Der Stellenwert der Magnetresonanztomographie (MRT) für die Verlaufskontrolle bei Patienten mit transjugulärem intrahepatischem portosystemischem Stent-Shunt (TIPSS)

P. M. Schlegel¹
B. Tombach¹
P. Reimer¹
T. Vestring¹
J. Menzel²
H. E. Möller³
W. Heindel¹

The value of magnetic resonance imaging (MRI) for the follow-up of patients with transjugular intrahepatic portosystemic shunts (TIPS)

Zusammenfassung

Ziel: Prospektive Evaluation des Stellenwertes der MR-Tomographie mit Flussquantifizierung in der V. portae für die Verlaufskontrolle bei TIPSS-Patienten. **Material und Methoden:** Zur Verlaufskontrolle erfolgten bei 36 Patienten mit TIPSS (23 m, 13 w) 108 MR-tomographische Untersuchungen des Leberparenchyms und Flussmessungen in der Pfortader mit dopplersonographischer Korrelation sowie eine konventionelle Angiographie mit Messung des portosystemischen Druckgradienten (PPG). Nach einer Intervention (Dilatation/Stenteinlage) erfolgte eine erneute MR-tomographische Untersuchung mit Flussmessung in der Pfortader und dopplersonographischer Korrelation. **Ergebnisse:** Die MR-tomographische Flussmessung korrelierte mit der dopplersonographischen ($r = 0,69$), und beide Methoden korrelierten nicht mit dem portosystemischen Druckgradienten. Ein Grenzwert der MR-tomographisch bestimmten Flussgeschwindigkeit zur Abschätzung der Interventionsbedürftigkeit des TIPSS im Verlauf konnte nicht ermittelt werden. Alle Okklusionen ($n = 5$) des Stenttraktes wurden MR-tomographisch diagnostiziert. 30 Messungen vor und nach einer angiographischen Intervention zeigten eine signifikante Zunahme der Flussgeschwindigkeiten sowie eine signifikante Abnahme des PPG. Die MR-Tomographie nach TIPSS konnte sicher interventionsbedingte Veränderungen und neu aufgetretene hepatozelluläre Karzinome nachweisenentdeckt. **Schlussfolgerung:** Die Magnetresonanztomographie nach TIPSS-Anlage erlaubt eine morphologische Beurteilung der Leber sowie eine Flussmessung in der Pfortader, ist als alleiniges Verfahren jedoch nicht geeignet zur Beurteilung einer Interventionsbedürftigkeit des Shunttraktes.

Schlüsselwörter

TIPSS · Portale Hypertension · Phasenkontrast-MRA · Flussmessung · V. portae

Abstract

Purpose: To prospectively determine the value of magnetic resonance imaging (MRI) with flow quantification in the portal vein for the follow-up of patients with transjugular intrahepatic portosystemic shunt (TIPS). **Methods:** Thirty-six patients with TIPS (23 m, 13 f) were evaluated with MR of the liver parenchyma and quantification of flow in the portal vein. MR examinations were correlated with Doppler sonography and conventional angiography including measurement of the portal pressure gradient (PPG). In cases of re-interventions (dilatation/stent application) additional examinations with MRI and Doppler sonography were performed. **Results:** MR flow measurements in the portal vein correlated with Doppler sonography ($r = 0.69$) whereas no correlation of both methods with the PPG was found. No threshold velocity in the portal vein could be determined to predict shunt stenosis. All shunt occlusions ($n = 5$) were diagnosed correctly by MRA. Thirty measurements before and after successful angiographic interventions revealed a significant increase in portal flow velocity and a significant decrease of the PPG. Magnetic resonance images enabled a reliable detection of procedural complications (parenchymal bleedings, $n = 31$; extra and subcapsular hematomas, $n = 2$ each) and newly occurring hepatocellular carcinomas ($n = 2$) in the follow-up period. **Conclusion:** Magnetic resonance imaging in the follow-up of TIPS enables a morphological assessment of the liver and an accurate velocity mapping, but is not suited to predict shunt dysfunction as a single method.

Key words

Hypertension, portal · Portal vein, flow dynamics · Magnetic resonance (MR) phase imaging · Shunts, portosystemic · Stents and prostheses

Institutsangaben

¹Institut für Klinische Radiologie

²Medizinische Klinik und Poliklinik B

³Institut für Physikalische Chemie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Korrespondenzadresse

Dr. med. P. M. Schlegel · Institut für Klinische Radiologie, Röntgendiagnostik
Universitätsklinikum Münster · Albert-Schweitzer-Straße 33 · 48129 Münster

Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2002; 174: 224–230 © Georg Thieme Verlag Stuttgart · New York · ISSN 1438–9029

Einleitung

Der transjuguläre intrahepatische portosystemische Stent-Shunt (TIPSS) stellt eine etablierte Therapie bei Patienten mit unkontrollierbaren Varizenblutungen auf dem Boden einer Leberzirrhose sowie zunehmend auch in der Behandlung des Aszites und als Sekundärprophylaxe von Varizenblutungen dar [1–4]. Während sich die Erfolgsrate der TIPSS-Anlage von zunächst 85–95% inzwischen 100% annähert [5], stellen die Shunt-Insuffizienz und ihre Komplikationen nach wie vor den limitierenden Faktor dar. Der langfristige Erfolg der TIPSS-Anlage hängt daher entscheidend von einer engmaschigen Kontrolle, gegebenenfalls mit kurzfristigen Re-Interventionen, insbesondere in den ersten Monaten ab.

