

Ultrasound of the lung

Lungensonografie



Authors

Christoph F. Dietrich¹, Christian Görg², Rudolf Horn³,
Helmut Prosch⁴, Ehsan Safai Zadeh²,
Christian Jessen^{5, 6}

Affiliations

- 1 Department Allgemeine Innere Medizin, Kliniken Hirslanden Beau Site, Salem und Permanence, Bern, Switzerland
- 2 Interdisciplinary Center of Ultrasound Diagnostics, University Hospital Giessen and Marburg, Philipps University Marburg, Germany
- 3 Center da sandà Val Müstair, CH-7537 Sta. Maria
- 4 Abteilung für Allgemeine Radiologie und Kinderradiologie, Medizinische Universität Wien, Austria
- 5 Klinik für Innere Medizin, Krankenhaus Märkisch-Oderland, Strausberg/Wriezen, Germany
- 6 Brandenburgisches Institut für Klinischen Ultraschall an der Medizinischen Hochschule Brandenburg, Neuruppin, Germany

Bibliography

Ultraschall in Med 2023; 44: 582–599

Published online: April 13, 2023

DOI 10.1055/a-2010-7282

ISSN 0172-4614

© 2023. Thieme. All rights reserved.

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

ABSTRACT

The CME review is intended to explain and discuss the clinical value of lung ultrasound but also to enable a pragmatically oriented approach by analyzing the clinical aspect. This includes knowledge of the pre-test probability, the acuteness of the disease, the current clinical situation, detection and/or characterization, initial diagnosis or follow up assessment and the peculiarities of exclusion diagnosis. Diseases of the pleura and lungs are described using these criteria with their direct and indirect sonographic signs and the specific clinical significance of ultrasound findings. The importance and criteria of conventional B-mode, color Doppler ultrasound with or without spectral analysis of the Doppler signal and contrast-enhanced ultrasound are discussed as well.

LEARNING GOALS

- Diagnosis and differential diagnosis of subpleural consolidations
- Diagnosis and differential diagnosis of pneumonia
- Differentiation of various types of pneumonia
- Diagnosis of peripheral pulmonary foci
- The value of color Doppler and contrast-enhanced ultrasound in diagnosing lung consolidations
- Limitations of ultrasound diagnostics

Introduction

Traditionally, thoracic ultrasound is divided into different components: the thoracic wall, the diaphragm, the mediastinum, the lung parenchyma, and the pleura. Echocardiography is usually dealt with separately. In the CME article presented here (as one of three review articles), we aim to explain to interested readers what information can be gained from a lung parenchyma ultrasound and provide a pragmatic approach to analyzing the overall

appearance. This involves knowledge of pre-test probability, the acuteness of the disease, the patient's current clinical situation, and the diagnostic task: to detect or to characterize, to provide an initial diagnosis or a follow-up assessment, as well as the particular features of diagnosis by detection or exclusion. The setting for the diagnostic examination (outpatient, pre-admission, inpatient, emergency admission, ICU or pulmonary ward, clinic versus home visit) should also be taken into account. For information on the special features of thoracic ultrasound in children (pediatrics) [1–3] and in the elderly (geriatrics) [4], as well as artifacts [5], please refer to these recently published studies and position papers.

We outline the significance of conventional brightness-coded B-mode scans, color Doppler ultrasound (CDU), with or without spectral analysis of the Doppler signal, and contrast-enhanced ultrasound (CEUS), and the criteria for their use [6–13]. We also briefly cover elastography [14] and ultrasound-guided interventions.

Lungensonografie

Ultrasound of the lung



Autorinnen/Autoren

Christoph F. Dietrich¹ , Christian Görg², Rudolf Horn³,
Helmut Prosch⁴ , Ehsan Safai Zadeh² ,
Christian Jensen^{5, 6} 

Institute

- 1 Department Allgemeine Innere Medizin, Kliniken Hirslanden Beau Site, Salem und Permanence, Bern, Switzerland
- 2 Interdisciplinary Center of Ultrasound Diagnostics, University Hospital Giessen and Marburg, Philipps University Marburg, Germany
- 3 Emergency Department, Canton of Glarus Hospital, Glarus, Switzerland
- 4 Abteilung für Allgemeine Radiologie und Kinderradiologie, Medizinische Universität Wien, Austria
- 5 Klinik für Innere Medizin, Krankenhaus Märkisch-Oderland, Strausberg/Wriezen, Germany
- 6 Brandenburg Institute for Clinical Ultrasound at Medical University Brandenburg, Neuruppin, Germany

Bibliografie

Ultraschall in Med 2023; 44: 582–599

Published online: 2023

DOI 10.1055/a-2010-7282

ISSN 0172-4614

© 2023. Thieme. All rights reserved.

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

ZUSAMMENFASSUNG

Der CME-Review soll den klinischen Wert des Lungensonographischen erläutern und diskutieren, aber auch durch die Analyse des klinischen Aspekts ein pragmatisch orientiertes Vorgehen ermöglichen. Dazu gehören Kenntnisse über die Prätestwahrscheinlichkeit, die Akutheit der Erkrankung, die aktuelle klinische Situation, die Erkennung und/oder Charakterisierung, die Erstdiagnose oder Verlaufsbeurteilung und die Besonderheiten der Ausschlussdiagnostik. Anhand dieser Kriterien werden Erkrankungen des Brustfells und der Lunge mit ihren direkten und indirekten sonografischen Zeichen und der spezifischen klinischen Bedeutung des Ultraschallbefundes beschrieben. Auch die Bedeutung und die Kriterien des konventionellen B-Modes, des Farbdoppler-Ultraschalls mit oder ohne Spektralanalyse des Dopplersignals und des kontrastverstärkten Ultraschalls werden diskutiert.

LERNZIELE

- Diagnostik und Differenzialdiagnosen subpleuraler Konsolidierungen
- Diagnostik und Differenzialdiagnose der Pneumonie
- Differenzierung verschiedener Pneumonietypen
- Diagnostik von peripheren Lungenherden
- Stellenwert von Farbdoppler- und Kontrastsonografie für die Diagnose von Lungenkonsolidierungen
- Grenzen sonografischer Diagnostik

Einleitung

Die Thoraxsonografie ist traditionell aufgeteilt in verschiedene Anteile: Thoraxwand, Diaphragma, Mediastinum, Lungenparenchym und Pleura. Die Echokardiografie wird meistens separat abgehandelt. In dem hier

präsentierten CME-Artikel (als einer von 3 Übersichtsarbeiten) werden dem geneigten Leser die Aussagekraft der Lungenparenchym-Sonografie erläutert und eine pragmatisch orientierte Herangehensweise durch die Analyse des Gesamtaspekts ermöglicht. Dieser beinhaltet die Kenntnis der Vortestwahrscheinlichkeit, die Akuität der Erkrankung, die aktuelle klinische Situation und die Fragestellung nach Detektion oder Charakterisierung, Erstdiagnostik oder Verlaufsbeurteilung sowie die Besonderheiten einer Nachweis- und Ausschlussdiagnostik. Berücksichtigt werden auch der Ort der Abklärung (ambulant, prähospital oder stationär, Notaufnahme, Intensivstation oder pneumologische Station, Praxis versus Hausbesuch). Bezüglich der Besonderheiten der Thoraxsonografie in der Kindheit (Pädiatrie) [1–3] und im Alter (Geriatric) [4] sowie zum Thema Artefakte [5] wird auf die kürzlich publizierten Arbeiten und Positionspapiere verwiesen.

Dargelegt werden die Bedeutung und Kriterien des konventionellen helligkeitskodierten B-Bildes, der Farbdopp-

Peripheral Lung Consolidations

Diseases that feature peripheral pleural lung consolidations include acute and chronic diseases. The acute diseases of particular note are inflammatory diseases of the interstitium and alveolar spaces as an expression of viral and bacterial pneumonia, as well as vascular causes of pulmonary embolism. The chronic diseases include on the one hand primary and secondary neoplasia, with or without mechanical atelectasis, and on the other hand chronic inflammatory processes. When evaluating peripheral lung consolidations, the first thing to consider is the degree of acuteness (acute disease course) and the severity of the symptoms is critical. In indications that are not immediately urgent, the main focus is on differentiating between malignant and benign disease. In children, congenital lung consolidations such as pulmonary sequestrations [1, 2] are of particular significance.

Ultrasound Signs

In addition to its size and shape, e. g., with an acute or blunt angle, the consolidation is also assessed in terms of its margin and how well defined this is, its echo pattern (homogenous, non-homogenous), and vascular architecture showing either extension or destruction of the vessels in the surrounding area (assessment of neovascularization).

Notes 1

Neovascularization can only be detected using spectral analysis of the Doppler signal and CEUS.

Doppler ultrasound (visualization of vascularization) and CEUS are used for this (visualization of perfusion). The surrounding structures are also assessed e. g., pleural effusion, atelectasis, obstructive pneumonia, concomitant pneumonia, the multilocularity and respiratory displacement of the consolidation/mass, and diaphragmatic mobility. CEUS can be used to distinguish perfusion patterns of lung consolidations based on the:

1. Time to peak enhancement (arrival time) of contrast medium. Explanation: In young, healthy patients, the flow path of the pulmonary arteries become contrast-enhanced just a few (3–6) seconds after cubital injection of the contrast agent, whereas it takes 10–12 seconds for bronchoarterial contrast enhancement to begin.
2. Extent of enhancement,
3. Homogeneity of enhancement, and
4. Decrease of enhancement (wash out).

Pulmonary Embolism

Patients are examined for pulmonary embolism, or pulmonary infarction if they have the relevant constellation of risk factors; embolism and infarction occur more frequently than clinically expected. Contrast-enhanced computed tomography (CT angiography, CTA) is the

method of choice for assessing hemodynamically relevant pulmonary embolisms. In patients with otherwise healthy lungs, perfusion scintigraphy has a similarly high diagnostic reliability as CT in detecting pulmonary embolisms; however, its usefulness is somewhat limited [15] in patients with comorbidities (such as pulmonary emphysema), and as a rule it is not available in acute situations.

