Evaluierung von Gefäßanalyse und Volumetrie für die Planung von Leberlebendspenden

Andrea Schenk[1], Holger Bourquain[1], Bernd B. Frericks[2], Franco C. Caldarone[2], Michael Galanski[2], Heinz-Otto Peitgen[1]

[1]MeVis – Centrum für Medizinische Diagnosesysteme und Visualisierung
Universitätsallee 29, 28359 Bremen
[2]Medizinische Hochschule Hannover, Abteilung für Diagnostische Radiologie
Carl-Neuberg-Straße 1, 30625 Hannover
Email: andrea.schenk@mevis.de

Zusammenfassung. Vor einer Leberlebendspende ist eine sorgfältige Untersuchung des potenziellen Spenderorgans, sowie eine detaillierte Planung und Risikoabschätzung des Eingriffes notwendig. In diesem Artikel werden Methoden der Gefäßanalyse und Volumetrie vorgestellt, deren Ergebnisse einen wesentlichen Einfluss auf die Spenderauswahl und Planung der Transplantation haben. Zur Evaluierung der Verfahren wurden an der Medizinischen Hochschule Hannover 29 potenzielle Spender präoperativ untersucht und die Resultate der computergestützten Auswertung mit den intraoperativen Befunden verglichen. Sowohl die Gefäßanatomie als auch die Resektatvolumina zeigten eine sehr gute Übereinstimmung bzw. Korrelation.

1 Einleitung

Die Leberlebendspende (Living Donor Liver Transplantation, LDLT), bei der ein gesunder Spender freiwillig einen Teil seiner Leber als Transplantationsorgan einem nahestehenden Patienten zur Verfügung stellt, wurde 1989 erstmals durchgeführt [1]. Während die Zahl der Leichenspenden rückläufig ist, gibt es bei den Leberlebendspenden einen starken Anstieg [2,3]. Zu den Vorteilen dieser Methode zählen die Reduktion der Wartezeit auf ein Spenderorgan, die meist sehr gute Organqualität und die ausreichende Zeit für die Operationsplanung. Jedoch steht diesen Vorteilen die Gefährdung eines gesunden Spenders gegenüber. Nach weltweit ca. 3000 LDLT wird das Risiko des Spenders, den Eingriff nicht zu überleben, mit 0.2-1% und das Risiko von Komplikationen während oder nach der Operation mit über 10% angegeben [4,5]. Daher ist eine sorgfältige Spenderauswahl und präoperative Planung der LDLT essenziell, um Risiken im Vorfeld möglichst genau abzuschätzen. Neben der Berücksichtigung von Laborwerten lassen sich dazu insbesondere durch eine Bildanalyse radiologischer Daten wichtige Informationen gewinnen. Dies beinhaltet die dreidimensionale Darstellung und Analyse der Gefäßanatomie sowie die Abschätzung von Volumina potenzieller Lebertransplantate. Letztere entscheiden vielfach über die Annahme oder Ablehnung eines Spenders, da der verbleibende Organanteil des Spenders und auch das gespendete Resektat für den Empfänger gewisse Mindestvolumina für eine ausreichende Leberfunktion aufweisen müssen.

2 Methode

Im einem Zeitraum von zwei Jahren wurden an der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) 29 potenzielle Spender für die LDLT untersucht. Die in der Routine gewonnenen CT-Aufnahmen (Siemens Somatom Plus 4, Kollimation 3-7mm, Pitch 1.5-1.7, 140 kV und 206 mA, 512x512 Matrix, Rekonstruktionsintervall 2mm) wurden mit der Software HepaVision jeweils von dem zuständigen Radiologen analysiert und mit dem Transplantationsteam diskutiert.
Die Auswertung der Bilddaten beinhaltet im wesentlichen die Analyse der Gefäßsysteme der potenziellen Spenderleber und eine Volumetrie möglicher als Spenderorgan geeigneter Anteile des Organs.

