

Kontrastmittelunterstützte Sonografie der Leber: vaskuläre Pathologien und Interventionen

Contrast-enhanced ultrasound of the liver: Vascular pathologies and interventions



Autorinnen/Autoren

Ehsan Safai Zadeh^{1, 2}, Helmut Prosch¹, Ahmed Ba-Ssalamah¹, Martina Scharitzer¹, Svitlana Pochepnia¹, Hajo Findeisen³, Amjad Alhyari², Nils Raab⁴, Katharina Paulina Huber⁵, Christian Görg²

Institute

- 1 Department of Biomedical Imaging and Image-guided Therapy, Medical University of Vienna, Vienna, Austria
- 2 Interdisciplinary Centre of Ultrasound Diagnostics, Gastroenterology, Endocrinology, Metabolism and Clinical Infectiology, University Hospital of Giessen and Marburg Campus Marburg, Marburg, Germany
- 3 Department for Internal Medicine, Red Cross Hospital Bremen, Bremen, Germany
- 4 Department for Internal Medicine, West Mecklenburg Hospital Helene von Bülow, Ludwigslust, Germany
- 5 Department of General Internal Medicine and Psychosomatics, University Hospital Heidelberg, Germany

Schlüsselwörter

Ultraschall, CEUS, vaskuläre Pathologie, Intervention, Leber, Diagnostik

Keywords

Ultrasound, CEUS, Liver, vascular pathology, Intervention, Diagnostics

eingereicht 20.12.2023

akzeptiert nach Revision 13.2.2024

Artikel online veröffentlicht 18.4.2024

Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2024; 196: 1220–1227

DOI 10.1055/a-2275-2972

ISSN 1438-9029

© 2024. The Author(s).

This is an open access article published by Thieme under the terms of the Creative Commons Attribution-NonDerivative-NonCommercial-License, permitting copying and reproduction so long as the original work is given appropriate credit. Contents may not be used for commercial purposes, or adapted, remixed, transformed or built upon. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Ehsan Safai Zadeh

Department of Biomedical Imaging and Image-guided Therapy, Medical University of Vienna, Währinger Gürtel 18–20, 1090 Vienna, Austria
ehsan.safaizadeh@meduniwien.ac.at



English version at: <https://doi.org/10.1055/a-2275-2972>.

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund In den letzten zwei Jahrzehnten hat sich die kontrastmittelunterstützte Sonografie (CEUS) als ergänzende Methode zum B-Mode-Ultraschall und zur Farbdoppler-Sonografie bei der Diagnose vaskulärer Leberpathologien und Interventionen etabliert.

Methode Ziel dieser Übersicht ist es, die Anwendung der CEUS bei der Diagnose vaskulärer Pathologien und interventioneller Verfahren zu erläutern.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen Unter Berücksichtigung der Limitationen des Ultraschalls stellt die CEUS eine vergleichbare Alternative zu anderen Bildgebungsverfahren wie der Computertomografie und der Magnetresonanztomografie dar, um vaskuläre Pathologien zu beurteilen und Interventionen zu leiten, Komplikationen zu identifizieren und die Ergebnisse nach der Intervention zu bewerten. Aufgrund der fehlenden Strahlenbelastung und der schnellen Verfügbarkeit sollte die CEUS als primäres Verfahren eingesetzt werden.

Kernaussagen

- Bei der Detektion vaskulärer Leberpathologien spielt die CEUS eine bedeutende Rolle.
- Die CEUS ist bei der Charakterisierung vaskulärer Pathologien hilfreich.
- Die CEUS ist hilfreich, um Interventionen zu leiten und Komplikationen zu identifizieren.

Zitierweise

- Safai Zadeh E, Prosch H, Ba-Ssalamah A et al. Contrast-enhanced ultrasound of the liver: Vascular pathologies and interventions. *Fortschr Röntgenstr* 2024; 196: 1220–1227

ABSTRACT

Background Over the past two decades, contrast-enhanced ultrasound (CEUS) has been established as a method complementary to B-mode ultrasound and color Doppler sonography for diagnosing vascular liver pathologies and interventions.

Method The objective of this review is to elucidate the application of CEUS in diagnosing vascular pathologies and interventional procedures.

Results and Conclusion Considering the limitations of ultrasound, CEUS presents a similar alternative to other imaging modalities, such as computed tomography and magnetic resonance imaging, for evaluating vascular pathologies, guiding interventions, identifying complications, and assessing outcomes post intervention. Due to its widespread avail-

ability and the absence of radiation exposure, CEUS should be employed as a primary modality.