Chest x-rays serve solely to exclude differential diagnoses for pulmonary embolism. While ultrasound as a complementary method is secondary to CTA, it has high informational value in its own right in settings in which CT is either not available or cannot be performed due to special circumstances (such as pregnancy or hypersensitivity to the contrast agent). Ultrasound reveals subpleural consolidations with either no vascularization or reconstituted vascularization and with an absent or reduced air alveologram or air bronchogram, depending on the disease stage. In the case of pulmonary embolism, the lung consolidations are typically relatively small and round or triangular. In such cases, the use of color Doppler ultrasound is essential. Contrast-enhanced ultrasound is also helpful for difficult differential diagnoses as it confirms the infarction due to the absence of contrast or a non-homogenous area of contrast [16, 17] (► Fig. 1).

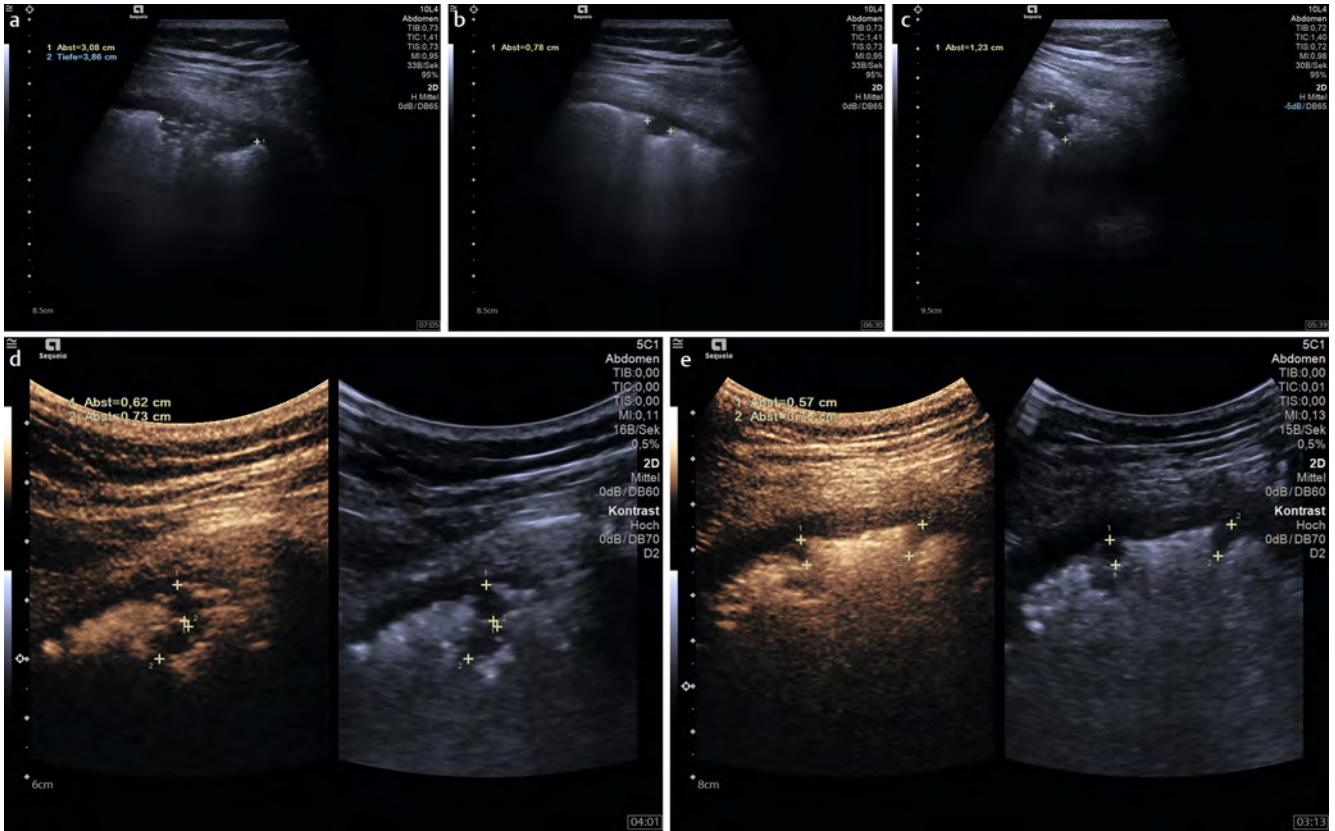
Often it is possible to see a centrally occluded vessel at the base of a triangular marker consolidation. Besides evidence of the consolidation, ultrasound also enables concomitant assessment of the heart for right ventricular strain and examination of the leg veins for diagnosis of thrombosis as important sources of embolism (this is called the triple diagnostic). The aim is to look for direct evidence of thrombi, right atrial dilation (compared with left atrial dilation), right ventricular dilation with wall motion abnormalities in the presence of preserved apical contractility (McConnell's sign), paradoxical septal motion, and tricuspid regurgitation (with flow speeds >250 cm/s) and with elevated pulmonary artery pressure (>40 mmHg).

Pneumonia

Pneumonia is characterized by acute symptomatology (fever and dyspnea), demonstrable infiltrate, and possibly by complications that can be detected by ultrasound (metapneumonic effusion, empyema, abscess). The sonomorphology of pneumonia is determined by its different etiologies (e. g., bacterial or viral), and the pattern of involvement (e. g., alveolar, interstitial), as well as the stage of the disease [18–21].

Bacterial Pneumonia

Various forms of manifestation are differentiated: extensive bilobar, lobar, segmental, but also less obvious predominantly interstitial forms. Bronchopneumonic infiltrates (BPI) can occur in a wide range of patterns which



▶ **Fig. 1 a** Pulmonary embolism. Multiple peripheral lung consolidations (more than 10), examined in B-mode scan with high-resolution linear ultrasound probe (**a, b, c**) and in contrast enhanced mode with a convex transducer (**d, e**). The lung consolidations show minimal or no contrast enhancement.

▶ **Abb. 1 a** Lungenembolie. Multiple, periphere Lungenkonsolidierungen (mehr als 10), untersucht im B-Bild mit einem hochauflösenden Linear-schallkopf (**a, b, c**) und im Kontrastmittelmodus mit einem Konvexschallkopf (**d, e**). Die Lungenkonsolidierungen zeigen keine oder eine geringfügige Kontrastmittelanreicherung.

lersonografie (FDS) mit oder ohne Spektralanalyse des Dopplersignals sowie des Kontrastmittelultraschalls (CEUS) [6–13]. Erwähnung finden auch die Elastografie [14] und ultraschallgestützte Interventionen.

Periphere Lungenkonsolidierungen

Erkrankungen mit peripheren pleuraständigen Lungenkonsolidierungen beinhalten akute und chronische Krankheiten. Zu nennen sind bei den akuten Erkrankungen insbesondere akut entzündliche Erkrankungen des Interstitiums und der Alveolarräume als Ausdruck viraler und bakterieller Pneumonien – sowie als vaskuläre Ursache die Lungenembolie. Bei den chronischen Erkrankungen stehen primäre und sekundäre Neoplasien mit oder ohne mechanisch bedingte Atelektasen den chronischen Entzündungsprozessen gegenüber. Bei der Abklärung von peripheren Lungenkonsolidierungen ist zunächst die Akuität zu beachten (akuter Krankheitsverlauf) und die Schwere der Symptomatik entscheidend. Bei den nicht sofortig dringlichen Indikationen steht die Differenzierung von benignen und malignen Erkrankungen im Vor-

dergrund. Eine besondere Bedeutung im Kindesalter haben angeborene Lungenkonsolidierungen wie der pulmonale Sequester [1, 2].

Sonografische Zeichen

Beurteilt werden neben der Größe auch die Form mit spitzem oder stumpfem Winkel, die Abgrenzung und Begrenzung, das Echomuster (gleichmäßig, ungleichmäßig), die Gefäßarchitektur mit Gefäßverlagerungen der Umgebung bzw. Gefäßdestruktionen (Beurteilung der Neovaskularisation).

Merke 1
Eine Neovaskularisation kann nur über die Spektralanalyse des Dopplersignals und des CEUS nachgewiesen werden.

Hierbei kommen Dopplersonografie (Darstellung der Vaskularisation) und CEUS zum Einsatz (Beschreibung der Perfusion). Zusätzlich werden die umgebenden Strukturen beurteilt, beispielsweise Pleuraerguss, Atelektase, Obstruktionspneumonie, Begleitpneumonie, Multi-lokularität der Konsolidierung/Raumforderung, deren

