

Die computergestützte Analyse von Größe, Position und Form venöser Lebersegmente und deren Lagebeziehung zu den Couinaud- und portalen Lebersegmenten

L. Fischer¹, M. Thorn², J. O. Neumann¹, T. Heimann², L. Grenacher³,
H.-P. Meinzer², H. Friess¹ und M. Büchler¹

¹Chirurgische Universitätsklinik Heidelberg, 69120 Heidelberg, INF 110

²Abteilung für Medizinische und Biologische Informatik,
Deutsches Krebsforschungszentrum, 69120 Heidelberg

³Abteilung für Radiologie, Universität Heidelberg, 69120 Heidelberg
Email: lfischer@ucla.edu

Zusammenfassung. Die exakte Definition von Lebervensegmenten und deren Lagebeziehung zu den klassischen Couinaud-Segmenten spielt vor dem Hintergrund der Leberlebendspende eine zunehmende Bedeutung im klinischen Alltag. Unter Zuhilfenahme des vom DKFZ entwickelten Operationsplanungsprogramm LENA werteten wir die CT-Daten von 64 Patienten aus, bei denen in Vorbereitung auf eine Leberresektion routinemäßig eine CT-Untersuchung durchgeführt wurde. Das Drainagegebiet der rechten Lebervene umfasst mit 47,1% das größte Volumen. Die mittlere Lebervene drainiert 32,5% und die linke Lebervene 20,4%. Innerhalb dieser venösen Segmente nehmen die Couinaud- und portalen Segmente 2, 3, 5, 7 und 8 identische räumliche Positionen ein. Das Drainagegebiet der venösen Subsegmente reicht von 79,3 ml bis zu 337 ml. Es besteht keine Lageübereinstimmung zwischen venösen Subsegmenten und Couinaud/portalen Segmenten ($\kappa < 0,6$). Im Gegensatz dazu zeigen venöse Segmente/Subsegmente, die den linken/rechten Leberlappen oder die linke/rechte Leberhälfte charakterisieren, identische Volumen-, Form- und Positionsverhältnisse mit den entsprechenden Couinaud/portalen Segmenten ($\kappa > 0,8$).

1 Einleitung

Durch die computergestützte Analyse der Couinaud-Segmente konnten wir bereits in einer früheren Studie [1] zeigen, dass sich die Anatomie der Lebersegmente in hohem Maße von Patient zu Patient unterscheidet. Vor dem Hintergrund der Leberlebendspende spielt die exakte Definition von Lebervensegmenten und deren Lagebeziehung zu den klassischen Couinaud-Segmenten eine zunehmende Bedeutung. Dieser Umstand spiegelt sich auch in der Literatur [2] der vergangenen Jahre wieder. Unter klinischen Bedingungen spielt jedoch die Analyse der venösen Segmente weiterhin eine untergeordnete Rolle. Die Ursache für diese Diskrepanz liegt im wesentlichen darin begründet, dass bisher weder die Definition

venöser Segmente routinemäßig durchgeführt werden konnte noch ein Vergleich dieser Ergebnisse zu den (als Standard akzeptierten) Couinaud-Segmenten im selben Lebermodell möglich war. Mit dem vom DKFZ entwickelten Operationsplanungsprogramm LENA gelingt es nun unter zu Hilfenahme von im Routinebetrieb erstellten digitalen CT-Bildern, Volumen, Form und Position von Lebervenensegmenten zu definieren und diese mit Volumen, Form und Position der Couinaud- bzw. portalvenös basierten Lebersegmente innerhalb desselben Lebermodells zu vergleichen.

2 Material und Methode

Die vom DKFZ Heidelberg entwickelte Software [3] ist in der Lage, anhand von Kontrastmittelunterschieden zwischen den Lebergefäßen (portale Venen und hepatische Venen) und dem hepatischen Parenchym, den portalen und venösen Gefäßbaum unabhängig voneinander darzustellen. Für diese Studie werteten wir die CT-Daten von 64 Patienten aus, bei denen in Vorbereitung auf eine Leberresektion routinemäßig eine CT-Untersuchung durchgeführt wurde. Aufgrund insuffizienter Erkennung/Darstellung des portalen- oder venösen Gefäßbaumes innerhalb der Primärdaten konnten letztlich 19 digitale CT-Datensets in 3D-Lebermodelle transformiert werden. Innerhalb dieser 3D-Modelle wurden 3 venöse Segmente, 6 venöse Subsegmente, 8 Couinaud Segmente und 8 portale Segmente definiert. Da diese Zuordnung unabhängig voneinander für alle 3 Segmentmethoden möglich ist, konnten innerhalb jedes dieser 19 3D-Modelle Lebervenensegmente, Lebervenen-subsegmente, Couinaud-Segmente und portale Segmente definiert und deren Volumen, Form und Position miteinander verglichen werden.