Key Points

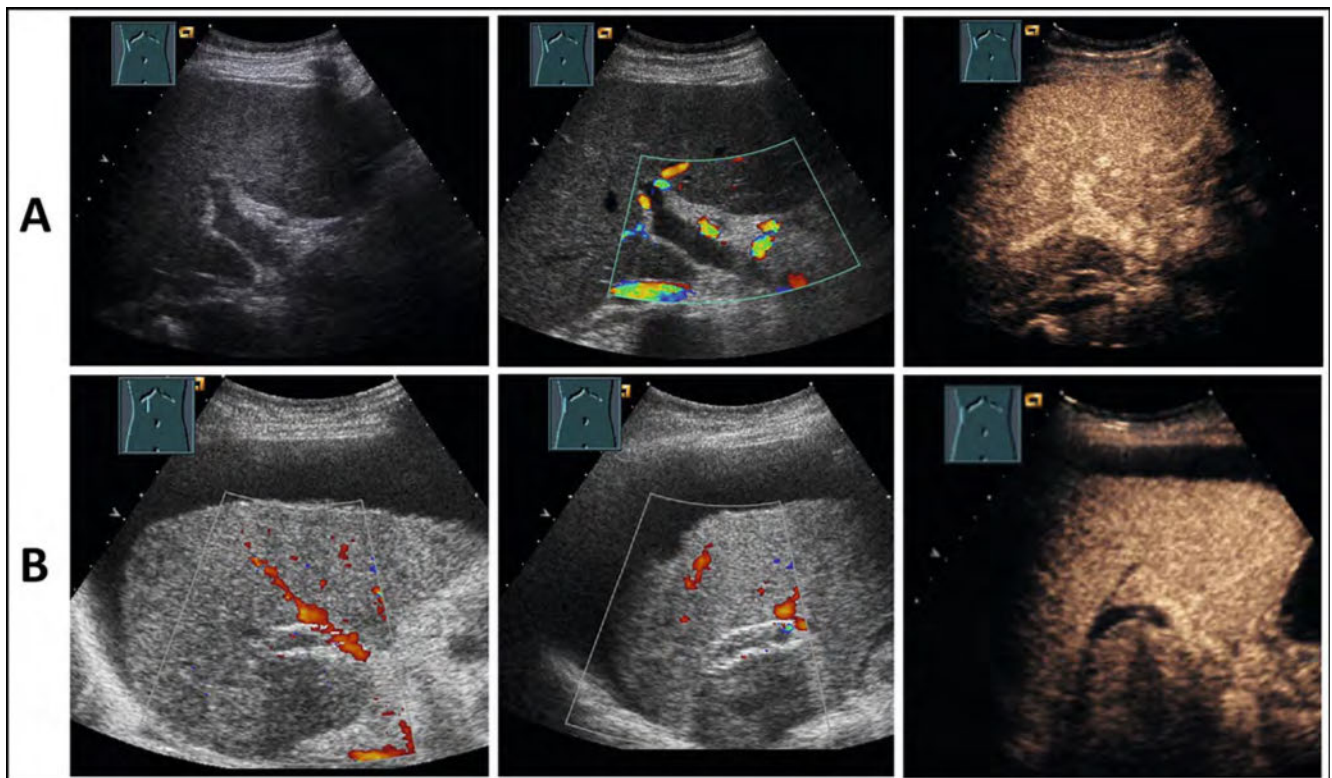
- CEUS plays an important role in the detection of vascular liver pathologies.
- CEUS is helpful in characterizing vascular pathologies.
- CEUS is helpful in guiding interventions and identifying complications.

Einleitung

Im Verlauf der letzten zwei Jahrzehnte hat sich die kontrastunterstützte Sonografie (*Contrast Enhanced Ultrasound*, CEUS) als eine komplementäre, kosteneffiziente und strahlenfreie Methode der Echtzeitdiagnostik neben der B-Bild-Sonografie (B-US) und der Farbdoppler-Sonografie (FDS) etabliert [1, 2, 3]. Sie wird bei relevanten Fragestellungen, insbesondere im Bereich der Leberpathologien, regelmäßig herangezogen. Die Grundlagen zur Anwendung der CEUS wurden bereits in mehreren Leitlinien und Übersichtsarbeiten umfassend beschrieben [1, 3, 4, 5].

Die Vorteile der CEUS gegenüber der bei der Computertomografie (CT) verwendeten Kontrastmittel umfassen die fehlende Nephro- und Schilddrüsentoxizität sowie das strikte intravaskuläre Verweilen [1, 2, 3]. Die strikte intravaskuläre Verweildauer und die Größe der Mikrobläschen ermöglichen somit die Darstellung der Perfusion auf Kapillarebene [2]. Aufgrund dieser Vorteile stellt die CEUS, unter Berücksichtigung der Limitationen des Ultraschalls, eine optimale Methode zur Beurteilung der vaskulären Leberpathologien dar [2, 3, 6].

Diese Übersichtsarbeit bietet einen Überblick über verschiedene vaskuläre Lebererkrankungen und erläutert die Rolle der CEUS bei Interventionen der Leber.



► **Abb. 1 A)** Ein 62-jähriger Patient mit Leberzirrhose (Child B) und äthyltoxischer Genese mit Grad-I-Ösophagusvarizen nach Paquet-Klassifikation. Die Farbdoppler-Sonografie zeigt keinen Fluss in der Pfortader. Aufgrund einer vermuteten Pfortaderthrombose wurde eine CEUS durchgeführt. In diesem Fall zeigt die Pfortader in der CEUS ein Enhancement mit Ausschluss einer Thrombose. **B)** 66-jähriger Patient mit Leberzirrhose (Child B) und Zustand nach der Anlage eines transjugulären intrahepatischen portosystemischen Shunts (TIPSS) bei therapierefraktärem Aszites. Die Farbdoppler-Sonografie zeigt keine Flusssignale. Die CEUS bestätigt die Diagnose eines thrombotischen Verschlusses.

Vaskuläre Pathologien

Der Verdacht auf Vorliegen einer vaskulären Pathologie der Leber wird bei entsprechender Klinik geäußert und ist selten ein Zufallsbefund. Die FDS zeigt eine limitierte Sensitivität bei kleineren Gefäßen sowie bei Gefäßen mit einem langsamen Blutfluss (unter 1 mm/s) [2]. Die CEUS kann diese Limitationen überwinden mit Visualisierung der Perfusion bis hin zur Kapillarebene [2]. Sie kann zum Ausschluss oder zur Bestätigung einer fraglichen Perfusionsstörung in der FDS eingesetzt werden (► **Abb. 1A** und **1B**).