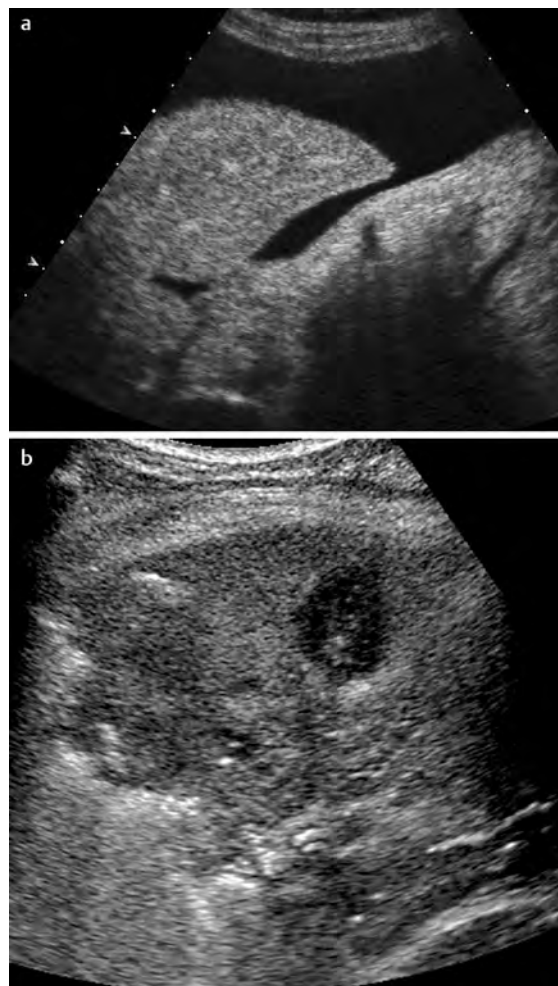
often do not extend to the periphery of the lung. BPI without direct pleural contact are not visible on ultrasound; however, their presence may be suspected based on indirect signs (secondary effusion, comet-tail artifacts). The ultrasound signs of pneumonia depend on the stage of the disease and on the displacement of air by inflammatory fluids (exudate). In addition to the localization and size criteria mentioned above, the ultrasound signs include a moderately homogenous echo pattern (similar to that of the liver), accompanied by alveolar (air alveologram) or bronchial (air bronchogram) air pockets, depending on the disease stage with or without fluid (fluid bronchogram) in the small airways; this tends to occur distally to areas of stenosis. According to its extent and localization, the margin may be sharp or ill-defined, as well as regularly (or smoothly) delimited or irregular (depending on the congestion or reconstitution). In the absence of air or fluid pockets, segmental and lobar infiltrates can bear a striking resemblance to liver parenchyma (hepatization); this makes it possible to visualize the vascular tree of the pulmonary arteries and veins. Color Doppler ultrasound shows vessels in a regular arrangement with significant diastolic blood flow, in contrast to the scenario with pulmonary embolism (vessel occlusion at the base). The usefulness of ultrasound in assessing pneumonia decreases in the late stages of the disease due to re-aeration with shadowing air echoes (“crepitationo redux”). As a concomitant phenomenon, comet-tail artifacts may be detected at the margins of the infiltrates, pleural effusions, and enlarged mediastinal lymph nodes. Differentiating between the initial pneumonic infiltrate and other subpleural lung consolidations depends on the patient’s acute clinical symptoms, as well as the size and vascularization and perfusion characteristics of the consolidation (Doppler ultrasound, CEUS).

Complications

Complications of pneumonia include necrosis (more frequent) and abscess formation (less frequent, <6%), pleural empyema, and acute respiratory distress syndrome (ARDS) (common description: white lung) (► Fig. 2).

Necrosis and Abscesses

Necrosis and abscesses within pulmonary infiltrates can appear as less echogenic, more or less sharply defined areas of differing sizes. If there is bronchial involvement, air pocket, or the air-fluid level can be visualized by ultrasound. The visualization of necrosis and abscesses is significantly improved by the use of contrast enhanced ultrasound. While abscesses up to 20 mm in size are initially treated conservatively, from 20–30 mm ultrasound-guided aspiration is used for diagnostic and therapeutic purposes, and with even larger abscesses without bronchial involvement, percutaneous abscess drainage may be indicated.



► Fig. 2 a Pneumonia with metapneumonic effusion (a) and abscess formation (b).

► Abb. 2 a Pneumonie mit metapneumonischem Erguss (a) und mit Abszedierung (b).

Special Features

Pneumonia associated with infarction may show peripheral areas with no contrast enhancement on CEUS. Pneumonia-associated pulmonary infarction, for example in COVID infections, is characterized on CEUS by pleural areas with an absence of perfusion [7, 11]. Chronic pneumonia with delayed regression can present complex echogenicity with disturbed perfusion; in such cases, neoplastic consolidation must be ruled out histologically.

Special features of tuberculosis are exudative pleural effusion, marked mediastinal lymphadenopathy, polymorphism of subpleural consolidations, air reflection with air-filled cavities, as well as fragmentation of the visceral pleura. On CEUS, tubercular infiltrates are characterized by delayed bronchoarterial perfusion. It is important to watch out for extrapulmonary manifestations. The overall picture may help to point suspicion towards tuberculosis [23].

respiratorische Verschieblichkeit und die Zwerchfellbeweglichkeit. Mithilfe des CEUS können Perfusionsmuster von Lungenkonsolidierungen unterschieden werden – unter Berücksichtigung von:

1. Zeit des Anflutens des Kontrastmittels („time to enhancement, „arrival time“). Erklärung: Die pulmonal-arterielle Strombahn reichert beim jungen Gesunden wenige Sekunden (3–6) nach kubital injiziertem Kontrastmittel an, wogegen die bronchoarterielle Anreicherung erst nach 10–12 Sekunden beginnt.
2. Ausmaß der Kontrastmittelanreicherung („extent of enhancement),
3. Homogenität der Kontrastmittelanreicherung „homogeneity of enhancement“) und
4. Auswaschen des Kontrastmittels („decrease of enhancement“, „wash out“).

Lungenembolie

Die Lungenembolie bzw. Lungeninfarkte werden bei entsprechender Risikokonstellation gesucht und sind häufiger als klinisch erwartet. Die kontrastverstärkte Computertomografie (CT-Angiografie, CTA) ist die Methode der Wahl zur Evaluierung hämodynamisch relevanter Lungenembolien. Die Perfusionsszintigrafie hat bei sonst lungengesunden Patienten eine ähnlich hohe diagnostische Sicherheit wie die CT im Nachweis von Lungenembolien, ist jedoch in ihrer Aussagekraft bei Patienten mit Begleiterkrankungen (z. B. Lungenemphysem) etwas eingeschränkt [15] und in der Akutsituation im Regelfall nicht verfügbar.

Röntgen-Thoraxaufnahmen dienen lediglich zum Ausschluss von Differenzialdiagnosen der Lungenembolie. Die Sonografie ist bei Vorhaltung der CTA eine ergänzende Methode, hat aber eine eigenständige, hohe Aussagekraft in einer Umgebung, in der keine Computertomografie zur Verfügung steht oder wenn sie aus bestimmten Gründen (Kontrastmittel-Überempfindlichkeit, Schwangerschaft) nicht durchgeführt werden kann. Sonografisch finden sich subpleurale Konsolidierungen mit je nach Stadium keiner bzw. rekonstituierender Vaskularisation und fehlendem oder reduziertem Pneumoalveologramm (PAG) bzw. Pneumobronchogramm (PBG). Die Lungenkonsolidierungen bei Lungenembolie sind typischerweise relativ klein und rund oder dreiecksförmig. Der Einsatz der Farbdopplersonografie ist obligat und die Kontrastmittelsonografie ist bei schwieriger Differenzialdiagnose hilfreich und belegt den Infarkt durch fehlende oder inhomogene Kontrastierung [16, 17] (► **Abb. 1**).

Nicht selten kann ein zentral verschlossenes Gefäß an der Basis der dreiecksförmigen Marker-Konsolidierung gesehen werden. Die Sonografie erlaubt neben dem Nachweis der Konsolidierungen auch die begleitende Beurteilung des Herzens mit der Rechtsherzbelastung und die Untersuchung der Beinvenen zur Thrombosedagnostik als

wichtige Quellen der Embolie (= Tripledagnostik). Gesucht wird der direkte Nachweis von Thromben, die Dilatation des rechten Vorhofs (im Vergleich zum linken Vorhof), die Dilatation des rechten Ventrikels mit Kinetikstörung bei erhaltener apikaler Kontraktilität (McConnell-Zeichen), paradoxer Septumbewegung sowie Trikuspidalinsuffizienz (mit Flussgeschwindigkeiten > 250 cm/sec.) und erhöhtem Pulmonalarteriendruck (> 40 mmHg).

Pneumonie

Die Pneumonie ist durch eine akute Symptomatik (Fieber und Dyspnoe), das nachweisbare Infiltrat und ggf. durch sonografisch fassbare Komplikationen (metapneumonischer Erguss, Empyem, Abszess) gekennzeichnet. Die Sonomorphologie der Pneumonie wird sowohl durch unterschiedliche Ätiologien (z. B. bakteriell, viral), das Befallsmuster (z. B. alveolär, interstitiell), als auch durch das Erkrankungsstadium determiniert [18–21].

Pneumonie, bakteriell

Differenziert werden ausgedehnte bilobäre, lobäre, segmentale, aber auch wenig augenfällige, vorwiegend interstitielle Manifestationsformen. Bronchopneumonische Infiltrate (BPI) weisen vielfältige Muster auf, die häufig nicht an die Lungenperipherie heranreichen. BPI ohne direkten Pleurakontakt sind sonografisch nicht zu visualisieren, können aber aufgrund indirekter Zeichen (Begleiterguss, Kometenschweif-Artefakte) vermutet werden. Die sonografischen Zeichen der Pneumonie sind stadienabhängig und hängen von der Verdrängung der Luft durch Entzündungsflüssigkeit (Exsudat) ab. Die sonografischen Zeichen sind neben den schon genannten Lokalisations- und Größenkriterien ein mittelstarkes, gleichmäßiges Echomuster (ähnlich der Leber), mit – je nach Stadium – Lufteinschlüssen alveolär (Pneumoalveologramm, PAG) bzw. bronchial (Pneumobronchogramm, PBG), mit oder ohne Flüssigkeit (Fluidobronchogramm) in den kleinen Atemwegen, was insbesondere distal von Stenosen auftritt. Die Begrenzung ist je nach Lokalisation und Ausdehnung scharf oder unscharf, regelmäßig bzw. glatt begrenzt oder unregelmäßig (abhängig von der Anschoppung bzw. Rekonstitution). Segmentale und lobäre Infiltrate können bei fehlenden Luft- und Flüssigkeitseinschlüssen sonografisch wie das Leberparenchym imponieren („Hepatisation“), was auch die Darstellung des pulmonalen arteriellen und venösen Gefäßbaums ermöglicht. Die Farbdopplersonografie zeigt regelmäßig angeordnete Gefäße mit signifikantem diastolischem Blutfluss im Unterschied zur Lungenembolie (Gefäßverschluss an der Basis). Die sonografische Beurteilbarkeit der Pneumonie verschlechtert sich in den Spätstadien durch die Wiederbelüftung mit schattengebenden Luftechos („Crepitatio redux“). Als Begleitphänomene können Kometenschweif-Artefakte im Randbereich der Infiltrate, ein Pleuraerguss und vergrößerte mediastinale



► **Fig. 3** a Viral pneumonia, in this case COVID infection. B-line artifacts (“curtain”, a) and multilocular small (<20 mm) subpleural consolidations (b). For comparison, the representation in the CT (c).