Die invasive angiographische Darstellung gilt als Gold-Standard in der Verlaufsbeurteilung und ermöglicht neben der morphologischen Beurteilung des Shunttraktes und der Messung des portosystemischen Druckgradienten (PPG) gegebenenfalls in der gleichen Sitzung eine Re-Intervention (Dilatation/Stent). Der Stellenwert der Dopplersonographie zur Beurteilung der Shunt-Funktion wird kontrovers diskutiert. Die Dopplersonographie wird von einigen Arbeitsgruppen allein zur Nachsorge eingesetzt, von anderen nur in Kombination mit der Angiographie [5]. Für die Detektion einer relevanten Stenose/Okklusion des Shunttraktes werden Sensitivitäten von 25–100% und Spezifitäten von 62–98% angegeben [5–12]. Die Flussgeschwindigkeit in der Pfortader, dem Stent oder der drainierenden hepatischen Vene, die Flussrichtung in den intrahepatischen Pfortaderästen und morphologische Kriterien stellen dabei die relevanten Parameter dar.

Magnetresonanzzverfahren wurden bisher vereinzelt zur Planung der TIPSS-Anlage eingesetzt und führten zu einer signifikanten Verringerung der Punktionsversuche und der Dauer der Intervention [13]. Der Einsatz der MRT zur Nachsorge ist bisher nicht in der Literatur dokumentiert.

In der vorliegenden Studie sollte der Stellenwert der MR-Tomographie (MRT) mit Flussquantifizierung in der Pfortader mit der Phasenkontrast-Technik (PC) für die Verlaufskontrolle bei Patienten mit TIPSS prospektiv ermittelt werden.

Material und Methode

Studiendesign

Das Untersuchungsprotokoll umfasste MR-tomographische und dopplersonographische Flussmessungen des portalvenösen Systems sowie eine MR-tomographische Bildgebung des Oberbauchs vor und unmittelbar nach TIPSS-Anlage. Die Verlaufskontrolle erfolgte in Analogie zum angiographischen Untersuchungsprotokoll zunächst engmaschig nach 3, 6 und 12 Monaten, im weiteren Verlauf in jährlichen Abständen. Nach angiographischer Intervention wurden eine erneute Druckmessung und eine MRT mit Flussquantifizierung und Dopplersonographie durchgeführt.

Angiographie und Dopplersonographie

Die angiographischen Untersuchungen und Interventionen erfolgten an einem Polystar (Siemens AG, Erlangen). Zur Verlaufs-

kontrolle wurden eine direkte Portographie mit Manometrie von portalvenösem (PVD) und zentralvenösem Druck (ZVD) sowie eine Berechnung des portosystemischen Gradienten ($PPG = PVD - ZVD$) durchgeführt. Als Indikation zu einer Re-Intervention wurde der Nachweis einer morphologischen Stenose ($> 50\%$) und/oder ein PPG von > 15 mmHg festgelegt. Eine wesentliche Bedeutung kam dabei der klinischen Situation des Patienten inklusive Gastroskopie zu, so dass bei 13 von 44 (29,5%) Nachsorgeuntersuchungen trotz eines $PPG > 15$ mmHg keine Re-Intervention erfolgte.

Die dopplersonographischen Untersuchungen wurden mit einem 3,5 MHz Sektorschallkopf bei einem Wandfilter von 100 Hz an einem CS 192 Integral/PQ (Picker International GmbH, Espelkamp) durchgeführt. Die Flussgeschwindigkeitsmessung erfolgte in der V. portae zwischen Confluens venosus und Stent. Der Winkel zwischen Doppler-Signal und Längsachse des Gerätes lag unter 60° , das Ultraschallmessvolumen erfasste den gesamten Gefäßdurchmesser [10].

Magnetresonanzzverfahren

Die MR-Untersuchungen wurden in einem 1,5-T-Magneten (Magnetom SP 4000, Siemens AG, Erlangen) bei nüchternen Probanden und Patienten durchgeführt.