2.1 Gefäßanatomie der Leber

Nach einer speziellen Vorverarbeitung zur Unterdrückung von Rauschen und Dichtevariationen werden die kontrastierten Gefäße mit einem weiterentwickelten Region-Growing segmentiert. Bei Bedarf kann der automatisch vorgeschlagene Schwellwert in Echtzeit verändert und so das Ergebnis benutzergesteuert angepasst werden. Anschließend werden die Gefäßstrukturen skelettiert und in einer Graphstruktur gespeichert. Mittels einer Graphanalyse können automatisch Gefäßbäume (portalvenös, venös) voneinander getrennt werden, mit der zusätzlichen Möglichkeit sowohl ganze Gefäßäste oder Teilbäume als auch einzelne Voxel interaktiv einem Versorgungsgebiet zuzuordnen [6].
Für die LDLT ist neben Anomalien der portalvenösen Versorgung (wie z. B. einer Trifurkation) das Vorkommen, die Lage und Größe von akzessorischen Lebervenen relevant. Diese werden ab einem Durchmesser von 5mm erhalten und mit der unteren Hohlvene des Empfängers anastomosiert. Daher sind in der neuesten Version der Software neben der Darstellung aller anatomischen Strukturen der Leber Vermessungswerkzeuge in die dreidimensionale Visualisierung integriert.

2.2 Volumina der Leberresektate

Eine Voraussetzung für die Volumetrie von Versorgungsgebieten der Leber ist die Segmentierung des Leberparenchyms. Dies geschieht in HepaVision mit einer speziell für diese Fragestellung angepassten Weiterentwicklung des Live-Wire-Verfahrens. Um die Segmentierung mit dieser schichtbasierten Methode für das dreidimensionale Organ zu beschleunigen, wurde das Verfahren mit einer Interpolation von Konturen und einer nachfolgenden Optimierung kombiniert [7].
Die Analyse der Gefäßhierarchie des portalvenösen Systems erlaubt es, das Parenchym z.B. angelehnt an das Schema von Couinaud [8] in acht Versorgungsgebiete zu unterteilen. Ausgehend von dieser oder einer anderen Einteilung werden die Volumina für die potenzielle Organteilspende abgeschätzt. Je nach Bedarf des Empfängers werden für eine LDLT die linkslateralen Anteile der Leber (Segment II und III) entnommen, eine Hemihepatektomie rechts (Segmente V-VIII, s. Abb. 1) oder eine erweiterte Rechtsresektion (Segmente IV-VIII) durchgeführt. Neben dem Volumen dieser Leberanteile wird speziell bei Spenden für kleine Kinder die Form berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Datenanalyse wurden mit dem Transplantationsteam diskutiert. Dabei gingen die dreidimensionale, interaktiv manipulierbare Visualisierung aller relevanten Strukturen der Leber und die abgeschätzten Resektatvolumina wesentlich in die Entscheidung für oder gegen einen potenziellen Spender in die Planung des Eingriffes ein.
Während der Operationen wurde die Anatomie der Gefäßsysteme dokumentiert und die resezierten Leberanteile gewogen. Diese Gewichte wurden mit den präoperativ berechneten Volumina verglichen, wobei eine Dichte von 1g/ml des Leberparenchyms angenommen wurde.

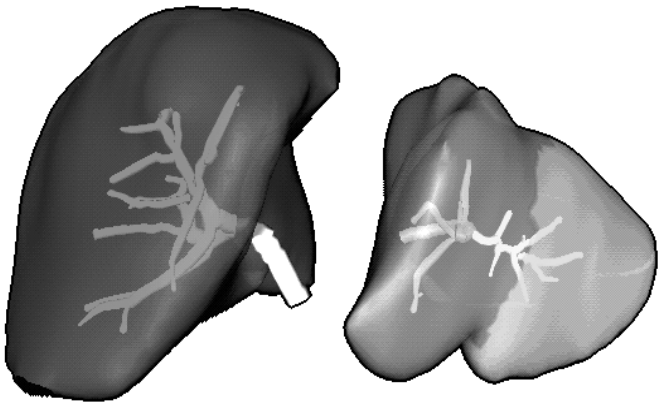

Abb.1: Mögliche Teilung einer Spenderleber für die Transplantation bei einem erwachsenen Empfänger. Die Leber ist entsprechend der Gefäßanatomie aufgeteilt (hellgrau: Segmente II und III, mittelgrau Segment IV, dunkelgrau: Segmente V-VIII)