► **Abb. 3** a Virale Pneumonie, hier COVID-Infektion. B-Linien-Artefakte („Vorhang“, a) und multilokuläre, kleine (<20 mm) subpleurale Konsolidierungen (b). Zum Vergleich die Darstellung in der CT (c).

Viral Pneumonia

Ultrasound signs of viral interstitial pneumonia have long been classified as of little diagnostic value [5, 24–26] (► **Fig. 3**), but have acquired great diagnostic importance in the context of the COVID pandemic. Depending on the stage, increased B-line artifacts may initially be detected in COVID pneumonia as a reflection of interstitial inflammation and fluid retention. Later, multiple small (<20 mm) multilocular subpleural consolidations can be seen on both sides, with or without air echoes, and with irregularity/fragmentation of the pleural line. Due to the necessary hygienic measures, the use of handheld ultrasound devices in COVID has become established at some centers [27, 28]. Although in the context of a high clinical pretest probability for COVID, this is a spot diagnosis, these ultrasound phenomena are nevertheless not specific but can also be observed in other interstitial pneumonias [29].

Typically, all viral pneumonias show an absence of relevant pleural effusion. However, high-resolution ultrasound probes are almost always able to detect small quantities of pleural fluid in the posterior and lateral costodiaphragmatic recess, especially with patients in the sitting position [2, 11, 19, 20, 22, 24, 29–32].

Fungal Pneumonia

In the field of hematology, fungal pneumonia is a significant issue in immunosuppressed patients. PLUS can detect aspergilloma in pleural pneumonic consolidations due to a lack of contrast uptake in CEUS.

Parasitic Pneumonia

Parasite-related consolidations include peripherally located echinococcosis, which is also characterized in the lungs by polycystic consolidation with lack of enhancement of the walls in CEUS [33] (► **Fig. 4**).

Autoimmune Pneumonia

This includes organizing forms of pneumonia; these are classed among the chronic forms of pneumonia and can



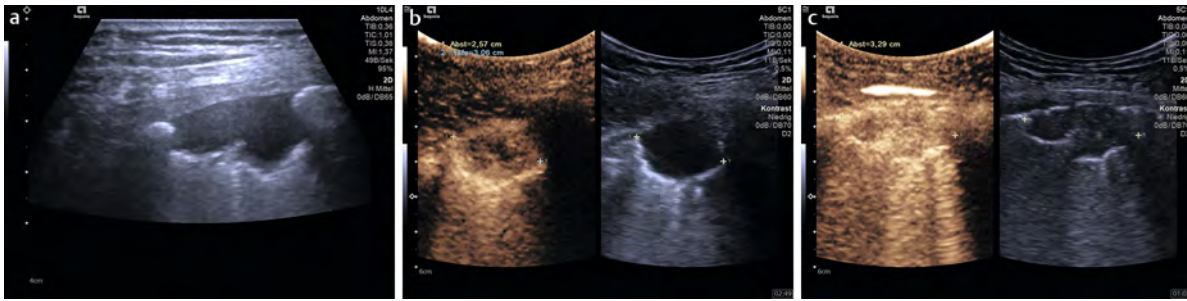
► **Fig. 4** Echinococcosis as a partially cystic-appearing peripheral lung consolidation.

► **Abb. 4** Echinokokkose als teilzystische, imponierende, peripher gelegene Lungenkonsolidierung.

only be distinguished from neoplasms through histological analysis (► **Fig. 5**).

Atelectasis

Atelectasis is defined as the collapse of parts of the lung, characterized by reduced aeration in the lung parenchyma. A distinction is made between compression atelectasis, resorption atelectasis, and obstructive atelectasis, each of which has different causative pathologies (e. g., pleural effusion in compression and tumor in obstruction). For purposes of differential diagnosis, it is helpful to observe the correlation between the extent of the effusion and the size of the atelectasis: if there is minimal effusion with a large area of atelectasis, this should



► **Fig. 5 a** Wegener's granulomatosis. CEUS is helpful in assessing blood flow. In contrast to pulmonary embolism, marked contrast enhancement is found.

► **Abb. 5 a** Wegener-Granulomatose. CEUS ist bei der Beurteilung der Durchblutung hilfreich. Im Unterschied zu der Lungenembolie findet man eine deutliche Kontrastmittelanreicherung.

Lymphknoten detektiert werden. Die Differenzierung des initialen pneumonischen Infiltrats von anderen subpleuralen Lungenkonsolidierungen beruht auf der akuten klinischen Symptomatik sowie auf der Größe und den Vaskularisations- und Perfusionscharakteristika (Dopplersonografie, CEUS).

Komplikationen

Komplikationen der Pneumonie sind die Nekrose (häufiger) und die Abszedierung (seltener, <6%), das Pleuraempyem und das akute Lungenversagen (Acute Respiratory Distress Syndrome [ARDS]; deskriptiv: Weiße Lunge; sh. ► **Abb. 2**).

Nekrose und Abszess

Nekrosen und Abszesse innerhalb eines pneumonischen Infiltrates können als schwächer echogene, mehr oder wenig scharf begrenzte Bereiche unterschiedlicher Größe dargestellt werden. Bei Anschluss an einen Bronchus sind sonografisch Lufteinschluss resp. Spiegelbildung darstellbar. Die Kontrastmittelsonografie verbessert die Visualisierung von Nekrosen und Abszessen deutlich. Während Abszesse bis 20 mm zunächst konservativ behandelt werden, ist ab einer Größe von 20–30 mm die sonografisch gezielte Aspiration in diagnostischer und therapeutischer Intention, und bei noch größeren Abszessen ohne Bronchialanschluss die perkutane Drainage sinnvoll.

Besonderheiten

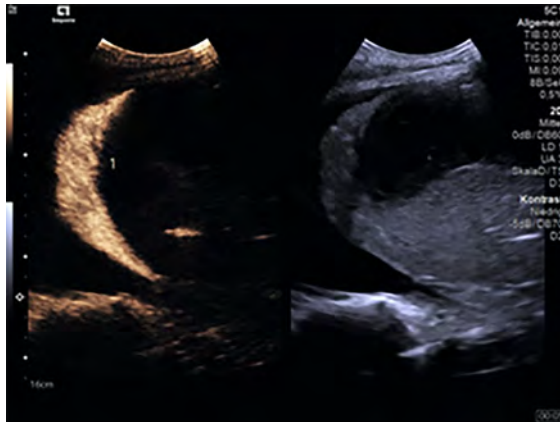
Infarktbedingte Pneumonien können im CEUS periphere Areale eines fehlenden Enhancements zeigen. Pneumonie-assoziierte Lungeninfarkte, u. a. bei COVID-Infektionen, zeichnen sich im CEUS durch pleuraständige Areale fehlender Perfusion aus [7]. Chronische Pneumonien mit verzögerter Rückbildung können eine komplexe Echogenität mit gestörter Perfusion zeigen und müssen histologisch von einer neoplastischen Konsolidierung abgegrenzt werden.

Besonderheiten bei der Tuberkulose sind der exsudative Pleuraerguss, eine ausgeprägte mediastinale Lymphadenopathie, die Vielgestaltigkeit der subpleuralen Konsolidierungen, die Luftreflektion bei lufthaltigen Kavernen sowie eine Aufsplitterung der viszeralen Pleura. Im CEUS sind tuberkulöse Infiltrate durch eine verzögerte bronchialarterielle Perfusion gekennzeichnet. Auf extrapulmonale Manifestationen sollte geachtet werden. Die Gesamtschau mag hilfreich sein, den Verdacht auf die Tuberkulose zu lenken [23].

Pneumonie, viral

Die sonografischen Zeichen der viralen interstitiellen Pneumonie wurden lange Zeit als wenig aussagefähig eingeordnet [5, 24–26] (► **Abb. 3**), haben aber im Zusammenhang mit der COVID-Pandemie große diagnostische Bedeutung erlangt. Stadienabhängig können bei COVID-Pneumonie zunächst vermehrt B-Linien-Artefakte als Ausdruck der interstitiellen Entzündung und Flüssigkeitseinlagerung erkannt werden. Später kommt es bilateral zu multiplen und multilokulären, kleinen (<20 mm), subpleuralen Konsolidierungen mit oder ohne Luftechos und mit Irregularität/Fragmentierung der Pleuralinie. Der Einsatz von Handultraschallgeräten bei COVID hat sich durch die notwendigen Hygienemaßnahmen an manchen Zentren etabliert [27, 28]. Wenngleich es sich im Zusammenhang mit einer hohen klinischen Vortestwahrscheinlichkeit für COVID um eine Blickdiagnose handelt, sind diese sonografischen Phänomene dennoch nicht spezifisch, sondern auch bei anderen interstitiellen Pneumonien zu beobachten [29].

Typischerweise findet sich bei allen viralen Pneumonien kein relevanter Pleuraerguss. Allerdings lassen sich mit hochauflösenden Ultraschallsonden fast immer geringfügige Mengen pleuraler Flüssigkeit nachweisen, insbesondere beim sitzenden Patienten im Recessus costodiaphragmaticus posterior et lateralis [2, 11, 19, 20, 29–32].



► **Fig. 6** Atelectasis with concave margins in contrast to expansive pneumonic infiltrate. Atelectasis is characterized by very early contrast enhancement of the pulmonary arteries, prior to enhancement of the bronchial arteries and systemic circulation.

► **Abb. 6** Atelektase, konkav begrenzt, im Unterschied zum expansiven pneumonischen Infiltrat. Die Atelektase reichert sehr frühzeitig pulmonalarteriell Kontrastmittel vor den Bronchialarterien und dem systemischen Kreislauf an.

always arouse suspicion of infiltrative or obstructive components. CEUS can be used to delineate the central mass underlying obstructive atelectasis. In contrast to this expansive pneumonic infiltrate with a convex margin, compression atelectasis usually exhibits a concave margin and shows regular vessels running in a straight line on CDU. Spectral analysis of the Doppler signal and CEUS allow pulmonary arterial vessels to be identified in atelectasis [34, 35] (► **Fig. 6**).