Zur Bildgebung des Oberbauchs wurden axiale T_1 -gewichtete FLASH- (TR 148 ms, TE 6 ms, Flipwinkel 60° , SD 10 mm, FOV 360 mm, Matrix $128 \cdot 256$) und T_2 -gewichtete Turbo-SE-Sequenzen (TR 4900 ms, TE 90 ms, TF 8, SD 10 mm, FOV 360 mm, Matrix $128 \cdot 256$) sowie koronare T_1 -gewichtete Turbo-FLASH-Sequenzen (TR 13 ms, TE 5 ms, TI 100 ms, Flipwinkel 10° , SD 10 mm, FOV 450 mm, Matrix $128 \cdot 256$) akquiriert und von zwei Radiologen unabhängig voneinander beurteilt. Die Parenchymmuster der Leberzirrhose wurden den Kategorien homogen, heterogen-diffus, heterogen-nodulär und heterogen-flächig, getrennt nach rechtem und linkem Leberlappen, zugeordnet und Veränderungen des Lobus caudatus und der Leberoberfläche wurden dokumentiert. Signalveränderungen der Milz wurden als homogen, heterogen-fokal und heterogen-diffus klassifiziert. Die Auswertung umfasste ferner den Nachweis von Umgehungskreisläufen und Aszites als Zeichen der portalen Hypertension sowie eine Beurteilung des portalen Flusses.

Zur Flussmessung wurde die 2D-Phasenkontrast-Angiographie (PCA) in Atemstillstand eingesetzt (FLASH, TR 30 ms, TE 6 ms, Flipwinkel: 20° , TA 12 s, Matrix $192 \cdot 256$, Flusskodierung (v_{enc}) 0–50 cm/s kranial). Die Ebene zur Flussquantifizierung wurde auf einem koronaren T_1 -gewichteten Bild orthogonal zur Pfortader ausgewählt. Die Positionierung erfolgte am distalen Leber- und zur Vermeidung von Überlagerungen durch Suszeptibilitäts-Artefakte des Stents sowie proximal evtl. vorhandener Kolateralgefäße zum Ausschluss von Verfälschungen der Messwerte (Abb. 1). In dem geschwindigkeitskodierten Bild wurde dann eine kreisförmige „region-of-interest“ (ROI) mit maximaler Größe ohne Einbeziehung der Wand des Gefäßes in den Querschnitt der Pfortader gelegt. Alle Werte wurden gegenüber Flussmessungen im umgebenden stationären Gewebe korrigiert und aus drei Messungen der Mittelwert bestimmt.

Abb. 1 Koronare T₁-Wichtung mit Darstellung der Pfortader sowie der Ebene zur Flussmessung; ausgeprägte Artefakte durch Palmaz-Stents.

MR Flussphantom

Zur Kalibrierung der eingesetzten 2D-PCA wurde ein Flussphantom nach Möller et al. [14] verwendet. In zwei geraden, mit Wasser gefüllten Glasröhren mit einem Innendurchmesser von 20 mm und einer Länge von 250 cm wurde ein kontinuierlicher Fluss mit einer Elektropumpe (Gardena 1000e, Kress + Kastner, Ulm) erzeugt, die außerhalb des Magneträumens platziert wurde und über ein flexibles Schlauchsystem (innerer Durchmesser 13 mm) mit dem Flussphantom verbunden war. Der Volumenstrom wurde über ein Ventil im zufließenden Abschnitt des Systems reguliert und mit einem kalibrierten Schwebekörperdurchflussmesser (SA 20 K, Krohne, Duisburg) bestimmt. Vorgegeben wurden Werte bis zu 800 l/h mit entsprechenden Reynolds-Zahlen bis 14 000. Zum Vergleich mit stationärer Flüssigkeit wurde ein ebenfalls mit Wasser gefülltes Glasgefäß in den Messbereich eingebracht. Zu jedem vorgegebenen Volumenstrom wurden jeweils drei Messungen durchgeführt und die Mittelwerte bestimmt.

Probanden und Patienten

Probanden

Zur Überprüfung der In-vivo-Anwendbarkeit der vorbeschriebenen MR-tomographischen Untersuchungen wurde zunächst bei 10 gesunden männlichen Probanden mit einem Durchschnittsalter von $24,8 \pm 1,0$ Jahren eine MRT des Oberbauches mit Flussquantifizierung in der V. portae durchgeführt.

Patienten

Bei 36 Patienten (23 m, 13 w, Durchschnittsalter: $56,7 \pm 11,3$ Jahre) wurde ein TIPSS erfolgreich etabliert. Zur Schienung des Shunttraktes wurden bei 11 Patienten Palmaz-Stents (Johnson & Johnson, Norderstedt), bei 1 Patient ein Wallstent (Schneider, Zürich, Schweiz) und bei 24 Patienten Memotherm-Stents (Angiomed, Karlsruhe) verwendet.

Nach der klinischen Klassifikation von Child-Pugh wurden 9 der 36 Patienten (25%) Child A, 20 Patienten (56%) Child B und 7 Patienten (19%) Child C zugeordnet. Die Ursache der Leberzirrhose war bei 24 der 36 Patienten (67%) ein chronischer Alkoholabusus, bei 5 Patienten (14%) eine Hepatitis B, bei 4 Patienten (11%) eine Hepatitis C, bei zwei Patienten (6%) eine primäre biliäre Zirrhose und bei einer Patientin (3%) eine sekundäre biliäre Zirrhose.

rhose und bei einer Patientin (3 %) eine sekundäre biliäre Zirrhose.

