardenas[1],
Marcus Vetter[1], Peter Hassenpflug[1], Lars Grenacher[3],
G. M. Richter[3], Wolfram Lamadé[2], Hans-Peter Meinzer[1]

1 Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg
Abteilung Medizinische und Biologische Informatik, 69120 Heidelberg
2 Chirurgische Universitätsklinik
Abteilung für Allgemeine Chirurgie, 69120 Heidelberg
3 Abteilung für Radiologie
Chirurgische Universitätsklinik, 69120 Heidelberg
Email: M.Thorn@DKFZ.de

Zusammenfassung. Im folgenden Beitrag wird ein Softwaresystem vorgestellt, das die Ergebnisse aus der Leberoperationsplanung während des operativen Eingriffs interaktiv dem Chirurgen zur Verfügung stellt. Dazu wurde im Operationssaal ein Touch-Screen Monitor direkt über dem Operationsfeld installiert, so dass der Operateur die Software eigenständig bedienen kann. Die Ergebnisse werden ihm sowohl zweidimensional in die CT-Daten eingeblendet, als auch dreidimensional zugänglich gemacht. Aufgrund der hohen Akzeptanz innerhalb der Klinik wird dieses System in der Funktionalität erweitert, so dass die präoperative Operationsplanung intraoperativ an veränderte Gegebenheiten angepasst werden kann und die Ergebnisse unverzüglich angezeigt werden können.

1 Einleitung

Der verstärkte klinische Einsatz digitaler bildgebender Verfahren wie CT, MR, PET oder digitales Röntgen ermöglicht es hochexakte Diagnosen zu stellen und mit entsprechender Software eine millimetergenaue Operationsplanung durchzuführen [2]. Doch nur in wenigen Fällen gibt es für den Chirurgen die Möglichkeit die Planungsergebnisse adäquat während der Operationsdurchführung zu sichten bzw. diese gegebenenfalls an veränderte intraoperative Bedingungen anzupassen.

Innerhalb unserer Abteilung wurde ein Softwaresystem zur Resektionsplanung für die onkologische Leberchirurgie entwickelt [3, 4]. Dies gibt dem Chirurgen vor der Operation eine Übersicht über die individuelle Gefäßversorgung der Leber des zu behandelnden Patienten, berechnet das zu resektierende Gewebe bei Einhaltung eines vorgegebenen Sicherheitsabstandes und quantifiziert die Volumina des Tumors, des zu entfernenden gesunden Lebergewebes und des verbleibenden Gewebes.

Zur effektiven Durchführung der Planung wurde ein spezieller Workflow entwickelt, dessen Arbeitsschritte kurz skizziert werden sollen:

- Datenversand über die teleradiologische Workstation CHILI
- Segmentierung der Leber und der erkrankten Areale
- Segmentierung der Gefäße
- Bearbeitung der Gefäßbäume (V. Porta und V. Hepatica)
- Berechnung eines Resektionsvorschlages
- Visualisierung der Ergebnisse

Diese Anwendung wird von Chirurgen bedient, die die resultierenden Ergebnisse von Radiologen evaluieren lassen, bevor die Daten für den weiteren Einsatz in den Operationssaal übermittelt werden.

Bisher wurden bei unserem klinischen Partner intraoperativ lediglich die konventionellen biphasischen CT-Aufnahmen wie auch ein intraoperativ durchgeführtes Ultraschall für die Orientierung während der Operationsdurchführung genutzt. Als Erweiterung wurde von uns ein computergestütztes Verfahren etabliert, das die Ergebnisse der Operationsplanung und die CT-Aufnahmen über dem Operationfeld präsentiert. Der Chirurg hat nun die Möglichkeit während der Operation die Ergebnisse aus der präoperativen Planung in direkte Korrelation zum intraoperativen Ultraschall und der „realen“ Leber des Patienten zu bringen.