Notes 2

In general, atelectasis has concave margins, in contrast to pneumonic infiltrate which has convex margins.

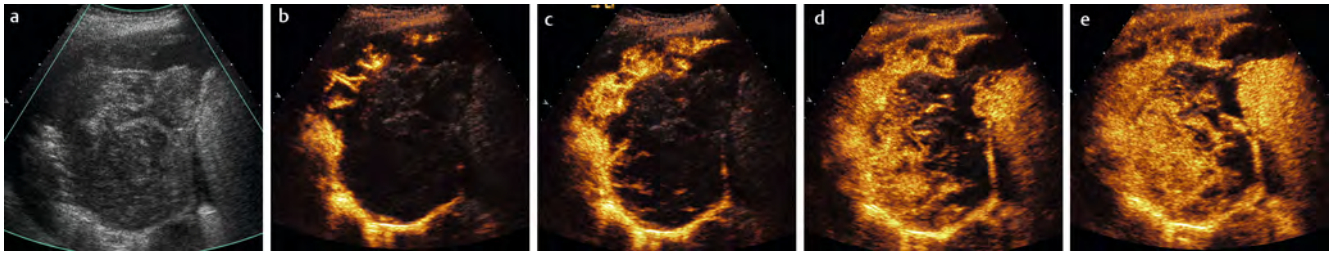
Notes 3

With atelectasis there is very early contrast uptake in the pulmonary arteries before the bronchial arteries and systemic circulation.

Neoplastic Lung Parenchymal Changes

Neoplastic lung parenchymal changes are divided into primary tumors (e. g., lung carcinoma) and secondary tumors (metastasis). Concomitant changes in the surrounding lung parenchyma tend to be less common in metastases than in primary tumors. If the mass is in a peripheral location, ultrasound is a valuable aid to differential diagnosis. Important aspects to mention here are assessment of the tumor dignity, clarification of differential diagnoses, and potentially ultrasound-guided puncture, if this is indicated considering the patient's age, comorbidities, and wishes, as well as the recommendation of the interdisciplinary tumor board. Ultrasound evidence

of infiltration of the parietal pleura or thoracic wall, as a descriptor of T3 disease, has special clinical significance due to its influence on therapeutic strategies. Direct evidence of tumor expansion into the thoracic wall and/or destruction of ribs are considered to be definite signs of infiltration. Widening of the parietal pleura and restricted mobility of the lesions with pulmonary location in relation to the thoracic wall during breathing are considered to be uncertain signs. As peritumoral inflammatory responses can also lead to adhesion of the pleural layers, neither of the last two signs are considered to be evidence of infiltration. When investigating neoplastic changes it is also important to assess their surroundings, especially in order to detect vascular complications (such as tumor infiltration of the vena cava or heart, thrombosis, or upper inflow congestion), pleural metastases, and cervical and mediastinal lymph node metastases. Evidence of cervical and clavicular lymph node metastases, including, if required, confirmation through ultrasound-guided cytology and histology, is proof of N3-stage disease; this means a curative therapeutic approach is no longer possible. Distant metastasis can also be detected on ultrasound, or demonstrated by ultrasound-guided biopsy/aspiration. This applies, for example, for liver and adrenal metastases, infradiaphragmatic lymph node metastases, nodular pleural thickening, and malignant pleural or pericardial effusions. Lung carcinomas grow in a displacing and/or destructive manner, usually tend to be oval-shaped, and often show marked peripheral vascularization with neoangiogenesis of pathological vessels at the tumor margin. Local blood vessels are displaced or infiltrated. After pretest probability (malignant disease known or probable), contrast enhanced-ultrasound is the most useful in determining the dignity of peripheral lung consolidations as it enables determination of the time to peak, analysis of perfusion (present or absent), and characterization of the vascularity. Contrast-enhanced ultrasound enables at least rough differentiation based on the time to enhancement relative to that of the pulmonary arteries and systemic circulation (bronchial arteries). Depending on underlying comorbidities, contrast enhancement in the pulmonary arteries occurs just a few (3–6) seconds after injection, while enhancement in the bronchial arteries via systemic circulation occurs after approximately 12 ± 2 seconds, simultaneously with enhancement of the thoracic wall, liver or spleen as reference organs. Since tumor neoangiogenesis develops predominantly from the bronchial arteries, this type of perfusion is preferentially observed in neoplastic processes (► **Fig. 7, 8**). CEUS has great clinical value in differentiating between vital and necrotic tumor tissue, as well as tumor tissue and atelectasis; it should be performed prior to every ultrasound-guided tumor biopsy in order to avoid the risk of a false negative result [36–38]. Color Doppler ultrasonography with spectral analysis also often makes it possible to differentiate between inflammatory (with pulmonary arterial supply) and neoplastic (with



► **Fig. 7 a** Neoplastic lung parenchymal changes in B-mode scan (a) and CEUS (b–e). A typical feature is contrast enhancement occurring from the periphery towards the center. Note that lung parenchyma with pulmonary artery perfusion shows earlier contrast enhancement than a lung tumor, which is supplied by the bronchial arteries

► **Abb. 7 a** Neoplastische Lungenparenchym-Veränderungen im B-Bild (a) und CEUS (b–e). Typisch ist die Anreicherung von peripher nach zentral. Beachte, dass das pulmonalarteriell perfundierte Lungenparenchym früher anreichert als der Lungentumor, der durch die Bronchialarterien versorgt ist.

Pneumonie, pilzbedingt

Pilzbedingte Pneumonien spielen in der Hämatologie bei immunsupprimierten Patienten eine große Rolle. Die PLUS kann bei pleuraständigen pneumonischen Konsolidierungen das Aspergillom durch eine fehlende Kontrastmittelaufnahme im CEUS erkennen.

Pneumonie, parasitär

Parasitär bedingte Konsolidierungen beinhalten die peripher gelegene Echinokokkose, welche auch in der Lunge durch eine polyzystische Konsolidierung mit fehlendem Enhancement der Wandungen im CEUS gekennzeichnet ist [33], (► **Abb. 4**).

Pneumonie, autoimmun

Zu nennen sind hier organisierende Pneumonieformen, welche den chronischen Pneumonien zugerechnet werden und lediglich histologisch von einer Neoplasie abgrenzbar sind (► **Abb. 5**).

Atelektase

Atelektasen sind definiert als kollabierte Lungenanteile, die durch einen verminderten Gasanteil im Lungenparenchym gekennzeichnet sind. Unterschieden werden die Kompressionsatelektase, die Resorptionsatelektase sowie die Obstruktionsatelektase mit ihren jeweils verursachenden Pathologien (z. B. Pleuraerguss bei Kompression und Tumor bei Obstruktion). Differenzialdiagnostisch hilfreich ist die Korrelation von Ergussausmaß und Atelektasengröße: Bei geringem Erguss und großer Atelektase muss immer an eine infiltrative oder obstruktive Komponente gedacht werden. Mithilfe des CEUS lässt sich die einer obstruktiven Atelektase zugrunde liegende zentrale Raumforderung abgrenzen. Die Kompressionsatelektase ist im Unterschied zum expansiven, konvex begrenzten pneumonischen Infiltrat meist konkav begrenzt und zeigt regulär und geradlinig verlaufende Gefäße in der FDS. Mithilfe der Spektralanalyse des Dopplersignals und des CEUS können in der Atelektase pulmonalarterielle Gefäße identifiziert werden [34, 35], (► **Abb. 6**).

Merke 2

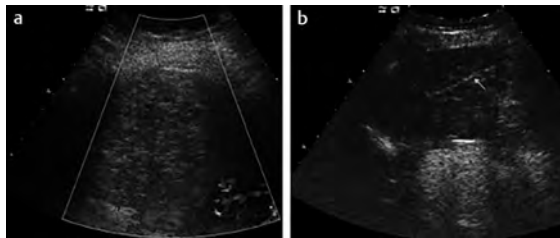
Die Atelektase ist in der Regel konkav begrenzt – im Unterschied zum konvex begrenzten pneumonischen Infiltrat.

Merke 3

Die Atelektase reichert sehr frühzeitig pulmonalarteriell Kontrastmittel vor den Bronchialarterien und dem systemischen Kreislauf an.

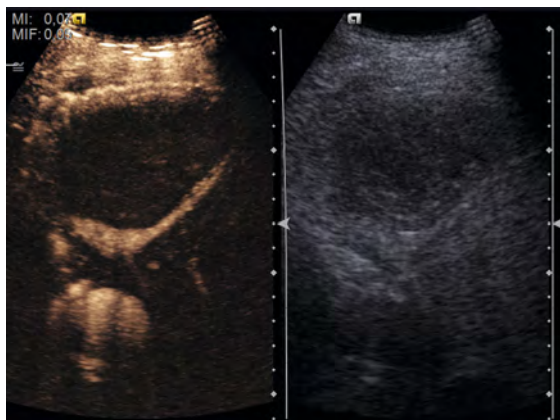
Neoplastische Lungenparenchym-Veränderungen

Neoplastische Lungenparenchym-Veränderungen werden in primäre (beispielsweise Lungenkarzinom) und sekundäre Tumoren (Metastasen) unterteilt. Bei Metastasen sind Begleitveränderungen des umgebenden Lungenparenchyms eher seltener als bei primären Tumoren. Die Sonografie ist bei peripherer Lokalisation der Raumforderung eine wertvolle differenzialdiagnostische Hilfe. Als Fragestellungen zu nennen sind die Beurteilung der Dignität, die Abklärung der Differenzialdiagnose und eventuell die sonografisch gesteuerte Punktion, soweit diese unter Berücksichtigung von Alter, Komorbidität, Patientenwillen und Tumorboard indiziert ist. Wegen des Einflusses auf therapeutische Strategien ist der sonografische Nachweis einer Infiltration von parietaler Pleura bzw. Thoraxwand als Deskriptor einer T3-Erkrankung von besonderer klinischer Bedeutung. Sichere Zeichen einer Infiltration sind ein direkter Nachweis von Tumorausläufern in die Thoraxwand und/oder eine Destruktion von Rippen. Als unsichere Zeichen gelten eine Verbreiterung der Pleura parietalis und eine eingeschränkte Beweglichkeit der pulmonal gelegenen Läsion in Relation zur Thoraxwand während der Atmung. Da auch peritumorale entzündliche Reaktionen zu einem Verkleben der Pleurablätter führen können, sind die beiden letzteren Zeichen nicht beweisend für eine Infiltration. Bei der Abklärung neoplastischer Veränderungen sollte auch deren Umgebung beurteilt werden, insbesondere, um Gefäßkomplikationen (beispielsweise Tumordinfiltration der Hohlvene bzw. des Herzens, Thrombosen, obere Einflusstauung),



► **Fig. 8 a** Neoplastic lung parenchymal changes, lipoma (a). A typical feature is the very limited contrast enhancement (b, arrow pointing to an individual arterial blood vessel).