Ein Patient mit Budd-Chiari-Syndrom, der in einem auswärtigen Krankenhaus mit einem TIPSS versorgt worden war, wurde ebenfalls im Verlauf untersucht.

Insgesamt konnten 128 MR-tomographische Untersuchungen mit Flussmessungen, 20 vor und 108 nach TIPSS-Anlage, mit dopplersonographischen Flusswerten und angiographisch bestimmten portosystemischen Druckgradienten korreliert werden. Jeweils 30 MR-tomographische Flussmessungen vor und nach einer Intervention (TIPSS-Anlage, Re-Intervention mit/ohne Stent-Einlage) konnten mit dopplersonographischen Flusswerten und angiographisch bestimmten portosystemischen Druckgradienten korreliert werden.

Statistik

Die Veränderung der gemessenen Flussgeschwindigkeiten und des PPG vor und nach Intervention wurden mit dem Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben (Signifikanzniveau $p < 0,05$) auf Signifikanz getestet. Der Unterschied der in der Pfortader gemessenen Flussgeschwindigkeiten bei Probanden und Patienten vor TIPSS-Anlage wurde mit dem Wilcoxon-Test für unverbundene Stichproben auf Signifikanz ($p < 0,05$) überprüft. Zur Ermittlung eines möglichen Grenzwertes für die Vorhersagbarkeit der Interventionsbedürftigkeit des Stenttraktes wurde aus den im Verlauf ermittelten MR-tomographischen Flusswerten in Abhängigkeit der jeweils angiographisch erfolgten Entscheidung für oder gegen eine Intervention eine ROC-Analyse (Receiver Operating Characteristic) erstellt.

Ergebnisse

Phantommodell

In-vitro-Messungen mit dem Flussphantom dokumentieren die Eignung der benutzten Phasenkontrastsequenz zur Quantifizierung von Blutflussgeschwindigkeiten im physiologischen Bereich ($r = 0,999$ für 0–35 cm/s; Abb. 2). Aus der Regressionsgeraden wurde ein Korrekturfaktor abgeleitet [$y = (x - 2,94)/1,063$ in cm/s], um den sämtliche Messwerte, auch der In-vivo-Messungen, korrigiert wurden.

Abb. 2 MR-angiographisch ermittelte Flussgeschwindigkeiten vs. eingestellte Flussgeschwindigkeiten.

Probanden

Die bei 10 Probanden durchgeführte MRT des Oberbauches zeigte ein homogenes Parenchymmuster von Leber und Milz und einen regelrechten, hepatopetalen Fluss in der Pfortader. Die komplikationslos bei allen Probanden durchgeführten Flussmessungen in der Pfortader ergaben eine durchschnittliche korrigierte Geschwindigkeit von $15,6 \pm 3,1$ cm/s, die dopplersonographischen Messungen eine mittlere Maximalgeschwindigkeit von $25 \pm 3,5$ cm/s. Der Korrelationskoeffizient betrug $r = 0,79$.

Patienten

Die MR-tomographischen Untersuchungen nach TIPSS-Anlage erfolgten komplikationslos bei allen Patienten ($n = 36$) ohne Nachweis einer Dislokation des Stents oder eines subjektiven Missempfindens. Der Stenttrakt war bei allen Patienten durch Suszeptibilitätsartefakte nicht beurteilbar. Das Ausmaß des Artefaktes zeigte eine deutliche Abhängigkeit von der Art des Stents, wobei der Palmaz-Stent deutlich größere Artefakte aufwies als der Memotherm- oder Wallstent. Durch Vergleich von T_1 - und T_2 -gewichteten Bildern vor und nach TIPSS-Anlage konnten bei 31 der 36 Patienten (86%) neu aufgetretene Signalveränderungen interventionell verursachten, intraparenchymatösen Blutungen zugeordnet werden (Abb. 3). Zusätzlich wurden MR-tomographisch in jeweils zwei Fällen subkapsuläre und extrahepatische Blutungen nachgewiesen. 15 der 36 Patienten wiesen vor TIPSS-Anlage Aszites auf, der bei 12 Patienten (80%) nach erfolg-

reicher TIPSS-Anlage regredient war. Das Parenchymmuster der Milz war bei 35 Patienten homogen und bei einem Patienten heterogen-fokal. Im Verlauf von 24 Monaten konnte bei zwei Patienten ein neu aufgetretenes hepatozelluläres Karzinom diagnostiziert werden.

Die vor TIPSS-Anlage MR-tomographisch bzw. dopplersonographisch ermittelten Flusswerte betrugen korrigiert $7,1 \pm 5,1$ cm/s bzw. $13 \pm 12,7$ cm/s und waren signifikant ($p < 0,05$) niedriger als die MR-tomographisch, bzw. dopplersonographisch bestimmten Flusswerte der gesunden Probanden. Die Korrelation der 108 nach TIPSS-Anlage MR-tomographisch und dopplersonographisch bestimmten Flussgeschwindigkeiten betrug $r = 0,69$ (Abb. 4), mit dem portosystemischen Druckgradienten war nur eine schwache Korrelation nachweisbar ($r = 0,44$, bzw. $r = 0,45$).

