

# Bildgebende Verfahren in der Intensivmedizin: Röntgen, Sonographie, CT, MRT, Nuklearmedizin und bildgesteuerte Interventionen

Peter Hunold<sup>a\*</sup>, Ingo Janssen<sup>a</sup>, S. Kinner<sup>b</sup> und M. Schlamann<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Klinik für Radiologie und Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein – Campus Lübeck, Lübeck, Deutschland

<sup>b</sup>Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Neuroradiologie, Universitätsklinikum Essen, Essen, Deutschland

<sup>c</sup>Universitätsklinikum Gießen und Marburg, Standort Giessen Neuroradiologie, Gießen, Deutschland

## 1 Einleitung

Die bildgebende Diagnostik in der Intensivmedizin unterliegt speziellen Bedingungen, die mit Herausforderungen in zweierlei Hinsicht einhergehen: Einerseits sind logistische Besonderheiten zu beachten. Das bezieht sich auf die Patienten und deren Handhabung während der Untersuchung, aber auch auf die dafür vorzuhaltenden Gerätschaften, sofern die Untersuchung direkt auf der Intensivstation durchgeführt wird. Die Untersuchung von Intensivpatienten außerhalb der Intensivstation, z. B. an Großgeräten wie Computertomographie oder Angiographie, ist häufig mit großem Aufwand verbunden, was Planung, Koordination und Transport angeht. Andererseits sind bei der Interpretation und Befundung der speziellen intensivmedizinischen Untersuchungen andere Maßstäbe anzulegen. Dies gilt insbesondere für die Röntgenuntersuchung des Thorax, die wegen der unterschiedlichen Geräteeinstellungen und der Rückenlage der Patienten andere Bilder liefert, als man es von den Stehendaufnahmen am Rasterwandstativ gewohnt ist.

Naturgemäß findet die radiologische Diagnostik in der Intensivmedizin überwiegend direkt am Krankenbett statt, man spricht auch von der „bedside radiology“. Die mit weitem Abstand am häufigsten eingesetzte Untersuchungsmodalität ist die Projektionsradiographie, die konventionelle Röntgenaufnahme. Sie macht etwa 90 % der radiologischen Diagnostik auf der Intensivstation aus. Darunter nimmt den größten Anteil die Untersuchung des Thorax ein. Auch die Sonographie gehört heute zur Standardausstattung einer Intensivstation. Insbesondere in der Diagnostik des Abdomens hat sie einen höheren Stellenwert zur gezielten Abklärung von abdominaler Symptomatik über den Ileus hinaus als die Abdomenübersichtsaufnahme.

Wenngleich die radiologische Schnittbilddiagnostik mittels Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT) immer häufiger auch bei Intensivpatienten eingesetzt wird, bleibt sie solchen Fällen vorbehalten, in denen die oben genannte bettseitige Diagnostik mit Sonographie und Röntgen nicht mehr weiterhelfen kann. Selbiges gilt für die Angiographie. Schließlich muss dem Aufwand und dem Risiko, das mit dem Patiententransport verbunden ist, ein zu erwartender relevanter diagnostischer Zusatzgewinn entgegen stehen.

Insgesamt ergeben sich für die radiologische Diagnostik von Intensivpatienten die in der Übersicht gelisteten Bedingungen, denen Rechnung getragen werden muss.

---

\*E-Mail: peter.hunold@uksh.de

### **Bedingungen für die radiologische Diagnostik auf der Intensivstation**

- Der Patient ist meist nicht oder nur sehr eingeschränkt kooperationsfähig.
- Schon die korrekte Patientenlagerung bzw. Platzierung der notwendigen Gerätschaften kann sehr aufwendig sein.
- Die diagnostische Aussagekraft ist durch die Aufnahmebedingungen oft eingeschränkt (z .B. schräge Projektion oder mangelnde Inspiration beim Liegendthorax).
- Externe Fremdmaterialien überlagern das Röntgenbild (z. B. EKG-Elektroden, Sauerstoffschläuche, Verbandsmaterial).
- Interne Fremdmaterialien (z. B. Katheter, Drainagen, Trachealtuben) beeinflussen die Aussagekraft.
- Die Geräteausstattung ist in ihrer Leistungsfähigkeit begrenzt (z. B. fahrbares Röntgengerät).
- Die erreichbare Bildqualität ist technisch bedingt eingeschränkt (z. B. durch fehlende Belichtungsautomatik und Raster).
- Eine direkte Anbindung an die digitalen Bildarchivierungs- und -verarbeitungssysteme (PACS – „picture archiving and communication system“) ist üblicherweise auf der Intensivstation nicht gegeben.

Dieses Kapitel soll auf die besonderen medizinischen und logistischen Untersuchungsbedingungen von Intensivpatienten eingehen und auf den korrekten Umgang damit hinweisen. Im Weiteren werden spezielle, auf der Intensivstation vorkommende Indikationen zu bildgebender Diagnostik besprochen und die korrekte Anforderung für die entsprechenden Untersuchungen diskutiert.

Im Rahmen dessen werden auch die typischen Befunde von häufigen Krankheitsbildern beschrieben, um bettseitig die bedeutsamen Pathologien erkennen zu können. Die subtile Differenzialdiagnostik der verschiedenen Untersuchungen kann und soll in diesem Werk nicht abgehandelt werden, dazu wird auf die entsprechende radiologische Fachliteratur verwiesen.

## **2 Anforderung von Diagnostik und Kommunikation**

Auf den besagten Einschränkungen auf der technischen Seite basieren die besonderen Anforderungen an den die Bilder befundenden Radiologen oder Intensivmediziner. Einerseits muss von nicht optimaler Bildqualität ausgegangen werden, was die Interpretation der Bildbefunde per se erschwert. Andererseits handelt es sich gerade bei Intensivpatienten oft um solche, die einer direkten und schnellen Therapie bedürfen.

Die Bilder müssen besonders schnell angefertigt und als Film oder im digitalen Betrachtungssystem verfügbar gemacht werden; die entsprechende Diagnose muss schnell gestellt werden.

- ▶ Es ist also wichtig für den befundenden Radiologen, dass alle relevanten Informationen zum Patienten generell und zur Indikation für die speziell angeforderte Untersuchung mit der Anforderung der Untersuchung zur Verfügung gestellt werden.

Der lückenlose Informationsfluss zwischen Anforderer und Befunder trägt stark dazu bei, dass die Befunde richtig und klinisch relevant ausfallen. Umgekehrt ist es sehr schwierig, ohne die entsprechenden

Hintergrundinformationen aus den unspezifischen Befunden im Bild einen spezifischen Befund zu erstellen.

Die in der Übersicht gelisteten klinischen Informationen sind für den Radiologen relevant.

### **Für den Radiologen wichtige klinische Informationen**

- Grunderkrankung und Anamnese des Patienten
- Aktueller Grund für den Aufenthalt auf der Intensivstation
- Vorangegangene Operationen oder größere Eingriffe
- Unterschiede im klinischen Verlauf gegenüber dem Zeitpunkt der Voruntersuchung
- Derzeitige relevante Laborwerte, z. B. Entzündungswerte – am besten sollten diese für den Radiologen uneingeschränkt verfügbar sein
- Art der Beatmung
- Derzeitige Kreislaufsituation
- Vorangegangene Punktionen, z. B. ZVK-Anlage, Pleurapunktion
- Art und Zeitpunkt vorangegangener diagnostischer Eingriffe, z. B. Bronchoskopie mit bronchoalveolärer Lavage, Gastroskopie mit Luftinsufflation

Die Informationen können entweder während der gemeinsamen Visite des Intensivmediziners und des Radiologen auf der Intensivstation oder während der gemeinsamen Befunddemonstration ausgetauscht werden. Sollte beides nicht stattfinden können, kommt der korrekten und ausführlichen Untersuchungsanforderung besondere Bedeutung zu.

- ▶ Grundsätzlich sollte bei der Anforderung von bildgebender Diagnostik zwischen Routine-, dringlicher und Notfallindikation unterschieden werden.

## **3 Grundlagen: Geräte, Zubehör und Anwendung**

### **3.1 Technische Ausstattung**

Die Grundausstattung für die bildgebende Diagnostik einer Intensivstation besteht aus den in der Übersicht genannten Komponenten.

#### **Grundausstattung für die bildgebende Diagnostik**

- Mobiles Röntgenaufnahmegerät
- Filmkassetten oder Speicherfolienkassetten (35 × 43 cm)
- Strahlenschutzschürzen (Bleigleichwert 0,25–0,5 mm)
- Strahlenschutzhandschuhe
- Bleigummistreifen zur Patientenabdeckung
- Bewegliche/fahrbare Strahlenschutzwand
- Befundungs- oder Betrachtungsmonitor (PACS – „picture archiving and communication system“) oder Lichtkasten zur Filmbetrachtung; dabei sollten zum Bildvergleich mindestens 2 Großformatbilder nebeneinander gleichzeitig betrachtet werden können
- Mobiles Ultraschallgerät mit Printer oder PACS-Anbindung

Die Röntgendurchleuchtung spielt heute nur noch eine untergeordnete Rolle. Zunehmend wichtig ist dagegen heute die schnelle Verfügbarkeit eines CT-Gerätes, was dazu geführt hat, dass in modernen Kliniken auf kurze Wege zwischen Intensivstation und einem CT-Scanner Wert gelegt wird.

### 3.2 Strahlenschutz in der Röntgendiagnostik

Auch hinsichtlich des Strahlenschutzes ergeben sich für Intensivpatienten, die bettseitig mit Röntgendiagnostik untersucht werden, besondere Bedingungen. Die Intensivstation muss für die Untersuchungen vor Ort die Gerätschaften zum Strahlenschutz vorhalten. Trotzdem ist der Strahlenschutz wegen der fehlenden Abschirmeinrichtungen schwieriger durchzuführen.

Naturgemäß ist es auf einer Intensivstation mit eng beieinander liegenden Patienten und zahlreichen Mitarbeitern schwieriger als in der dafür extra ausgelegten Röntgenabteilung, einen adäquaten Strahlenschutz zu gewährleisten. Alle Mitarbeiter sind entsprechend zu schulen.

- ▶ Es ist zu beachten, dass zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahme die unmittelbare Umgebung der Röntgenröhre als „Kontrollbereich“ im Sinne der RöV definiert ist, d. h. dass dort Personen (Mitarbeiter und mit im Zimmer liegende Patienten) bei regelmäßigem Aufenthalt pro Jahr effektive Dosen von  $\geq 6$  mSv akkumulieren können.

Selbstverständlich muss eine Röntgenanforderung bei Intensivpatienten den Ansprüchen an die rechtfertigende Indikation gemäß der Röntgenverordnung (RöV) genügen. Das bedeutet, dass das mit der Untersuchung vergesellschaftete Risiko (deterministische und überwiegend stochastische Strahlenschäden) nicht den zu erwartenden diagnostischen und therapeutischen Nutzen der Untersuchung überwiegen darf.

Jede unnötige Strahlenexposition von Patient und Mitarbeitern ist zu vermeiden. Insofern ist besonderer Wert auf die korrekte Indikationsstellung zu legen. Der routinemäßig täglich angefertigte Röntgenthorax eines jeden Patienten einer Intensivstation ist weder rechtlich noch medizinisch zu rechtfertigen. In einer großen Metaanalyse konnte gezeigt werden, dass eine tägliche Röntgenaufnahme von Intensivpatienten gegenüber der selektiven Indikationsstellung im Gesamten keine Verbesserung von Patientenmanagement und -outcome bringt (Oba und Zaza 2010).

Schließlich ist zu bedenken, dass ein Intensivthorax per se mit einer höheren Strahlendosis verbunden ist als eine Aufnahme am Rasterwandstativ. Gerade bei Langliegern, z. B. langzeitbeatmeten Patienten, kommen häufig 2- und sogar 3-stellige Zahlen an Röntgenthoraces während eines Intensivstationsaufenthaltes zusammen, was wiederum zu sehr hohen kumulativen Dosen führen kann.

- ▶ Der unreflektierte tägliche Röntgenthorax jedes Patienten einer Intensivstation ist weder rechtlich noch medizinisch zu rechtfertigen. Die Regeln der „rechtfertigenden Indikationen“ gelten auch für die Intensivstation.

Um unnötige Strahlenbelastung für die Mitarbeiter und die Patienten auf ein Minimum zu reduzieren, sind auch auf der Intensivstation die üblichen, einfachen Maßnahmen zu ergreifen: Nach dem Abstand-Quadrat-Gesetz soll während der Aufnahme ein möglichst großer Abstand von Bediensteten und Mitpatienten zur Röntgenröhre eingehalten werden. Schon dadurch ist eine erhebliche Reduktion der Strahlenbelastung gewährleistet. Wird außerdem die vorgeschriebene Schutzkleidung (Röntgenschürze) vorschriftsmäßig getragen, ist die Strahlenbelastung für das medizinische Personal vernachlässigbar.

### 3.3 Nuklearmedizinische Diagnostik

Für die Beantwortung intensivmedizinischer Fragestellungen gibt es in der Nuklearmedizin eine Vielzahl von Untersuchungen, von denen die in den körperabschnittspezifischen Abschn. näher beschriebenen Verfahren jedoch mit Abstand am meisten eingesetzt werden und für die Intensivmedizin die größte klinische Relevanz aufweisen.

Die in der radiologischen Diagnostik geltenden Anforderungen im Hinblick auf Kommunikation gelten uneingeschränkt auch für die Nuklearmedizin. Da in der Nuklearmedizin der Zeitraum zwischen Injektion des Radiopharmakons und Beginn des Untersuchungsscans u. U. einige Stunden beträgt und auch die reine Akquisitionszeit unter der Kamera einen längeren Zeitraum beanspruchen kann, bedarf es besonders guter Kommunikation und Abstimmung zwischen Intensivmedizinern und der Nuklearmedizin, um eine optimale Überwachung des Patienten und möglichst wenige innerklinische Transporte zu gewährleisten.

Die diagnostische und therapeutische Anwendung radioaktiver Substanzen ist in der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) und der Richtlinie zur StrlSchV geregelt. Die Anwendung radioaktiver Substanzen ist nur in Räumen möglich, die als Kontroll- und Überwachungsbereich genehmigt sind. Somit kann die Injektion eines Radiopharmakons in der Regel nur in den Räumen der nuklearmedizinischen Abteilung stattfinden. Alternativ kann in Ausnahmefällen (ggf. unter Rücksprache mit der zuständigen Behörde) ein temporärer Kontrollbereich außerhalb der Abteilung eingerichtet werden.

Die Indikationsstellung zu nuklearmedizinischen Untersuchungen hat durch einen fachkundigen Arzt oder einen Facharzt für Nuklearmedizin zu erfolgen. Für alle nuklearmedizinischen Untersuchungen ist eine bestehende Schwangerschaft als absolute, Stillzeit als relative Kontraindikation zu sehen.

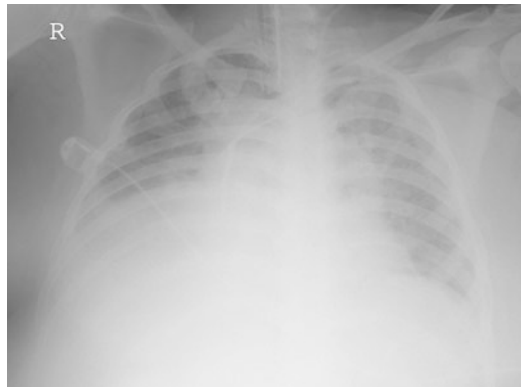
## 4 Thorax

Der weit überwiegende Teil der diagnostischen Untersuchungen des Thorax bei Intensivpatienten ist die bettseitig angefertigte Röntgenaufnahme im Liegen. Das liegt nicht daran, dass der Röntgenthorax im Liegen eine besonders gute Untersuchung mit hoher diagnostischer Genauigkeit wäre, sondern ist der Tatsache geschuldet, dass der Röntgenthorax mit relativ geringem Aufwand schnell einen guten Überblick über verschiedene für Intensivpatienten relevante Befunde bieten kann. Darüber hinaus kommen für bestimmte Indikationen auch die Sonographie (ebenfalls bettseitig) und immer häufiger die Thorax-CT zum Einsatz.

### 4.1 Durchführung der Thoraxröntgenaufnahme (Intensiv-, Liegend-)

**Technische Aspekte** Im Gegensatz zur Thoraxaufnahme im Stehen muss der Intensivthorax aus praktischen Gründen im anterior-posterioren (a.–p.) Strahlengang akquiriert werden.

Mobile Röntgengeräte kommen auf der Intensivstation zur Anwendung, um überflüssige Patiententransporte zu vermeiden. Entsprechend müssen sie klein und wendig und von einer Person zu bewegen und zu bedienen sein. Ebenso müssen sie am normalen Stromnetz (220 V) anschließbar sein. Sie sind nicht so leistungsfähig wie stationäre Geräte mit größeren Generatoren und digitalen Detektoren. Sie müssen allerdings so leistungsstark sein, dass Lungenaufnahmen mit adäquat kurzen Belichtungszeiten möglich sind und auch in Ausnahmefällen Abdomina und Knochen geröntgt werden können. Damit ein Fokus-Film-Abstand von mindestens 1,50 m gewährleistet ist, sollte die Aufhängung der Röntgenröhre schwenk- und höhenverstellbar sein.



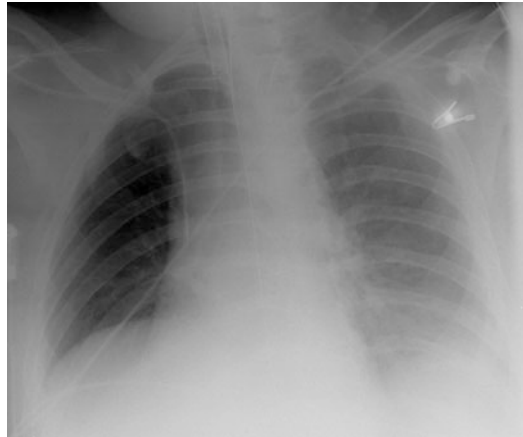
**Abb. 1** Liegendthorax eines sehr adipösen Patienten, die ohne Streustrahlenraster aufgenommen wurde. Neben den erheblichen Weichteilüberlagerungen, die zu einer homogenen Transparenzminderung führen, ist die Aufnahme wegen der ausgeprägten Streustrahlung sehr kontrastarm

Wie in stationären Systemen werden heute auch für die Intensivstation weit überwiegend digitale Radiographiesysteme eingesetzt. Üblicherweise werden Speicherfolien verwendet (digitale Lumineszenzradiographie): In einer Aluminiumkassette liegt eine Speicherfolie, die nach der Belichtung in ein digitales, elektronisches Auslesegerät eingelegt und ausgelesen wird. Dadurch werden digitale Bilder erstellt, die entweder durch einen Laserprinter auf Film ausgedruckt oder in ein digitales Archivsystem (PACS – „picture archiving and communication system“) eingespeist werden können. Die Besonderheiten der digitalen Systeme sind in der Übersicht aufgelistet.

#### **Besonderheiten bei digitalen Radiographiesysteme**

- Fehlbelichtungen werden durch den vergleichsweise sehr hohen Dichteumfang vermieden; dadurch gibt es weniger nichtdiagnostische Bilder. Das ist insbesondere wegen der fehlenden Belichtungsautomatik von mobilen Röntgengeräten wichtig.
- Das volle Spektrum der digitalen Bildnachbearbeitung (Kontrastfensterung, Zoom etc.) steht zur Verfügung.
- Die Bilder können in einem PACS („picture archiving and communication system“) gespeichert, verarbeitet und v. a. sehr schnell und zuverlässig nach Erstellung auf allen Stationen des Krankenhauses eingesehen werden.
- Digitale Bilder haben eine geringere Ortsauflösung und ein höheres Bildrauschen als konventionelle Röntgenfilme.

Analog zu Aufnahmen mit dem Rasterwandstativ sollten auch Betaufnahmen in Hartstrahltechnik durchgeführt werden, um durch kürzere Belichtungszeiten Bewegungsunschärfen zu reduzieren und die Überlagerung der Lungenstrukturen durch Rippen zu minimieren. Um die damit verbundene erhöhte Streustrahlung, die zu Kontrastminderung im Bild führt (Abb. 1), zu reduzieren, können auch Liegendthoraces mit einem Streustrahlenraster aufgenommen werden. Die Handhabung von Kassetten mit Raster ist etwas unkomfortabler und setzt auch etwas höhere Strahlendosen voraus. Zudem ist mit Rastern die Gefahr von fehlbelichteten Aufnahmen („Rastereffekt“) gegeben. Eine korrekt durchgeführte Aufnahme mit Raster ist allerdings wegen des höheren Kontrastes besser zu beurteilen.



**Abb. 2** Versehentliche Schrägprojektion mit sagittaler Verkantung, die Aufnahme ist in LAO-Projektion (LAO = „left anterior oblique“) angefertigt. Bei der homogenen Verschattung des linken Hemithorax ist bei bestehendem Pleuraerguss der Einfluss der asymmetrischen Weichteilüberlagerung nicht zuverlässig abzuschätzen

- Standardeinstellungen für den Intensivthorax sind Röhrenspannungen zwischen 100 und 120 kV. Der Film-Fokus-Abstand sollte etwa 1,50 m betragen, in jedem Fall aber über 1 m.

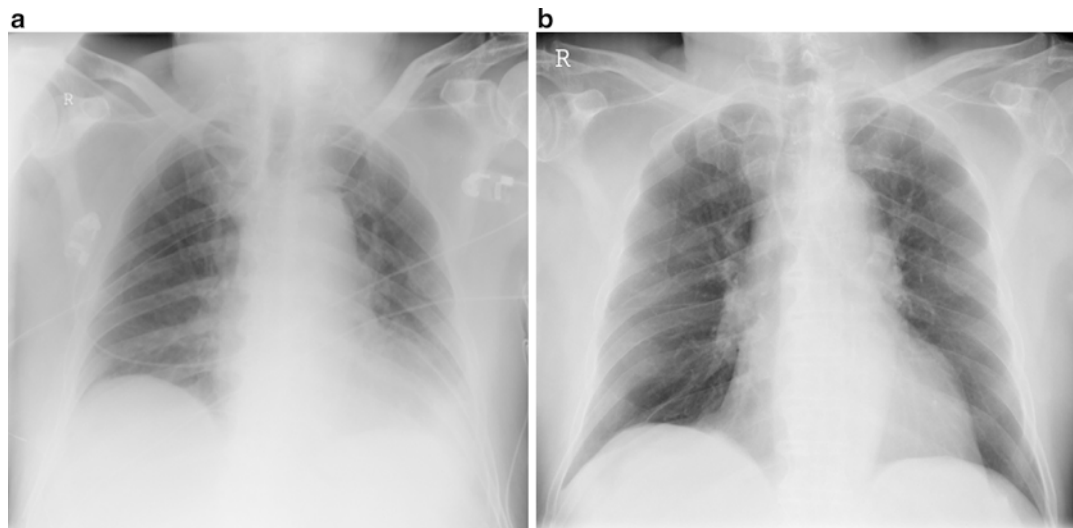
**Patientenaspekte** Sicherheit und Komfort spielen für den oft schwerkranken Patienten eine wichtige Rolle. Grundsätzlich gilt die Regel, dass der Patient während der Röntgenaufnahme so aufrecht wie möglich gelagert werden sollte. Das bedeutet: Ein sitzender Patient ist bezüglich der Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahme besser als ein liegender Patient. Allerdings sollte in jedem Fall Wert darauf gelegt werden, dass die Projektion korrekt geführt wird und Schrägprojektionen vermieden werden (Abb. 2). Somit ist eine stabile, gerade Rückenlage wertvoller als eine instabile und schräge Sitzendposition.