3 Ergebnisse

Von den auf eine LDLT wartenden Patienten starben vor der Operation zwei, so dass sich die Zahl der potenziellen Spender auf 27 reduzierte. Acht Spender mussten abgelehnt werden, da sie zu geringe Volumina des Resektates bzw. der Restleber oder in einem Fall eine Gefäßvariation aufwiesen. Bei fünf Personen reichte z.B. das Volumen des verbleibenden Leberparenchyms nicht aus, da sie für einen jugendlichen oder erwachsenen Patienten spenden wollten und somit das zu spendende Resektat entsprechend groß hätte sein müssen.
Bei den durchgeführten 19 Transplantationen stimmte die intraoperativ gefundene Gefäßtopologie bis auf eine Ausnahme exakt mit dem präoperativen Befund überein. Bei einem Spender wurde eine akzessorische Lebervene gefunden, die knapp unterhalb der rechten Lebervene in die Vena cava inferior mündete und die nicht präoperativ segmentiert wurde.
Der Vergleich der präoperativen berechneten Volumina mit dem intraoperativen Gewicht der Leberresektate weist einen Korrelationskoeffizient von 0.97 bei einem Signifikanzniveau von $p < 0.001$ auf. Es traten jedoch absolute, systematische Abwei-

chungen auf, wie beispielsweise eine Überschätzung des Volumens von durchschnittlich 25% bei Hemihepatektomie rechts und Unterschätzung der linkslateralen Lebersegmentvolumina von 8%. Detailliert werden alle Studienergebnisse von Caldarone et al. [9] beschrieben.

4 Diskussion

Mit dem vorgestellten Untersuchungsprotokoll können auf Basis einer einzigen CT-Untersuchung und der anschließenden Analyse mit HepaVision fast alle relevanten Gefäß- und Volumeninformationen gewonnen werden. Die sonst übliche Angiographie zur Darstellung der hepatischen Gefäße mit ihren bekannten Risiken für den gesunden potenziellen Spender werden mit dieser nicht-invasiven Technik vermieden. Allein für die Darstellung der Gallengänge wird derzeit eine zusätzliche MRCP (Magnetresonanz-Cholangio-Pankreatikographie) angefertigt, für dessen Ersetzung innerhalb der CT-Untersuchung erste Versuche unternommen wurden.
Für die Abweichungen beim Vergleich der Volumina gibt es verschiedene Erklärungsansätze. Zum einen ist es kaum möglich, dass der Chirurg die vorher bestimmten Segmentgrenzen exakt einhält, zum anderen läuft bei der Entnahme des Leberresektates ein Teil des Blutes aus den Gefäßen ab, dessen Volumen präoperativ in der Abschätzung berücksichtigt wurde. Erste Studien an Schweinelebern zeigen, dass sich zwischen perfundiertem und nicht-perfundiertem Leberparenchym Abweichungen bis zu 35% ergeben können. Weitere Untersuchungen und eine größere Anzahl an Spenderevaluierungen sind Gegenstand derzeitiger Arbeiten.
Die bisherigen Ergebnisse haben gezeigt, dass sich mit der computergestützten Auswertung der Bilddaten mit HepaVision grundlegende Informationen für die präoperative Planung der LDLT gewinnen lassen, so dass dieses Verfahren mittlerweile bei allen Leberlebendspenden an der MHH eingesetzt wird.

5 Literatur

1. Raia S, Ney JR, Mies S et al.: Liver Transplantation from live donors, Lancet 2:497, 1989.
2. Transplant Patient Data Source, Richmond, VA. United Network for Organ Sharing, http://www.unos.org.
3. Eurotransplant: http://www.eurotransplant.nl
4. Trotter JF, Talamantes M, McClure M, et al. : Right hepatic Lobe Donation for Living Donor Liver Transplantation.: Impact on Donor Quality of Life, Liver Transpl. 7:6, 485-491, 2001.
5. UPMC Thomas E. Starzl Transplantation Institute, http://www.sti.upmc.edu/Liver.
6. Selle D, Peitgen HO: Analysis of the Morphology and Structure of Vessel System using Skeletonization, SPIE Medical Imaging: Physiology and Function from Multidimensional Images, Vol. 4321, S. 271-281, 2001.
7. Schenk A, Prause G, Peitgen HO: Efficient Semiautomatic Segmentation of 3D Objects in Medical Images, MICCAI'2000 Springer, S. 186-195, 2000.
8. Couinaud L.: Le Foie – Etudes anatomiques et chirurgicales, Paris, Masson, 1957.
9. Caldarone CC, Frericks BB, Stamm G, et al.: 3D CT Modelling of Hepatic Vessel Architecture and Volume Calculation in Living Related Liver Transplantation, (eingereicht für Radiology), 2002.