Arterielle, portalvenöse und venöse Perfusionsstörung

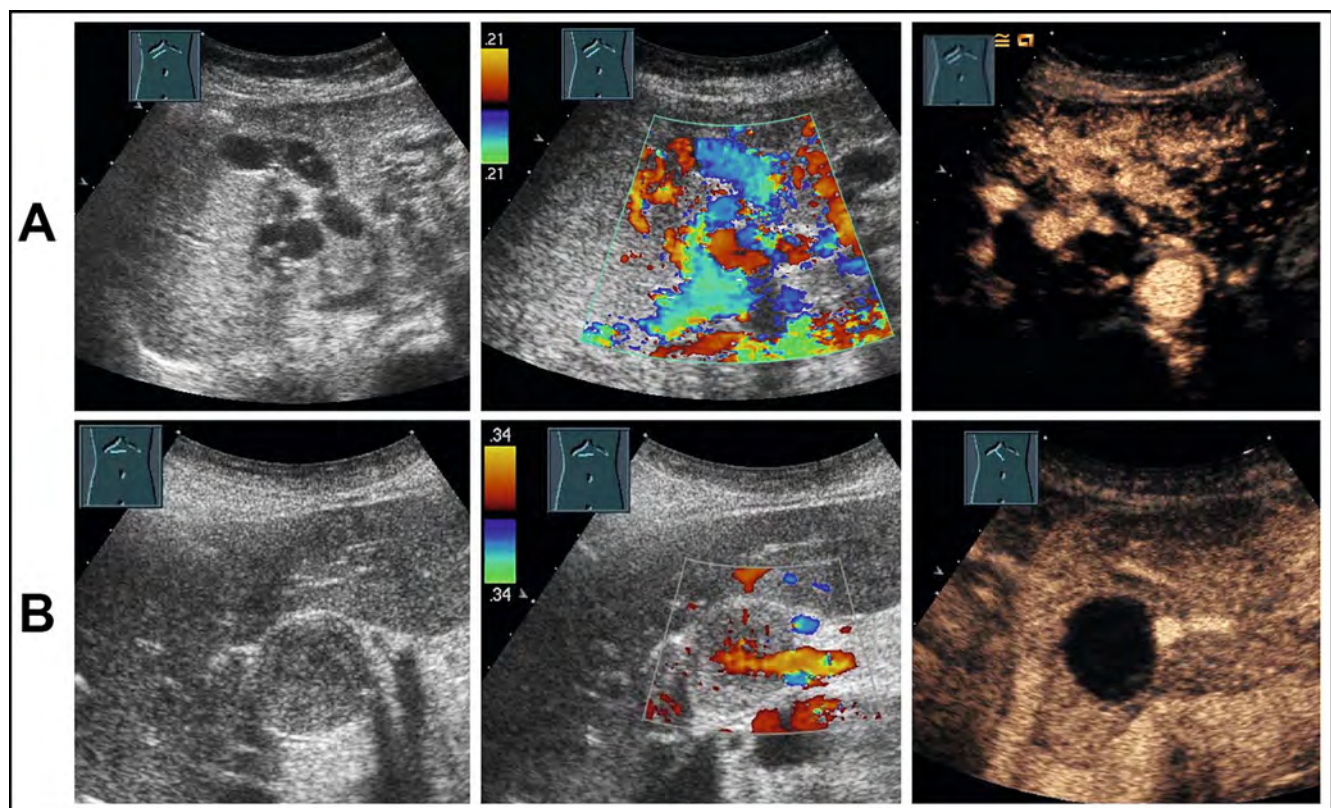
Die Leber erhält etwa 75 % bis 80 % ihrer Blutversorgung durch das venöse Blut der Pfortader, während die restlichen 20 % bis 25 % durch die A. hepatica bereitgestellt werden [7]. Gefäßanomalien der Arteria hepatica wie bei hereditärer hämorrhagischer Teleangiektasie (Morbus Osler), dem Hepatica-Aneurysma oder im portalvenösen System wie bei spontanen intrahepatischen portosystemischen Shuntbildungen sind eine Domäne der Farbdoppler-Sonografie. Die CEUS kann additive Informationen geben (► **Abb. 2**).

Aufgrund dieser anatomischen Besonderheit der Leber führt ein Verschluss der Leberarterie nicht zwangsläufig zu einem

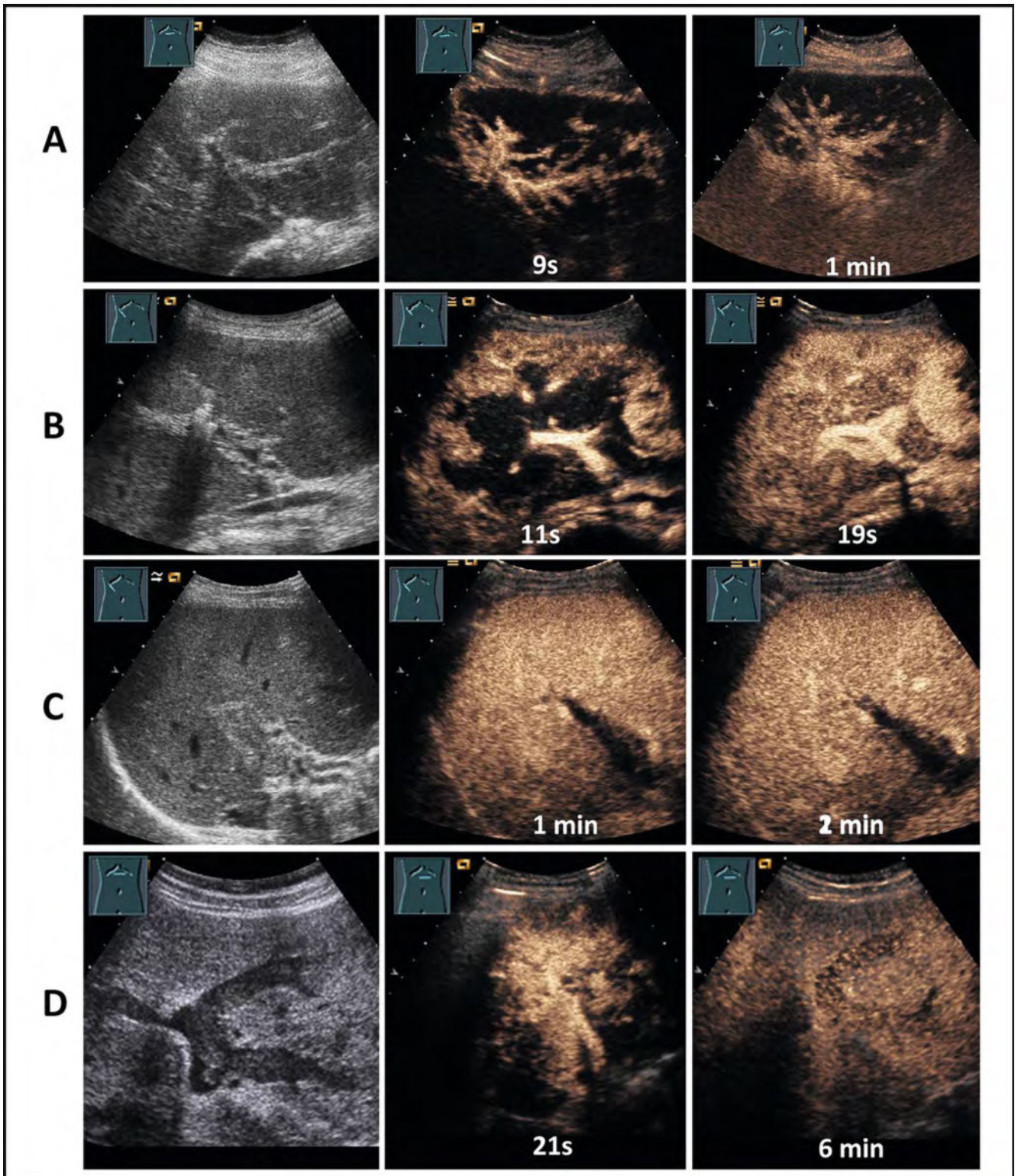
Leberinfarkt, da normalerweise eine ausreichende Sauerstoffversorgung durch die Pfortader gewährleistet ist [2, 7]. Leberinfarkte sind daher selten und treten in der Regel bei gleichzeitiger Pfortaderabflussstörung auf. So sind Leberinfarkte u. A. bei iatrogenen Verletzungen im Rahmen von Interventionen wie Cholezystektomie, transarterieller Chemoembolisation, transjugulärer intrahepatisch portosystemischer Shunt-Anlage beschrieben, aber auch bei systemischen Erkrankungen wie der eosinophilen Granulomatose mit Polyangiitis, dem Antiphospholipid-Syndrom, bei systemischem Lupus erythematoses und bei Leberabszessen [2, 8].