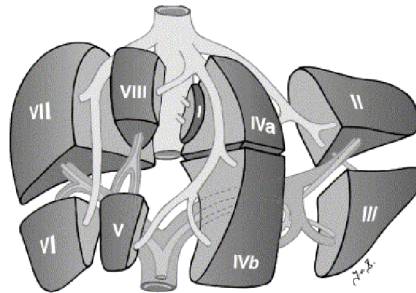
2.1 Die Definition von Couinaud-Segmenten

Die Couinaud-Segmenteinteilung ist eine international akzeptierte und hoch standardisierte Methode zur Definition hepatischer Segmente (siehe Abbildung 1). Die Charakterisierung der Couinaud-Segmente berücksichtigt anatomische Gegebenheiten von Leber- und Portalvene. Durch Platzierung von 4 starren Ebenen, die vertikal entlang der 3 Hauptvenenstämme bzw. horizontal in Höhe der portalen Bifurkation verlaufen, entstehen 8 Couinaud-Segmente, deren Volumen, Form und Position durch das Operationsplanungsprogramm LENA berechnet werden kann [4, 5].

2.2 Die Definition venöser Segmente/Subsegmente

Die Definition der venösen Segmente/Subsegmente beruht auf der Verzweigung des Gefäßbaumes der Lebervenen. Basierend auf den Arbeiten von Gupta[5] und Masselot [7] haben wir zunächst 3 venöse Segmente definiert, die den 3 Hauptvenenstämmen entsprechen (siehe Abbildung 2). Zusätzlich wurde die linke Lebervene in ein oberes und unteres Subsegment, die mittlere Lebervene in ein rechtes

Abb. 1. Die schematische Darstellung der 8 Couinaud-Segmente als Explosionsbild. Durch Platzierung von 3 vertikalen Ebenen entlang der 3 Hauptvenen und 1 horizontalen Ebene in Höhe der portalen Bifurkation lassen sich 8 Couinaud-Segmente (Segment II-VIII) abgrenzen.



und linkes Subsegment und die rechte Lebervene in ein vorderes und hinteres Subsegment unterteilt. Die dreidimensionale Formation von venösen Segmenten/Subsegmenten beruht auf der Summe der jeweils am nächsten liegenden parenchymalen Voxel zu den entsprechend definierten venösen Gefäßsegmenten.

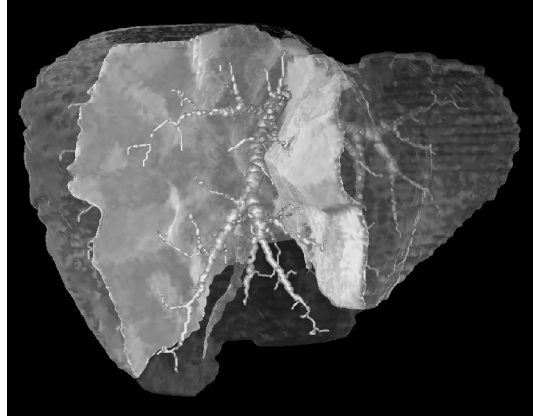
2.3 Datentransfer und -aufbearbeitung

Die digitalen CT-Daten wurden vom CT-Gerät mittels des vom DKFZ Heidelberg entwickelten Teleradiologiesystem CHILI direkt ins DKFZ transferiert [8]. Die Segmentierung der Leber wurde manuell und halbautomatisch durchgeführt [9]. Die Gefäßbaumanalyse erfolgte automatisch. Die Segmentierungsergebnisse wurden durch Radiologen, Medizininformatiker und Chirurgen validiert.

3 Resultate und Diskussion

Das Drainagegebiet der rechten Lebervene umfasst mit 539,8 ml +/- 119,5 ml (47,1%) das größte Volumen der Leber. Die mittlere Lebervene drainiert 372,7 ml +/- 151,1 ml (32,5%) und das Drainagegebiet der linken Lebervene beträgt 248 ml +/- 75,9 ml (20,4%). Innerhalb dieser 3 venösen Segmente nehmen sowohl die Couinaud- als auch die portalen Segmente 2, 3, 5, 7 und 8 eine identische räumliche Position ein. Nur die Couinaud/portalen Segmente 4a, 4b und 6 unterscheiden sich signifikant ($p < 0,03$) in ihrer Position innerhalb dieser venösen Segmente. Der Fakt, dass sich der Großteil der Couinaud/portalen Lebersegmente übereinstimmend an nahezu gleichen Positionen innerhalb bestimmter Lebervenensegmente befindet, suggeriert, dass die Drainage dieser Lebersegmente bei dem hier untersuchten Patientengut von immer den gleichen Lebervenen gewährleistet wird. Das Drainagegebiet der venösen Subsegmente reicht von 79,3 ml bis zu 337 ml. Der Positionsvergleich der venösen Subsegmente mit den jeweiligen Couinaud/portalen Segmenten zeigt keine identische Lageübereinstimmung im 3D-Raum ($\kappa < 0,6$). Dies lässt die Schlussfolge-