Die Speicherfolienkassette wird unter den Rücken des Patienten platziert.

Analog zur Stehendaufnahme soll der Liegendthorax während maximaler Inspiration aufgenommen werden, um die basalen Recessus komplett zu entfalten, die Lunge maximal zu belüften und beides korrekt beurteilen zu können (Abb. 3). Spontanatmende und wache Patienten sollten dementsprechende Atemkommandos bekommen. Bei beatmeten Patienten sollte die Aufnahme während der maximalen Inspiration ausgelöst werden.

## 4.2 Besonderheiten des Liegendthorax

Grundsätzlich handelt es sich bei jedem Liegendthorax gegenüber der Stehendaufnahme in 2 Ebenen um einen Kompromiss zwischen eingeschränkter Beurteilbarkeit durch nicht optimale Aufnahmebedingungen einerseits und einfache Durchführung mit hohem Patientenkomfort ohne logistischen Aufwand andererseits. Insofern muss mit eingeschränkter Bildqualität gerechnet werden, die durch typische Fehler bei der Einstellung und Patientenpositionierung (Übersicht) weiter herabgesetzt wird. Zudem ergeben sich in der Befundung deutliche Unterschiede zwischen dem Liegendthorax und der Stehendaufnahme, die bei der Beurteilung beachtet werden müssen.



**Abb. 3 a b** Einfluss der Inspirationstiefe auf den Bildeindruck: Während in Expiration (**a**) die basalen Anteile beider Lungenflügel verschattet sind und Pleuraergüsse und Infiltrate vortäuschen, ergibt sich während maximaler Inspiration (**b**) desselben Patienten am selben Tag ein Normalbefund

### Typische Aufnahmefehler und Artefakte

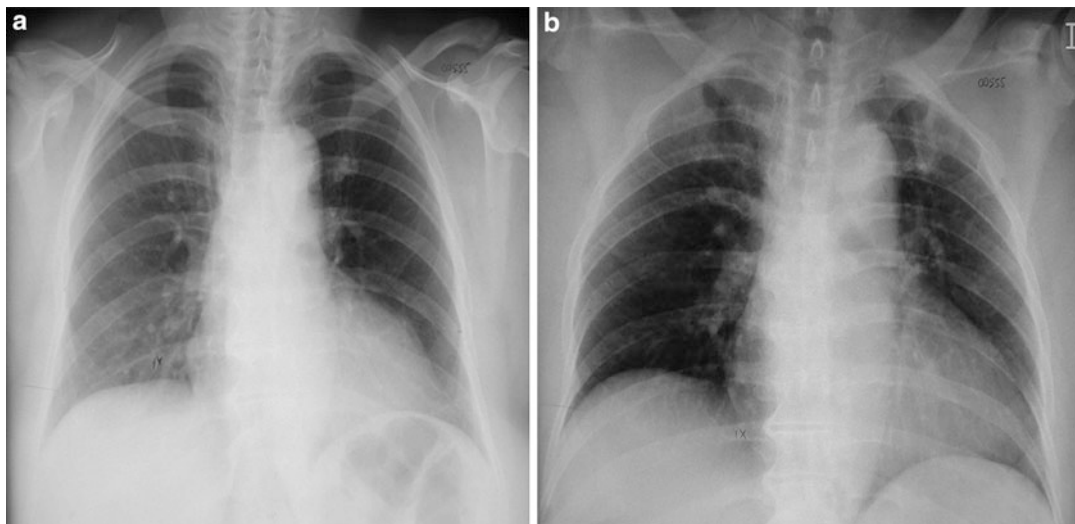
- Wegen der Lagerungsbedingungen kommt es viel häufiger als bei Stehenaufnahmen zu unvollständiger Erfassung der relevanten Thoraxorgane und/oder der Installationen bei Intensivpatienten.
- Aufgrund der fehlenden Belichtungsautomatik kommt es häufig zu Über- oder Unterbelichtungen, die zwar z. T. durch die digitale Nachbearbeitung korrigiert, aber nicht komplett kompensiert werden können.
- Bei Aufnahmen mit Raster kann es bei Verkantungen zwischen der durch das Raster vorgegebenen Richtung und dem Zentralstrahl zu typischen Artefakten, dem „Rastereffekt“, kommen. Dabei zeigen sich asymmetrische Aufhellungen und Unterbelichtungen der beiden Thoraxhälften, die zu Fehleinschätzungen, z. B. Überbähung und Pleuraerguss, führen können.
- Bei Schrägprojektion wirkt das Mediastinum verbreitert, und die Lungen erscheinen transparenzgemindert.
- Durch die Kranielabweichung des Zentralstrahls („Lordoseaufnahme“) projiziert sich das Zwerchfell unnatürlich hoch, und die Lunge scheint in kraniokaudaler Richtung verkürzt (Abb. 4).
- Bei ungenügender Inspirationstiefe wirken die Lungen minderbelüftet und das Mediastinum, besonders das Herz, gestaucht bzw. verbreitert.

**Spezifika bei der Befundung des Intensivthorax** Aufgrund der geschilderten Aufnahmebedingungen unterscheidet sich der Bildeindruck eines Liegendthorax vom dem einer Röntgenaufnahme im Stehen. Insofern ist es notwendig, für den Liegendthorax einen speziellen Normalbefund als „Engramm“ abzuspeichern und die zu befundenden Aufnahmen damit zu vergleichen. Außerdem ist zu beachten, dass durch die gegebenen Voraussetzungen die diagnostische Aussagekraft des Liegendthorax erheblich eingeschränkt ist – auch wenn die Akquisition lege artis erfolgte. Die in der Übersicht beschriebenen veränderten Verhältnisse sind typisch für den Liegendthorax.





**Abb. 4** Fehlerhafte Projektion: Durch Kranialabweichung des Zentralstrahls wirkt die Lunge verkürzt



**Abb. 5 a b** Unterschied im Bildeindruck zwischen Aufnahmen im Stehen (a) und im Liegen (b). Selber Patient am selben Tag: Im Liegen können die Skapulae nicht herausgedreht werden, Herz und Mediastinum wirken breiter, und die Zwerchfelle stehen höher

### **Gegenüber der Stehenaufnahme veränderte Verhältnisse beim Liegendthorax**

- Herz und Mediastinum sind breiter (Abb. 5). Das liegt zum einen an der größeren Entfernung des Herzens zum Detektor in a.-p.-Projektion, nochmals verstärkt durch den geringeren Detektor-Fokus-Abstand; zum anderen an der Tatsache, dass das Zwerchfell höher steht.
- Aufgrund des Höherentretens der Abdominalorgane im Liegen wird das Zwerchfell nach kranial gedrückt.
- Die Konturen werden unschärfer abgebildet. Dies ist ebenfalls auf den verringerten Detektor-Fokus-Abstand zurückzuführen.
- Pleuraerguss und Pneumothorax sind schwieriger zu erkennen. Wegen der veränderten Schwerkraftverhältnisse sammeln sich Ergüsse dorsal und freie pleurale Luft ventral, was  
(Fortsetzung)

beides in der anterioren Aufsicht sowohl schwieriger zu erkennen als auch im Ausmaß einzuschätzen ist.

- Die Lungenperfusion ist verändert. Ebenfalls aufgrund der anderen Schwerkraftbedingungen verteilt sich das Blutvolumen innerhalb der Lunge in kraniokaudaler Richtung homogener. Daher gelten andere Bedingungen für die Beurteilung einer kardialen/pulmonalvenösen Stauung.

Für die systematische Bildanalyse wird empfohlen, jeweils zusammengehörige anatomische Strukturen auch gemeinsam und gezielt zu beurteilen, um erstens die gesehenen Strukturen sicherer den entsprechenden anatomischen Korrelaten zuordnen zu können und zweitens keine relevanten Kompartimente zu vergessen.

- ▶ Für die systematische Bildanalyse wird empfohlen, jeweils zusammengehörige anatomische Strukturen gemeinsam und gezielt zu beurteilen. Es hat sich bewährt, mit der Inspektion der Lungen zu beginnen und dabei von peripher nach zentral vorzugehen.

## 5 Lagekontrolle von Kathetern und anderen Installationen

Zu den häufigsten Indikationen für einen Intensivthorax gehört die Kontrolle von ein- und angebrachten Installationen, d. h. Tuben, Kathetern, Drainagen etc.

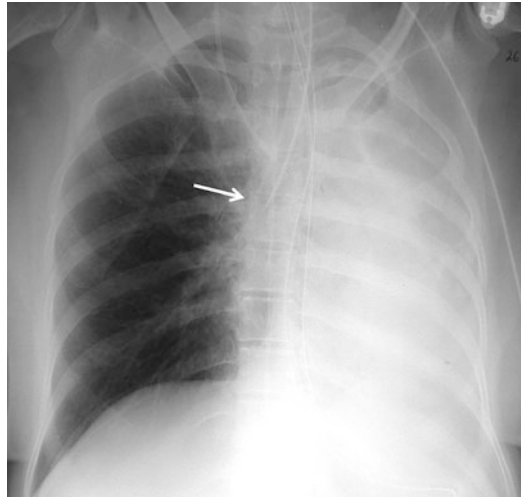
- ▶ Nach jeder invasiven Anlage von Installationen hat eine Röntgenkontrolle zu erfolgen.

So wird die Dokumentation der korrekten Lage sichergestellt, um Fehlfunktionen der Installationen, aber auch Komplikationen durch die Anlage und Nutzung fehlliegender Katheter zu vermeiden. Zur richtigen Einschätzung der Installationen ist es deshalb wichtig, dass die Strukturen **röntgendicht** und damit im Intensivthorax sicher zu identifizieren sind. Sollten die Materialien nicht ausreichend röntgendicht sein, sollten sie vor der Röntgenaufnahme mit Kontrastmittel gefüllt und damit markiert werden. Zweitens sollen Installationen im gesamten intrathorakalen Verlauf abgebildet sein. Durch mögliche Bewegungen des Patienten und Manipulationen, z. B. beim Umlagern während Patiententransporten, kann es auch sekundär zu Fehllagen kommen. Daher müssen Installationen regelmäßig auf ihre korrekte Lage hin überprüft werden.

- ▶ Nicht zuletzt ist der behandelnde oder befundende Arzt dazu verpflichtet, in jeder einzelnen Röntgenaufnahme die Anwesenheit und Lage jeder Installation zu begutachten und entsprechend zu dokumentieren.

Zu beachten ist, dass auch nach vergeblichen Punktionsversuchen im Fall thorakaler Installationen eine Thoraxaufnahme notwendig ist, um Komplikationen aufzuspüren, z. B. Pneumothorax oder Hämatothorax nach ZVK-Anlageversuch.

Da für den Intensivthorax immer nur eine Projektion, nämlich a.-p., zur Verfügung steht, kann die exakte Zuordnung von Kathetermaterialien zu Gefäßen oder anatomischen Strukturen schwierig sein. Daher ist es angebracht, bei der Beschreibung der Lage von Installationen den Begriff „in Projektion auf“ zu verwenden. Wenn aufgrund der singulären a.-p.-Aufnahme Zweifel an der korrekten Installation



**Abb. 6** Fehlintubation mit zu tiefer Lage des Trachealtubus im rechten Hauptbronchus (Pfeil: Tubusspitze). Bei korrekter a.-p.-Projektion weicht der Tubus nach rechts ab und ist im Lumen des rechten Hauptbronchus distal der Carina trachealis zu erkennen. Konsekutive Totalatektase der linken Lunge mit Mediastinalshift nach ipsilateral

bestehen, sollte vor Verwendung derselben weitere Diagnostik betrieben werden, beispielsweise durch Anspritzen eines Katheters mit Kontrastmittel unter Durchleuchtung oder während der Röntgenaufnahme; ggf. müssen auch CT-Untersuchungen hinzugezogen werden.

## 5.1 Trachealtubus und Trachealkanüle

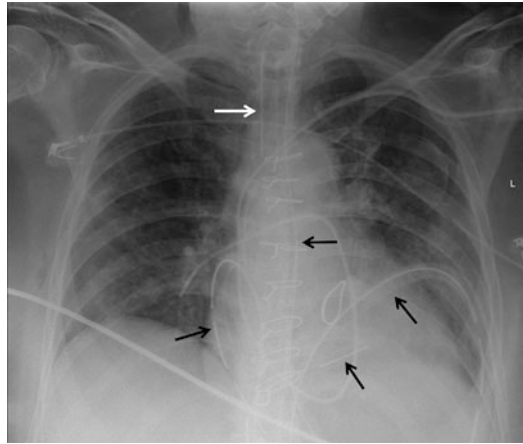
### 5.1.1 Trachealtubus

Die häufigste Komplikation von Anlagen eines Trachealtubus ist die Fehllage. Bei etwa 15 % der Intensivpatienten wird im Intensivthorax eine Fehllage von Trachealtuben gesehen, die zuvor nicht erkannt werden konnte (Godoy et al. 2012a, b). Die normalerweise wegen der röntgendichten Markierung gut sichtbare Spitze des Trachealtubus sollte mittig innerhalb des Tracheallumens liegen und idealerweise 5 cm oberhalb der Carina trachealis platziert sein, wenn der Kopf des Patienten in Neutralposition gelagert ist. Der Kopf liegt in Neutralposition, wenn sich die Unterkante der Mandibula mittig auf die untere HWS projiziert. Durch Bewegungen des Kopfes kann die Höhe der Spitze um ca. 2 cm nach proximal (Extension) und distal (Flexion) variieren. Liegt der Trachealtubus zu hoch, droht die Extubation oder die Fehllage im Hypopharynx, ggf. eine Verletzung der Stimmlippen. Liegt der Tubus zu tief, kann eine selektive Intubation eines Hauptbronchus, bevorzugt des rechten, mit entsprechender Atektase der linken Lunge resultieren (Abb. 6).

- Das Lumen des Trachealtubus sollte die Hälfte bis 2/3 des Tracheallumens ausfüllen. Der Cuff sollte das Lumen komplett verlegen, ohne die Trachealwand nach außen zu wölben, weil sonst Trachealnekrosen auftreten können.

Eine etwaige Trachealperforation bzw. -ruptur durch den Trachealtubus kann sich durch die Projektion des Tubus neben den Trachealschatten und die inadäquate Überblähung des Cuffs bemerkbar machen. Zudem sind häufig Pneumomediastinum, Weichteilemphysem oder Pneumothorax nachweisbar.

Bei insuffizienter Beatmung muss eine solche Situation allerdings klinisch bzw. bronchoskopisch erkannt, und Ventilation und Oxygenierung des Patienten müssen gesichert werden. Erst dann ist ggf.



**Abb. 7** Korrekte Lage und Dimensionierung der Trachealkanüle (weißer Pfeil), die ohne Verkantung zentral und in der Längsachse der Trachea abgebildet ist. Es handelt sich hier um einen Patienten nach Aortenklappenrekonstruktion: einliegender Pulmonalkatheter mit der Spitze in der rechten Intermediärarterie. Die schwarzen Pfeile weisen auf die typischerweise nach herzchirurgischen Eingriffen von subxiphoidal eingebrachten Drainagen in Pleura beidseits, Mediastinum und Perikard

bei Verdacht auf Komplikation aufgrund des Trachealtubus eine Thorax-CT indiziert, in der man Pneumomediastinum und -thorax sicher nachweisen und außerdem Hinweise auf den Ort der Perforation erhalten kann, sofern diese nicht schon bronchoskopisch gesichert wurde.

### 5.1.2 Trachealkanüle

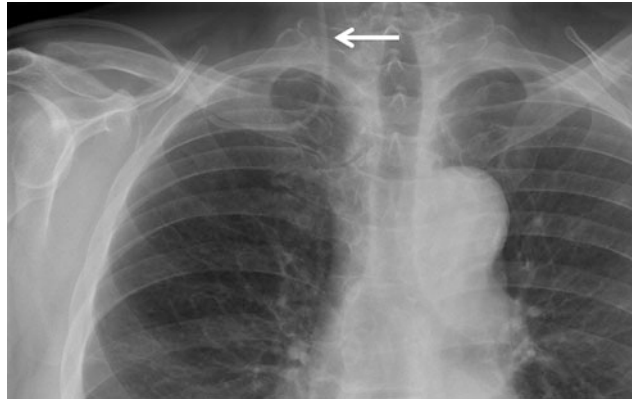
Die korrekt liegende Trachealkanüle sollte parallel zum Lumen in der Trachea verlaufen. Häufig kann man in der Röntgenaufnahme Verkantungen der Kanülenspitze nachweisen, die durch den scharfkantigen Kontakt zur Schleimhaut zu Verletzung und Nekrose der Trachealschleimhaut führen können. Ebenfalls auf eine Fehllage deutet eine tangential projizierte, d. h. zu waagrecht verlaufende Kanüle hin, sofern die Projektion der Röntgenaufnahme an sich korrekt ist. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass die Kanülenspitze zur Hinterwand der Trachea Kontakt hat.

- Das Kaliber der Trachealkanüle sollte wiederum die Hälfte bis  $\frac{2}{3}$  des Tracheallumens ausfüllen (Abb. 7). Die Spitze der Kanüle liegt idealerweise auf der Hälfte bis  $\frac{2}{3}$  der Distanz zwischen Tracheostoma und Carina trachealis (Hill et al. 2008).

In der Frühphase nach Anlage eines Tracheostoma ist eine geringe Menge freier Luft in Mediastinum und Subkutanfett als normal anzusehen. Bei größerem Pneumomediastinum und Weichteilemphysem muss allerdings die Verdachtsdiagnose einer Trachealruptur gestellt und weitere Diagnostik mittels CT veranlasst werden.

## 5.2 ZVK und Shaldon-Katheter

Zentrale Venenkatheter (ZVK) und Dialysekatheter gehören zu den am häufigsten auf der Intensivstation angelegten Installationen; sie werden in diesem Abschn. gemeinsam behandelt. Üblicherweise werden sie über die Vv. jugularis interna oder subclavia eingebracht. Zum Ausschluss von Fehllagen oder Pneumothorax ist die Lagekontrolle eines ZVK mittels Röntgenaufnahme auf der Intensivstation obligat. Dazu ist die gesamte Länge des Katheters auf der Röntgenaufnahme abzubilden. Auch nach erfolglosem Punktionsversuch muss eine Röntgenkontrolle erfolgen, um etwaige Komplikationen wie Pneumothorax oder Hämatom/Hämatothorax auszuschließen.



**Abb. 8** Fehllage des in die rechte V. subclavia eingebrachten ZVK: Die Spitze (Pfeil) weicht nach kranial in die V. jugularis interna ab

- Optimalerweise liegt die Spitze des ZVK innerhalb der V. cava superior, d. h. zwischen der Höhe des sternalen Ansatzes der 1. anterioren Rippe im Röntgenbild und dem rechten Vorhof. Die Lokalisation der Katheterspitze im rechten Vorhof ist wegen der Gefahr von Arrhythmien, Endokardverletzungen oder Myokardruptur zu vermeiden. Lediglich Demers-Katheter oder Siebold-Katheter zur Dialyse sollten mit der Spitze im rechten Vorhof zu liegen kommen.

Intravasale Fehllagen von Kathetern sollten korrigiert werden. Die Katheter können fälschlicherweise aus der V. subclavia in der ipsilateralen V. jugularis interna (Abb. 8) liegen oder in der kontralateralen V. brachiocephalica oder auch in den Vv. thoracica interna, azygos oder pericardiophrenica.

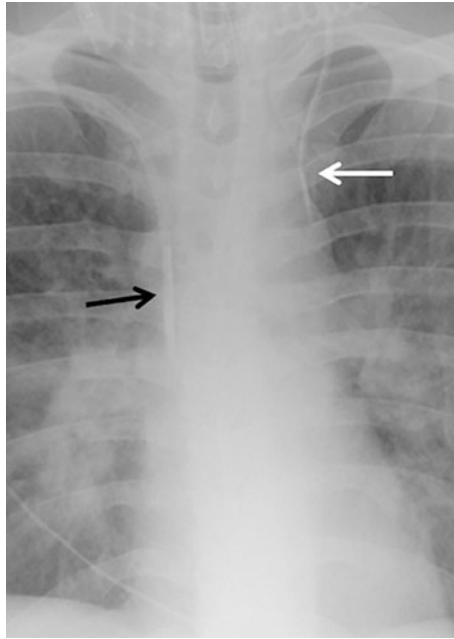
Bei der mit einer Prävalenz von 0,3 % relativ häufigen Anlageanomalie der persistierenden linken oberen Hohlvene verläuft der links inserierte Katheter typischerweise senkrecht am linken Rand des Mediastinums (Abb. 9). Hierhin würde sich auch ein fälschlich arteriell liegender Katheter projizieren, der in der A. mammaria oder im absteigenden Aortenbogen liegt. Die intraarterielle Fehllage eines Katheters fällt normalerweise durch den pulsatilen Fluss schon klinisch auf. Im Röntgenbild ist sie durch einen ungewöhnlichen Verlauf medial des zu erwartenden Verlaufs gekennzeichnet (Abb. 10).

Der Pneumothorax ist die zweithäufigste Komplikation einer ZVK-Anlage, er kommt in etwa 5 % der Fälle vor (Trotman-Dickenson 2010). Der Pneumothorax nach venöser Fehlpunktion unterscheidet sich nicht vom anderweitig verursachten Pneumothorax und kann bei entsprechendem Ausmaß im Röntgenbild erkannt werden. Extravasale Fehlanlagen kommen selten vor und zeichnen sich im Röntgenbild durch außergewöhnliche Verläufe und manchmal durch vermehrte Knickbildungen aus, ggf. findet sich ein ipsilateraler Pleuraerguss bei Hämato- oder Infusothorax.