Eine Pfortaderthrombose (PVT) tritt bei Patienten mit Leberzirrhose, myeloproliferativen Erkrankungen oder Gerinnungsstörungen wie Faktor-V-Leiden-Mutation, Faktor II-Mutation Antithrombin III-Mangel Protein-C- oder -S-Mangel auf [9]. Sie kann auch im Rahmen einer malignen Erkrankung, wie beispielsweise bei primären oder sekundären malignen Lebertumoren – zum Beispiel einem hepatozellulären Karzinom (HCC) oder Lebermetastasen – vorkommen [2, 9].

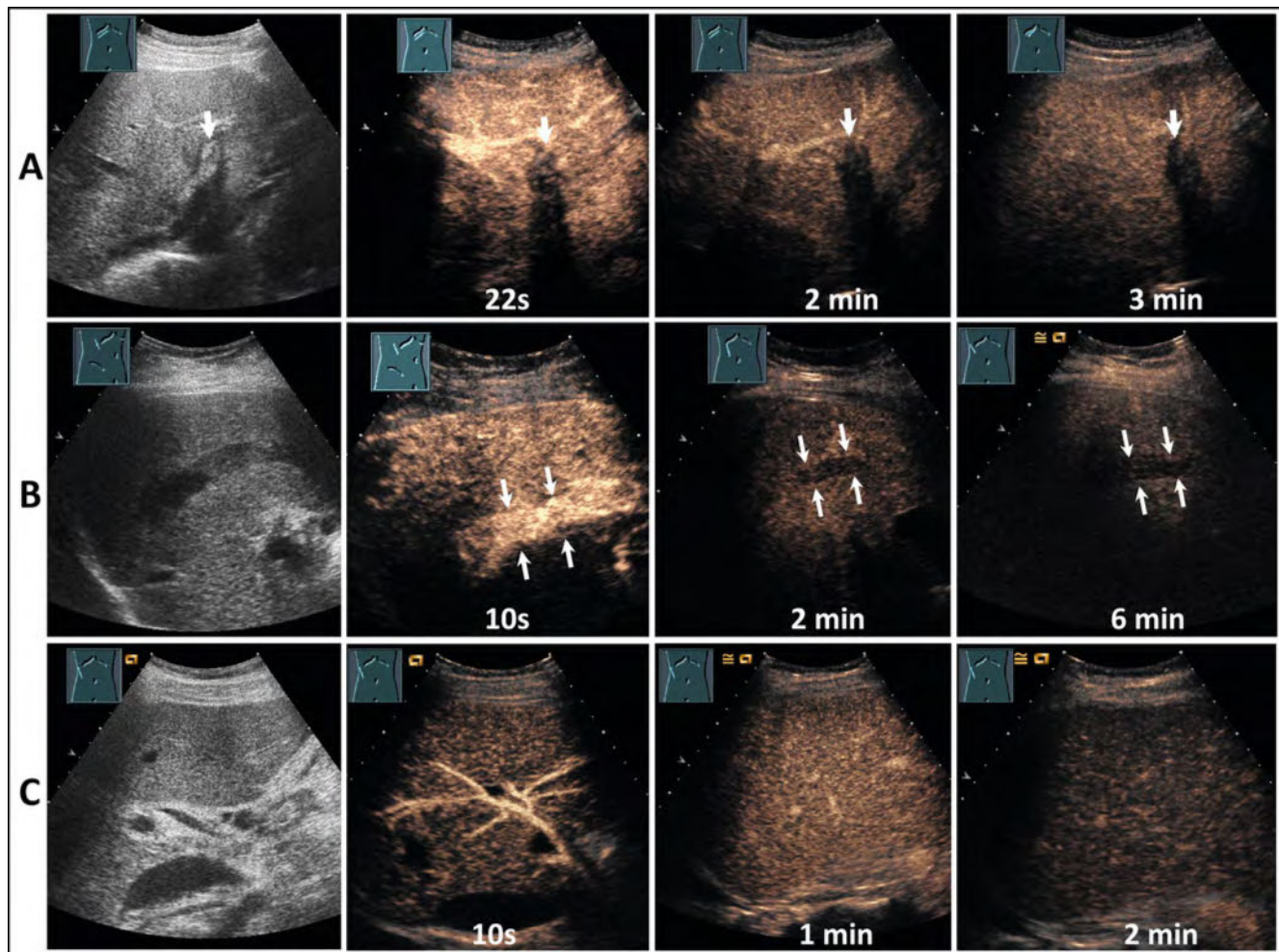
Die CEUS ermöglicht eine sichere Unterscheidung zwischen einer dualen Perfusionsstörung (Leberinfarkt), einer alleinigen arteriellen und einer alleinigen venösen Perfusionsstörung (► **Abb. 3A–C**). Ein fehlendes Enhancement des Leberparenchyms während der gesamten Untersuchung deutet auf eine duale Per-