Abb. 2. Hier ist das venöse Segment der mittleren Lebervene virtuell ausgeschnitten. Nach automatischer Darstellung des kompletten Lebervenenbaumes werden manuell die drei Venenhauptstämme definiert. Das Operationsplanungsprogramm ordnet im nächsten Schritt die den Hauptvenenstämmen jeweils am nächsten liegenden parenchymalen Voxel zu und bildet auf diese Weise Segmente.



zung zu, dass die venöse Drainage der individuellen Couinaud/portalen Lebersegmente stark variiert und nicht auf bestimmte subsegmentale Venen zurückgeführt werden kann. Im Gegensatz dazu zeigen venöse Segmente/Subsegmente, die große, für die Leberlebenspende relevante Leberareale wie den linken/rechten Leberlappen oder die linke/rechte Leberhälfte charakterisieren, identische Volumen-, Form- und Positionsverhältnisse mit den entsprechenden Couinaud/portalen Segmenten ($\kappa > 0,8$). Das ist von besonderer Bedeutung, da sich hier die venöse Anatomie in exakter räumlicher Übereinstimmung mit der Anatomie der Couinaud/portalen Segmente befindet und somit die verschiedenen Segmentsysteme in der präoperativen Planung in Hinblick auf Volumen, Form und Position nicht unabhängig voneinander betrachtet werden müssen.

Ein Problem dieser Studie war, dass aus insgesamt 64 CT-Daten nur in 19 Datensets beide venösen Gefäßbäume vollständig dargestellt und somit alle 3 Segmentverfahren analysiert werden konnten. Der Gefäßalgorithmus unterscheidet Gefäße ausschließlich durch Kontrastdifferenzen zu dem sie umgebenden Parenchymstrukturen. Häufig wurden jedoch nur die Gefäßbäume von entweder Portal- oder Lebervenen in einem suffizienten Umfang vom Gefäßalgorithmus erkannt, obwohl für das menschliche Auge beide Gefäßbäume auf den CT-Aufnahmen gut zu sehen waren. Die Ursache für dieses Problem lag wahrscheinlich an der Datenerfassung. Die (im Vergleich zum Nachfolgemodell geringere) Geschwindigkeit der CT-Spule verringerte vermutlich die Chance, den optimalen Zeitpunkt zu erfassen, an dem beide venösen Gefäßsysteme gleich stark mit Kontrastmittel gefüllt waren und somit gleich gut dargestellt werden konnten.

4 Schlussfolgerung

Die Tatsache, dass die venösen Segmente/Subsegmente Volumen, Form und Position beider Leberhälften und beider Leberlappen in identischer Art und Weise wie die korrespondierenden Couinaud/portalen Segmente definieren, lässt die Schlussfolgerung zu, dass bei Operationen entlang der mittleren oder linken Lebervene (Hemihepatektomie, Leberlappenresektion) die segmentale Anatomie der Lebervenen in Hinblick auf Volumen, Form und Position innerhalb des 3D-Raums der Anatomie der Couinaud/portalen Segmente folgt. Es besteht jedoch keine räumliche Übereinstimmung zwischen den venösen Subsegmente und individuellen Couinaud/portalen Segmenten.

Literaturverzeichnis

1. Fischer L, Cardenas C, Thorn M, Benner A, et al. Limits of Couinaud's liver segment classification – A quantitative computer-based three-dimensional analysis. *J Comput Assist Tomogr* 2002;26(6):962–967.
2. de Villa VH, Chen CL, Chen YS, Wang CC, Lin CC, Cheng YF, et al. Right lobe living donor liver transplantation – addressing the middle hepatic vein controversy. *Ann Surg* 2003;238(2):275–282.
3. Meinzer HP, Thorn M, Cardenas C. Computerized planning of liver surgery – an overview. *Computers & Graphics* 2002;26(4):569–576.
4. Thorn M, Sonntag S, Glombitza G, Lamadé W, Meinzer HP. Ein interaktives Tool für die Segmententeilung der Leber in der chirurgischen Operationsplanung. In: *Procs BVM*; 1999. p. 155–159.
5. Meinzer HP, Schemmer P, Schöbinger M, Nolden M, Heimann T, Yalcin B, et al. Computer-based Surgery Planning for Living Liver Donation. *Int Arch Photogramm Remote Sens* 2004;Vol. XXXV, Part B:291–295.
6. Gupta SC, Gupta CD. The hepatic veins – a radiographic and corrosion cast study. *Indian J Med Res* 1979;70:333–344.
7. Masselot R, Leborgne J. Anatomical Study of the Hepatic Veins. *Anatomia Clinica* 1978;1:109–125.
8. Engelmann U, Schröter A, Baur U, Werner O, Schwab M, Müller H, et al. Second Generation Teleradiology. In: *Procs CARS*; 1997. p. 632–637.
9. Kunert T, Heimann T, Schröter A, Schöbinger M, Böttger T, Thorn M, et al. Interactive System for Volume Segmentation in Computer-Assisted Surgery. In: *Procs SPIE Vol. 5367*; 2004. p. 799–809.