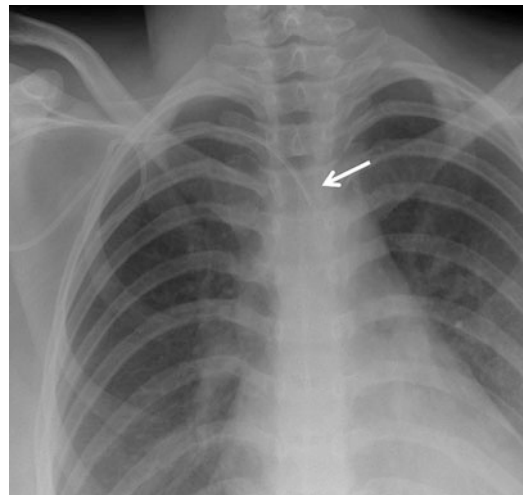
### 5.3 Venöse Schleuse und Pulmonalkatheter

Die venöse Schleuse als Zugang für die Einschwemmung eines Pulmonalkatheters (syn. Swan-Ganz-Katheter, Einschwemmungskatheter) wird typischerweise wie ein ZVK über die Vv. jugularis interna oder subclavia eingelegt. Dabei ist nicht zwingend gefordert, dass die Spitze der Schleuse zentral, d. h. in der V. cava superior, liegt.

- Die ideale Lage der Katheterspitze des Pulmonalkatheters in Ruheposition ist der rechte oder linke Pulmonalishauptstamm. Auch eine Lage im Truncus pulmonalis ist akzeptabel. Die Katheterspitze sollte sich somit nicht weiter als 2 cm jenseits der Hilusgrenzen in der Thoraxaufnahme projizieren (Godoy et al. 2012b).



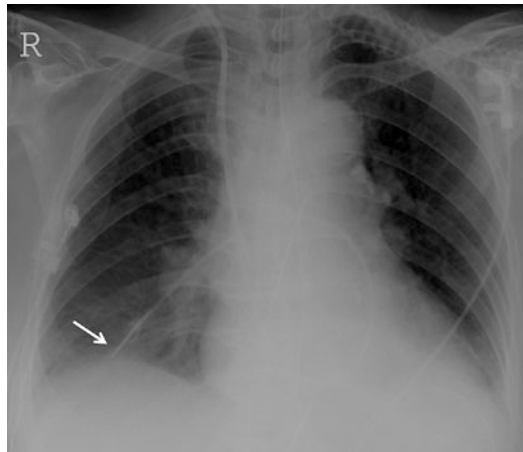
**Abb. 9** ZVK in korrekter Lage bei venöser Anlageanomalie: Der in die linke V. jugularis interna eingebrachte ZVK (weißer Pfeil) liegt in der persistierenden linken oberen Hohlvene. Korrekt platziertes Shaldon-Katheter (schwarzer Pfeil) in der rechten V. subclavia, dessen Spitze in der tiefen V. cava superior liegt



**Abb. 10** Arterielle Fehllage eines von rechts subklavikulär eingebrachten Katheters mit der Spitze (Pfeil) im Truncus brachiocephalicus. Der Verlauf geht nicht erwartungsgemäß senkrecht entlang des rechten Mediastinalrandes, sondern weicht nach medial ab

Bei zu weit distaler Katheterposition drohen Okklusion, Thrombosierung und Lungeninfarkt (Abb. 11). Nach Einschwenken eines Pulmonalkatheters ist die Kontrolle mittels Röntgenthorax zur Dokumentation der korrekten Lage und Ausschluss von Komplikationen obligat.

In 16–19 % der Pulmonalkatheteranlagen kommt es zu Fehllagen (Godoy et al. 2012b), Schlingen- und Knotenbildungen. Schwerere Komplikationen umfassen Lungenblutung durch Perforation der Pulmonalgefäße (oder endobronchiale Blutungen) und die Ausbildung eines Aneurysma spurium. Durch die



**Abb. 11** Zu weit distale Fehllage eines Pulmonalkatheters in Ruheposition, die Spitze (Pfeil) liegt tief in der rechten Pulmonalarterie

Okklusion von kleineren Lungenarterien bei zu weit distaler Lage kann es zum Lungeninfarkt kommen, der sich als Infiltrat/Konsolidierung distal der Katheterspitze abzeichnet, aber nicht immer pleuraständig liegt, wie man es bei der Lungenarterienembolie erwarten würde.

#### 5.4 Pleuradrainagen

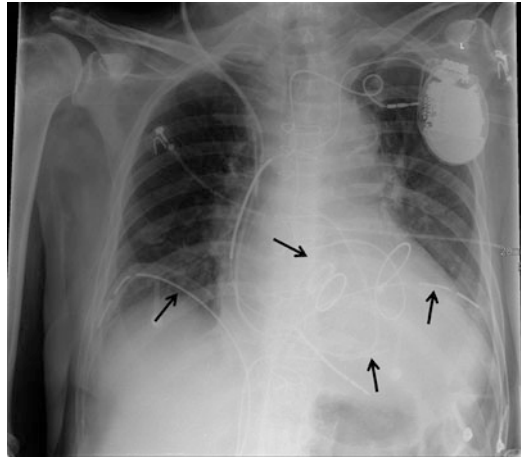
Nach Anlage einer Pleuradrainage ist die Kontrolle mittels Röntgenthorax obligat. Die optimale Lage der Pleuradrainage hängt von der Indikation ab. Bei Pneumothorax sollte die Drainagenspitze generell apikal und anterior liegen, da sich die intrapleurale Luft am ehesten dort sammelt. Aufgrund der Schwerkraft und der sich dort sammelnden Flüssigkeit sollte bei frei im Pleuraraum verteilter Flüssigkeit die Katheterspitze basal und posterior liegen. Dafür bietet sich ein Zugang zwischen 6. und 8. ICR in der mittleren Axillarlinie an. Bei abgekapselten Flüssigkeitssammlungen (chronischer Erguss, organisierender Hämatothorax, Empyem etc.) muss häufig von den genannten Empfehlungen abgewichen werden, da diese Bedingungen spezielle Zugangswege erfordern.

Oft muss der Verlauf sonographisch oder CT-gesteuert gezielt drainiert werden. In der Röntgenkontrolle ist unabhängig von der Indikation darauf zu achten, dass alle Seitenlöcher der Pleuradrainage, die an den Unterbrechungen im röntgendichten Markierungsstreifen zu erkennen sind, innerhalb des Pleuraraums liegen.

Generell muss nach Drainagenanlage an die Möglichkeit einer Fehllage gedacht werden, wenn sich keine Besserung des Bildes (Pneumothorax und/oder Flüssigkeitssammlung) ergibt. Allerdings kann das auch durch Verstopfung des Lumens durch Blut, Eiter etc. bedingt sein oder dadurch, dass bei gekammernten Ergüssen nur eine teilweise Drainage erfolgen konnte.

Wenn die Drainage ungewöhnliche Verläufe nimmt, z. B. mit Knickbildung oder sehr weit nach medial, sodass sich die Spitze auf das Mediastinum projiziert, kann dies die Funktion der Drainage beeinträchtigen. Zur Abklärung bei Verdacht auf Fehllagen kann eine seitliche oder Schrägaufnahme helfen. In der CT ist die Fehllage meist sicher zu diagnostizieren.

Fehllagen kommen in den thorakalen Weichteilen vor, wenn die Drainage versehentlich nicht in den Pleuraraum gelangt, sondern die Spitze interkostal oder extrathorakal liegen bleibt. Eine weitere Möglichkeit der Drainagenfehllage ist innerhalb der Interlobärspalten oder auch intraparenchymatös innerhalb der Lunge.



**Abb. 12** Patient nach doppeltem Klappenersatz mit typischen Verläufen der von subxiphoidal eingebrachten Drainagen (Pfeile) nach herzchirurgischen Eingriffen (von links nach rechts: Pleuradrainage rechts, Spitze der Mediastinaldrainage, Spitze der Perikarddrainage, Pleuradrainage links. Zudem noch Shaldon-Katheter und Pulmonalkatheter von rechts jugulär, Schockelektrode des AICD im rechten Ventrikel und nicht mehr konnettierte epikardiale Schrittmacherelektrode)

- ▶ Es ist unbedingt darauf zu achten, dass alle Seitenlöcher des Drainagekatheters intrapleural liegen. Wenn ein proximal gelegenes Seitenloch außerhalb des Pleuraraums liegt, kommt es über den Drainageschlauch zu einer Fistel zwischen Pleuraraum und Brustwand, was insbesondere beim Pleuraempyem zu weiteren Komplikationen, nämlich einem Brustwandabszess, führen kann.

Auch bei einer nicht ausreichend drainierten Lungenfistel kann es zum Hautempysem kommen, auch wenn die Drainage korrekt einliegt.

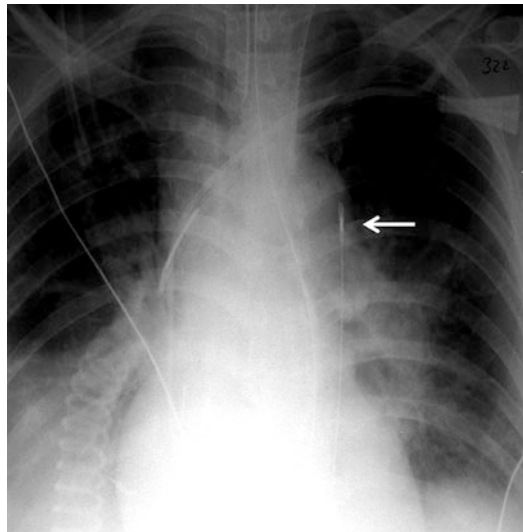
Unter den Komplikationen sind Blutungen die häufigsten: Beim Inserieren der Drainage können die Interkostalgefäße verletzt werden, sodass es zu einem Hämatothorax oder einem extrapleuralem Hämatom kommen kann. Beim Hämatothorax, der im Röntgenbild nicht von einem anderweitigen Pleuraerguss unterschieden werden kann, ändert sich zumindest in den akuten Stadien vor Eintritt einer Organisation die Konfiguration beim Umlagern des Patienten. Ein extrathorakales, subpleurales Hämatom kann sich als eine dichte, konvexbogige und scharf abgrenzbare Verschattung nahe den Rippen darstellen, das sich rasch nach Insertion der Drainage entwickelt. Auch eine unscharfe Verdickung der extrathorakalen Weichteile in der Umgebung der Drainageninsertion kann einem Hämatom entsprechen. Neu nach der Drainage entstandene Verschattungen des Lungenparenchyms im Verlauf der Drainage weisen auf intraparenchymatöse Lage und Lungenblutung hin. Verletzungen des Zwerchfells und damit auch der Oberbauchorgane sind glücklicherweise selten.

## 5.5 Mediastinal- und Perikarddrainagen

Drainagen in Mediastinum und Perikard werden am häufigsten während herz- und thoraxchirurgischer Operationen eingebracht und inserieren subxiphoidal (Abb. 12). Fehllagen sind in diesem Fall selten, da die Drainagen unter Sicht eingelegt und in ihrem Verlauf entsprechend modelliert werden.

- ▶ Der typische Verlauf einer Mediastinaldrainage im Röntgenthorax ist senkrecht median hinter dem Sternum. Die Konfiguration der Perikarddrainage ist etwas variabler: Meist verläuft sie im Röntgenthorax zunächst extrathorakal und im unteren Mediastinum senkrecht nach kranial, um dann in einer





**Abb. 13** Korrekte Lage einer IABP, die Spitze mit der Kapselmarkierung (Pfeil) projiziert sich auf den distalen Aortenbogen ungefähr 90°-Kurve nach links zu verlaufen und entweder waagrecht zu enden oder noch mal leicht bogig nach kranial um das Herz herum zu laufen.

### 5.6 Intraaortale Ballonpumpe (IABP), intraaortale Gegenpulsation

Die IABP dient der Entlastung des linken Ventrikels bei Herzinsuffizienz. Durch EKG-getriggerte zyklische In- und Deflation eines Gasballons in der Aorta descendens soll einerseits die Nachlast gesenkt, andererseits der diastolische Perfusionsdruck der Koronararterien angehoben werden. Der Zugang erfolgt über die Femoralarterien, der Ballonkatheter wird retrograd meist unter Durchleuchtung in die Aorta descendens vorgeschoben. Nach Anlage einer IABP sollte unbedingt ein Röntgenthorax angefertigt werden, um die korrekte Lage zu dokumentieren.

- Die optimale Lage der IABP ist unmittelbar distal des Abgangs der linken A. subclavia. An der Spitze des IABP-Katheters liegt eine kleine, kapselförmige röntgendichte Metallmarkierung (Abb. 13). Diese soll sich im Röntgenthorax auf den Aortenbogen projizieren.

Liegt die IABP zu weit proximal, drohen Verschlüsse der supraaortalen Arterien und zerebrale Embolien. Bei zu weit distaler Lage der IABP kann der therapeutische Nutzen eingeschränkt sein. Bei Lage von Teilen des Ballons in der Aorta abdominalis drohen Verschlüsse der Viszeralarterien. In 1–4 % kommt es bei Einführen der IABP zu Aortendissektionen (Hurwitz und Goodman 2005), die sich durch plötzlich einsetzende Ischämiezeichen oder durch Veränderungen der Aortenkontur im Röntgenthorax bemerkbar machen können.

### 5.7 Herzschrittmacher

Schrittmacherelektroden werden über die Vv. subclavia, jugularis interna oder auch femoralis communis eingebracht und in die Spitze des rechten Ventrikels eingelegt. Bei herzchirurgischen Eingriffen werden häufig intraoperativ epikardiale Schrittmacherelektroden aufgebracht und mit sehr feinen Drähten im epikardialen Fett verankert, die dann subxiphoidal nach extrakorporal ausgeleitet werden. Auf die Besonderheiten der verschiedenen implantierbaren Schrittmachersysteme soll hier nicht eingegangen werden.



**Abb. 14** Tracheale bzw. bronchiale Fehllage der Magensonde. Die Spitze (Pfeil) liegt tief im rechten Hauptbronchus. Außerdem korrekt liegender Trachealtubus und Shaldon-Katheter von rechts jugulär. Die Überlagerung durch EKG-Kabel sollte vermieden werden

Die Ventrikelektrode liegt optimalerweise im Apex des rechten Ventrikels und projiziert sich im Röntgenthorax entsprechend auf knapp oberhalb des Zwerchfells etwas medial des linken Herzrands. In der Seitenaufnahme ist die Spitze der Elektrode nach ventral gerichtet. Ein Röntgenthorax ist zur Dokumentation der korrekten Lage indiziert. Bei nicht optimaler Lage, aber korrekter elektrischer Funktion ist ein Elektrodenwechsel meist nicht notwendig. Funktionelle Fehllagen im Sinne eines fehlenden Kontakts zum Endomyokard werden meist schon klinisch durch Anstieg der Reizschwelle und fehlendes Sensing erkannt. Epikardiale Schrittmacherelektroden sind in ihrer Lage nicht zuverlässig beurteilbar.

Als ernsthafte Komplikationen treten Myokardperforation mit relevantem Hämoperikard selten auf. Auf dem Röntgenthorax ist meist eine myokardiale Perforation nicht sicher als solche erkennbar, dazu sollten Echokardiographie oder CT herangezogen werden. Eine Perforation von Myokard, Perikard und Pleura, die zu einem Pneumothorax führt, ist eine Rarität.

## 5.8 Magen- und Ernährungssonden

Gastrointestinale Sonden werden entweder oral oder nasal eingeführt und sollen je nach Indikation in Magen, Duodenum oder Jejunum liegen. Sie werden zur enteralen Ernährung oder als Ablaufsonden verwendet.

Klinisch ist die korrekte Lage der Sonden schwierig einzuschätzen. Fehllagen im Ösophagus oder im Tracheobronchialtrakt sowie Schlingenbildung sind zu beachten (Abb. 14). Gerade im Oberbauch und bei voluminösen Patienten kann eine Sonde trotz röntgendichter Markierung schwierig in ihrem gesamten Verlauf abzugrenzen sein. Die Lagebeurteilung wird durch Füllung mit Röntgenkontrastmittel erleichtert. Die duodenale oder jejunale Lage einer Ernährungssonde kann nur radiologisch gesichert werden; es sei denn, die Sonde wurde endoskopisch gelegt.

Die optimale Lage ist, wie oben beschrieben, abhängig vom Zweck der Sonde.

- ▶ Da die meisten Sonden auf den distalen 10 cm Seitenlöcher besitzen, ist es wichtig, dass die Spitze mindestens 10 cm distal des ösophagogastralen Übergangs zu liegen kommt, da sonst Reflux oder Fehlapplikationen in den Ösophagus und Aspiration drohen.

Eine bedrohliche Komplikation der Sonde selbst ist die Ösophagusperforation, die nur selten vorkommt. Häufiger sind Pneumonie durch intrabronchiale Lage und Aspiration durch in den Ösophagus instillierte und regurgitierte Ernährungsflüssigkeit.

## 6 Pneumonie

Die Pneumonie hat bei Intensivpatienten, insbesondere bei den beatmeten Intensivpatienten, eine große Bedeutung, weil sie mit hoher Morbidität und Mortalität einhergeht. Zudem besteht eine sehr hohe Inzidenz, was in Kombination mit der hohen Mortalität zu erheblichen Problemen führt. Bei 10–60 % der Patienten auf der Intensivstation werden Pneumonien gefunden. Es besteht ein Zusammenhang zwischen Beatmungsdauer und Häufigkeit einer Pneumonie.

Die Gründe für die Häufigkeit von Pneumonien bei Intensivpatienten sind:

- Schwere Grunderkrankungen der Patienten mit entsprechender Immunsuppression,
- Antibiotikatherapie mit Veränderung der natürlichen Flora,
- Steroidtherapie,
- Einsatz von verschiedenen Kathetern und Tuben,
- Aspiration,
- Beatmung über Endotrachealtubus oder Trachealkanüle mit Aufhebung der mukoziliären Clearance.

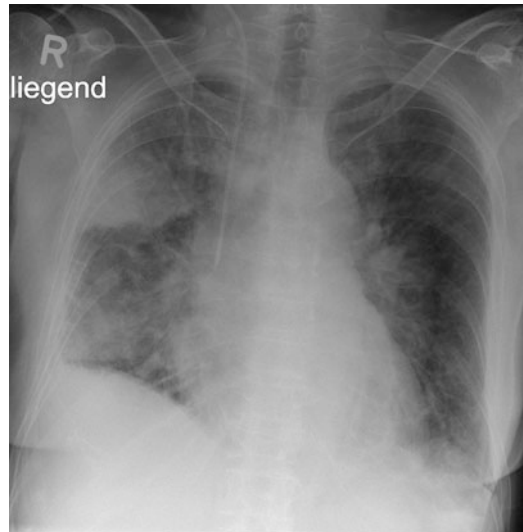
Aus den besagten Gründen ergibt sich die Notwendigkeit einer frühen Diagnose, die neben den klinischen Parametern immer auch den Röntgenthorax mit einbezieht. Die Identifikation typischer Infiltrate ist im Liegendthorax erschwert. Dies führt zu einer hohen Anzahl von Fehldiagnosen, insbesondere übersehenen Pneumonien.

**Klinische Einteilung** Nosokomiale Pneumonien und ambulant erworbene Pneumonien sind klinisch zu unterscheiden und werden wegen unterschiedlicher Erregerspektren auch unterschiedlich kalkuliert antibiotisch behandelt. Für die Diagnosestellung ist die Röntgenaufnahme des Thorax nur ein Baustein neben klinischen und Auskultationsbefunden, Veränderung des Trachealsekrets und erhöhten Infektparametern im Labor und dem gezielten Erregernachweis.

**Röntgenbefunde** Die Thoraxröntgenaufnahme ist beim Intensivpatienten trotz vieler Einschränkungen mit Verdacht auf Pneumonie die bildgebende Methode der 1. Wahl. Insgesamt ist festzuhalten, dass es bis auf wenige spezifische Röntgenbefunde nicht möglich ist, aufgrund des Röntgenbefundes auf den zugrunde liegenden Erreger zu schließen. Die Bedeutung des Röntgenthorax ergibt sich deshalb in erster Linie aus der Detektion pneumonischer Infiltrate und der Verlaufsbeurteilung derselben unter Therapie.

Das typische Korrelat einer Pneumonie im Röntgenthorax ist das „Infiltrat“, das zu einer pulmonalen Parenchymverdichtung führt, der Verschattung (Abb. 15). Dabei kann das Ausmaß zwischen sehr umschriebenen, nur diskret abzugrenzenden Veränderungen bis hin zu ausgeprägten, ubiquitär in der Lunge zu findenden Konsolidierungen variieren. Im Gegensatz zur Atelektase geht ein Infiltrat mit einer Volumenzunahme, zumindest mit Volumenerhalt des betroffenen Lungenlappens einher.