► **Abb. 2** Darstellung möglicher Gefäßanomalien der Leber in der CEUS. **A)** Eine 78-jährige Patientin mit hereditärer hämorrhagischer Teleangiektasie und Angiodysplasien im Magen und Zökum, Zustand nach Argonplasmakoagulation; nun Anämie aufgrund erneuter Blutungen aus dem Magen; Darstellung einer Leberbeteiligung im B-Mode-Ultraschall. Die erweiterten Gefäße in der Farbdoppler-Sonografie und im kontrastverstärkten Ultraschall zeigen variköse arterielle Gefäßvolumina. **B)** 94-jährige Patientin mit akuter Pankreatitis biliärer Genese und echogener Struktur im Leberhilusbereich, angrenzend an die A. hepatica. In der Farbdoppler-Sonografie können Flusssignale in der Formation detektiert werden, wie bei einem teiltrombosierte Aneurysma. In der CEUS zeigt sich jedoch eine fehlende Perfusion während der gesamten Untersuchung, wie bei einem komplett thrombosierte Aneurysma.



► **Abb. 3** Darstellung möglicher arterieller sowie portalvenöser Perfusionsstörungen der Leber in der CEUS. **A)** 34-jährige Patientin mit HELLP-Syndrom und einer inhomogenen Leber im B-US. In der CEUS zeigt der linke Leberlappen sowohl in der arteriellen als auch in der portalvenösen Phase eine fehlende Perfusion, vereinbar mit einem Leberinfarkt. **B)** 44-jährige Patientin mit Kolonkarzinom mit Z. n. Lebermetastasenresekten und Z. n. arterieller Chemoembolisation. Im B-US zeigt sich eine homogene Leber. In der CEUS zeigt sich ein Areal mit fehlender Perfusion in der arteriellen Phase, gefolgt von einer vorhandenen Perfusion in der portalvenösen Phase, vereinbar mit einer arteriellen Perfusionsstörung. **C)** 22-jährige Patientin mit Hyperhomocysteinämie und echogenem Material in der Pfortader im B-US. In der CEUS zeigt die Pfortader während der gesamten Untersuchung eine fehlende Perfusion, vereinbar mit einem Abscheidungsthrombus. **D)** 51-jähriger Patient mit bekanntem HCC und echogenem Material in der Pfortader im B-US. In der CEUS zeigt das echogene Material ein Kontrastenhancement, vereinbar mit einer Tumorthrombose.



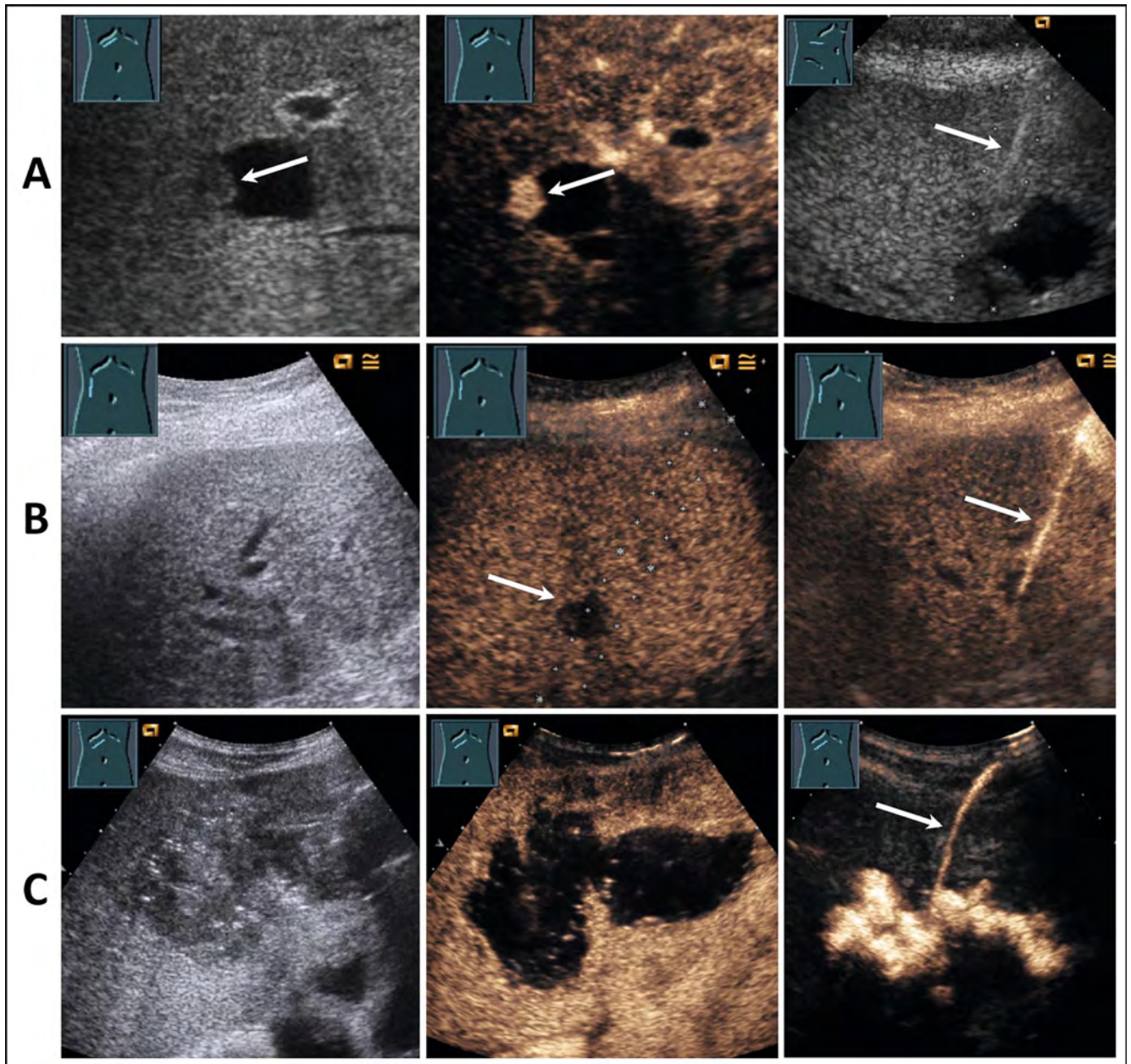
► **Abb. 4** **A**) 70-jährige Patientin mit metastasiertem kolorektalen Karzinom und echogenem Material in der linken Lebervene im B-US (Pfeil). In der CEUS (Pfeile) zeigt die Vene während der gesamten Untersuchung eine fehlende Perfusion, vereinbar mit einem Abscheidungsthrombus. **B**) 63-jährige Patientin mit primärem undifferenziertem Lebersarkom und echogenem Material in der rechten Lebervene im B-US. In der CEUS zeigt das echogene Material ein Kontrastenhancement, vereinbar mit einer Tumorthrombose (Pfeile). **C**) 20-jähriger Patient mit AML und Zustand nach allogener Stammzelltransplantation und dem klinischen Bild einer Venenverschlusskrankheit. Im B-Bild US und in der arteriellen Phase stellen sich die Leberhilusgefäße regelrecht dar mit einem normalen Enhancement nach 1 min und einem reduzierten Enhancement nach 2 min.