► **Abb. 8 a** Neoplastische Lungenparenchym-Veränderungen, Lipom (a). Typisch ist die sehr geringe Kontrastmittelanreicherung (b, Pfeil mit einem einzelnen arteriellen Blutgefäß).



► **Fig. 9** Contusion, peripheral hemorrhage after fall. Contrast-enhanced ultrasound shows no contrast uptake in the hemorrhage.

► **Abb. 9** Kontusion, periphere Hämorrhagie nach Sturz. Kontrastmittelsonografisch keine Anreicherung in der Hämorrhagie.

predominantly bronchial arterial supply) circumscribed changes. The higher the resistive index (RI), the greater the likelihood of a malignant etiology. Similar to other organ systems, the RI threshold value can be specified as approximately 0.8 [39]. In terms of differential diagnoses, inflammatory causes (e. g., granulomatosis, carnifying pneumonia) must be considered, as well as scars and necrosis [40–42].

Contusion, Hemorrhage

Lung contusions with hemorrhage are observed following rib fractures, for example. They can range from slight to very large, with or without pleural effusion. CEUS allows reliable delineation of vascularized subpleural consolidations, as the bleeding does not take up the contrast medium. Intraparenchymal lung hemorrhages in atelectactic lung tissue can also be visualized with CEUS [43] (► **Fig. 9**).

Conflict of Interest

Declaration of financial interests

Receipt of research funding: Yes, from another institution (pharmaceutical or medical technology company, etc.); receipt of payment/financial advantage for providing services as a lecturer: no; paid consultant/internal trainer/salaried employee: no; patent/business interest/shares (author/partner, spouse, children) in company: no; patent/business interest/shares (author/partner, spouse, children) in sponsor of this CME article or in company whose interests are affected by the CME article: no.

Declaration of non-financial interests

The authors declare that there is no conflict of interest.

Correspondence

Prof. Christoph F. Dietrich

Department General Internal Medicine, Kliniken Hirslanden Beau Site, Salem und Permanence
Schänzlihalde 11
3036 Bern
Switzerland
Tel.: +41/7 64 40 81 50
Fax: +41/7 98 34 71 80
ChristophFrank.Dietrich@hirslanden.ch

Pleurametastasen sowie zervikale und mediastinale Lymphknotenmetastasen zu detektieren. Der Nachweis und erforderlichenfalls die ultraschallgeführte, zytologisch-histologische Sicherung von zervikalen und klavikulären Lymphknotenmetastasen beweisen ein N3-Stadium und führen zum Verzicht auf einen kurativen Therapieansatz. Auch eine Fernmetastasierung kann sonografisch detektiert und durch ultraschallgeführte Biopsie/Aspiration bewiesen werden. Das gilt beispielsweise für Leber- und Nebennierenmetastasen, infradiaphragmale Lymphknotenmetastasen, knotige Pleuraverdickungen oder maligne Pleura- oder Perikardergüsse. Lungenkarzinome wachsen verdrängend und/oder destruktiv, sind meist eher rund-oval und häufig betont peripher vaskularisiert, mit Neoangiogenese pathologischer Gefäße am Tumorrand. Ortsständige Blutgefäße werden verdrängt oder infiltriert. Für die Bestimmung der Dignität von peripheren Lungenkonsolidierungen hat nach der Vortestwahrscheinlichkeit („maligne Erkrankung vorbekannt oder wahrscheinlich“) die Kontrastmittelsonografie durch Bestimmung der Anflutungszeit, Analyse der Perfusion (vorhanden oder nicht vorhanden) und Charakterisierung der Vaskularität die höchste Aussagekraft. Die Kontrastmittelsonografie ermöglicht eine zumindest grobe Differenzierung anhand des Anreicherungszeitpunkts im Verhältnis zur Pulmonalarterie und im systemischen Kreislauf (Bronchialarterien). Die Anreicherung via Pulmonalarterie erfolgt abhängig von den zugrunde liegenden Begleiterkrankungen schon wenige Sekunden (3–6) nach der Injektion, die in die Bronchialarterien via systemischen Kreislauf erfolgt, nach zirka 12 ± 2 Sekunden, zeitgleich mit dem Enhancement von Thoraxwand, Leber oder Milz als Referenzorganen. Da sich die Tumor-Neoangiogenese prädominant aus den Bronchialarterien entwickelt, wird dieser Perfusionstyp bei neoplastischen Prozessen bevorzugt beobachtet (► **Abb. 7, 8**). Großen klinischen Wert hat der CEUS in der Differenzierung zwischen vitalem und nekrotischem Tumorgewebe sowie Tumorgewebe und Atelektase und sollte daher vor jeder ultraschallgesteuerten Tumorbiopsie durchgeführt werden, um das Risiko falsch-negativer Befunde zu vermeiden [36–38]. Die Farbdopplersonografie mit Spektralanalyse erlaubt häufig ebenfalls schon eine Differenzierung zwischen entzündlichen (pulmonal-arteriell versorgten) und neoplastischen (vorwiegend bronchial-arteriell versorgten) umschriebenen Veränderungen. Je höher der Widerstandsindex (Resistive Index, RI), desto wahrscheinlicher ist eine maligne Genese. Der RI-Grenzwert kann analog zu anderen Organsystemen mit zirka 0,8 angegeben werden [39]. Differenzialdiagnostisch müssen entzündliche Erkrankungen (beispielsweise „Granulomatose“, karnifizierende Pneumonie) sowie Narben und Nekrosen bedacht werden [40–42].

Kontusion, Hämorrhagie

Lungenkontusionen mit Hämorrhagie werden beispielsweise nach Rippenfrakturen beobachtet. Sie können geringfügig oder auch sehr groß imponieren, mit oder ohne Pleuraerguss. CEUS ermöglicht die sichere Abgrenzung von vaskularisierten subpleuralen Konsolidierungen, da die Einblutung kein Kontrastmittel anreichert. Auch können intraparenchymale Lungenhämorrhagien im atelektatischen Lungengewebe durch CEUS dargestellt werden [43], (► **Abb. 9**).

Interessenkonflikt

Erklärung zu finanziellen Interessen

Forschungsförderung erhalten: ja, von einer anderen Institution (Pharma- oder Medizintechnikfirma usw.); Honorar/geldwerten Vorteil für Referententätigkeit erhalten: CFD, CG, HP und CJ; Bezahlter Berater/interner Schulungsreferent/Gehaltsempfänger: nein; Patent/Geschäftsanteile/Aktien (Autor/Partner, Ehepartner, Kinder) an Firma (Sponsor der Veranstaltung): nein; Patent/Geschäftsanteile/Aktien (Autor/Partner, Ehepartner, Kinder) an Firma (Nicht-Sponsor der Veranstaltung): nein.

Erklärung zu nichtfinanziellen Interessen

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Korrespondenzadresse

Prof. Christoph F. Dietrich

Department General Internal Medicine, Kliniken Hirslanden Beau Site, Salem und Permanence
Schänzlihalde 11
3036 Bern
Switzerland
Tel.: +41/7 64 40 81 50
Fax: +41/7 98 34 71 80
ChristophFrank.Dietrich@hirslanden.ch

Literatur

- [1] Jaworska J, Buda N, Ciuca IM et al. Ultrasound of the pleura in children, WFUMB review paper. *Med Ultrason* 2021; 23 (3): 339–347. doi:10.11152/mu-3058
- [2] Dietrich CF, Buda N, Ciuca IM et al. Lung ultrasound in children, WFUMB review paper (part 2). *Med Ultrason* 2021; 23 (4): 443–452. doi:10.11152/mu-3059
- [3] Fang C, Jaworska J, Buda N et al. Ultrasound of the chest and mediastinum in children, interventions and artefacts. WFUMB review paper (part 3). *Med Ultrason* 2022; 24: 65–67
- [4] Frohlich E, Beller K, Muller R et al. Point of Care Ultrasound in Geriatric Patients: Prospective Evaluation of a Portable Handheld Ultrasound Device. *Ultraschall in Med* 2020; 41 (3): 308–316. doi:10.1055/a-0889-8070
- [5] Mathis G, Horn R, Morf S et al. WFUMB position paper on reverberation artefacts in lung ultrasound: B-lines or comet-tails? *Med Ultrason* 2021; 23: 70–73