In der Differenzialdiagnose zum sich häufig rasch verändernden Lungenödem weist die Pneumonie im Röntgenbild langsamere Veränderungen auf; meist sieht man relevante Veränderungen erst im Verlauf von mehreren Tagen. Das typische Kennzeichen von alveolären Infiltraten, nämlich das positive Bronchopneumogramm (Abb. 16), kann bei der Pneumonie sichtbar sein und damit die Diagnose einer



**Abb. 15** Typische Verschattungen bei Pneumonie: Solides Infiltrat im rechten Oberlappen (Lobärpneumonie mit scharfer Abgrenzung durch den horizontalen Lappenspalt), Infiltrat im rechten Unterfeld – wegen der unscharf abgrenzbaren rechten Herzkontur (Silhouettenphänomen) handelt es sich um eine Mittellappenpneumonie

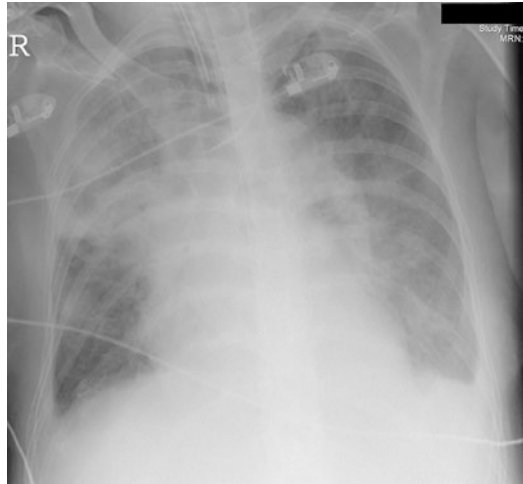


**Abb. 16** Positives Bronchopneumogramm: lineare, fächerförmige Aufhellungen rechts infrahilär durch luftgefüllte Bronchien innerhalb der sehr dichten alveolären Infiltrate bei beidseitiger Lobärpneumonie der Unterlappen

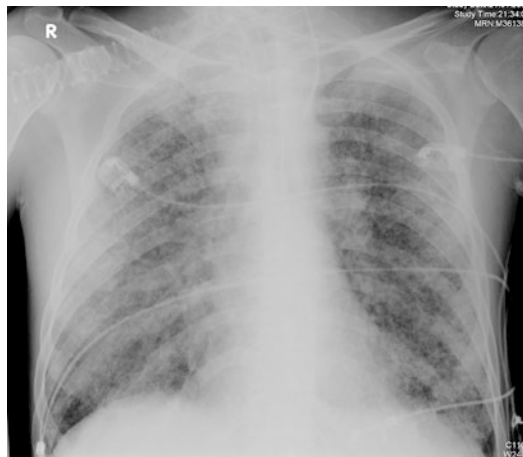
alveolären Pneumonie in Abgrenzung zur interstitiellen Pneumonie erleichtern, ist aber bei weitem nicht obligat. Zu beachten ist weiterhin, dass die pulmonalen Verschattungen gerade bei schwerkranken Intensivpatienten häufig ein Mischbild aus pneumonischem Infiltrat, Lungenödem und Pleuraerguss sind, was die zuverlässige Differenzialdiagnose erschwert.

Bei Lobärpneumonien, die auf einen Lungenlappen beschränkt sind, kann man typischerweise Bronchopneumogramme finden. Auch dichte Konsolidierungen und scharfe Abgrenzungen an den Interlobärspalten sind Kennzeichen einer Lobärpneumonie (Abb. 17). Zudem hilft die Anwesenheit eines Bronchopneumogramms bei der Unterscheidung zwischen intrapulmonalen Infiltraten und pleuralen Verschattung wie Erguss und Emphyem.

Die Bronchopneumonie ist im Gegensatz dazu durch fleckige, konfluierende Infiltrate ohne Bronchopneumogramm gekennzeichnet. In Abgrenzung zu den genannten Entitäten zeichnen sich die atypischen,



**Abb. 17** Lobärpneumonie im rechten Oberlappen mit soliden Infiltraten und scharfer Begrenzung durch den Lappenspalt. Zudem beidseitiger Pleuraerguss



**Abb. 18** Viral bedingte interstitielle Pneumonie mit ubiquitär und symmetrisch verteilten, teils konfluierenden feinnodulären Infiltraten

interstitiellen Pneumonien (viral oder *Pneumocystis jiroveci*) durch fleckige Infiltrate aus, die meist bilateral mit kleinfleckigen Verdichtungen auftreten (Abb. 18).

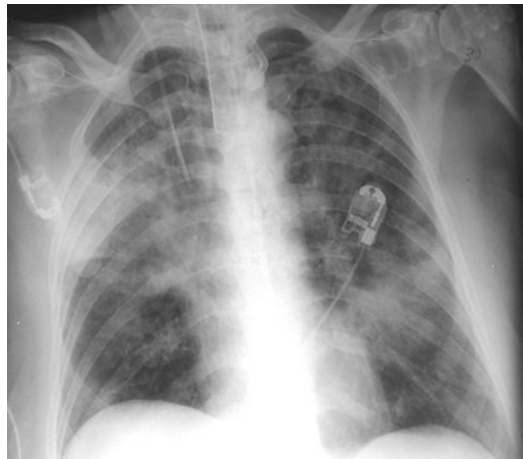
**Typisches Erscheinungsbild verschiedener Erreger** In aller Regel ist eine Zuordnung des Röntgenbefundes zu einem bestimmten Pneumonieerreger nicht möglich, da keines der Kennzeichen erregerspezifisch ist. Die in Tab. 1 dargestellten Befunde können jedoch Anhaltspunkte liefern. Abbildung 19 zeigt eine Pilzpneumonie mit rundlichen und fleckigen, teils konfluierenden Infiltraten.

## 7 Stauung und kardiales Lungenödem

**Definition und Pathophysiologie** Der Röntgenthorax kann gute Einblicke in die Hämodynamik von Intensivpatienten bieten. So ist eine der häufigsten Fragen an den Radiologen in der Anforderung eines

**Tab. 1** Pneumonieerreger und ihre häufigen Röntgenbefunde

Erreger	Röntgenbefund des Infiltrats
Streptococcus pneumoniae	Klassische Lobärpneumonie Beschränkung auf Teile eines Lungenlappens
Klebsiella	Volumenzunahme
Staphylokokken	Bronchopneumonie und septische Streuung Kavernen im Sinne von Abszessen in Konsolidierungen
Pseudomonas	Bronchopneumonie, oft sehr ausgeprägt Betonung in Unterlappen Lungenabszess und Pleuraempyem
Pilze	Meist bilateral Nodulär bis fleckig Peribronchovaskuläre Ausbreitung Einschmelzungen (Abb. 19)

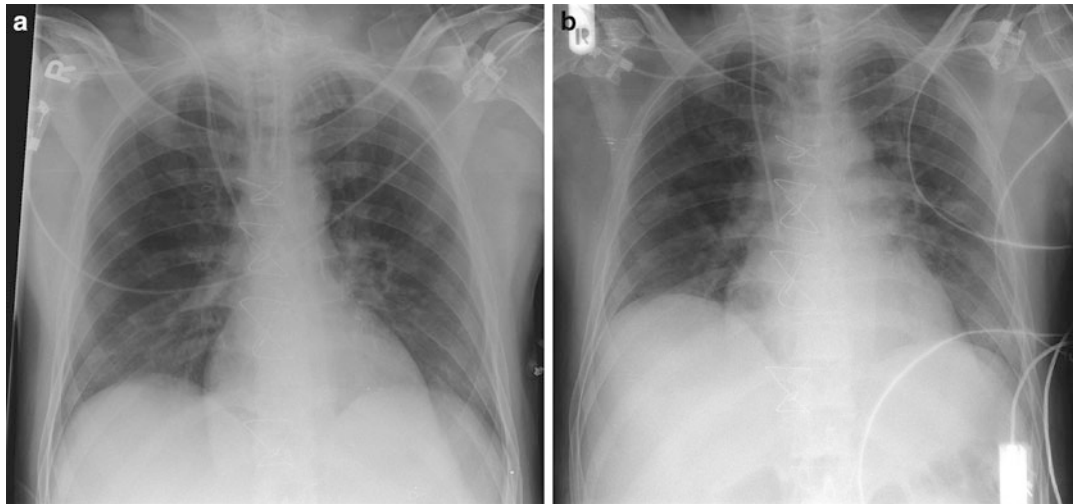


**Abb. 19** Pilzpneumonie mit insbesondere links nachweisbaren rundlichen und fleckigen, teils konfluierenden Infiltraten. Im rechten Oberlappen mutmaßlich zusätzliche bakterielle Infiltrate

Intensivthorax die „Stauung“. Gemeint ist damit eine pulmonalvenöse Stauung, die in der Maximalform bis zum kardial bedingten Lungenödem führen kann.

Pulmonalvenöse Mitteldrücke von 12–20 mm Hg führen zu einer Umverteilung des pulmonalen Blutvolumens und zu einer vaskulären Dilatation, ohne dass Wasser über die Kapillargefäße ins perivaskuläre Interstitium austritt (**Stauung Grad I**). Bei einer weitergehenden Drucksteigerung von 20–25 mm Hg kommt es zur Dysfunktion des Kapillarendothels und Übertritt von Wasser aus dem intravasalen Raum ins pulmonale Interstitium, es folgt ein interstitielles Lungenödem (**Stauung Grad II**).

Die Menge des übertretenden Wassers hängt vom hydrostatischen sowie vom onkotischen Druck ab. Der größte Teil des interstitiellen Ödems wird lymphatisch abtransportiert. Dieser lymphatische Drainagemechanismus weist eine Kapazitätsreserve um den Faktor 3–10 auf, sodass Patienten mit chronischer Stauung trotz deutlich erhöhter Drücke kein Lungenödem entwickeln. Kommt nun bei pulmonalvenösen Drücken jenseits der 25–30 mm Hg eine Schädigung des Alveolarepithels hinzu, tritt das Wasser vom Interstitium in die Alveolen über, und es entsteht ein alveoläres Lungenödem (**Stauung Grad III**).



**Abb. 20 a, b** Pulmonalvenöse Stauung durch Volumenüberladung. **a** Vor Volumentherapie noch keine Stauungszeichen. **b** Nach forcierter Volumengabe deutlich zu sehen: Verbreiterung des oberen Mediastinums und „vascular pedicle“ sowie Verbreiterung und zunehmende Unschärfe der Hili, Zunahme der pulmonalen Gefäßzeichnung

**Röntgenbefunde** Typischerweise verlaufen die nun folgenden 3 klinischen Stadien der pulmonalvenösen Hypertonie sequenziell ab. Es kommt aber durchaus vor, dass die Stadien fließend ineinander übergehen oder sich regional auch überlappen.

**Gefäßdilatation (Stauung Grad I)** Die Dilatation der elastischen Lungengefäße betrifft bei chronischer Stauung Lungenvenen, allerdings in geringerem Maße auch die Lungenarterien. Sie manifestiert sich als Gefäßkaliberangleichung zwischen basalen und kranialen Lungenabschnitten oder vaskuläre Umverteilung oder auch Kranialisierung der Lungenperfusion. Es herrscht dann eine Umkehr der von der Schwerkraft abhängigen Kaliberunterschiede der Lungengefäße. Allerdings kommt es beim Liegendthorax allein durch die Rückenlage des Patienten schon zu einem Angleich der Gefäßkaliber, sodass dieses Zeichen im Intensivthorax nicht verwertbar ist. Dagegen gilt die Gefäßinversion oder Kranialisierung der Lungengefäßkaliber im Röntgenthorax als nicht von der Patientenlage beeinflusstes Zeichen und darf auch im Liegendthorax verwertet werden.

Folgende **Röntgenbefunde** sprechen im Liegendthorax für eine pulmonalvenöse Stauung Grad I:

- Kranialisierung bzw. Gefäßinversion: Die kranialen Lungengefäße erscheinen im Röntgenthorax in Anzahl und Kaliber größer als die basalen.
- Verbreiterung des „vascular pedicle“: Das obere Mediastinum mit V. cava superior, V. azygos und Aorta ist in Höhe des kranialen Aortenbogenscheitels verbreitert. Die absolute Messung ist wenig zuverlässig; die Befunde können aber gut zur Verlaufsbeurteilung herangezogen werden als Maß für Volumenveränderungen im systemischen Kreislauf (Abb. 20).
- Verbreiterung und unscharfe Abgrenzbarkeit der Lungenhili (Abb. 21): Diese Veränderungen sind absolut meist schwierig zu fassen, können aber in Verlaufsaufnahmen hilfreich sein. Zu bedenken ist, dass allein durch die Rückenlage des Patienten die zentralen Lungengefäße schon unschärfer konturiert sind.
- Die Herzverbreiterung gilt als indirekter Hinweis auf eine Herzinsuffizienz als Ursache für die Stauung. Im Unterschied zur Stehendaufnahme gilt im Liegendthorax ein Herz-Thorax-Quotient (HTQ) von  $>0,53$  als vergrößert.



**Abb. 21** Ausgeprägte pulmonalvenöse Stauung mit sehr breiten und unscharfen Hili beidseits. Zudem schon vermehrte zentrale Gefäßzeichnung in der Lunge



**Abb. 22** Ausgeprägtes interstitielles Lungenödem (Stauung Grad II) mit sehr breiten und unscharfen Hili, massiv vermehrter und zentral betonter streifiger Lungengefäßzeichnung, verdickten Interlobärsepten (rechts basal) im Sinne von Kerley-B-Linien und peribronchovaskulärem Cuffing (rechts hilär verdickte Bronchovaskulärwände)

- Die Betrachtung der Thoraxwanddicke kann im Verlauf als Parameter für den hydrostatischen Druck und damit für den Volumenstatus herangezogen werden.

**Interstitielles Lungenödem (Stauung Grad II)** Das pulmonale Interstitium kann eingeteilt werden in das Kompartiment entlang der bronchovaskulären Bündel und den peripheren Teil mit interlobulären Septen und dem subpleuralen Raum. Hier finden sich jeweils Verdichtungen durch die vermehrten Flüssigkeits-einlagerungen.

Folgende **Röntgenbefunde** sprechen für ein interstitielles Lungenödem (Abb. 22):

- Unscharfe Abbildung von Gefäßkonturen, typischerweise zunächst perihilär.





**Abb. 23** Alveoläres Lungenödem (Stauung Grad III) mit unscharf begrenzten, symmetrisch zentral betonten und konfluierenden Infiltraten

► **Cave** In der Liegendaufnahme sind die Gefäße per se durch größeren Fokus und geringeren Film-Fokus-Abstand unschärfer abgebildet!

- Pleurale und subpleurale Verdickung (besonders gut sichtbar an den Interlobärsepten).
- Verdickte Interlobärsepten.
- Peribronchiales Cuffing: Ödembedingte Verdickung und Unschärfe der Bronchialwände, die besonders gut bei tangential abgebildeten Bronchien sichtbar ist. Am besten beurteilbar am rechten anterioren Oberlappenbronchus (Cave: auch sichtbar bei Bronchitis oder Asthma).
- Sichtbare septale Linien: Kerley A-, B- und C-Linien.

**Alveoläres Lungenödem (Stauung Grad III)** Das alveoläre Lungenödem kann sehr unterschiedlich verteilt sein: fokal oder diffus, symmetrisch oder asymmetrisch, teils auch inhomogen fleckig. In frühen Stadien ist es häufig homogen über die gesamte Lunge verteilt, bleibt dann betont perihilär und basal.

Folgende **Röntgenbefunde** gelten als Zeichen eines alveolären Lungenödems:

- Flächige, milchglasartige Verschattungen in frühen Stadien.
- Unscharf begrenzte, flächige Verdichtungen, die zu größeren Konsolidierungen konfluieren können (Abb. 23).
- Zunächst relativ symmetrische Verteilung der Infiltrate („Schmetterlingsödem“, Abb. 24), später durch die Schwerkraft eher basal bevorzugt.
- Positives Bronchopneumogramm.
- Lageabhängigkeit: Veränderung des Bildes nach Umlagerung des Patienten.
- Rasche Rückbildung unter suffizienter Therapie.

## 8 ARDS, Atemnotsyndrom des Erwachsenen

**Definition und Pathophysiologie** Das ARDS („acute respiratory distress syndrome“) bezeichnet den klinischen Zustand der akuten respiratorischen Insuffizienz im Sinne einer schwersten akuten Lungenschädigung mit einer hohen Mortalität. Neben den klinischen Parametern der schweren Hypoxie bei normalen linksatrialen Drücken gehören diffuse bilaterale Lungeninfiltrate im Röntgenbild zur Diag-



**Abb. 24** Alveoläres Lungenödem (Stauung Grad III) im Sinne eines typischen „Schmetterlingsödems“ mit beidseits symmetrischen perihilären, flächigen Infiltraten unter Aussparung der Peripherie (→ scharfe Abgrenzbarkeit der Zwerchfelle). Zudem deutliche positive Bronchopneumogramme beidseits

nose ARDS. Ätiologisch können dem ARDS verschiedene pulmonale Schädigungsmechanismen zugrunde liegen.

**Röntgenbefunde** Der Verlauf des ARDS kann typischerweise in 4 chronologisch aufeinander folgende Stadien eingeteilt werden, die jeweils mit speziellen Röntgenbefunden einhergehen. Allerdings hinkt der Röntgenbefund oft dem klinischen Zustand um bis zu 12 h hinterher. Das erschwert insbesondere die Erstdiagnose, weil bei schon deutlich vorhandenen Symptomen typische Infiltrate noch fehlen können. Generell dient der Röntgenbefund einerseits zur Diagnosestellung mit bilateralen Infiltraten als fester Bestandteil der ARDS-Kriterien, andererseits ist er zur Verlaufskontrolle der Erkrankung sehr wertvoll.

Im Folgenden werden die typischen Röntgenbefunde der 4 Stadien betrachtet:

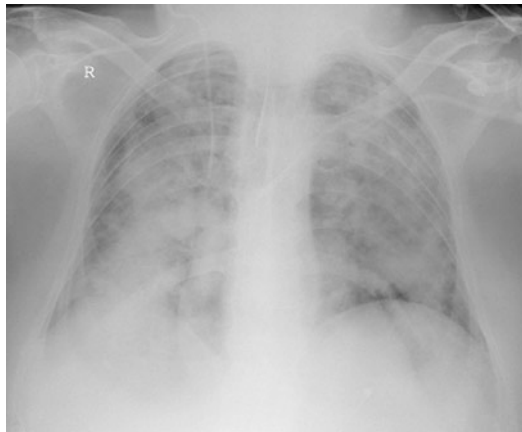
**Exsudative oder Frühphase (bis 24 h)** Es entsteht das oben erwähnte Ödem von Interstitium und Alveolarwand mit der Exsudation von proteinreicher Flüssigkeit in die Alveolen und der Bildung von Fibrinthromben in obliterierten Kapillaren, Arteriolen und Venolen.

Im Röntgenbild zeigt sich zunächst ein beidseitiger Zwerchfellohochstand, der durch Mikroatelektasen bedingt ist. Darauf folgend entwickelt sich das interstitielle Lungenödem mit den in Abschn. 7 beschriebenen Zeichen, nämlich Verbreiterung der Gefäßstrukturen und Bronchialwände sowie unscharf begrenzte Lungenhili. Dann geht das interstitielle in ein alveoläres Ödem über mit diffuser Transparenzminderung und zunächst fleckigen, dann konfluierenden Infiltraten. In beiden Lungen finden sich zu diesem Zeitpunkt flächige, unscharf abgrenzbare Verschattungen mit Bronchopneumogrammen, die sich im Gegensatz zum kardialen Ödem hauptsächlich peripher ausbreiten (Abb. 25). Dabei sind keine Zeichen der Herzinsuffizienz zu verzeichnen.

**Intermediärphase (Tag 2–7)** Das alveoläre Ödem wird kompakter durch Einwandern von Leukozyten und Makrophagen sowie Zellproliferation und Atelektasenbildung. Die Verdichtungen im Röntgenbild nehmen zu und breiten sich auf den Großteil beider Lungen aus. Herz- und Mediastinalschatten sowie die Zwerchfellokuppeln sind nicht mehr abgrenzbar (Abb. 26). Im Extremfall bietet sich das Bild der „weißen Lunge“. Bronchopneumogramme sind für diese Phase typisch, während ein Pleuraerguss auf begleitende Komplikationen hinweist.



**Abb. 25** ARDS in der exsudativen oder Frühphase: Konfluierende, flächige und unscharfe Infiltrate, die sich im Gegensatz zum Stauungsödem eher peripher ausbreiten



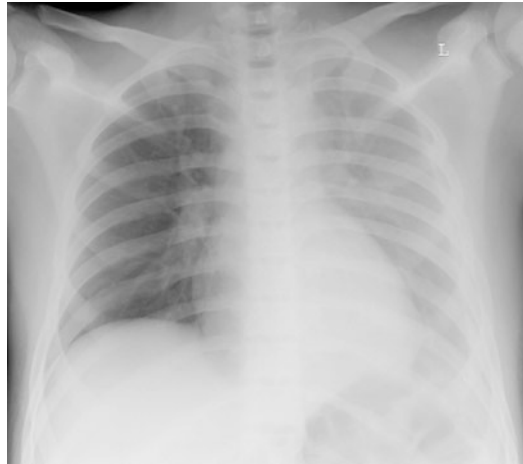
**Abb. 26** ARDS in der Intermediärphase mit progredienten, konsolidierenden Infiltraten

In der späten Intermediärphase (Tag 4–7) lockern sich die Infiltrate auf, und das Bild wird inhomogener. Es kann nun durch begleitende Pneumonie und Beatmung ein fleckförmiges Nebeneinander von Verdichtungen und Aufhellungen entstehen. Zudem imponiert eine retikulär-streifige Zeichnungsvermehrung.

**Proliferations- oder Spätphase (nach 7 Tagen)** Das Einwandern von Fibroblasten und Myelofibroblasten führt zu einer Fibrosierung von Alveolen und Interstitium. In dieser Phase besteht eine erhöhte Infektionsgefahr im Sinne einer Überlagerung durch Pneumonie. Es zeigen sich im Röntgenbild streifenförmige und flächenhafte Verschattungen einerseits und bullöse Überblähungen andererseits. Pneumothorax und Mediastinalemphysem können als Begleitphänomene auftreten.

**Endstadium** Bei den überlebenden Patienten finden sich die Zeichen einer interstitiellen Fibrose mit inhomogenem Lungenmuster und grob retikulären sowie streifenförmigen Verdichtungen mit bleibenden bullösen Überblähungen.

- Zur Diagnosestellung, Verlaufskontrolle und Detektion von Komplikationen kann die CT einen wichtigen Beitrag leisten.



**Abb. 27** Ausgeprägter Pleuraerguss links mit homogener Verschattung des linken Hemithorax bei korrekter a.-p.-Projektion, die Aorta descendens ist innerhalb des Ergusses retrokardial nicht mehr scharf abzugrenzen. Kein Mediastinalshift nach ipsilateral, den man bei einer in der Differenzialdiagnose zu erwägenden Atelektase erwarten würde

## 9 Pleuraerguss und -empyem

### 9.1 Pleuraerguss

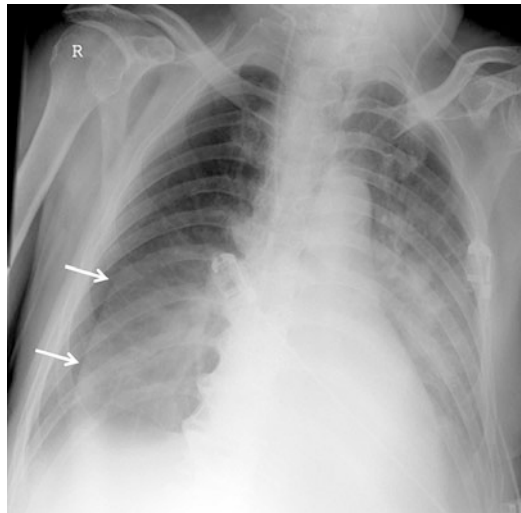
Flüssigkeitsansammlungen innerhalb des Pleuraspalts werden bei Intensivpatienten sehr häufig gefunden. Ein frei im Pleuraspalt verteilter, nicht gekammerter Erguss verteilt sich beim liegenden Patienten dorsal; je aufrechter der Patient gelagert wird, desto mehr verteilt sich die Flüssigkeit in den kaudalen Abschn. der Pleura. So ist die Veränderung der Verschattungen bei Umlagerung des Patienten für einen freien Erguss typisch und erleichtert die Differenzialdiagnose zum pneumonischen Infiltrat.