Abb. 4 Vergleich der MR-angiographisch (2D-PCA) und dopplersonographisch ermittelten Flussgeschwindigkeiten in der V. portae.

Abb. 3 Durch die TIPSS-Anlage verursachte Blutung in der T_1 - (a) und T_2 -Wichtung (b).

Die mittlere Zunahme der MR-tomographisch ermittelten, korrigierten Geschwindigkeit zwischen den jeweils 30 prä- und post-interventionellen Untersuchungen betrug $5,6 \pm 5,1$ cm/s (präinterventionell: $8,9 \pm 4,1$ cm/s; post-interventionell: $14,5 \pm 4,2$ cm/s; $p < 0,05$). Dopplersonographisch wurde eine Zunahme von $11,1 \pm 12,5$ cm/s (prä: $18,2 \pm 7,6$ cm/s; post: $29,3 \pm 8$ cm/s; $p < 0,05$) bestimmt, wobei der portosystemische Druckgradient um $9,2 \pm 4,9$ mmHg (prä: $21,7 \pm 4,5$ mmHg; post: $12,6 \pm 3,5$ mmHg; $p < 0,05$) abnahm (Abb. 5–7). Alle 5 angiographisch nachgewiesenen Stentverschlüsse wurden zuvor MR-tomographisch durch hepatofugalen Fluss oder ein fehlendes Flusssignal diagnostiziert. In den 13 Fällen der trotz einer signifikanten Erhöhung ($p < 0,05$) des PPG von $13,4 \pm 3,6$ mmHg auf $17,2 \pm 1,4$ mmHg nicht erfolgten Re-Intervention zeigten die MR-tomographisch ermittelten, korrigierten Flussgeschwindigkeiten mit $10,4 \pm 3,3$ cm/s keine signifikante Änderung zu den jeweiligen Voruntersuchungen ($11,1 \pm 3,4$ cm/s).

Die ROC-Analyse zur Vorhersage einer Interventionsbedürftigkeit des Stenttraktes ergab eine Fläche unter der Kurve (AUC = Area Under Curve), als Wahrscheinlichkeit, dass ein zufälliges Wertepaar aus interventionsbedürftigem und nicht-interventionsbedürftigem Flusswert richtig bewertet wird, von 0,6. Bei einer angenommenen Sensitivität von 90% ergab sich für keinen Grenzwert eine ausreichende Spezifität. Zusätzliche Analysen

Abb. 5 MR-angiographisch ermittelte Flussgeschwindigkeiten der V. portae vor und nach Intervention.

Abb. 6 Dopplersonographisch ermittelte Flussgeschwindigkeiten der V. portae vor und nach Intervention.

Abb. 7 Portosystemischer Druckgradient (PPG) vor und nach Intervention.

mit weiteren Einflussfaktoren, wie dem Patientenalter, dem Geschlecht, der Child-Klassifikation und/oder der Art des verwendeten Stents, trugen nicht zu einer signifikanten Verbesserung der Sensitivität bzw. Spezifität bei. Auch die Auswertung der Änderung der Flusswerte gegenüber der jeweiligen Voruntersuchung ermöglichte bei einer angenommenen Sensitivität von 90% keine ausreichend spezifische Unterscheidung zwischen interventionsbedürftigem und nicht-interventionsbedürftigem TIPSS.

Diskussion

Im Rahmen der durchgeführten 108 MR-Untersuchungen bei Patienten mit TIPSS traten keine Komplikationen oder Missempfindungen auf, so dass die verwendeten Metallstents entsprechend früherer Berichte [15–17] keine Kontraindikation für eine MR-tomographische Untersuchung darstellten. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Laissy et al. [16] war der stentbedingte Suszeptibilitätsartefakt bei dem Wall- und Memotherm-Stent deutlich geringer ausgeprägt als bei dem Palmaz-Stent. Eine MR-tomographische Beurteilung des den Stent unmittelbar umgebenden Gewebes ist somit nur bei Verwendung des Wall- oder Memotherm-Stents möglich.

Bildgebung

Die MR-tomographische Untersuchung der Patienten ermöglichte erwartungsgemäß eine sichere Detektion zirrhotischer Veränderungen der Leber sowie interventionsbedingter Komplikationen. Die Regredienz von Aszites in 80% der Fälle liegt im oberen Bereich der Literaturangaben von 23–92% [1,2]. Zur MR-tomographischen Bildgebung der Leber im Verlauf nach TIPSS-Anlage liegen unseres Wissens keine Literaturdaten zum Vergleich vor.