fusionsstörung (Leberinfarkt) hin. Ein isoliert fehlendes Enhancement des Leberparenchyms während der arteriellen Phase [10] (ca. 10–20 Sekunden nach der Verabreichung des Kontrastmittels bis ca. 30–45 Sekunden) weist auf eine arterielle Perfusionsstörung hin. Ein isoliert fehlendes Enhancement der Pfortader oder ihrer Äste während der gesamten Untersuchung deutet auf einen Thrombus im portalvenösen Gefäßsystem hin. Darüber hinaus ist die CEUS hilfreich zur Unterscheidung eines Tumorthrombus von einem Abscheidungsthrombus im portalvenösen Gefäßsystem (► **Abb. 3C** und **3D**) [2, 11].

Eine Obstruktion der großen abfließenden *Lebervenen* wird als Budd-Chiari-Syndrom (BCS) bezeichnet [2]. Die Obstruktion kann partiell oder komplett sein, und primär oder sekundär bedingt sein. Sie führt zu einem sekundären Anstieg des Sinusoidaldrucks, einer portalen Hypertension und Abnahme der Pfortaderperfu-

on [2, 12]. Primäre Thrombosen in den Lebervenen können durch eine Thrombophilie bedingt sein, wobei hier Krankheitsbilder wie Faktor-V-Leiden-Mutation, Antithrombin III-Mangel Protein-C- oder -S-Mangel oder erworbene Krankheiten, darunter vor allem myeloproliferative Störungen in Frage kommen [2, 12]. Ein sekundäres Budd-Chiari-Syndrom kann durch Kompression von benachbarten Strukturen oder durch Tumorinvasion entstehen [12].

Beim kompletten oder partiellen Budd-Chiari-Syndrom kann die Thrombose in den großen Lebervenen als Abscheidungsthrombus oder Tumorthrombose mit Hilfe der CEUS differenziert werden (► **Abb. 4A** und **B**). Des Weiteren weisen erste kasuistische Arbeiten darauf hin, dass bei einer Venenverschlusskrankheit kleinster Lebervenen (VOD) im Rahmen von allogener Knochenmarkstransplantation es zu einer Verminderung des parenchymalen Enhancements kommen kann [13] (► **Abb. 4C**).