2 Material und Methoden

2.1 Anforderungen der Chirurgen

Der chirurgische Eingriff an der Leber läuft nach einer klaren Strategie ab, die im folgenden grob umrissen werden soll. Der Anästhesie folgt die Öffnung des Abdomens mit Hilfe einer J-Inzision oder eines Mercedes-Stern-förmigen Zugangs. Daraufhin wird die Leber vollständig mobilisiert, um ein übersichtliches Arbeiten zu gewährleisten. Nach diesem Schritt wird durch den Radiologen eine intraoperative Ultraschall Untersuchung durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung dienen der endgültigen Entscheidung über die Operabilität und die entsprechende Operationsstrategie. Darauffolgend wird der eigentliche leberchirurgische Eingriff durchgeführt und schließlich mit der Schließung des Abdomens abgeschlossen [6].
Wie aus der Abfolge der Arbeitsschritte des chirurgischen Eingriffes gesehen werden kann, findet nur bei der Ultraschallaufnahme ein Austausch zwischen Radiologe und Chirurg statt. Das bedeutet, dass der Chirurg die Erkenntnisse aus dieser Untersuchung und die präoperativen Planungsergebnisse zu diesem Zeitpunkt vergleichen und seine Operationsstrategie den intraoperativen Ergebnissen anpassen muss. Daraus ergeben sich die ersten Anforderungen an ein intraoperatives Computersystem:

- Visualisierung der präoperativen CT-Aufnahmen
- Präsentation der Planungsergebnisse in 2D und 3D

- Interaktionsmöglichkeit mit den 3-D Daten
- Nachbearbeitung der Planungsergebnisse
- Integration der intraoperativen Ultraschallaufnahmen
- Dokumentation der Strategieänderung
- Einfache Handhabbarkeit des Systems

2.2 Präsentation der Visualisierungen

Um sämtliche Daten dem Chirurgen direkt zur Verfügung zu stellen, installierten wir ein Touch-Screen-Display, mit Hilfe dessen der Operateur die Visualisierungen über einen desinfizierbaren Griffel intraoperativ selbst steuern kann (siehe Abb.1 und Abb.2). Dabei ist es ihm möglich zwischen mehreren Sichten auf die Ergebnisdaten zu wählen. Zum einen werden ihm die originalen CT-Aufnahmen angeboten, durch die er im Cine-Mode durchblättern kann. Sämtliche Ergebnisse aus der Operationsplanung, wie z.B. der Sicherheitsabstand um den Tumor, der berechnete Resektionsvorschlag oder die entsprechenden Gefäße wie die Vena Hepatica oder die Vena Porta können als Overlay in die CT-Bilder eingeblendet werden.

Abb. 1 Touch-Screen Monitor in unmittelbarer Nähe zum Operationsfeld

Diese Anwendung stellte sich als zwingende Voraussetzung heraus, da der Chirurg noch jede seiner Entscheidungen anhand der CT-Aufnahmen trifft. Daneben betrachtet er sich dreidimensional die Leber mit ihren versorgenden wie auch drainierenden Gefäßen, wodurch sein räumliches Vorstellungsvermögen unterstützt wird [1]. Sämtliche dreidimensionalen Ansichten können beliebig interaktiv gedreht und gezoomt werden. Neben der reinen Anatomie hat er auch eine dreidimensionale Ansicht des Tumors in Bezug zu den versorgenden Gefäßen, wobei er den vorher definierten Sicherheitsabstand um den Tumor miteinblenden kann. Schließlich ist es auch möglich den vorher berechneten Resektionsvorschlag ebenfalls als dreidimensionale Rekonstruktion anzuzeigen.

2.3 Nachbearbeitung der Planungsergebnisse

Die in [4] vorgestellte Komponente zur Bearbeitung von Gefäßbäumen erlaubt es Teiläste eines Gefäßsystems einem zu resezierenden Bereichs der Leber zuzuordnen bzw. diese Zuordnung aufzuheben. Auf dieser Zuordnung beruht der von unserem Operationsplanungssystem berechnete Resektionsvorschlag. Durch die Integration dieser Komponente in das intraoperative Softwaresystems soll der Chirurg die Möglichkeit haben den Resektionsvorschlag während der Operation an die gegebenen Situation anzupassen und somit seine Operationsstrategie zu verändern. Die daraus resultierenden Ergebnisse können natürlich wieder in den zwei- und dreidimensionalen Visualisierungen betrachtet werden.

2.4 Integration der Ultraschallaufnahmen

Als nächster Schritt ist die Integration der intraoperativ gewonnenen Ultraschall-Aufnahmen in das System geplant. Auf diese Weise können diese Bilder auch nach der radiologischen Untersuchungen wiederholt begutachtet und mit den präoperativen CT- und MR-Aufnahme auf einem Monitor begutachtet werden. Zusätzlich erweitern diese Aufnahmen die Dokumentation des Operationsablaufes [5].