- [6] Findeisen H, Trenker C, Safai Zadeh E et al. Further aspects concerning peripheral lung carcinoma in CEUS. *Ultraschall in der Medizin – European Journal of Ultrasound* 2021; 42 (3): 323
- [7] Safai Zadeh E, Beutel B, Dietrich CF et al. Perfusion Patterns of Peripheral Pulmonary Lesions in COVID-19 Patients Using Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS): A Case Series. *Journal of ultrasound in medicine: official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine* 2021; 40: 2403–2411
- [8] Safai Zadeh E, Dietrich CF, Kmoth L et al. Peripheral Pulmonary Lesions in Confirmed Pulmonary Arterial Embolism: Follow-up Study of B-Mode Ultrasound and of Perfusion Patterns Using Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS). *Journal of ultrasound in medicine: official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine* 2022; 41 (7): 1713–1721. doi:10.1002/jum.15852
- [9] Safai Zadeh E, Görg C, Dietrich CF et al. Contrast-Enhanced Ultrasound for Evaluation of Pleural Effusion: A Pictorial Essay. *Journal of ultrasound in medicine: official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine* 2022; 41: 485–503
- [10] Safai Zadeh E, Görg C, Prosch H et al. WFUMB Technological Review: How to Perform Contrast-Enhanced Ultrasound of the Lung. *Ultrasound Med Biol* 2022; 48 (4): 598–616. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2021.11.014
- [11] Safai Zadeh E, Huber KP, Dietrich CF et al. The Value of Lung Ultrasound to Detect the Early Pleural and Pulmonary Pathologies in Nonhospitalized COVID-19-Suspected Cases in a Population with a Low Prevalence of COVID-19 Infection: A Prospective Study in 297 Subjects. *Journal of ultrasound in medicine: official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine* 2022; 41 (6): 1397–1403. doi:10.1002/jum.15822
- [12] Safai Zadeh E, Keber CU, Dietrich CF et al. Perfusion Patterns of Peripheral Pulmonary Granulomatous Lesions Using Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS) and Their Correlation with Immunohistochemically Detected Vascularization Patterns. *Journal of ultrasound in medicine: official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine* 2022; 41: 565–574
- [13] Safai Zadeh E, Weide J, Dietrich CF et al. Diagnostic Accuracy of B-Mode- and Contrast-Enhanced Ultrasound in Differentiating Malignant from Benign Pleural Effusions. *Diagnostics (Basel)* 2021; 11: 1293
- [14] Alhyari A, Görg C, Dietrich CF et al. Diagnostic Performance of Point Shear Wave Elastography Using Acoustic Radiation Force Impulse Technology in Peripheral Pulmonary Consolidations: A Feasibility Study. *Ultrasound Med Biol* 2022; 12 (2): 523
- [15] Mathis G, Metzler J, Fussenegger D et al. Sonographic observation of pulmonary infarction and early infarctions by pulmonary embolism. *Eur Heart J* 1993; 14: 804–808
- [16] Trenker C, Dohse M, Ramaswamy A et al. Histological validation of pulmonary infarction detected with contrast-enhanced ultrasound in patients with negative computed tomography pulmonary angiogram: A case series. *J Clin Ultrasound* 2019; 47: 461–465
- [17] Trenker C, Apitzsch JC, Pastor S et al. Detection of peripheral embolic consolidations using contrast-enhanced ultrasonography in patients with no evidence of pulmonary embolism on computed tomography: A pilot study. *J Clin Ultrasound* 2017; 45: 575–579
- [18] Ewig S, Kolditz M, Pletz M et al. Behandlung von erwachsenen Patienten mit ambulant erworbener Pneumonie – Update 2021. *Pneumologie* 2021; 75: 665–729
- [19] Speidel V, Conen A, Gisler V et al. Lung Assessment with Point-of-Care Ultrasound in Respiratory Coronavirus Disease (COVID-19): A Prospective Cohort Study. *Ultrasound Med Biol* 2021; 47: 896–901
- [20] Piscaglia F, Stefanini F, Cantisani V et al. Benefits, Open questions and Challenges of the use of Ultrasound in the COVID-19 pandemic era. The views of a panel of worldwide international experts. *Ultraschall in Med* 2020; 41: 228–236
- [21] Reissig A, Copetti R. Lung ultrasound in community-acquired pneumonia and in interstitial lung diseases. *Respiration; international review of thoracic diseases* 2014; 87: 179–189
- [22] Safai Zadeh E, Görg C, Prosch H et al. The Role of Thoracic Ultrasound for Diagnosis of Diseases of the Chest Wall, the Mediastinum and the Diaphragm – Narrative Review and Pictorial Essay. *Diagnostics* 2023, epub in advance
- [23] Di Gennaro F, Pisani L, Veronese N et al. Potential Diagnostic Properties of Chest Ultrasound in Thoracic Tuberculosis-A Systematic Review. *International journal of environmental research and public health* 2018; 15 (10): 2235
- [24] Safai Zadeh E, Alhyari A, Kroenig J et al. B-mode ultrasound and contrast-enhanced ultrasound for evaluation of pneumonia: A pictorial essay. *AJUM* 2023, epub in advance
- [25] Yue Lee FC, Jenssen C, Dietrich CF. A common misunderstanding in lung ultrasound: the comet tail artefact. *Med Ultrason* 2018; 20: 379–384
- [26] Dietrich CF, Mathis G, Blaivas M et al. Lung B-line artefacts and their use. *J Thorac Dis* 2016; 8: 1356–1365
- [27] Dietrich CF, Goudie A, Chiorean L et al. Point of Care Ultrasound: A WFUMB Position Paper. *Ultrasound Med Biol* 2017; 43: 49–58
- [28] Dietrich CF, Bulla P, Dudwiesus H. Perspectives and Challenges of hand-held Ultrasound. *Zeitschrift für Gastroenterologie* 2022. doi:10.1055/a-1901-9394
- [29] Lacedonia D, Quarato CMI, Mirijello A et al. COVID-19 Pneumonia: The Great Ultrasonography Mimicker. *Front Med (Lausanne)* 2021; 8: 709402
- [30] Volpicelli G, Gargani L, Perlini S et al. Lung ultrasound for the early diagnosis of COVID-19 pneumonia: an international multicenter study. *Intensive care medicine* 2021; 47: 444–454
- [31] European Society of R. The role of lung ultrasound in COVID-19 disease. *Insights into imaging* 2021; 12: 81
- [32] Jiang M, Li C, Zheng L et al. A biomarker-based age, biomarkers, clinical history, sex (ABCS)-mortality risk score for patients with coronavirus disease 2019. *Ann Transl Med* 2021; 9: 230
- [33] Dietrich CF, Douira-Khomsy W, Gharbi H et al. Cystic echinococcosis, review and illustration of non-hepatic manifestations. *Med Ultrason* 2020; 22: 319–324
- [34] Acosta CM, Maidana GA, Jacovitti D et al. Accuracy of trans-thoracic lung ultrasound for diagnosing anesthesia-induced atelectasis in children. *Anesthesiology* 2014; 120: 1370–1379
- [35] Görg C, Bert T, Kring R. Contrast-enhanced sonography of the lung for differential diagnosis of atelectasis. *Journal of ultrasound in medicine: official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine* 2006; 25: 35–39
- [36] Xu W, Wen Q, Zhang X et al. The Application of Contrast Enhanced Ultrasound for Core Needle Biopsy of Subpleural Pulmonary Lesions: Retrospective Analysis in 92 Patients. *Ultrasound Med Biol* 2021; 47: 1253–1260
- [37] Yusuf GT, Fang C, Tran S et al. A pictorial review of the utility of CEUS in thoracic biopsies. *Insights into imaging* 2021; 12: 9

- [38] Liang J, Wang D, Li H et al. Contrast-enhanced ultrasound for needle biopsy of thoracic lesions. *Oncol Lett* 2020; 20: 75
- [39] Hocke M, Ignee A, Topalidis T et al. Contrast-enhanced endosonographic Doppler spectrum analysis is helpful in discrimination between focal chronic pancreatitis and pancreatic cancer. *Pancreas* 2007; 35: 286–288
- [40] Clementsen PF, Boddter U, Konge L et al. Diagnosis and staging of lung cancer with the use of one single echoendoscope in both the trachea and the esophagus: A practical guide. *Endosc Ultrasound* 2021; 10 (5): 325–334
- [41] Jenssen C, Annema JT, Clementsen P et al. Ultrasound techniques in the evaluation of the mediastinum, part 2: mediastinal lymph node anatomy and diagnostic reach of ultrasound techniques, clinical work up of neoplastic and inflammatory mediastinal lymphadenopathy using ultrasound techniques and how to learn mediastinal endosonography. *J Thorac Dis* 2015; 7: E439–E458
- [42] Dietrich CF, Annema JT, Clementsen P et al. Ultrasound techniques in the evaluation of the mediastinum, part I: endoscopic ultrasound (EUS), endobronchial ultrasound (EBUS) and transcutaneous mediastinal ultrasound (TMUS), introduction into ultrasound techniques. *J Thorac Dis* 2015; 7: E311–E325
- [43] Dietrich CF, Mathis G, Cui XW et al. Ultrasound of the pleurae and lungs. *Ultrasound Med Biol* 2015; 41: 351–365

CME-Questions

Question 1

Neovascularization can be detected sonographically using:

- A Contrast enhanced ultrasound
- B B-mode scan
- C Elastography
- D Intervention
- E High-to-low phenomenon

Question 2

An important feature of contrast enhanced ultrasound is:

- A Assessment of vascularization
- B Assessment of the time to peak of contrast medium
- C Assessment of stiffness
- D Assessment of grading
- E A high rate of side effects

Question 3

With pulmonary embolism, the lung consolidations detectable on ultrasound are typically:

- A Relatively large and triangular
- B Relatively small and round or triangular
- C Formed in a meandering pattern
- D Characterized by air alveologram
- E Hard-soft on elastography

Question 4

Typical ultrasound criteria for bronchopulmonary infiltrate are:

- A Hypoechoic lung parenchyma consolidations with evidence of an irregular vascular pattern on color Doppler ultrasound, with a high resistive index in the pulmonary arteries
- B B-lines
- C Barcode signs
- D Hypoechoic lung parenchyma consolidations with partially mobile, echogenic reflections, with reverberation and vessels with regular branching
- E Pleural effusion with echogenic internal reflections

Question 5

Complications of pneumonia detectable on ultrasound are:

- A Tumor formation
- B Necrosis and abscess formation
- C Predicted dyspnea
- D ARDS with complete pneumothorax
- E Black lung

Question 6

Sonographic signs of COVID infection are:

- A Extensive infiltrate
- B Central infiltrate
- C Bilateral subpleural consolidation
- D Pleural effusion as the indicative finding
- E Thickening of the parietal pleura

Question 7

Atelectasis is characterized by:

- A Convex margins
- B Concave margins
- C Delayed contrast enhancement
- D Spike and wave signs
- E Seashore signs

Question 8

Malignant neoplastic lung parenchymal changes are characterized by:

- A Absence of typical perfusion characteristics
- B Absence of typical vascularization characteristics
- C High resistive index (RI)
- D Strongly indicative, typical B-mode scan criteria
- E Softer than stiff elastography

Question 9

Which statement is true? CEUS helps in the diagnosis of peripheral lung tumors by:

- A Increasing the diagnostic yield of ultrasound-guided biopsy
- B Reliably excluding malignancy if contrast enhancement takes longer than 12 seconds
- C Assessing the risk of hemorrhage while on anticoagulant drugs
- D Enabling reliable diagnosis of the tumor type regardless of the enhancement kinetics
- E Replacing color Doppler ultrasound for purposes of characterization

Question 10

Which of the statements describing the contribution of ultrasound to staging of lung carcinoma is true?