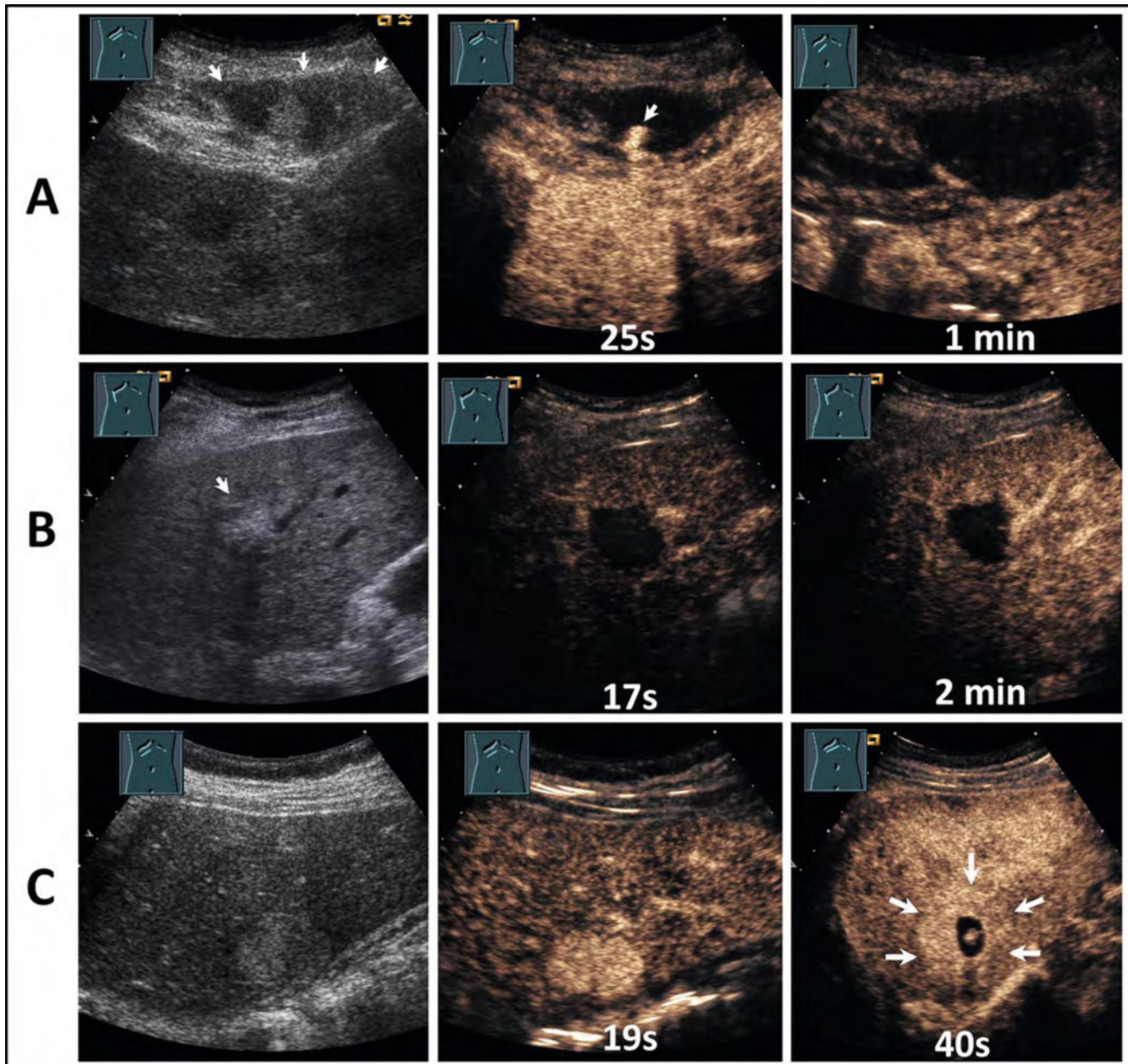


► **Abb. 5 A)** „Zystisch imponierende“ Läsion im B-US mit randständiger inhomogener Begrenzung (Pfeil). In der CEUS zeigt das randständige Areal eine Hyperperfusion wie bei vitalem Gewebe (Pfeil), welche durch US-gesteuerte Punktion als Metastase eines bekannten papillären Nierenzellkarzinoms gesichert wurde (Pfeil). **B)** Im B-US lässt sich keine Leberherdbildung bei einem Patienten mit Pankreaskarzinom abgrenzen, welche in der CEUS sichtbar wird (Pfeil). Durch Punktion des Herdes im CEUS-Modus (Pfeil) konnte eine Metastase des Pankreaskarzinoms gesichert werden. **C)** Darstellung eines Leberabszesses im B-US und CEUS mit Lagekontrolle des Drainagekatheters im CEUS-Modus nach Kontrastmittel-Applikation über die Drainage (Pfeil).

CEUS-gesteuerte Interventionen fokaler Leberraumforderungen

Die CEUS kann zur Unterstützung der Diagnose und besseren Visualisierung des Punktionsziels vor der Intervention, zur Steuerung während der Intervention oder zur Bestätigung des Ergebnisses nach dem Eingriff verwendet werden [6]. Es wurde beschrieben, dass die CEUS-gesteuerte Biopsie bei Leberläsionen die Treffsicherheit im Vergleich zur nicht CEUS-gesteuerten US-Biopsie um bis zu

10 % erhöht [3, 14]. Die CEUS ermöglicht aufgrund des strikt intravasculären Verweilens eine sichere Unterscheidung zwischen vitalem und avitalem Tumorgewebe und erhöht dadurch die Erfolgsrate bei Punktionen von Leberherden (► **Abb. 5A**) [15]. Die Punktion im CEUS-Modus kann weiterhin bei fokalen Läsionen in der Leber eingesetzt werden, welche im B-US nicht eindeutig darstellbar sind (► **Abb. 5B**) [15, 16]. Bei der Anlage einer Katheterdrainage in einen Leberabszess kann die CEUS mit extravasaler Applikation des Kon-



► **Abb. 6 A)** Patientin nach Leberbiopsie aufgrund des Verdachts auf Lebermetastasen eines Mammakarzinoms. Die Kontrolle 2 Stunden nach der Biopsie zeigt im B-Modus-Ultraschall (links) ein echogenes Areal oberhalb der Punktionsstelle (Pfeile). In der CEUS (Mitte) wird eine Kontrastmittelfahne (Pfeil) sichtbar, die auf eine aktive Blutung hindeutet. Nach 4 Stunden zeigt der CEUS (rechts) das Sistieren der Blutung. **B)** Patient nach Radiofrequenzablation (RFA) vor 6 Monaten aufgrund eines HCC. Bei der Verlaufskontrolle zeigt die echoreiche Läsion (Pfeil) während der gesamten Untersuchung kein Enhancement, wodurch ein Rezidiv ausgeschlossen werden konnte. **C)** Patient mit HCC und vor TACE (Mitte) sowie nach TACE (rechts), wobei die Läsion ein inkomplettes Enhancement als Hinweis auf residuales vitales Tumorgewebe zeigt (Pfeile).

trastmittels über die Drainage zur Lagekontrolle des Katheters verwendet werden (► **Abb. 5C**) [17].

Im postinterventionellen Prozedere kann die CEUS zum Nachweis/Ausschluss postinterventioneller Komplikationen wie Blutung (► **Abb. 6A**), arteriovenöser Fistel, Erfolgskontrolle einer Radiofrequenzablation (► **Abb. 6B**) oder einer transarteriellen Chemoembolisation (TACE) verwendet werden (► **Abb. 6C**) [6, 18].

Limitationen

Im Gegensatz zur CT und MR zeichnet sich die CEUS grundsätzlich als eine Untersuchungsmethode aus, die stark vom Untersucher abhängig ist. Daher schwankt der diagnostische Wert je nach Erfahrung und Kompetenz des Untersuchers. In der CEUS, ähnlich wie im B-US, können bei schlecht schallbaren Patienten tief gelegene Bereiche aufgrund starker Schallabsorption und Bereiche im Leberzwerchfelldom aufgrund von Luftüberlagerung gelegentlich nicht visualisiert werden.