Flussmessung

Die Mittelwerte der MR-tomographischen Flussmessungen von 15,6 cm/s bei den gesunden Probanden entsprechen der physiologischen durchschnittlichen Flussgeschwindigkeit der Pfortader von 15 cm/s [18] und waren wie die dopplersonographischen Flussmessungen (25 cm/s) erwartungsgemäß signifikant höher ($p < 0,05$) als bei den Patienten vor TIPSS-Anlage (7,1 cm/s bzw. 13 cm/s) [19–21].

Die mit $r = 0,79$ geringfügig bessere Korrelation von MR-tomographischen mit dopplersonographischen Flussmessungen bei den Probanden gegenüber $r = 0,69$ bei den Patienten lässt sich wahrscheinlich auf die einfacheren Schallbedingungen bei den gesunden Probanden und damit einer exakteren dopplersonographischen Flussmessung zurückführen.

Zur Korrelation von MR-tomographischen und dopplersonographischen Flussmessungen in der Pfortader nach TIPSS-Anlage gibt es keine Angaben in der Literatur. Bei 9 Patienten mit hepatischen Neoplasmen und hepatozellulärer Erkrankung ist eine vergleichbare Korrelation ($r = 0,73$) von Applegate et al. [22] beschrieben worden. Die MR-tomographischen Flusswerte der Patienten nach TIPSS-Anlage waren im Mittelwert mit 11 cm/s deutlich niedriger als die dopplersonographischen mit 24,2 cm/s. Dies ist zum einen Ausdruck der zeitlichen und räumlichen Mittelung der MR-tomographischen Flusswerte gegenüber der dopplersonographischen Bestimmung von maximalen Flussgeschwindigkeiten, zum anderen Folge der unterschiedlichen Atemlagen. Zwar zeigten Libicher et al. [23] durch Korrelation mit intravasalen Flussmessungen das Potenzial dopplersonographischer Messungen zur Erfassung der wahren hämodynamischen Werte, besonders im Einflusstrakt des Stents, jedoch unterscheiden sich dopplersonographische Messungen der Flussgeschwindigkeit in der Pfortader signifikant zwischen Untersuchern und Geräten [24].

Die MR-tomographisch und dopplersonographisch bestimmten Flusswerte wiesen mit $r = 0,44/0,45$ keine Korrelation mit dem

invasiv gemessenen portosystemischen Druckgradienten (PPG) auf. Diese Ergebnisse stimmen mit Literaturangaben aus den meisten Doppler-Studien überein [6, 11, 12, 19, 25], die bis auf die Gruppen von Fung et al. [26] ($r = 0,61$, $p < 0,001$) und Lafortune et al. [27] ($r = -0,67$, $p < 0,001$) keine signifikante Korrelation zwischen der Flussgeschwindigkeit in der Pfortader und dem PPG nachweisen konnten.

Für ein routinemäßig in der Verlaufskontrolle nach TIPSS-Anlage einzusetzendes Verfahren muss in erster Linie eine hohe Sensitivität, bzw. ein möglichst geringer Anteil an falsch negativen Diagnosen gefordert werden, da ein nicht als interventionsbedürftig erkannter Shunt mit dem Risiko einer erneuten Varizenblutung und der damit verbundenen Mortalität einhergeht. In Annahme einer Sensitivität von 90% ergab die Auswertung unserer Daten weder einen absoluten noch einen relativen Grenzwert, der bei ausreichender Spezifität eine Unterscheidung zwischen interventionsbedürftigen und nicht-interventionsbedürftigen Shunts ermöglicht hätte.

Die Frage nach einem verlässlichen Grenzwert bei dopplersonographischen Messungen wird in der Literatur kontrovers diskutiert. So fanden Ullerich et al. [10] eine Sensitivität und Spezifität von 91,5%, bzw. 97% bei einem Absinken der maximalen Flussgeschwindigkeit in der Pfortader, 1–2 cm proximal des Stents, auf < 20 cm/s. Bei einem Absinken der maximalen Flussgeschwindigkeit im Shunttrakt < 50 cm/s erreichten Chong et al. [6] eine Sensitivität von 100% und eine Spezifität von 93%. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Foshager et al. [9] bei einem Absinken der winkelkorrigierten Maximal-Geschwindigkeit des Shunttraktes auf < 50 bzw. < 60 cm/s. Eine geringere Sensitivität von 78% bei allerdings 99%iger Spezifität fanden Feldstein et al. [28] für einen Grenzwert von 50 cm/s. Dodd et al. [8], Murphy et al. [11] und Owens et al. [12] schließlich bewerteten einen Grenzwert von < 50 bzw. < 60 cm/s für die Maximalgeschwindigkeit als nicht sensitiv bezüglich der Beurteilung der Interventionsbedürftigkeit des Shunttraktes. Letztlich scheinen diese Daten die interindividuellen Schwankungen der Flussgeschwindigkeiten in der V. portae widerzuspiegeln.