Beim internistischen Patientengut stehen kausal Herzinsuffizienz, Pleuropneumonie, Leberzirrhose und maligne Pleuraerkrankungen im Vordergrund. Nach thorakalen operativen Eingriffen oder Thoraxtrauma handelt es sich häufig um einen Hämatothorax oder zumindest blutig tingierten Erguss oder Chylothorax. Ein großer Pleuraerguss mit entsprechender Kompressionsdystelektase ist oft eine Indikation zur Punktion bzw. Anlage einer Drainage.

Die **Röntgenbefunde** beim Pleuraerguss im Liegendthorax sind oft nur subtil und unterscheiden sich in vielen Punkten von denen im Stehendthorax. So muss man davon ausgehen, dass mindestens 1/3 der Pleuraergüsse im Liegen übersehen werden.

Folgende Befunde sind zu erheben:

- Homogene Transparenzminderung der betroffenen Seite im Seitenvergleich (Abb. 27). Allerdings kann diese auch durch leicht schräge Projektion, überlagernde Hautfalten oder Rasterdezentrierung hervorgerufen werden.
- Homogene, nach kranial abnehmende Transparenzminderung ohne Bronchopneumogramm (Abb. 28).
- Unscharfe, oder fehlende Abgrenzbarkeit der Zwerchfellkuppeln.
- Verschattung der lateralen Recessus.
- Verdickter Pleurasaum lateral und apikal.
- Fehlende Abgrenzbarkeit der Aorta descendens.
- Bei in den großen Interlobärsplatt auslaufenden Ergüssen findet man bogenförmige Verschattungen, die nach kranial und lateral abnehmen.



**Abb. 28** Pleuraergüsse beidseits mit typischer homogener, nach kranial abnehmender Transparenzminderung. Die Pfeile weisen auf die Überlagerung durch eine Hautfalte, die nicht mit einem Pneumothorax zu verwechseln ist, denn peripher davon ist noch Lungengefäßzeichnung abzugrenzen

- Ergüsse im kleinen Interlobärspalt rechts führen zu umschriebenen, manchmal keilförmigen Verschattungen im rechten Mittelfeld.
  - Bei streng subpulmonalem Erguss wird ein Zwerchfellhochstand vorgetäuscht.
  - Große, sehr ausgedehnte Pleuraergüsse können zur Totalverschattung des betroffenen Hemithorax führen – im Gegensatz zur Atelektase mit Volumengewinn der betroffenen Seite, ggf. sogar Mediastinalshift zur Gegenseite.
  - Abgekapselte, organisierende Ergüsse erscheinen meist als solide, oft scharf abgrenzbare Verschattungen in Kugelform oder konvexbogig in die Lunge hineinragend.
- Die Sonographie des Thorax hat sich als zuverlässiger erwiesen als der Liegendthorax, da auch kleine Mengen detektiert und die optimale Lokalisation für etwaige Drainagezugänge ermittelt werden können. Zudem sind sonographisch Aussagen über die Beschaffenheit des Ergusses möglich, z. B. mit Sedimenten beim Hämatothorax oder septiert bei länger bestehenden und organisierenden Ergüssen.

## 9.2 Pleuraempyem

Während parapneumonische Pleuraergüsse häufig sind, kommt das Pleuraempyem als pleurale Eiteransammlung nur in etwa 5 % der Pneumonien vor.

Das Pleuraempyem als infizierte Form des meist abgekapselten Ergusses ist im Liegendthorax nicht zuverlässig zu diagnostizieren, weil es keine verlässlichen Befunde gibt, die die Infektion klar definieren können. In den weit überwiegenden Fällen handelt es sich beim Pleuraempyem um einen abgekapselten Prozess. So muss bei entsprechender Klinik, ggf. den passenden laborchemischen Befunden des Pleurapunktats und Nachweis eines abgekapselten Ergusses an ein Pleuraempyem gedacht werden.

- Sonographie und CT bieten höhere diagnostische Sicherheit als der Liegendthorax. Gut abgegrenzte intrapulmonale Verschattungen mit Spiegelbildung sind abszessverdächtig.

**Tab. 2** Röntgenbefunde bei verschiedenen Ausprägungen der Atelektase

Ausmaß der Atelektase	Röntgenbefund
Plattenatelektase, Dystelektase	Band- oder dreieckförmige, relativ scharf abgrenzbare Verschattungen Lappenübergreifende Verschattungen, häufig in Nachbarschaft von Septen oder Narben
Lappen-/Totalatelektase	Totalverschattung und Mediastinalshift zur betroffenen Seite bei Totalatelektase (Abb. 30) Dreieckige oder keilförmige Verschattungen mit scharfer Begrenzung und Orientierung zum Lungenhilus (Abb. 29) Verlagerung der Lappenspalten in Richtung der Atelektase Verlagerung/Verziehung der hilären Strukturen zur Atelektase hin Zwerchfellhochstand auf der betroffenen Seite bei basaler Atelektase Mediastinalshift zur betroffenen Seite bei Oberlappenatelektase Kompensatorische Überblähung der nicht betroffenen Lungenteile (Abb. 30) Negatives Bronchopneumogramm bei Resorptionsatelektase Verschmälerung der Zwischenwirbelräume bei chronischer Atelektase

## 10 Andere pulmonale und thorakale Verschattungen

### 10.1 Atelektase

#### Definition

- ▶ **Atelektase** Unter Atelektase versteht man den partiellen und totalen Kollaps eines Lungenlappens oder -segmentes mit Resorption der Alveolarluft im entsprechenden Abschn. bei fehlender Belüftung.

**Pathogenese** Solche Belüftungsstörungen sind bei liegenden Intensivpatienten sehr häufig. Bedingt durch Schwerkraft und eingeschränkte Atembewegungen zeigen sich Minderbelüftungen am häufigsten dorsobasal. Atelektasen können jederzeit auftreten und sehr variable Ausmaße annehmen, nämlich von kleinen Arealen innerhalb eines Lungensegments bis hin zum totalen Kollaps eines Lungenflügels.

Grundsätzlich kann man mehrere Entstehungsmechanismen voneinander unterscheiden; 2 davon sind für Intensivpatienten relevant:

- die poststenotische Obstruktions- oder Resorptionsatelektase und
- die Kompressionsatelektase.

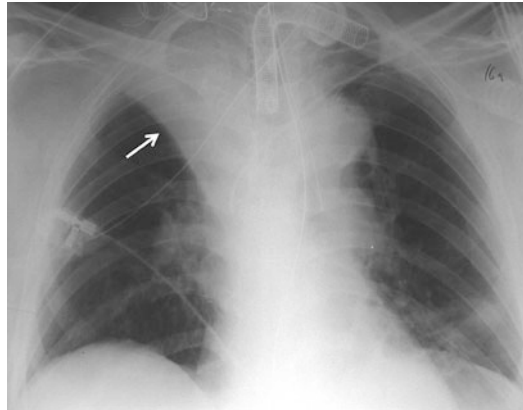
Erstere entsteht durch Verlegung der Atemwege, Letztere durch Kompression von Lungenabschnitten von außen.

Die in der Übersicht dargestellten Ursachen kommen für Atelektasen bei Intensivpatienten in Betracht.

#### Mögliche Ursachen für Atelektasen bei Intensivpatienten

- Hypoventilation bei geschwächter Spontan- oder unzureichender maschineller Beatmung, unzureichendem PEEP
- Vermehrte bronchiale Sekretion oder Blutung mit Verlegung der Bronchien
- Inkomplette Beatmung durch Fehllage des Tubus, z. B. bei zu tiefer Intubation im rechten Hauptbronchus mit nachfolgender Atelektase der linken Lunge.
- Kompression durch Pneumothorax oder Pleuraerguss

(Fortsetzung)



**Abb. 29** Atelektase des rechten Oberlappens mit typischer keilförmiger, sehr dichter Verschattung (Pfeil), die Verbindung zum Hilus hat



**Abb. 30** Totalatelektase des linken Lungenflügels mit typischem Mediastinalshift nach ipsilateral und kompensatorischer Überblähung und Hyperperfusion des rechten Lungenflügels

- Aspiration
- Postoperativ und posttraumatisch

**Röntgenbefunde** Grundsätzlich geht die Atelektase mit folgenden 2 Phänomenen einher, mit denen das Erscheinungsbild im Röntgenbild zu erklären ist:

- Verschattung durch verminderte Strahlentransparenz bei fehlender Belüftung des betroffenen Abschn. und
- Volumenminderung der Lunge durch den Kollaps des atelektatischen Lungenteils.

Die in Tab. 2 gelisteten Befunde finden sich bei Atelektase (s. auch Abb. 29 und Abb. 30).

**Tab. 3** Röntgenbefunde bei akuter Lungenarterienembolie

Röntgenbefund	Häufigkeit
Atelektase	70 %
Pleuraerguss	35–50 %
Vergrößerung des rechten Herzens	30 %
Erweiterung der zentralen Pulmonalarterien (Fleischner-Zeichen)	15 %
Hypertransparenz von Lungenteilen wegen erniedrigter Perfusion (Westermarck-Zeichen)	20 %
Einseitiger Zwerchfellhochstand	20 %
Lungeninfarkt mit subpleuraler Parenchymverdichtung („Hampton’s hump“)	15 %

- ▶ Mitunter bereitet es große Schwierigkeiten, im Liegendthorax das Ausmaß eines zur Atelektase führenden Pleuraergusses abzuschätzen. In diesen Fällen hilft die Sonographie weiter.

## 10.2 Aspiration

Die Aspiration ist bei Intensivpatienten häufig, und man geht davon aus, dass viele der nosokomialen Pneumonien durch Aspirationen bedingt sind.

Das Erscheinungsbild der Aspiration im Röntgenthorax ist variabel. Grundsätzlich muss bei plötzlich neu aufgetretenen bilateralen Infiltraten oder im rechten Lungenunterfeld an eine Aspiration gedacht werden. Allerdings ist es innerhalb einer stark vorgeschädigten Lunge, z. B. bei Pneumonie oder Lungenödem mit entsprechenden Infiltraten, sehr schwierig, die Aspiration sicher zu detektieren. Umschriebene Aspirationen führen zu meist basal gelegenen, fleckigen Verdichtungen, die im Laufe der nächsten Tage eher zunehmen und konfluieren. Sehr ausgedehnte Aspirationen können auch zu einem sehr ausgeprägten Lungenödem führen. Bei Verlegung von größeren Bronchien können zusätzlich auch Atelektasen entstehen.

Unter Therapie können die Veränderungen innerhalb weniger Tage wieder vollständig rückgebildet sein, allerdings ist auch der Übergang in eine Pneumonie oder in ein ARDS möglich.

## 11 Lungenarterienembolie

### Definition

- ▶ **Lungenarterienembolie (LAE)** Die Lungenarterienembolie ist gekennzeichnet durch die Einschwemmung von disloziertem Material in die Lungenarterien, die zu einem partiellen oder totalen Verschluss von Lungenarterien führt. In den weit überwiegenden Fällen handelt es sich bei dem embolisierenden Material um Thromben aus der venösen Becken- oder Beinstrombahn, sehr viel seltener um Fett nach Frakturen von großen Knochen, meist den langen Röhrenknochen.

Die akute Lungenarterienembolie ist eine häufige Erkrankung, die mit einer hohen Mortalität einhergeht.

**Röntgenbefunde** Der Röntgenthorax ist in den Leitlinien zur Diagnostik der akuten LAE immer noch erwähnt – allerdings lediglich zum Ausschluss anderer Ursachen bei einer Symptomatik, die auf eine Lungenembolie hinweisen könnte. Zur direkten Diagnostik einer Lungenarterienembolie spielt der Röntgenthorax ausdrücklich keine Rolle, da er selbst bei intensivpflichtigen Patienten in bis zu 40 %



**Tab. 4** Typische Ursachen für Pneumothoraces bei Intensivpatienten

Iatrogen (häufig)	Barotrauma durch mechanische Beatmung Pleuraverletzung bei venösen Katheteranlagen Pleuradrainage Pleurozentese Kardiopulmonale Reanimation mit Rippen- oder Sternumfrakturen oder durch Barotrauma während der Massage Tracheotomie Tracheal- oder Ösophagusperforation durch Sonden
Traumatisch	Frakturen des Thoraxskeletts mit Durchspießung der Pleura
Sonstige	Mediastinalemphysem mit sekundärem Pneumothorax Perforierter Lungenabszess

der Fälle unauffällig ist. Bei den übrigen Patienten lassen sich lediglich unspezifische Befunde erheben, die besonders im Liegendthorax niemals den Ausschluss oder den Beweis einer Lungenarterienembolie zulassen. In Tab. 3 sind die Befunde, die bei Pulmonalarterienembolie erhoben werden können, aufgeführt.

- Diagnostische Methode der Wahl bei Verdacht auf Lungenembolie in der Bildgebung ist heute die Pulmonalis-CT-Angiographie (CTA).

Daher sollte bei Patienten mit dem Verdacht auf akute Lungenembolie sofort eine CTA durchgeführt werden. Gerade bei Intensivpatienten ist die CTA zu bevorzugen, weil sie sehr zuverlässig und schnell ist und eine gute Überwachung während der Untersuchung gewährleistet. Alternativ stehen die Ventilations-Perfusions-Szintigraphie und die Pulmonalis-MR-Angiographie zur Verfügung – Erstere allerdings nur bei nicht beatmeten Patienten, Letztere ist mit langen Untersuchungszeiten behaftet und bietet nur sehr eingeschränkten Patientenzugang.

## 12 Aufhellungen und pathologische Luftansammlungen

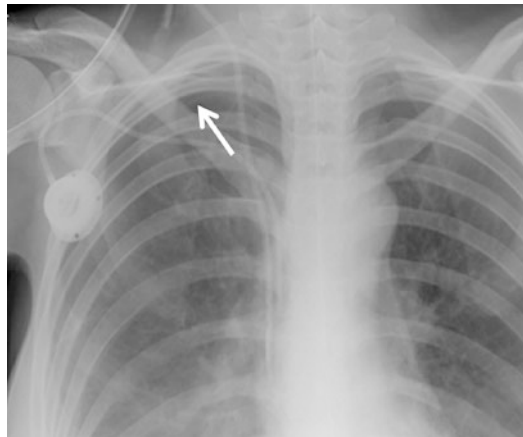
### 12.1 Pneumothorax und Spannungspneumothorax

#### 12.1.1 Pneumothorax

Beim Pneumothorax gelangt Luft durch Verletzung der Pleura visceralis oder parietalis in den Pleura-raum. Es besteht neben Dyspnoe und Schmerzen bzw. erschwelter Beatmung die Gefahr des kompletten Lungenkollapses und eines Spannungspneumothorax mit schweren hämodynamischen Einschränkungen.

Bei Intensivpatienten herrschen für einen Pneumothorax das Barotrauma und andere iatrogene neben traumatischen Ursachen vor. Es muss bedacht werden, dass Pneumothoraces auch noch Tage nach der eigentlichen Pleuraverletzung auftreten können, insofern ist eine längere Kontrolle notwendig.

Die Prävalenz von Pneumothoraces wird bei Intensivpatienten mit 4–15 % angegeben, beim ARDS sogar bis 87 % (Gammon et al. 1992; Peterson und Baier 1983). Besonders bei beatmeten Patienten besteht eine große Gefahr, im Verlauf einen Spannungspneumothorax zu entwickeln. Lange Dauer mechanischer Beatmung mit hohen Beatmungsdrücken und zugrunde liegende Lungenerkrankungen wie Lungenemphysem gehen mit höherem Pneumothoraxrisiko einher. Daher ist in diesem Kollektiv die



**Abb. 31** Schmäler Spitzenpneumothorax rechts mit sehr feiner, nur schwierig abzugrenzender Pleura visceralis (Pfeil)

**Tab. 5** Zeichen des Pneumothorax im Röntgenthorax

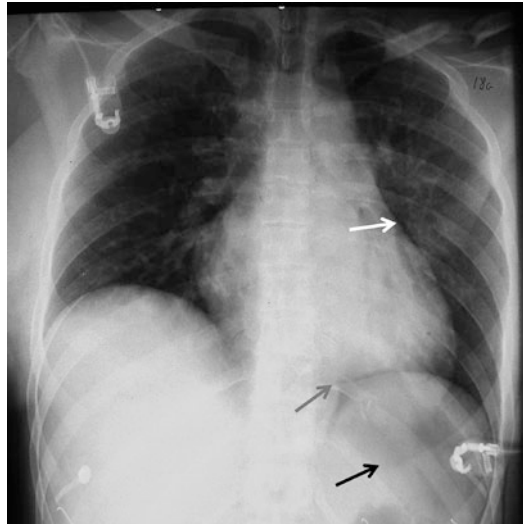
Lokalisation des Pneumothorax	Indirekte Zeichen
Anteromedial (Abb. 32)	Auffallend/zu scharfe Abgrenzbarkeit von – Vv. cavae superior und inferior, V. azygos, linker A. subclavia, oberer Pulmonalvene – Herzrand – Mediastinum – kardiophrenischem Sulkus – medialem Zwerchfell unter der Herzsilhouette – perikardialem Fettbürzel Verlagerung der der anterioren pleuralen Umschlagsfalte nach kontralateral
Subpulmonal	Hypertransparenz des ipsilateralen oberen abdominalen Quadranten „Deep sulcus sign“: tief einsehbarer und hypertransparenter lateraler kostophrenischer Winkel (Abb. 33) Auffallend/zu scharfe Abgrenzbarkeit von – Zwerchfell – V. cava inferior – vorderer und hinterer Zwerchfellkontur („doppeltes Zwerchfellzeichen“) Erkennbarkeit der Lungenunterfläche
Apikolateral	Fehlender Kontakt des kleinen rechten Interlobiums mit der Brustwand

zuverlässige Detektion auch kleiner Pneumothoraces von außerordentlicher Relevanz. Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die Ursachen für Pneumothoraces bei Intensivpatienten.

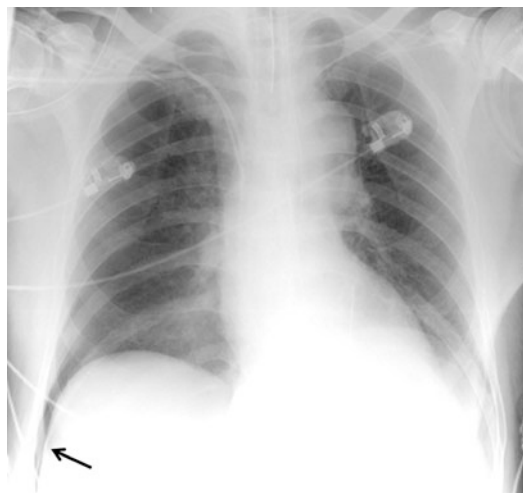
1. Wahl zur Diagnostik bei Verdacht auf Pneumothorax ist der Röntgenthorax. Allerdings ist die Sensitivität der auf der Intensivstation üblichen a.–p. Aufnahme im Liegen deutlich der einer Stehendaufnahme unterlegen.

- ▶ Bis zu 30 % der Pneumothoraces werden in der Liegend- oder Halbsitzendposition übersehen; etwa die Hälfte dieser Patienten entwickelt im Verlauf einen Spannungspneumothorax (Kollef 1991).

Spezialprojektionen, die eine höhere Sensitivität für den Pneumothorax aufweisen, werden nur selten genutzt. Die mit weitem Abstand sensitivste Methode ist die CT. Auch die Sonographie in Händen erfahrener Untersucher wird zunehmend für die Detektion von Pneumothoraces genutzt.



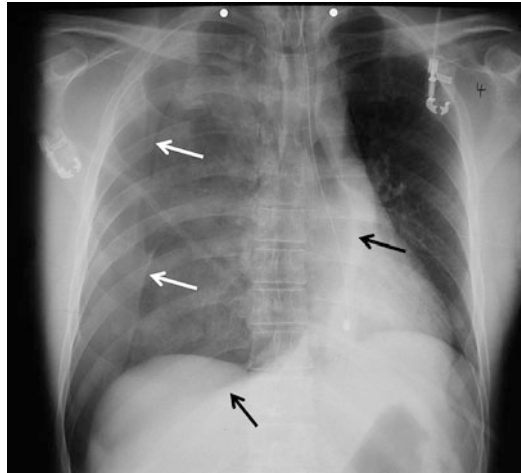
**Abb. 32** Ausgeprägter anteromedialer Pneumothorax links mit auffallend scharfer Abgrenzbarkeit des Mediastinums bzw. der Herzkontur (weißer Pfeil), dem medialen Zwerchfell unter der Herzsilhouette (grauer Pfeil) und Hypertransparenz des ipsilateralen oberen abdominalen Quadranten (schwarzer Pfeil)



**Abb. 33** Subpulmonaler Pneumothorax rechts mit „deep sulcus sign“: sehr tief einsehbarer und hypertransparenter lateraler kostophrenischer Winkel

**Typische Röntgenbefunde** Aufgrund der Schwerkraft ist bei liegenden Intensivpatienten die Luftsammlung des Pneumothorax in 2/3 der Fälle in den anteromedialen oder subpulmonalen Abschn. des Thorax lokalisiert. Und genau dort ist der Pneumothorax besonders schwierig zu diagnostizieren. Daher sind die klassischen Zeichen des Pneumothorax, wie man sie aus der Stehendaufnahme kennt (scharf abgrenzbare Pleura visceralis, fehlende Gefäßzeichnung; Abb. 31), nur selten und bei großen Luftmengen mit erhaltener Lungenelastizität zu finden.

Im Fall der Detektion eines Pneumothorax wird das wahre Ausmaß oftmals sehr deutlich unterschätzt – rechnerische Methoden zur Volumenabschätzung haben sich als nicht zuverlässig erwiesen. Auf die in Tab. 5 dargestellten Zeichen ist in der Liegendaufnahme deshalb besonders zu achten (s. auch Abb. 32 und Abb. 33).