Schlussfolgerung

Die Implementierung der CEUS in der klinischen Praxis hat neue Horizonte in der Diagnose vaskulärer Leberpathologien eröffnet und kann die Diagnose einer Vielzahl vaskulärer Lebererkrankungen unterstützen [2]. Unter Berücksichtigung der primären Anwendung von Ultraschall bei Lebererkrankungen ermöglicht die CEUS, welche schnell, ohne Strahlenbelastung und direkt am Patientenbett durchgeführt werden kann, eine rasche Diagnose und Behandlung [2, 6]. Die CEUS erlaubt eine präzise Visualisierung von Makro- wie Mikrogefäßen sowie der luminalen Integrität der Drainagen in Echtzeit [6]. Die Fortschritte in der CEUS-Technologie haben die kontrastmittelverstärkte Sonografie zu einem unverzichtbaren Instrument bei sonografischen Interventionen gemacht, um die Intervention zu leiten, Komplikationen zu erkennen und die Ergebnisse nach der Intervention zu bewerten [6].

Interessenkonflikt

C. Görg führt mit Unterstützung von Bracco Fortbildungen zur kontrastmittelunterstützten Sonographie für Ärzte und Ärztinnen am Universitätsklinikum Marburg durch.

References

- [1] Dietrich CF, Nolsøe CP, Barr RG et al. Guidelines and Good Clinical Practice Recommendations for Contrast Enhanced Ultrasound (CEUS) in the Liver – Update 2020 – WFUMB in Cooperation with EFSUMB, AFSUMB, AIUM, and FLAUS. *Ultraschall Med* 2020; 41: 562–585. doi:10.1055/a-1177-0530
- [2] Wiest I, Safai Zadeh E, Görg C et al. Value of contrast-enhanced ultrasound for vascular diseases of the liver – current indications and open questions. *Z Gastroenterol* 2022. doi:10.1055/a-1973-5731
- [3] Dietrich CF, Averkiou M, Nielsen MB et al. How to perform Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS). *Ultrasound Int Open* 2018; 4: E2–e15. doi:10.1055/s-0043-123931
- [4] Claudon M, Dietrich C, Choi B et al. Guidelines and Good Clinical Practice Recommendations for Contrast Enhanced Ultrasound (CEUS) in the Liver – Update 2012. *Ultraschall in der Medizin – European Journal of Ultrasound* 2012; 34: 11–29. doi:10.1055/s-0032-1325499
- [5] Teichgräber U, Fischer T, Clevert DA. *Praxisbuch Kontrastmittelsonografie*. Heidelberg, Berlin: Springer; 2022. doi:10.1007/978-3-662-61686-4
- [6] Tantrige P, Ballal K, Kelly M et al. The Use of Ultrasound Contrast in Interventional Radiology. *The Arab Journal of Interventional Radiology* 2023; 07: 012–021. doi:10.1055/s-0043-1764437
- [7] Eipel C, Abshagen K, Vollmar B. Regulation of hepatic blood flow: the hepatic arterial buffer response revisited. *World J Gastroenterol* 2010; 16: 6046–6057. doi:10.3748/wjg.v16.i48.6046
- [8] Wang FH, Yang NN, Liu F et al. Unexplained huge liver infarction presenting as a tumor with bleeding: A case report. *World J Clin Cases* 2020; 8: 2016–2022. doi:10.12998/wjcc.v8.i10.2016
- [9] Trebicka J, Strassburg CP. Etiology and Complications of Portal Vein Thrombosis. *Viszeralmedizin* 2014; 30: 375–380. doi:10.1159/000369987
- [10] Dietrich CF, Nolsøe CP, Barr RG et al. Guidelines and Good Clinical Practice Recommendations for Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS) in the Liver-Update 2020 WFUMB in Cooperation with EFSUMB, AFSUMB, AIUM, and FLAUS. *Ultrasound Med Biol* 2020; 46: 2579–2604. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2020.04.030
- [11] Chen J, Zhu J, Zhang C et al. Contrast-enhanced ultrasound for the characterization of portal vein thrombosis vs tumor-in-vein in HCC patients: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol* 2020; 30: 2871–2880. doi:10.1007/s00330-019-06649-z
- [12] Aydinli M, Bayraktar Y. Budd-Chiari syndrome: etiology, pathogenesis and diagnosis. *World J Gastroenterol* 2007; 13: 2693–2696. doi:10.3748/wjg.v13.i19.2693
- [13] Trenker C, Burchert A, Schumacher C et al. Pathologic Hepatic Contrast-Enhanced Ultrasound Pattern in Patients Undergoing Allogeneic Stem Cell Transplantation. *Ultrasound Med Biol* 2020; 46: 1865–1871. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2020.03.001
- [14] Wu W, Chen MH, Yin SS et al. The role of contrast-enhanced sonography of focal liver lesions before percutaneous biopsy. *AJR Am J Roentgenol* 2006; 187: 752–761. doi:10.2214/ajr.05.0535
- [15] Lorentzen T, Nolsøe CP. The Role of US Contrast Agents in US-Guided Biopsy of Focal Liver Lesions: A Pictorial Review. *Ultrasound Int Open* 2019; 5: e11–e19. doi:10.1055/a-0770-4237
- [16] Yoon SH, Lee KH, Kim SY et al. Real-time contrast-enhanced ultrasound-guided biopsy of focal hepatic lesions not localised on B-mode ultrasound. *Eur Radiol* 2010; 20: 2047–2056. doi:10.1007/s00330-010-1757-z
- [17] Huang DY, Yusuf GT, Daneshi M et al. Contrast-enhanced ultrasound (CEUS) in abdominal intervention. *Abdom Radiol (NY)* 2018; 43: 960–976. doi:10.1007/s00261-018-1473-8
- [18] Wobser H, Wiest R, Salzberger B et al. Evaluation of treatment response after chemoembolisation (TACE) in hepatocellular carcinoma using real time image fusion of contrast-enhanced ultrasound (CEUS) and computed tomography (CT) – preliminary results. *Clin Hemorheol Microcirc* 2014; 57: 191–201. doi:10.3233/ch-141830