Die signifikante Zunahme der sowohl MR-tomographisch als auch dopplersonographisch ermittelten Flusswerte sowie die signifikante Abnahme des PPG im Rahmen einer Intervention (Dilatation des Shunttraktes oder Stent-Neuanlage) steht in Übereinstimmung mit sämtlichen in der Literatur verzeichneten dopplersonographischen Ergebnissen sowie der einzigen MR-tomographischen Studie [15]. Zusammenfassend ist die MRT/MRA gegenüber der dopplersonographischen Verlaufsbeurteilung in Bezug auf die Untersucherunabhängigkeit des Verfahrens und der z.T. eingeschränkten Schallbedingungen im Vorteil. Dies wird durch zwei prospektive Studien, in denen die Dopplersonographie zur Verlaufsbeurteilung des TIPSS als ungeeignet bewertet wurde, bestätigt [11, 12].

Mögliche Verbesserungen bieten hier der Einsatz der Power Dopplersonographie sowie die Verwendung von Ultraschallkontrastmitteln, die die Sensitivität und Spezifität der Diagnose einer Shunt-Dysfunktion signifikant erhöhen sollen [25, 29]. Weiterhin kann die Interobserver-Variabilität der dopplersonographischen Flussmessung durch ein gemeinsames Trainingsprogramm reduziert werden [24]. Vielversprechend erscheinen

auch die Ergebnisse von Chopra et al. [30], die bei dem Einsatz der CT-Angiographie zur Beurteilung der Shunt-Funktion eine Sensitivität von bis zu 97% und eine Spezifität von bis zu 89% unter Verwendung morphologischer Kriterien ermitteln konnten.

Mögliche Verbesserungen für die MRT liegen in der Entwicklung neuer Stents, die aufgrund fehlender Artefakte auch eine morphologische Beurteilung des Stenttraktes ermöglichen könnten. Verschiedene Ansätze mit beschichteten Stents liegen bereits vor, sind aber bisher den Beweis einer besseren Beurteilbarkeit durch die MR-Bildgebung oder einer geringeren Stenose-Okklusionsrate schuldig geblieben.

Schlussfolgerungen

1. Die Magnetresonanztomographie mit Flussmessung in der Pfortader kann bei mit transjugulärem intrahepatischem portosystemischem Stent-Shunt versorgten Patienten ohne Komplikationen oder Nebenwirkungen angewendet werden.
2. Der Vergleich von MR-tomographisch bestimmten Flusswerten in der Pfortader prä- und post-interventionell ermöglicht eine Erfolgskontrolle der angiographischen Intervention.
3. Die MR-tomographische Flussquantifizierung in der V. portae ermöglicht eine sichere Detektion einer Shunt-Okklusion.
4. Als Parameter für die Interventionsbedürftigkeit einer Shunt-Stenose ist die MR-tomographisch bestimmte Flussgeschwindigkeit in der V. portae allein nicht geeignet.

Danksagung

Dr. A. Heinecke aus dem Institut für Medizinische Informatik und Biomathematik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster danken wir herzlich für die Beratung in statistischen Fragen.

Literatur

- 1 Rössle M, Ochs A, Gulberg V, et al. A comparison of paracentesis and transjugular intrahepatic portosystemic shunting in patients with ascites. *N Engl J Med* 2000; 343 (23): 1701–1707
- 2 Jalan R, Lui HF, Redhead DN, et al. TIPSS 10 years on. *Gut* 2000; 46: 578–581
- 3 Richter GM, Nöldge G, Brado M, et al. TIPSS: 10 Jahre klinische Erfahrung. *Fortschr Röntgenstr* 1998; 168 (4): 307–315
- 4 Textor HJ, Brensing KA, Wilhelm K, et al. TIPSS: Technische und klinische Ergebnisse nach 4 Jahren. *Fortschr Röntgenstr* 1998; 168: 361–368
- 5 Rössle M, Siegerstetter V, Huber M, et al. The first decade of the transjugular intrahepatic portosystemic shunt (TIPS): state of the art. *Liver* 1998; 18 (2): 73–89
- 6 Chong WK, Malisch TA, Mazer MJ, et al. Transjugular intrahepatic portosystemic shunt: US assessment with maximum flow velocity. *Radiology* 1993; 189 (3): 789–793
- 7 Zizka J, Elias P, Krajina A, et al. Value of Doppler sonography in revealing transjugular intrahepatic portosystemic shunt malfunction: a 5-year experience in 216 patients. *Am J Roentgenol* 2000; 175: 141–148
- 8 Dodd 3rd GD, Zajko AB, Orons PD, et al. Detection of transjugular intrahepatic portosystemic shunt dysfunction: value of duplex Doppler sonography. *Am J Roentgenol* 1995; 164 (5): 1119–1124
- 9 Foshager MC, Ferral H, Nazarian GK, et al. Duplex sonography after transjugular intrahepatic portosystemic shunts (TIPS): normal hemodynamic findings and efficacy in predicting shunt patency and stenosis. *Am J Roentgenol* 1995; 165 (1): 1–7