**Abb. 34** Massiver Spannungspneumothorax rechts mit Hypertransparenz des „leer“ wirkenden rechten Hemithorax, „deep sulcus sign“ rechts, sehr gut abgrenzbarer Pleura visceralis (weiße Pfeile), ipsilateralem Zwerchfelltiefstand, massivem Mediastinalshift zur Gegenseite und Projektion der Luft des Pneumothorax über die Herzkontur auf die Gegenseite (schwarze Pfeile). Die Tatsache, dass rechts lateral der Pleuraspalt paradoxerweise dichter ist als das Lungenparenchym, liegt an einem zusätzlichen Hämatothorax, der sich dorsal ausbreitet

### 12.1.2 Spannungspneumothorax

Die klinisch relevante Maximalvariante des Pneumothorax ist der Spannungspneumothorax, der zu erheblichen Veränderungen der Hämodynamik führt und unverzüglich durch Entlastung mittels Drainage behandelt werden muss. Entsprechend ist eine sichere und schnelle Diagnosestellung unabdingbar. Bei beatmeten Patienten kann auch schon ein im Bild nur als klein abgrenzbarer Pneumothorax eine Spannungskomponente aufweisen. Bei Patienten mit Veränderungen des Lungenparenchyms, die zur Versteifung des Parenchyms führen, ohne dass der betroffene Lungenflügel kollabiert, z. B. bei Pneumonie oder aus geprägtem Lungenödem, können die Zeichen des Spannungspneumothorax sehr diskret ausgebildet sein.

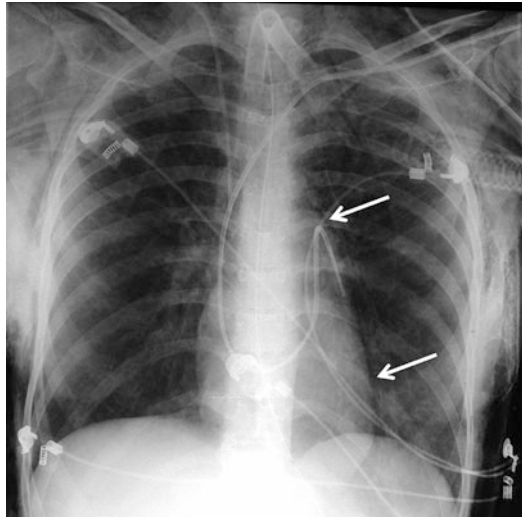
**Röntgenbefunde** Die typischen Zeichen eines Spannungspneumothorax sind (Abb. 34):

- Verlagerung des Mediastinums zur Gegenseite („Mediastinalshift“), oft gut zu erkennen an der Verlagerung und dem bogigen Verlauf der Trachea.
- Projektion der noch belüfteten Lunge bzw. der Luft des Pneumothorax über die Herzkontur auf die Gegenseite im Sinne einer Verlagerung der präkardialen Mediastinalblätter.
- Absenkung und Abflachung des Zwerchfells auf der betroffenen Seite.
- Absenkung und Verbreiterung des lateralen Recessus phrenicocostalis, im Maximalfall mit kaudaler Konvexität und stumpfem Winkel des Recessus („deep sulcus sign“).
- Abflachung und Verschmälerung der linken Herzkontur bei linksseitigem Spannungspneumothorax.
- Asymmetrische Verbreiterung der Interkostalräume auf der betroffenen Seite im Seitenvergleich.

## 12.2 Pneumomediastinum und Pneumoperikard

### 12.2.1 Pneumomediastinum

Hauptursache für das Pneumomediastinum ist das Barotrauma bei beatmeten Patienten. Das Pneumomediastinum kann ebenfalls im Zusammenhang mit einem Spannungspneumothorax entstehen, somit



**Abb. 35** Mediastinal-Emphysem mit außergewöhnlich scharfer Abgrenzung des Perikards bzw. des linken Herzrandes und schmalen hypodensem Luftsäum zur Lunge (Pfeile). Beachte zusätzlich das ausgeprägte thorakale Weichteilemphysem mit der typischen Fiederung der Pektoralismuskulatur

gelten als Ursachen auch die unter Abschn. 12.1 genannten Umstände. Es ist zu bedenken, dass mediastinale Luftansammlungen nach operativen Eingriffen am Mediastinum als normal gelten.

Das Pneumomediastinum ist per se nicht bedrohlich, kann allerdings Ausdruck einer bedrohlichen begleitenden Erkrankung als Ursache desselben sein, z. B.

- Trachealverletzung oder -ruptur durch Trauma, Nekrose durch den Tubuscuff unter Langzeitbeatmung oder Fehlinserterion von Sonden oder Endoskopen,
- Ösophagusverletzung nach Endoskopie, durch Sonden oder nach Dilatationen,
- Mediastinalphlegmone oder -abszess durch Infektion mit gasbildenden Bakterien.

**Typische Röntgenbefunde** Typische Röntgenbefunde des Pneumomediastinums sind in kraniokaudaler Richtung verlaufende, oftmals schmale und scharf abgrenzbare Aufhellungslinien in Projektion auf das Mediastinum (Abb. 35). Da sich die Luft innerhalb des Mediastinums üblicherweise entlang der anatomischen Strukturen wie Gefäßen, Ösophagus und Trachea ausbreitet, erscheinen diese Strukturen, deren Grenzen im Röntgenbild normalerweise nicht abgrenzbar sind, manchmal sehr scharf.

Oftmals breitet sich die Luft nach kranial bis in den Hals und auch die umgebenden Weichteile in Richtung der Schultern aus. Dort sind im Röntgenthorax die Luftansammlungen des Weichteilemphysems oftmals einfacher abzugrenzen als innerhalb des Mediastinums. Auch die Ausbreitung der Luft nach kaudal, nach peritoneal oder retroperitoneal ist möglich.

### 12.2.2 Pneumoperikard

Als Ursache für ein Pneumoperikard kommen penetrierende Traumata (Messerstichverletzung) und vorangegangene operative Eingriffe mit Perikardiotomie in Betracht. Meist ist die Luft innerhalb des Perikards am besten als schmale, sichelförmige Aufhellungslinie entlang der linken Herzkontur abgrenzbar.

## 12.3 Interstitielles Emphysem

Häufigste Ursache für das insgesamt seltene interstitielle Emphysem ist wiederum das Barotrauma unter Überdruckbeatmung.

### Definition

► **Interstitielles Emphysem** Man versteht darunter freie intrapulmonale Luft, die sich nach Ruptur von Alveolen im Gegensatz zur pleuralen Luft beim Pneumothorax innerhalb der Lunge entlang der Septen und des Interstitiums ausbreitet. Bei starker Ausbreitung nach peripher kann es auch zum Pneumothorax kommen, umgekehrt führt die Ausbreitung nach zentral in einigen Fällen zum Pneumomediastinum.

Die Diagnose des interstitiellen Emphysems ist schwierig und setzt eine gewisse alveoläre „Hintergrundverschattung“ der Lunge voraus, z. B. durch Pneumonie oder alveoläres Lungenödem. Dann kann man die interstitiellen Luftansammlungen als ungerichtete und unstrukturierte Anordnung kleiner Luftbläschen (rundliche Aufhellungen) oder schmale Aufhellungstreifen entlang der Gefäßstrukturen oder Bronchien erkennen. Werden Gefäß- oder Bronchusstrukturen in der Projektion tangential getroffen, kann man u. U. ringförmige Aufhellungen darum herum erkennen, die als Halo imponieren.

## 13 Sonographie des Thorax

Generell spielt die Sonographie bei der Diagnostik der Thoraxorgane aufgrund des engen Spektrums zu beurteilender Organe eine untergeordnete Rolle. Allerdings hat sie den Charme der sehr schnellen Bedside-Anwendung und der ubiquitären Verfügbarkeit ohne notwendige Patiententransporte.

Haupteinsatzgebiet der Sonographie sind die Pleura und pleuranahe Lungenabschnitte. Zur Beurteilung von Lungenoberfläche, Pleura und Thoraxwand eignen sich 5- bzw. 7,5-MHz-Linearschallköpfe. Zur zuverlässigen Anwendung der thorakalen Sonographie ist ein gewisses Maß an Erfahrung notwendig; gleichwohl kann ein erfahrener Untersucher klinisch bedeutsame Befunde in kurzer Zeit erheben.

Folgende **Befunde** können bei den erwähnten Krankheitsprozessen erhoben werden:

- **Pleuraergüsse** lassen sich sonographisch sehr sensitiv nachweisen. Typischerweise wird auch die im Erguss schwimmende Lungenatelektase dargestellt. Es lassen sich sonographisch Lungenabszesse von pleuralen Flüssigkeitssammlungen unterscheiden, außerdem können Ergüsse quantifiziert und charakterisiert werden. Aufgrund bestehender Septierung, Sedimentierung und Echogenität kann auf die Beschaffenheit der Flüssigkeit geschlossen werden.
- Minderbelüftete periphere Lungenabschnitte im Sinne einer **Atelektase oder Infiltrate** können sonographisch als Areale mit weniger Luftreflexen imponieren. Bei systematischer Untersuchung durch einen erfahrenen Untersucher ist ein Großteil der Lungenoberfläche der Sonographie zugänglich.
- Ein wichtiger Aspekt in der Beurteilung der Pleura ist die Darstellung der dynamischen Bewegung des Zwerchfells und der Pleura während In- und Expiration, die sich am besten mit einem senkrecht zu den Rippen stehenden Schallkopf beurteilen lässt. Damit können **Adhäsionen der Pleura** und Zwerchfelloberhochstand mit wenig Aufwand nachgewiesen werden.
- Bei der dynamischen Untersuchung während der Atmung können normalerweise kleine, senkrecht zur Pleura stehende Echos (wahrscheinlich Septen der sekundären Lobuli) nachgewiesen werden. Fehlen diese, kann das ein Hinweis auf einen **Pneumothorax** sein.

## 14 Thorax-CT

Mittel der 1. Wahl zur Bildgebung der Lunge und des Thorax auf der Intensivstation ist der Röntgenthorax. Allerdings ist auf die Schwächen des Projektionsverfahrens hinlänglich eingegangen worden. Somit ist die diagnostische Aussagekraft des Röntgenthorax bei vielen Fragestellungen auch in der Intensivmedizin nicht ausreichend.

- ▶ Die CT dagegen ist das sensitivste Verfahren zur Beurteilung des Lungenparenchyms, der Pleura und des Mediastinums. Hohe Kontrastauflösung bei sehr hoher Ortsauflösung und überlagerungsfreier Darstellung der Strukturen machen die Überlegenheit der CT gegenüber dem Röntgenthorax aus.

Auch bei Intensivpatienten ist ein steter Anstieg der Untersuchungszahlen zu verzeichnen. Die Stärke der Methode ist die genaue Abklärung von unklaren oder unspezifischen Röntgenbefunden oder möglicher Komplikationen im Verlauf. Gerade die CT-Angiographie (CTA) als eine spezielle Anwendung der CT hat mit Einführung der Spiral- und der Multidetektor-CT große Bedeutung erlangt in der Diagnostik der thorakalen Gefäße, insbesondere der Lungenarterien.

Dennoch sind folgende Aspekte der CT bei Intensivpatienten zu bedenken:

- der hohe logistische Aufwand gepaart mit Risiken beim Patiententransport zur CT einerseits und
- die im Vergleich zum Röntgenthorax um den Faktor 50–100 höhere Strahlenbelastung des Patienten andererseits.

Daher ist die Anwendung der CT bei Intensivpatienten speziellen Fragestellungen vorbehalten.

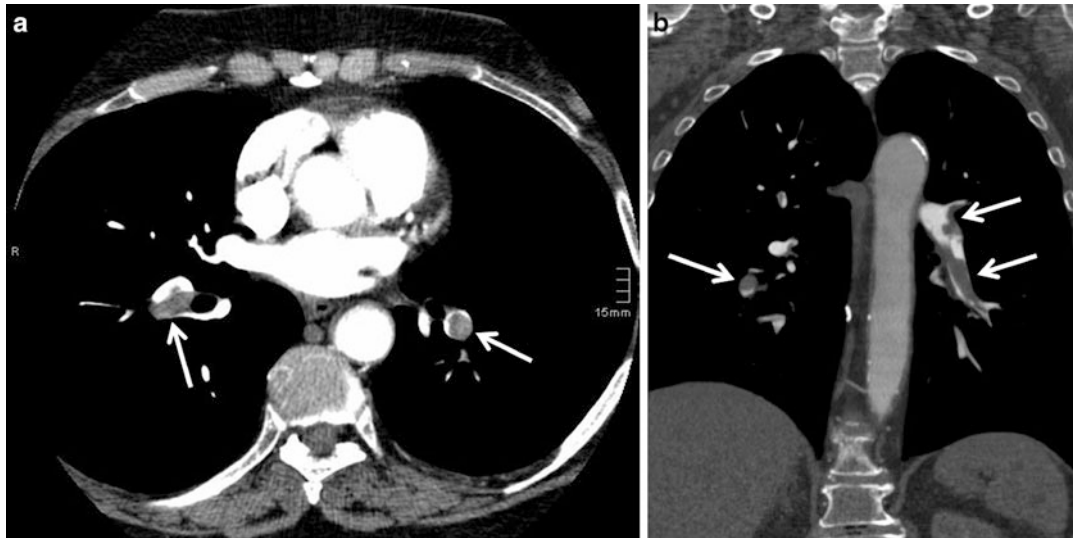
Im Folgenden wird auf einige klinische Szenarien eingegangen, in denen Intensivpatienten von der Anwendung der CT profitieren können. Ziel dieses Abschn. ist ausdrücklich nicht die ausführliche Darstellung der in der CT zu erhebenden Befunde und deren Differenzialdiagnose – dazu sei auf Fachliteratur zur CT verwiesen.

### 14.1 Pulmonalis-CTA bei Lungenembolie

In Abschn. 11 wurde bereits auf die geringe diagnostische Wertigkeit des Röntgenthorax bei der akuten Lungenarterienembolie eingegangen. Seit Einführung der Multidetektor-Spiral-CT, die mit sehr hoher Kontrast- und Ortsauflösung in Scanzeiten von nur noch wenigen Sekunden den gesamten Thorax und gezielt die Pulmonalarterien darstellen kann, ist die CT-Angiographie bzw. die Pulmonalis-CTA die diagnostische Methode der 1. Wahl bei Verdacht auf Lungenarterienembolie.

Die gezielte Untersuchung der Pulmonalarterien erfolgt in dünnen Schichten und unter Gabe größerer Mengen i.v.-Kontrastmittels mit hohem Fluss (etwa 4 ml/s). Um die optimale Kontrastierung der Pulmonalarterien auch bis in die Peripherie zu gewährleisten, wird die Bildakquisition getriggert. Das bedeutet, dass entweder mit einem Testbolus die Kreislaufzeit bis zum Maximum der Kontrastierung in den Pulmonalarterien ermittelt wird oder während der Injektion des Kontrastmittels in einer einzelnen Schicht jede Sekunde ein Bild im Truncus pulmonalis akquiriert und die entsprechende Kontrastierung anhand der Dichtewerte gemessen wird. Ist ein Schwellenwert erreicht, z. B. 120 HU, beginnt automatisch die Akquisition der eigentlichen CTA-Spirale.

- ▶ Während der Bildakquisition sollten die Patienten versuchen, die Luft anzuhalten. Bei beatmeten Patienten sollte während der Akquisition zur Vermeidung von Bewegungsartefakten die Beatmung



**Abb. 36** a, b Beidseitige Lungenarterienembolie in der Pulmonalis-CTA. Große Thromben mit Kontrastmittelaussparungen in beiden Unterlappenarterien (a in den axialen Quellbildern, b als koronare Rekonstruktionen)

kurzzeitig unterbrochen werden. Aufgrund der nur noch sehr kurzen Akquisitionszeiten ist das in aller Regel gut möglich.

**CT-Befunde** In der Pulmonalis-CTA gelingt bei adäquater Technik und Kontrastierung der direkte Nachweis von Thromben innerhalb der Pulmonalarterien mit einer Sensitivität und Spezifität von  $>90\%$  bis in die Segmentebene (Abb. 36). Auch in den Subsegmentarterien können Thromben noch nachgewiesen werden. Es hat sich dabei gezeigt, dass die Thromben akuter Embolien häufig zentral in den Gefäßen liegen und teilweise noch zirkulär von kontrastiertem Blut umspült werden. Chronische Thromben dagegen lagern sich häufig den Gefäßwänden an, wo sie nach und nach organisieren. Üblicherweise erfolgt die Befundung zunächst an den transversalen Originalbildern, dann an koronaren und zeitweise auch sagittalen Rekonstruktionen an „post-processing workstations“.

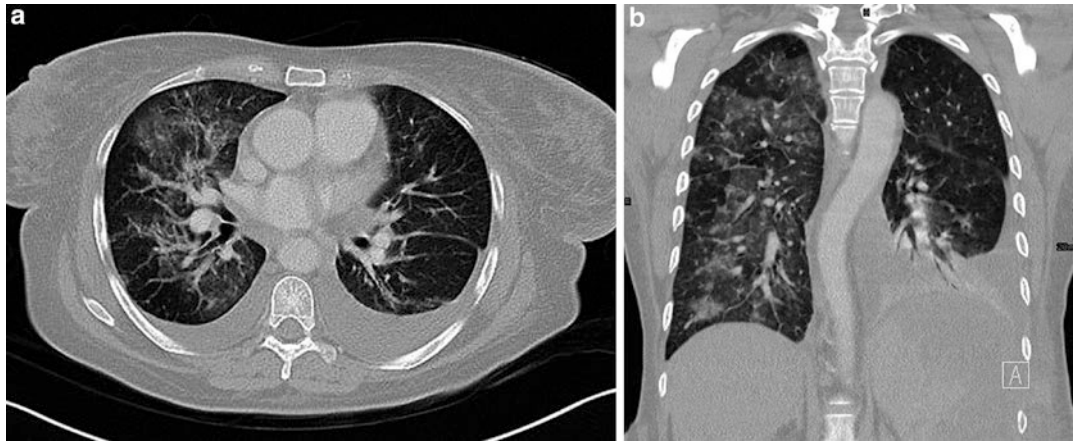
Neben den Emboli selbst können in der Pulmonalis-CTA weitere Befunde erhoben werden, die einen Eindruck der klinischen Relevanz der gefundenen Embolie vermitteln: Vergrößerte Kaliber der Pulmonalarterien deuten auf eine pulmonalarterielle Hypertonie hin, vergrößerte rechte Herzhöhlen können als Zeichen einer bestehenden Rechtsherzbelastung identifiziert werden. Der Rückstrom des üblicherweise über die V. cava superior einströmenden Kontrastmittels retrograd in die Vv. azygos, cava inferior und hepaticae spricht für eine Rechtsherzinsuffizienz. Nicht zuletzt gelingt in einigen Fällen auch der Nachweis rechtskardialer Thromben als zugrunde liegende Emboliequelle.

In der Pulmonalis-CTA können Lungenparenchym und Mediastinum ebenfalls in sehr hoher Qualität beurteilt und einige der möglichen Differenzialdiagnosen der Lungenembolie abgeklärt werden.

## 14.2 Komplizierte Pneumonie

Der Röntgenthorax ist die Bildgebung der 1. Wahl zur Diagnosestellung und Verlaufsbeurteilung einer Pneumonie. Dennoch ergeben sich gerade bei Intensivpatienten häufig diagnostische Probleme wegen der Überlagerung mehrerer Pathologien im Lungenparenchym, z. B. Pneumonie, Atelektase, Pleuraerguss, Lungenödem oder ARDS. Diese können sich gegenseitig maskieren und mittels Röntgenthorax nicht adäquat auseinander gehalten werden.





**Abb. 37 a, b** Atypische Pneumonie: CT einer *Pneumocystis-jirovecii*-Pneumonie mit typischen milchglasartigen Infiltraten, die konfluieren und die Peripherie aussparen (**a** in den axialen Quellbildern, **b** als koronare Rekonstruktionen). Im konventionellen Röntgenthorax ist die diagnostische Sicherheit deutlich geringer

- Die Thorax-CT ist in einzigartiger Weise geeignet, Pathologien von Lungenparenchym und Pleura voneinander zu differenzieren und diagnostisch zu klären.

Zudem ergibt sich häufig das Szenario einer nicht adäquaten Pneumonieheilung bzw. Befundbesserung trotz korrekter antibiotischer Therapie. In diesen Fällen ist eine Thorax-CT indiziert. Sie kann auch die Komplikationen einer Pneumonie, z. B. Lungenabszess, Pleuraerguss oder -empyem bei Pleuritis, detektieren und sicher voneinander differenzieren. In Zusammenschau mit der Klinik und der Labor constellation ist es mit der Thorax-CT im Vergleich zum Röntgenthorax viel besser möglich, den Erreger der Pneumonie näher einzugrenzen, indem häufig z. B. Pilzpneumonien von viralen Infekten unterschieden werden können (Abb. 37). Ebenso ist es möglich, Infiltrate von Atelektasen zu unterscheiden und die größeren Atemwege zu beurteilen. Für die hier genannten Indikationen ist die Gabe von i.v.-Kontrastmittel nicht zwingend notwendig.

Die typischen Befunde der verschiedenen Pneumonien hier aufzuzählen würde eindeutig den Rahmen dieses Kapitels sprengen. Die korrekte Deutung von Veränderungen des Lungenparenchyms ist generell schwierig und obliegt dem befundenden Radiologen.

### 14.3 Pleuraerguss vs. Hämatothorax und Pleuraempyem

Im Röntgenthorax im Liegen können auch größere Mengen eines Pleuraergusses übersehen werden. Sonographisch sind dagegen schon kleinere Mengen mit hoher Sicherheit darzustellen. Wenngleich in der CT auch schon kleinere Mengen pleuraler Flüssigkeiten sicher detektiert werden können, ist der Nachweis eines Pleuraergusses keine CT-Indikation. Vielmehr ist es eine Domäne der Thorax-CT, verschiedene Arten pleuraler Flüssigkeiten voneinander zu unterscheiden. Dazu sollte i.v.-Kontrastmittel gegeben werden, um insbesondere die entzündliche Pleurareaktion erfassen zu können. In Tab. 6 werden typische Befunde für pleurale Flüssigkeitsansammlungen in der Thorax-CT aufgeführt.