- A Determining T-stage by means of ultrasound-guided biopsy of peripheral lung carcinoma
- B Evidence of cervical lymph node metastasis (N3) by means of ultrasound-guided biopsy
- C Exclusion of pleural carcinosis if no pleural effusion is detected
- D Determining T-stage by measuring the size of the central lung carcinoma
- E Absence of displacement between the tumor and the parietal pleura is evidence of T3-stage disease

Punkte sammeln auf CME.thieme.de



Diese Fortbildungseinheit ist in der Regel 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar. Unter <https://eref.thieme.de/CXLBLVR> oder über den QR-Code kommen Sie direkt zur Startseite des Wissenstests und zum Artikel. Sie finden dort auch den genauen Einsendeschluss. Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, finden Sie unter <https://cme.thieme.de/hilfe> eine ausführliche Anleitung.

Wir wünschen viel Erfolg beim Beantworten der Fragen!

VNR 2760512023163512304



Frage 1

Neovaskularisation wird sonografisch nachgewiesen durch

- A Kontrastmittelsonografie
- B B-Bild
- C Elastografie
- D Intervention
- E High-auf-Low-Phänomen

Frage 2

Ein wichtiges Charakteristikum der Kontrastmittelsonografie ist die

- A Beurteilung der Vaskularisation
- B Beurteilung der Zeit des Anflutens des Kontrastmittels
- C Beurteilung der Stiffness
- D Beurteilung des Grading
- E hohe Nebenwirkungsrate

Frage 3

Die sonografisch erkennbaren Lungenkonsolidierungen bei Lungenembolie sind typischerweise

- A relativ groß und dreiecksförmig.
- B relativ klein und rund oder dreiecksförmig
- C mäanderförmig
- D charakterisiert durch das Pneumoalveologramm
- E elastografisch hart-weich

Frage 4

Typische Ultraschallkriterien eines bronchopulmonalen Infiltrates sind:

- A durchschallbare Lungenparenchym-Konsolidierungen mit Nachweis eines irregulären Gefäßmusters im Farbdoppler mit hohem Widerstandsindex in den Lungenarterien
- B B-Linien
- C Barcode-Zeichen
- D durchschallbare Lungenparenchym-Konsolidierungen mit teils mobilen, echogenen Reflexen, mit Reverberation und regulär verzweigten Gefäßen
- E Pleuraergüsse mit echogenen Binnenreflexen

Frage 5

Sonografisch erkennbare Komplikationen der Pneumonie ist/sind

- A Tumorbildung
- B Nekrose und Abszedierung
- C Vorhersage der Luftnot
- D ARDS mit komplettem Pneumothorax
- E Black lung

Frage 6

Die sonografischen Zeichen der COVID-Infektion sind

- A flächiges Infiltrat
- B zentrales Infiltrat
- C bilaterale subpleurale Konsolidierung
- D Pleuraerguss als Leitbefund
- E Verdickung der Pleura parietalis

Frage 7

Die Atelektase ist gekennzeichnet durch

- A konvexe Begrenzung
- B konkave Begrenzung
- C späte Kontrastmittelanreicherung
- D Spike-and-wave-Zeichen
- E Seashore-Zeichen

Frage 8

Maligne neoplastische Lungenparenchym-Veränderungen sind charakterisiert durch

- A keine typischen Perfusionscharakteristika
- B keine typischen Vaskularisationscharakteristika
- C einen hohen Resistiven Index (RI)
- D wegweisende und typische B-Bild-Kriterien
- E „elastografisch softer than stiff“

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite...

Punkte sammeln auf [CME.thieme.de](https://www.cme.thieme.de)

Frage 9

Welche Aussage trifft zu? CEUS hilft in der Diagnose peripherer Lungentumore durch

- A Erhöhung der diagnostischen Ausbeute der ultraschallgestützten Biopsie
- B einen sicheren Malignitätsausschluss bei Enhancement später als 12 sec
- C Einschätzung des Blutungsrisikos unter Antikoagulation
- D sichere Artdiagnose abhängig von der Enhancement-Kinetik
- E Ersatz des Farbdopplers für die Charakterisierung

Frage 10

Welche der Aussagen zum Beitrag des Ultraschalls zum Staging von Lungenkarzinomen trifft zu?

- A Bestimmung des T-Stadiums durch US-geführte Biopsie peripherer Lungenkarzinome
- B Nachweis von zervikalen Lymphknotenmetastasen (N3) durch US-geführte Biopsie
- C Ausschluss einer Pleurakarzinose bei fehlender Detektion von Pleuraergüssen
- D Bestimmung des T-Stadiums durch Größenmessung zentraler Lungenkarzinome
- E Die fehlende Verschiebbarkeit zwischen Tumor und Pleura parietalis beweist ein T3-Stadium.

Continuing Medical Education (CME) – important note for readers outside Austria, Germany and Switzerland

At present, certification of the Continuing Medical Education features in Ultraschall in der Medizin/European Journal of Ultrasound (UJM/EJU) is officially recognised by the German and Austrian medical associations and by the Swiss Ultrasound Society. Participants residing in other countries may please address their national medical association or their national specialist society for recognition of their CME scores.

Participation is possible via internet under <http://cme.thieme.com>. For one Continuing Medical Education unit you will be credited with 3 score points. To be awarded this score, 70% of the questions must have been answered correctly. The CME unit in the present issue is available online for 12 months for CME participation.

CME participation for this article can be done online under <http://cme.thieme.com>.

CME-Fortbildung mit Ultraschall in der Medizin

Für Teilnehmer in Deutschland

Die Fortbildung in Ultraschall in der Medizin wurde von der Nordrheinischen Akademie für Ärztliche Fort- und Weiterbildung für das Fortbildungszertifikat anerkannt, das heißt, die Vergabe der Punkte kann direkt durch die Thieme Verlagsgruppe erfolgen. Die Fortbildung in Ultraschall in der Medizin gehört zur Kategorie „strukturierte interaktive Fortbildung“. Entsprechend einer Absprache der Ärztekammern werden die von der Nordrheinischen Akademie für Ärztliche Fort- und Weiterbildung anerkannten Fortbildungsveranstaltungen auch von den anderen zertifizierenden Ärztekammern anerkannt.

Für Teilnehmer in Österreich

Die Fortbildungspunkte der Ultraschall in der Medizin werden gemäß der Novellierung der DFP-

Richtlinien vom 23.6.2005 (§26 Abs. 3) auch von den österreichischen Ärztekammern anerkannt.

Für Teilnehmer in der Schweiz

Die Fortbildungspunkte der Ultraschall in der Medizin werden gemäß der Richtlinien der SGUM im Rahmen der 15 Credits für das Selbststudium anerkannt. Die Kontrolle der Fortbildung durch die SGUM/SSUM erfolgt im Auftrag der FMH (Federation Medicorum Helveticorum) im Rahmen der Fortbildungsordnung.

Datenschutz

Ihre Daten werden ausschließlich für die Bearbeitung dieser Fortbildungseinheit verwendet. Es erfolgt keine Speicherung der Ergebnisse über die für die Bearbeitung der Fortbildungseinheit notwendige Zeit hinaus. Die Daten werden nach Versand der Testate anonymisiert. Namens- und Adressangaben dienen nur dem Versand der Testate. Die Angaben zur Person dienen nur statistischen Zwecken und werden von den Adressangaben getrennt and anonymisiert verarbeitet.

Teilnahme

Jede Ärztin und jeder Arzt soll das Fortbildungszertifikat erlangen können. Deshalb ist die Teilnahme am CME-Programm von Ultraschall in der Medizin nicht an ein Abonnement geknüpft! Die Teilnahme ist im Internet unter <http://cme.thieme.de> möglich. Im Internet muss man sich registrieren, wobei die Teilnahme an Fortbildungen abonnierter Zeitschriften ohne Zusatzkosten möglich ist. Die Fortbildungseinheit in diesem Heft ist 12 Monate online für eine CME-Teilnahme verfügbar.

Teilnahmebedingungen

Für eine Fortbildungseinheit erhalten Sie 3 Fortbildungspunkte im Rahmen des Fortbildungszertifikats. Hierfür müssen 70% der Fragen richtig beantwortet sein.

CME-Fortbildung für Nicht-Abonnenten

Teilnehmer, die nicht Abonnenten von Ultraschall in der Medizin sind, können für die Internet-Teilnahme dort direkt ein Guthaben einrichten, von dem pro Teilnahme ein Unkostenbeitrag abgebucht wird.

Die CME-Teilnahme für diesen Beitrag ist online möglich unter <http://cme.thieme.de>.

CME.thieme.de

CME-Teilnahme

- ▶ Viel Erfolg bei Ihrer CME-Teilnahme unter <http://cme.thieme.de>
- ▶ Diese Fortbildungseinheit ist 12 Monate online für eine CME-Teilnahme verfügbar.
- ▶ Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, unter <http://cme.thieme.de/hilfe> finden Sie eine ausführliche Anleitung.