2.5 Sofware-Ergonomie

Gerade innerhalb des Operationssaal muss auf eine selbsterklärende und schlichte Bedieneroberfläche geachtet werden. Zum einen darf beim Anwender nicht von einem geübten Computerbediener ausgegangen werden, zum anderen darf die Software die Konzentration des Chirurgen auf den operativen Eingriff nicht beeinträchtigen. Dies wurde dadurch erreicht, dass die Bedienungselemente zur Ein- und Ausblendung anatomischer Strukturen bei der zweidimensionalen Ansicht identisch mit denen der dreidimensionalen Ansichten sind. Die Bedienung des Gefäßanalyse-Moduls ist bereits vor der Operation gelernt worden und kann somit als bekannt vorausgesetzt werden.

3 Ergebnisse und Ausblick

Aufgrund der hohen Akzeptanz konnte dieses Verfahren mittlerweile bei vier Leberoperationen von verschiedenen Chirurgen eingesetzt werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse bzgl. Softwareergonomie und zusätzlicher gewünschter Feature sind derzeit Kern der weiteren Forschungen. Parallel dazu werden umfangreiche Studien durchgeführt, um die Ergebnisse der Resektionsplanung zu evaluieren und somit die Akzeptanz der Software zu erhöhen. Außerdem wird über eine Erweiterung der intraoperativen Software nachgedacht,

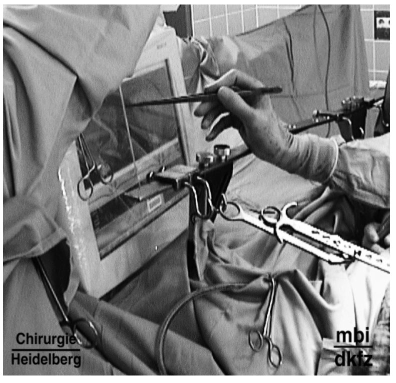

Abb. 2 Intraoperative Anwendung der Software durch den Chirurgen

so dass die vorhergehende Operationsplanung während der Operation angepaßt werden kann, da es sich in den intraoperativen Ultraschalluntersuchungen herausgestellt hat, dass Tumore auf CT-Aufnahmen teilweise unterschätzt oder nicht erkannt wurden. Die führt auch dazu, dass mittlerweile MR-Aufnahmen in die Planung miteinfließen.

Das hier vorgestellte Werkzeug überbrückt die Problematik der Präsentation der Planungsergebnisse im Operationssaal. Die Übertragung der Ergebnisse auf die Operationsdurchführung bleibt in der Kompetenz des Chirurgen.

4 Danksagung

Diese Arbeit wurde durch das Tumorzentrum Heidelberg/Mannheim innerhalb des Forschungsschwerpunktes „Tumorzellheterogenität, Metastasierung und Resistenz" gefördert.

5 Literatur

1. Lamadé W, Glombitza G, Fischer L, Chiu P, Cardenas CE Sr, Thorn M, Meinzer HP, Grenacher L, Bauer H, Lehnert T, Herfarth C. The impact of 3-dimensional reconstructions on operation planning in liver surgery. Arch Surg. 2000 Nov;135(11):1256-61.
2. Fishman EK, Kuszyk BS, Heath DG, Gao L. Surgical Planning for Reesections. IEEE Computer Jan 1996, 64-72.
3. Glombitza G, Lamadé W, Demiris AM, Gopfert MR, Mayer A, Bahner ML, Meinzer HP, Richter G, Lehnert T, Herfarth C. Virtual planning of liver resections: image processing, visualization and volumetric evaluation. J Med Inf. 1999 Feb-Mar;53(2-3):225-37.
4. Glombitza G, Cardenas C, Thorn M, et al. Ein radiologisches Softwaremodul für die computergestützte Operationsplanung in der onkologischen Leberchirurgie. In: Horsch A, Lehmann T (Hrsg.). Informatik Aktuell - Bildverarbeitung für die Medizin 2000 Algorithmen - Systeme - Anwendungen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. S. 244-248, 2000.
5. Fischer P. Datenmodell Prozeßmodell Anforderungskatalog für den Geschäftsbereich OP-Planung und OP-Dokumentation. Thomas Krämer, Mannheim: GeSI, 1999
6. Reck T, Köckerling F, Hohenberger W. Mobilisierung der Leber, Pringle Manöver, totale vaskuläre Isolation, Einsatz von Klammernahtgeräten in der Leberchirurgie. In: Köckerling F, Waclawiczek HW (Hrsg.) Leberchirurgie – Anatomie – Operationstechniken – Komplikationsvermeidung. Heidelberg, Leipzig: Johann Ambrosius Barth Verlag. S.71 – 78, 1999.