### 14.4 Thoraxtrauma

Das Thoraxtrauma ist ähnlich wie das Abdominaltrauma eine Domäne der CT. Letztlich können damit sowohl knöcherne als auch Weichteilverletzungen in ihrer Gesamtheit erfasst und sicher diagnostiziert werden. Die besondere Stärke der CT beim Traumatpatienten liegt in der schnellen Diagnostik während der Erstversorgung und nach operativer Therapie. Die Untersuchung sollte zumindest bei der Erstversor-

**Tab. 6** Typische CT-Befunde bei verschiedenen Arten pleuraler Flüssigkeitsansammlungen

Pathologie	CT-Befund
Seröser Pleuraerguss	Geringe Dichtewerte bis 10 HU Keine Kapsel Sammlung in den abhängigen Partien Schmiegt sich konkav der Pleura parietalis an
Abgekapselter Pleuraerguss	Konvexe, in die Lunge vorwölbende Form Oft in den Interlobärspalten Manchmal schmale, KM-anreichernde Kapsel
Hämatothorax	Höhere Dichte, >20 HU Oft sedimentierte Blutbestandteile in den abhängigen Partien Im späteren Stadium Abkapselung (oben)
Pleuraempyem	Höhere Dichte, >20 HU Dicke, KM-anreichernde Kapsel Oft Abkapselung und konvexe Form Manchmal Gaseinschlüsse, nicht immer mit Spiegelbildung Sedimente in den abhängigen Partien

**Tab. 7** Sicher in der CT zu detektierende Pathologien im Rahmen eines Thoraxtraumas

Organsystem	Pathologie
Lunge und Pleura	Pneumothorax Lungenkontusion oder -ruptur Hämatothorax
Mediastinum	Hämatom Ruptur oder Dissektion der großen Gefäße Hämoperikard und Perikardtamponade Tracheal- und Bronchialverletzungen
Skelett	Frakturen und Luxationen von Rippen, Sternum und Wirbelsäule
Zwerchfell	Ruptur
Thoraxwand	Hämatom Weichteilemphysem Fremdkörper
Installationen	Fehllage von Tubus und Kathetern

gung mit i.v.-Kontrastmittel angefertigt werden, am besten als Aorten-CTA. Tabelle 7 bietet einen Überblick über die zu erhebenden Befunde bei Thoraxtrauma mittels CT.

## 15 Nuklearmedizin: Lungenszintigraphie

Die Ventilations-Perfusions-Szintigraphie (V/Q-Szintigraphie) ist ein etabliertes und sensitives Verfahren in der Diagnostik der **Lungenarterienembolie**. Die Untersuchung ist allerdings nur bei nicht beatmeten Patienten möglich. Für beatmete Patienten stellt die Pulmonalis-CTA den Goldstandard zum Nachweis einer LAE dar.

## Indikationen

- Ausschluss einer Lungenarterienembolie beim nichtbeatmeten Patienten
- Nachweis und Quantifizierung von rechts-links-Shunts
- Voraussage der postoperativen Lungenfunktion bei geplanten Lungen(teil)resektionen

Im Gegensatz zur Pulmonalis-CTA, mit der Thromben in den Pulmonalarterien direkt nachgewiesen werden, stellt die Perfusionsszintigraphie die regionale Lungenperfusion dar und kann somit durch Identifikation von Perfusionsausfällen Lungenarterienembolien auf indirektem Wege nachweisen. Die Lungenareale, welche durch okkludierte Gefäße versorgt werden, weisen somit in der Perfusionsszintigraphie eine Minderspeicherung oder fehlende Speicherung auf. Auch wenn bei Lungenarterienembolien von mehreren zumindest teilweise okkludierenden Thromben auszugehen ist, besteht bei der Lungen-szintigraphie die Möglichkeit, dass einzelne, die Pulmonalarterien nicht okkludierende Thromben mit dieser Untersuchungsmodalität nicht nachgewiesen werden können.

Es hat sich allerdings gezeigt, dass Patienten mit einem unauffälligen V/Q-Szintigramm eine ausgezeichnete Prognose haben. In einem Nachbeobachtungszeitraum von 3 Monaten zeigte sich bei Patienten mit einem unauffälligen planaren Lungenszintigramm kein einziger Fall einer symptomatischen Folgeembolie (Romano et al. 2001).

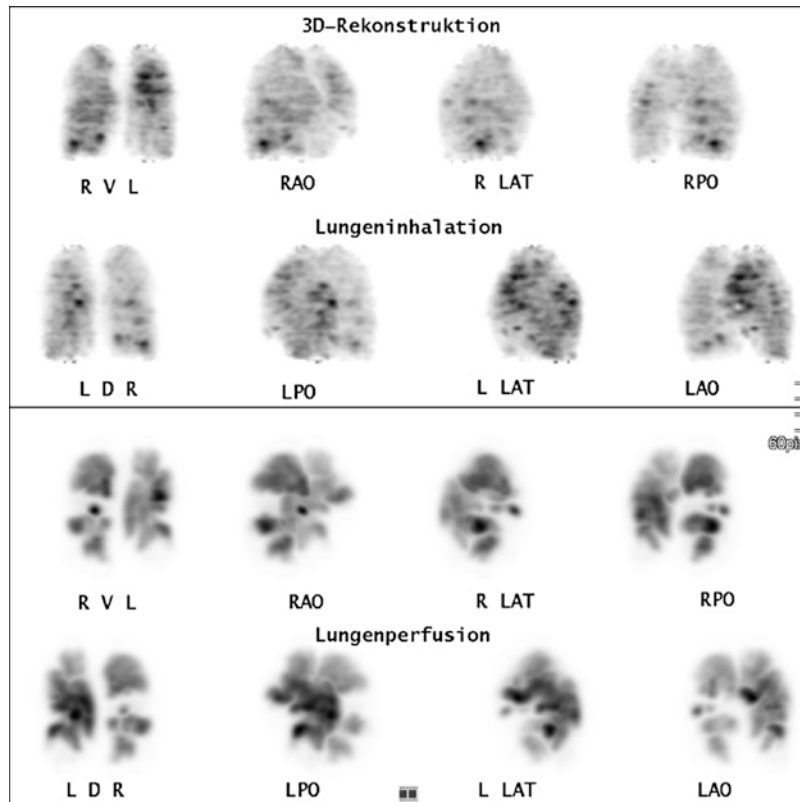
Eine V/Q-Lungenszintigraphie besteht aus 2 Untersuchungsabschnitten:

- Im 1. Abschn., der Ventilationsszintigraphie, inhalieren die Patienten ein mit  $^{99m}\text{Tc}$  radioaktiv markiertes Aerosol. Hierzu ist die Kooperationsfähigkeit des Patienten notwendig. Beatmete Patienten können mit dieser Technik nicht untersucht werden (unverhältnismäßig hohe Kontaminationsgefahr). Nachdem der Patient das Aerosol inhaliert hat, werden planare oder (inzwischen in den meisten Kliniken standardmäßig und empfehlenswert) SPECT-Aufnahmen der Lunge angefertigt.
- Im Anschluss daran wird den Patienten in einem 2. Untersuchungsabschnitt mit  $^{99m}\text{Tc}$  radioaktiv markiertes makroaggregiertes Albumin (MAA) injiziert, welches sich in den Lungenkapillaren festsetzt, anreichert und damit eine repräsentative Darstellung der Lungenperfusion gewährleistet.

In der Perfusionsszintigraphie nicht darstellbare Lungenareale, die eine erhaltene Ventilation aufweisen (sog. Mismatch-Befunde), sind als Lungenarterienembolie zu werten (Abb. 38).

Insbesondere obstruktive Lungenerkrankungen sind nur eingeschränkt beurteilbar, da es durch den Verschluss von Bronchien und die damit verbundene Minderbelüftung durch den Euler-Liljestrand-Reflex in diesen Regionen auch zu Minderdurchblutungen kommt. Als Match-Befunde sind sie nicht mit Lungenembolien zu verwechseln; der Nachweis von zusätzlichen Embolien in minderbelüfteten Arealen ist methodisch nicht sicher möglich. Weitere Gründe für Match-Befunde können u. a. pneumonische Infiltrate oder auch Lungentumoren sein.

Als reine Untersuchungszeit sind für die V/Q-Szintigraphie in etwa 45–60 min zu kalkulieren. Die Bedeutung dieser Untersuchung ist v. a. durch ihre längere Untersuchungsdauer und geringere Verfügbarkeit verglichen mit der Pulmonalis-CTA in den letzten Jahren zurückgegangen. Sie ist allerdings auch bei Patienten mit Kontraindikationen gegenüber jodhaltigen Kontrastmitteln (Niereninsuffizienz, Kontrastmittelallergie) durchführbar. Die Strahlenbelastung liegt mit etwa 1,5–2 mSv unterhalb der einer Pulmonalis-CTA.



**Abb. 38** Multisegmentale Lungenarterienembolie beidseits: multiple Mismatch-Befunde, d. h. multiple Minderspeicherungen beidseitig in der Perfusionsstudie (unten) bei gleichzeitig erhaltener Speicherung in der Inhalationsstudie (oben)

### Wichtig für die Praxis

- Untersuchung insbesondere auch geeignet für Patienten mit Niereninsuffizienz und Kontrastmittelallergie.
- Kooperation des Patienten bei der Inhalationsszintigraphie notwendig (somit nicht bei beatmeten Patienten durchführbar).
- Untersuchungsdauer 45–60 min.

## 16 Interventionelle Radiologie des Thorax

Auch wenn deutlich seltener als im Abdomen, handelt es sich bei interventionellen Eingriffen am Thorax bei Intensivpatienten ebenfalls zumeist um eine Entlastung von sonographisch oder computertomographisch detektierten Flüssigkeitssammlungen, meist im Pleuraraum. Andere Indikationen für interventionelle Eingriffe sind selten.

- Voraussetzung für alle interventionelle Maßnahmen, gerade an Lunge und Pleura, ist eine suffiziente Blutgerinnung.

## 16.1 Sonographie- oder CT-gesteuerte Drainage

Üblicherweise werden Pleuradrainagen direkt auf der Intensivstation ohne Bildsteuerung installiert, was aufgrund des nicht notwendigen Patiententransports wünschenswert ist. Dennoch gelingt dies nicht immer, sodass in komplizierteren Fällen bildgesteuerte Interventionen erforderlich sind. Die CT hat dabei den Vorteil, dass sie den gesamten Thorax darstellen und die Zielpathologie erfassen kann. Es gelingt in den allermeisten Fällen auch, einen komfortablen und für den Patienten sicheren Zugangsweg zu identifizieren.

Häufige Indikationen für eine interventionell-radiologische Drainage sind abgekapselte Ergüsse oder Pleuraempyeme, die entweder vergeblich zu punktieren versucht wurden oder unter einer nicht optimal einliegenden Drainage nicht suffizient behandelt, sprich drainiert sind. Die übliche Vorgehensweise in der CT ist in der Übersicht dargestellt.

### Vorgehen bei CT-gesteuerter Drainage

- Übersichts-Spiral-CT ohne i.v.-Kontrastmittel.
- Aufsuchen der optimalen Schicht und Markieren der avisierten Hautinsertionsstelle.
- Desinfektion, steriles Abdecken und Lokalanästhesie.
- Punktion des Verhalts mit einer Koaxialnadel und Bildsteuerung, Aspiration.
- Einbringen eines Spiralführungsdrahtes (Seldinger-Technik).
- Bougieren des Punktionskanals mit Dilatatoren aufsteigender Größe.
- Über Draht Einbringen des Drainagekatheters.
- Übliche Instrumentarien sind 10 F oder 12 F große, sehr flexible Körbchen- oder Pigtail-Katheter.
- Bei großen Befunden kann der Drainagekatheter nach Identifikation des optimalen Zugangsweges auch per Direktpunktion mit Hilfe eines einliegenden geschliffenen Trokars eingebracht werden.

## 16.2 Interventionelle Stillung von Lungenblutungen

In seltenen Fällen ist eine interventionelle Blutstillung bei Hämoptoe oder Hämatothorax notwendig. Der Zugang erfolgt in den allermeisten Fällen aus Praktikabilitätsgründen über den rechtsfemorale Zugang. Während bei traumatischer Lungenruptur mit entsprechender Blutung meist sofort operiert werden muss, können andere Blutungen oft minimalinvasiv gestoppt werden:

- Hämoptoe bei Lungenabszess oder -tumor,
- Bronchialarterienblutung,
- Hämatothorax oder Thoraxwandhämatom bei Verletzungen der Interkostalarterien, z. B. im Rahmen einer Fraktur.

Je nach Indikation werden dazu Mikrosphären oder Coils zur Embolisation genutzt.

## 17 Abdomen

Die Grundausrüstung für die bildgebende Diagnostik des Abdomens auf einer Intensivstation besteht zunächst aus einem oben bereits erwähnten mobilen Röntgengerät. Zusätzlich spielt in der abdominalen Diagnostik auch die Sonographie eine große Rolle, sodass ein mobiles, ggf. auch tragbares Ultraschall-

gerät mit der Möglichkeit zum Ausdrucken der Bilder zur Archivierung in der Patientenakte zur Verfügung stehen sollte oder – noch besser – mit einem Anschluss an das „picture archiving and communication system“ (PACS) zur Speicherung der Bilder. In letzterem Fall ist der Vergleich mit weiterer abdomineller Bildgebung wie der konventionellen Röntgenübersicht oder einer Computertomographie des Abdomens einfacher zu gewährleisten, da die Printbilder zumeist nicht mit in die Radiologie gegeben werden und zur vergleichenden Befundung dann nicht vorliegen.

## 18 Röntgendiagnostik

Die oftmals unspezifische abdominelle Klinik von Intensivpatienten, die jedoch einem breiten Spektrum von möglichen abdominellen Pathologien unterliegt, gepaart mit der eingeschränkten bzw. nicht vorhandenen Mitteilbarkeit von abdominellen Beschwerden stellt hohe Ansprüche an den Kliniker. Aufgrund der eingeschränkten Transportfähigkeit von Intensivpatienten ist die Röntgenübersichtsaufnahme neben der Sonographie als Basisdiagnostik auf der Intensivstation einsetzbar. Die abdominelle Aufnahme im Liegen kann insbesondere zur Diagnostik der Darmgasverteilung, von größeren Raumforderungen sowie von Fremdkörpern und anderen röntgendichten Partikeln wie Steinen sowie den knöchernen Strukturen herangezogen werden.

► Zu beurteilende Strukturen: „gas, mass, stones, bones“.

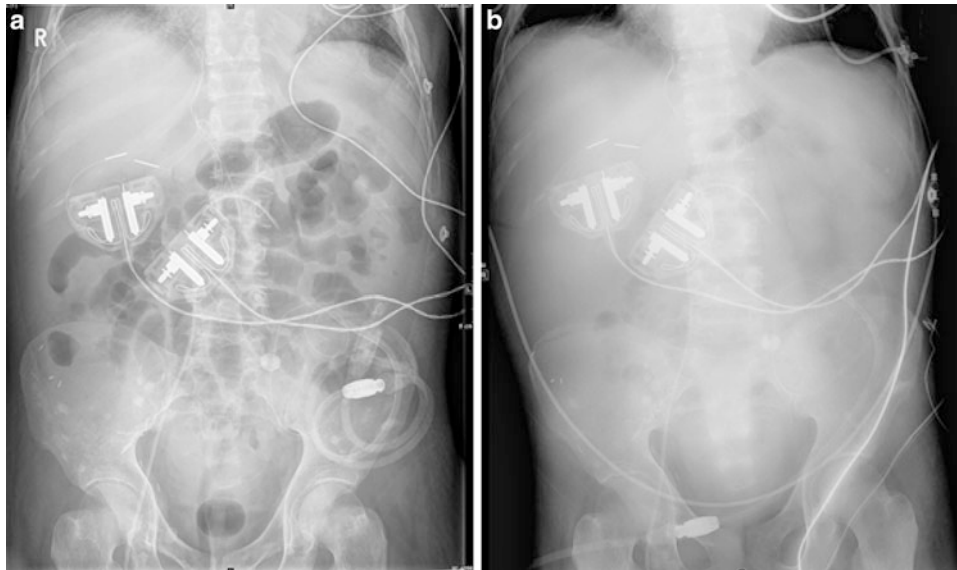
Für die Auswertung einer Röntgenübersichtsaufnahme des Abdomens kann dementsprechend folgendes Befundungsschema empfohlen werden (Übersicht).

### Befundungsschema

- Aufnahmequalität.
- Überlagernde und/oder internalisierte Fremdkörper, Sonden- und Katheterlagen.
- Beurteilung des Gasverteilungsmusters:
  - (atypische) Darmgasverteilung und Spiegelbildungen,
  - freie intraabdominelle Luft (als Hinweis auf Perforation),
  - intramurale Gaseinschlüsse sowie atypische intraabdominelle Gasansammlungen (z. B. bei größeren Abszessformationen, intrabiliär, portalvenös).
- Beurteilung der abgrenzbaren Weichteilstrukturen (Organvergrößerungen, Raumforderungen, Verschattungen infolge von Aszites).
- Detektion und Beurteilung intraabdomineller Verkalkungen (Konkremente, Arteriosklerose).
- Beurteilung der ossären Strukturen.

### 18.1 Aufnahmequalität

Typischerweise erfolgt die Aufnahme beim mobilen Patienten in der Röntgenabteilung am Rastertisch bzw. Rasterwandstativ in 2 Ebenen (in Rücken- sowie in Linksseitenlage). Die Voraussetzungen bei kritisch kranken Patienten auf der Intensivstation machen zumeist nur eine Ebene in Rückenlage möglich. Vereinzelt ist es möglich, eine 2. Ebene, die Linksseitenlage, anzufertigen. Diese ist insbesondere zur Beurteilung von freier Luft relevant, die entsprechend den Lageverhältnissen aufsteigt und zwischen Leber und rechter Zwerchfellhälfte bzw. Bauchwand sichtbar wird.



**Abb. 39 a, b** Übersichtsaufnahmen des Abdomens in Rückenlage im Tagesverlauf. Die initiale Aufnahme (**a**) wurde am Rastertisch geröntgt, die spätere Aufnahme (**b**) auf der Station ohne Raster: „weichgezeichnete“, kontrastarme Darstellung der abdominalen Strukturen aufgrund von Streustrahlung

Da das Aufsteigen der Luft an den höchsten Punkt einige Minuten braucht, wird die Linkseitenlagenaufnahme erst nach einer Wartezeit von ca. 5–10 min angefertigt. Eine solche Lagerung des Intensivpatienten über diese Zeit ist nicht immer durchführbar. Eine weitere Möglichkeit zur Darstellung einer 2. Ebene ist die horizontale Aufnahme mit angestellter Kassette, die insbesondere ihren Einsatz auf der pädiatrischen Intensivstation findet.

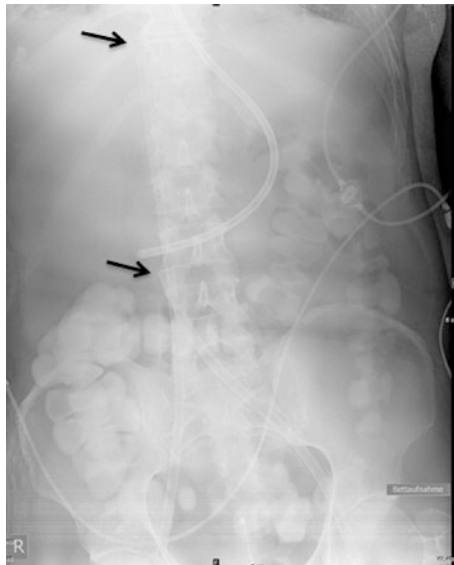
Auf der Intensivstation erfolgt die Röntgenübersichtsaufnahme ohne Raster. Da das Raster der Reduzierung von Streustrahlung dient, die zur Bildinformation keinen Beitrag leistet, ist die Bildqualität aufgrund des stark herabgesetzten Bildkontrastes zumeist deutlich reduziert und die Aussagekraft von Abdomenübersichtsaufnahmen im Vergleich zu Aufnahmen am Rastertisch bzw. Rasterwandstativ eingeschränkt (Abb. 39). Insbesondere bei adipösen Patienten oder sehr subtilen Fragestellungen sollte deswegen auf die Betaufnahme verzichtet werden, um falsch-negative Befunde zu vermeiden. In solchen Fällen sind der Transport in die Röntgenabteilung oder eine CT notwendig.

- ▶ Bei adipösen Patienten ist die Abdomenübersichtsaufnahme auf der Intensivstation zu vermeiden, da aufgrund des fehlenden Streustrahlenrasters die Bildqualität massiv eingeschränkt und die Aufnahmen nicht mehr diagnostisch verwertbar sind.

## 18.2 Installationen: Fremdkörper, Sonden- und Katheterlage

Bei der Anfertigung von Röntgenaufnahmen generell sollten externe, mobile Katheter- und Sondenstrukturen aus dem Aufnahmegebiet entfernt werden. Nichtsdestotrotz kommen Überlagerungen des Bildes auch abdominal häufig vor. Es gilt daher, zunächst zu erkennen, welche Strukturen innerhalb bzw. außerhalb des Patienten liegen. Hierzu ist die Kenntnis der eingebrachten Sonden, Katheter und Drainagen im Verlauf hilfreich.

Die Beurteilung von eingebrachten Fremdmaterialien, insbesondere von Kathetern und Sonden, gelingt trotz der eingeschränkten Bildqualität zumeist auch mit einer Abdomenübersichtsaufnahme auf der Intensivstation und hat hier insbesondere bei instabilen und kritisch kranken Patienten unter ECMO-Therapie zur Visualisierung der Lage der Katheterspitzen ihren Stellenwert (Abb. 40). Je nach



**Abb. 40** Übersichtsaufnahme des Abdomens auf der Station zur Lagekontrolle von ECMO-Kanülen: Diese können von beidseits inguinal eingebracht erkannt werden (Pfeile). Zusätzlich erkennbare Magensonde und Restkontrastmittel im Dickdarm

Materialbeschaffenheit, also Röntgendichte der Strukturen, kann die Beurteilbarkeit im Röntgenbild eingeschränkt sein. Zur sicheren Verifizierung der intraluminalen Katheterlage kann Kontrastmittel über den Katheter kurz vor bzw. während Anfertigung des Röntgenbildes injiziert werden.

### 18.3 (Atypische) Darmgasverteilung und Spiegel

Die Luftmengen in Magen und Darm sind von Patient zu Patient verschieden. Typischerweise finden sich abdominell immer gewisse Luftmengen im Magen, die beim stehenden oder halbsitzenden Patienten im Fundus abgrenzbar sind, beim liegenden Patienten in das Magenkorpus aufsteigen. Der Dünndarm ist zumeist gasarm; geringe bis ausgedehnte Mengen (Meteorismus) an Luft sind im Dickdarm erkennbar. In Rückenlage können keine Spiegelbildungen detektiert werden. Dies gelingt nur bei einer Aufnahme im Stehen oder Sitzen sowie in der Linksseitenlage (Abb. 41).