- ¹⁰ Ullerich H, Menzel J, Kucharzik T, et al. Kann die Funktion des transjugulären intrahepatischen portosystemischen Shunts nichtinvasiv durch Doppler-Sonographie beurteilt werden? *Z Gastroenterol* 1999; 37: 771–778
- ¹¹ Murphy TP, Beecham RP, Kim HM, et al. Long-term follow-up after TIPS: use of Doppler velocity criteria for detecting elevation of the portosystemic gradient. *J Vasc Interv Radiol* 1998; 9 (2): 275–281
- ¹² Owens CA, Bartolone C, Warner DL, et al. The inaccuracy of duplex ultrasonography in predicting patency of transjugular intrahepatic portosystemic shunts. *Gastroenterology* 1998; 114 (5): 975–980
- ¹³ Müller MF, Siewert B, Stokes KR, et al. MR angiographic guidance for transjugular intrahepatic portosystemic shunt procedures. *J Magn Reson Imaging* 1994; 4 (2): 145–150
- ¹⁴ Möller HE, Klocke H-K, Bongartz GM, et al. MR flow quantification using RACE: Clinical application to the carotid arteries. *J Magn Reson Imaging* 1996; 6 (3): 503–512
- ¹⁵ Debatin JF, Zahner B, Meyenberger C, et al. Azygos blood flow: phase contrast quantitation in volunteers and patients with portal hypertension pre- and postintrahepatic shunt placement. *Hepatology* 1996; 24 (5): 1109–1115
- ¹⁶ Laissy J-P, Grand C, Matos C, et al. Magnetic resonance angiography of intravascular endoprosthesis: investigation of three devices. *Cardiovasc Intervent Radiol* 1995; 18 (6): 360–366
- ¹⁷ Shellock FG, Curtis JS. MR imaging and biomechanical implants, materials, and devices: an updated review. *Radiology* 1991; 180 (2): 541–550
- ¹⁸ Spritzer CE. Vascular diseases and MR angiography of the liver. *MRI Clinics of North America* 1997; 5: 377–396
- ¹⁹ Haag K, Rössle M, Ochs A, et al. Correlation of duplex sonography findings and portal pressure in 375 patients with portal hypertension. *Am J Roentgenol* 1999; 172 (3): 631–635
- ²⁰ Taourel P, Blanc P, Dauzat M, et al. Doppler study of mesenteric, hepatic, and portal circulation in alcoholic cirrhosis: relationship between quantitative Doppler measurements and the severity of portal hypertension and hepatic failure. *Hepatology* 1998; 28 (4): 932–936
- ²¹ Sugano S, Yamamoto K, Sasao K-I. Portal venous blood flow while breath-holding after inspiration or expiration and during normal respiration in controls and cirrhotics. *J Gastroenterol* 1999; 34 (5): 613–618
- ²² Applegate GR, Thaete FL, Meyers SP, et al. Blood flow in the portal vein: velocity quantitation with phase-contrast MR angiography. *Radiology* 1993; 187 (1): 253–256
- ²³ Libicher M, Radeleff B, Madler U, et al. Nachsorge bei TIPSS. Vergleich zwischen Farbdopplersonographie und Portographie. *Radiologe* 1998; 38 (5): 370–377
- ²⁴ Sabba C, Merkel C, Zoli M, et al. Interobserver and interequipment variability of echo-Doppler examination of the portal vein: effect of a cooperative training program. *Hepatology* 1995; 21 (2): 428–433
- ²⁵ Fürst G, Malms J, Heyer T, et al. Transjugular intrahepatic portosystemic shunts: improved evaluation with echo-enhanced color Doppler sonography, power Doppler sonography and spectral duplex sonography. *Am J Roentgenol* 1998; 170 (4): 1047–1054
- ²⁶ Fung Y, Glajchen N, Shapiro RS, et al. Portal vein velocities measured by ultrasound: usefulness for evaluating shunt function following TIPS placement and TIPS revision. *Abdom Imaging* 1998; 23 (5): 511–514
- ²⁷ Lafortune M, Martinet JP, Denys A, et al. Short and long-term hemodynamic effects of transjugular intrahepatic portosystemic shunts: A Doppler/manometric correlative study. *Am J Roentgenol* 1995; 164 (4): 997–1002
- ²⁸ Feldstein VA, Patel MD, LaBerge JM. Transjugular intrahepatic portosystemic shunts: accuracy of Doppler US in determination of patency and detection of stenoses. *Radiology* 1996; 201 (1): 141–147
- ²⁹ Leutloff UC, Richter GM, Libicher M, et al. TIPSS-Kontrolle mit Farbduplexsonographie unter Anwendung eines Ultraschallverstärkungsmittels. Erste Ergebnisse. *Radiologe* 1999; 39: 1072–1077
- ³⁰ Chopra S, Dodd 3rd GD, Chintapalli KN, et al. Transjugular intrahepatic portosystemic shunt: accuracy of helical CT angiography in the detection of shunt abnormalities. *Radiology* 2000; 215 (1): 115–122