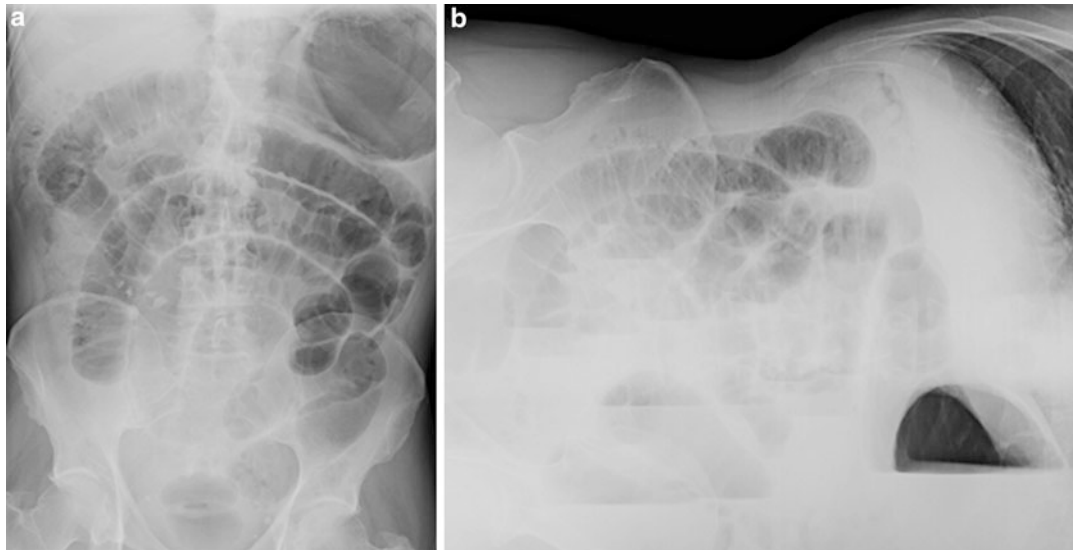
Die häufigste Indikation zur für eine abdominelle Diagnostik auf der Intensivstation ist der klinische Verdacht auf eine Darmobstruktion, einen **Ileus**. Typisches Zeichen des Ileus ist der sog. „Spiegel“, oder genauer: Flüssigkeit-Luft-Spiegel. Isolierte Dünndarmspiegel bei normal imponierendem Dickdarm weisen zumeist auf eine mechanische Stenose in einem Dünndarmsegment hin. Darüber hinaus können Durchblutungsstörungen mit Darmwandödem zu einem isolierten Dünndarmileus führen. Ischämien von Dün- und Dickdarm sind ein häufiges Problem älterer Patienten auf der Intensivstation.

Neben der sofortigen operativen Versorgung des Patienten wird heutzutage oftmals eine genauere Lokalisation und Ursache des Passagehindernisses von Seiten der chirurgischen Kollegen gewünscht. Dazu kann eine abdominelle Computertomographie mit oralem und intravenösem Kontrastmittel hilfreich sein, die die sogenannte Übergangszone (Bereich der Engstellung) mit vorgeschaltet dilatierten, nachgeschaltet normalkalibrigen bzw. wie Hungerdarm imponierenden Darmanteilen detektieren kann.

Isolierte Dickdarmspiegel sind demgegenüber zumeist mit weniger kritischen Erkrankungen assoziiert. Zumeist handelt es sich eher um einen paralytischen Zustand, der auch reaktiver Genese sein kann. Ursächlich können entzündliche oder posttraumatische Veränderungen benachbarter Organe (Gallenblase, Niere/Ureter) sowie medikamentöse oder metabolische Veränderungen sein.

Liegen sowohl Dün- als auch Dickdarmspiegel vor, so kann die zugrunde liegende Pathologie schwerwiegend, aber auch leicht sein, daher ist das weitere Procedere in solchen Fällen am schwierigsten





**Abb. 41 a, b** Röntgenaufnahmen des Abdomens in Rückenlage (**a**) sowie in Linksseitenlage (**b**) bei Dünndarmileus: In Rückenlage erkennt man eine deutliche Dilatation von Magen und Dünndarmschlingen. Spiegelbildungen lassen sich erst in der Linksseitenlage nachweisen

zu bewerten: Je nach Klinik und Laborbefund des Patienten sollte die Ursache herausgefiltert werden. Diagnostisch hilfreich können das Vorhandensein freier abdomineller oder retroperitonealer Luft, Darmwandverdickungen oder Verlagerung von Darmschlingen in der Ursachenforschung sein. Bei persistierenden Unklarheiten ist eine weitere Diagnostik mittels Abdomen-CT zur Abklärung erforderlich.

#### **18.4 Freie intraabdominale Luft**

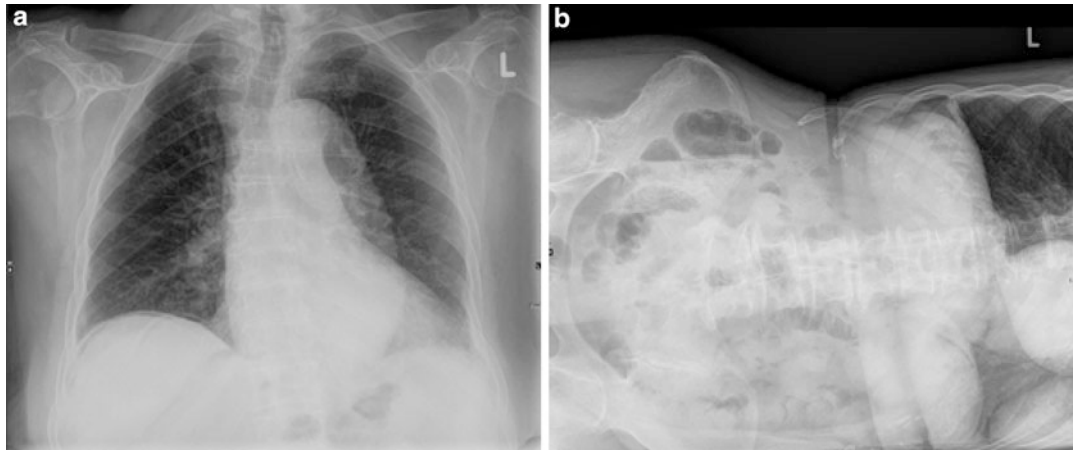
Eine exakte Mengenangabe, ab wann freie Luft auf der Übersichtsaufnahme sichtbar wird, gibt es nicht. Der Nachweis gelingt auf Übersichtsaufnahmen in Rückenlage Studien zufolge in nur 56 % der Fälle, im Stehen in 76 % der Fälle und in der Linksseitenlage in bis zu 90 %. Daher hat die Aufnahme in Linksseitenlage die im Stehen abgelöst.

Freie intraabdominelle Luft in geringen Mengen ist postoperativ noch bis zu 2 Wochen lang erkennbar. Zudem findet sich bei Patienten mit chronischer ambulanter Peritonealdialyse (CAPD) immer eine gewisse Menge freier Luft sowie nach Pertubation (Eileiterdurchblasung), Aszitespunktion oder PEG-Anlagen.

- Daher sollten vorangegangene operative oder andere Eingriffe bei der Beurteilung von freier Luft berücksichtigt und dem befundenden Radiologen in der Anforderung mitgeteilt werden.

Zu den häufigsten pathologischen Ursachen von freier abdomineller Luft gehören Perforationen von Hohlorganen. Die klinische Symptomatik beim Intensivpatienten kann unspezifisch sein. Typischerweise bestehen jedoch Schmerzen, Peritonismus und je nach Ursache erhöhte Entzündungsparameter. Retroperitoneale Perforationen können klinisch und bildmorphologisch tagelang inapparent verlaufen.

Ursächlich für spontane Perforationen sind nicht selten Ulcera ventriculi oder duodeni, die (Sigma-) Divertikulitis oder eine (nekrotisierende) Enterokolitis. Die freie Luft kann nach thorakal mediastinal aufsteigen, sodass sie ggf. zunächst auf einer Röntgenaufnahme des Thorax sichtbar wird. Seltener, aber ebenfalls möglich, steigt freie mediastinale Luft nach abdominell ab.



**Abb. 42 a, b** In der Stehendröntgenaufnahme des Thorax (**a**) sehr geringe Luftsichel rechts subphrenisch erkennbar. In der Abdomenaufnahme in Linksseitenlage (**b**) zeigt sich mehr freie Luft zwischen Bauchwand und Leber subdiaphragmal

In der Abdomenübersicht im Stehen oder Sitzen kann freie abdominelle Luft unterhalb des Zwerchfells abgegrenzt werden, wobei die Luftsichel aufgrund der darunter liegenden weichteiligen Leber rechts subphrenisch eher auffällig wird, weshalb die Linksseitenlage bevorzugt wird (Abb. 42). Das Zwerchfell zeigt sich als scharf begrenzte Linie.

- **Cave** Bei der anlagebedingten sowie nach Hemihepatektomie auftretenden Interposition des Kolons zwischen (Rest-) Leber und Zwerchfell kann ebenfalls Luft subdiaphragmal erkennbar werden.

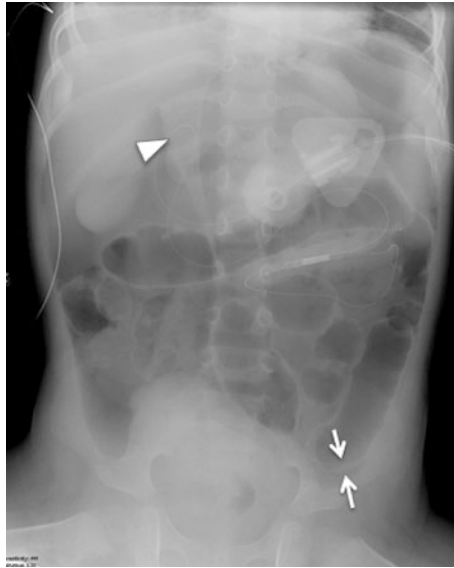
In Rückenlage kann dem Betrachter freie abdominelle Luft entgehen, da sich die Luft im Liegen unter dem höchsten Punkt der Bauchdecke sammelt und nur in größeren Mengen als Aufhellung sichtbar wird. Dabei kann insbesondere bei Kindern das Lig. falciforme aufgrund der umgebenden, oftmals längssoval wie bei einem amerikanischen Football verteilten Luft im Peritoneum als röntgendichte lineare Struktur demarkiert werden (Abb. 43; „football sign“; das Ligament entspricht der bekannten, kräftigen Naht) (Chiu et al. 2009). Im Normalfall ist nur die Darminnenwand aufgrund der Luftfüllung erkennbar. Wenn auf der Abdomenübersicht auch die Darmaußenwand erkennbar wird, ist dies ein sicheres Zeichen für freie Luft in der Peritonealhöhle („Rigler’s sign“) (Lee et al. 2013).

Im Zweifelsfall sollte (wenn lagerungstechnisch möglich) eine 2. Ebene in Form einer Linksseitenlage oder eine seitlich angestellte Aufnahme (falls Linksseitenlagerung nicht möglich ist) erfolgen. Insbesondere retroperitoneale Luft kann der Detektion auf einer Übersichtsaufnahme des Abdomens auch einschließlich zweiter Ebene entgehen. Ursächlich hierfür sind Perforationen von retroperitoneal gelegenen Darmanteilen wie Duodenum, Colon ascendens und descendens sowie Rektum. Dabei kann Luft vornehmlich strichförmig am Psoasrand oder perirenal erkennbar werden (Abb. 44).

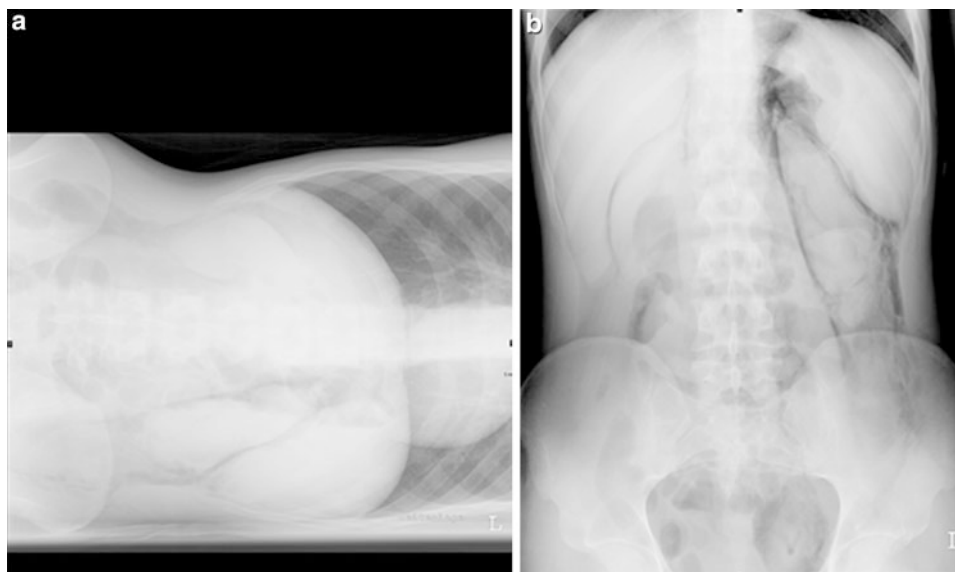
- Die Computertomographie kann auch geringe intraabdominelle extraintestinale Luft nachweisen und bleibt in unklaren Fällen die Methode der Wahl.

## 18.5 Intramurale Gaseinschlüsse und atypische intraabdominale Gasansammlungen

Intramurale Gaseinschlüsse in Darmabschnitten werden selten auf einer Abdomenübersicht im Liegen detektiert (Adar und Paz 2013). Sie sind ein Zeichen der Pneumatosis intestinalis, die wiederum ischämische, medikamententoxische, entzündliche oder idiopathische Ursachen haben kann. Ein ergän-



**Abb. 43** Übersichtsaufnahme des Abdomens in Rückenlage mit deutlichem Pneumoperitoneum, am ehesten nach PEG-Anlage. Man erkennt deutlich das luftumgebene Lig. falciforme (Pfeilspitze; „football sign“) sowie die Darmwand mit Luft von innen und außen (Pfeile; Rigler-Zeichen)



**Abb. 44 a, b** Ausgedehnte Mengen freier retroperitonealer Luft entlang des Psoasmuskels nach Perforation bei Koloskopie. Man erkennt entsprechend der Lage retroperitoneal kein Aufsteigen der Luft unter das Zwerchfell in der Linksseitenlage (a)

zendes Abdomen-CT sollte erfolgen, um die Ausdehnung und den Ursprung der intramuralen Luft-einschlüsse zu klären.

Zu den atypischen intraabdominellen Gaseinschlüssen gehören auch lokalisierte Luft-einschlüsse in Abszessformationen, z. B. nach Hemihepatektomie im rechten Oberbauch, parazökal bei Appendizitis oder im Rahmen einer Pankreatitis im Bereich der Bauchspeicheldrüse oder Bursa omentalis.



**Abb. 45** Röntgenübersicht im Liegen in Rückenlage. Man erkennt deutlich die Begrenzungen des kräftigen Psoasmuskels (1), der Nieren (2) sowie des Leberunterrandes (3)

- Nicht immer können diese direkt als nicht intestinal assoziierte Luft erkannt werden, und die Diagnose wird erst bei einer CT des Abdomens gestellt.

Lufteinschlüsse in den Gallenwegen können nach einer endoskopischen retrograden Cholangiopancreatographie (ERCP) auftreten. Erkennt man eine Aerobilie ohne vorausgegangene Intervention, so liegt in den allermeisten Fällen eine entzündliche Ursache zugrunde.

### **18.6 Beurteilung der Weichteilstrukturen, freie Flüssigkeit**

Auf einer normalen Übersichtsaufnahme des Abdomens im Stehen oder Liegen lassen sich die Weichteilschatten von Psoas und den großen parenchymatösen Organen abgrenzen. So gelingt auch eine Einschätzung hinsichtlich Organomegalien (Abb. 45). Aufgrund der erhöhten Streustrahlung kann die Abgrenzbarkeit der Weichteilschatten bei der Röntgenübersicht auf der Station ohne Raster eingeschränkt sein. Die Aufhebung der Organ- und Psoaskonturen im Stehen oder Liegen mit Raster kann hinweisend auf freie Flüssigkeit abdominell sein. In einem solchen Fall sollte zur weiteren Abklärung eine Sonographie erfolgen, die bei der Fragestellung nach freier Flüssigkeit im Abdomen die Methode der Wahl ist.

### **18.7 Intraabdominale Verkalkungen und Beurteilung der Knochen**

Röntgendichte Konkremente können in Niere und ableitenden Harnwegen sowie in der Gallenblase in den dafür typischen Lokalisationen detektiert werden. Sie können Hinweise auf sekundär entzündliche Veränderungen und Abflussprobleme geben. Verkalkungen in der Pankreasloge sind zumeist Folge einer chronischen Pankreatitis; ggf. muss eine akut entzündliche Komponente ausgeschlossen werden.

Häufig detektiert werden können arteriosklerotische Veränderungen der Aorta sowie der Viszeralarterien, verkalkte Lymphknoten mesenterial (postentzündlich) sowie Phlebolithen. Seltener erkennt man Verkalkungen in primären Tumoren (Nierenzellkarzinom) oder Metastasen (z. B. von Osteosarkomen in der Leber). Diese Verkalkungen haben zumeist keinen eigenen Krankheitswert bzw. sind zumeist nicht assoziiert mit einer akuten abdominellen Symptomatik.

Die Beurteilung der ossären Strukturen ist nur in seltenen Fällen für den Intensivmediziner von Relevanz. Dennoch sollten auffällige Veränderungen wie Knochendestruktionen, die tumoröser oder entzündlicher Genese sein können, sowie grobe Fehlstellungen (z. B. posttraumatisch) in der konventionellen Röntgenaufnahme erkannt werden.

## 18.8 Magen-Darm-Passage mit oralem Kontrastmittel

Die Magen-Darm-Passage kann anhand mehrerer Röntgenübersichtsaufnahmen des Abdomens vor und nach der Gabe von Kontrastmittel angesehen werden. Eine initiale Leeraufnahme muss zeigen, dass keine Perforation vorliegt. Indikationen für Magen-Darm-Passagen sind neben der Detektion von anatomischen Varianten, Raumforderungen oder Entzündungen auch funktionelle Störungen. Bei Ileusverdacht wird die Kontrastmittelpassage zur Detektion von Passagestörungen genutzt; sie kann dabei ggf. auch therapeutisch wirksam sein.

- ▶ **Cave** Allerdings stellt ein manifester Ileus mit starker Distension des Darms eine Kontraindikation dar für die orale Verabreichung von Kontrastmittel, das aufgrund seines hygroskopischen Verhaltens die Situation aggravieren kann.

Das orale Kontrastmittel muss wasserlöslich sein, da eine potenziell eintretende Perforation oder direkt operativ anzugehende Pathologien die Gabe von Bariumsulfat verbieten. Die erste Aufnahme nach oraler Ingestion des Kontrastmittels erfolgt nach ca. 30–45 min. Der obere Gastrointestinaltrakt kann so visualisiert werden.

Anschließend erfolgen Aufnahmen im Verlauf, die von der Klinik des Patienten sowie der Verteilung des Kontrastmittels zum vorherigen Zeitpunkt abhängig gemacht werden sollten. Bei einem paralytischen Ileus kann die Hyperosmolarität des Kontrastmittels und die damit einhergehende Wasserresorption in den Darm die A- bzw. Hypomotilität des Darms reduzieren oder sogar aufheben, was einer therapeutischen Indikation entspricht. Der Wasser- und Elektrolythaushalt des Intensivpatienten muss daher während einer solchen Kontrastmittelpassage überwacht werden (Tuladhar et al. 1999).

## 19 Sonographie

Die Grundausstattung für die bildgebende Diagnostik einer Intensivstation besteht aus einem fahr- oder tragbaren Ultraschallgerät mit einem 3–3,5-MHz-Schallkopf als Minimalausstattung. Die Möglichkeit zur farbkodierten Dopplersonographie (FKDS oder Duplexsonographie) sollte ebenso vorhanden sein wie additive Schallköpfe, z. B. hochfrequente Linearschallköpfe zur Untersuchung von pädiatrischen Patienten oder oberflächlichen Prozessen beim Erwachsenen (bis 5 cm Eindringtiefe). Das Ultraschallgerät sollte mindestens über einen Printer verfügen oder im besten Fall an das PACS („picture archiving and communication system“) angeschlossen sein.

- ▶ Der Abdomenultraschall ist ubiquitär einsetzbar, damit auch eine Methode der 1. Wahl für kritisch kranke Patienten auf der Intensivstation.

Die schnelle Verfügbarkeit, eine zumeist nicht nötige bestimmte Lagerung des Patienten, das Fehlen ionisierender Strahlung sowie die nichtinvasive Beurteilung des Abdomens zusammen mit der Möglichkeit zur sonographisch gesteuerten Biopsieentnahme und Drainageanlage haben die Sonographie bei unklarer abdomineller Symptomatik sowie auch als Routineuntersuchung, z. B. zur Fokussuche, zum initial genutzten bildgebenden Verfahren gemacht. In der präklinischen Diagnostik, insbesondere beim

Traumapatienten bei der Erstversorgung im Schockraum, hat die Sonographie einen hohen Stellenwert: Die Erstbeurteilung mittels FAST-Sonographie (FAST = „focussed assessment sonography for trauma“) erfolgt dabei parallel zur Erstversorgung des Patienten (Brenchley et al. 2006). Die Beurteilung der parenchymatösen Organe ist genauso möglich wie das Erkennen von Flüssigkeitskolektionen intraabdominell. Zudem bietet sich mit der Möglichkeit der Doppler-/Duplexsonographie eine Methode zur Beurteilung der Durchblutungssituation von venösen und arteriellen Gefäßen.

Mit einigen Einschränkungen hat der Untersucher manchmal zu kämpfen: Dazu gehören die teils fehlende Möglichkeit der Verdunklung, sodass Grauwertunterschiede auf dem Monitor erschwert detektiert werden können. Zudem kann der Intensivpatient unter Beatmung keine suffizienten Atemstillstände gewährleisten, ist teils agitiert und bewegt sich, und die manchmal multiplen Drainagen verwehren bestimmte Einschallpositionen. Dennoch kann die wenig zeitintensive Sonographie in 50 % der Fälle das therapeutische Vorgehen verändern und in 80 % der Fälle weitere, aufwendigere Untersuchungen ersparen (Schacherer et al. 2007).

## 19.1 Leber

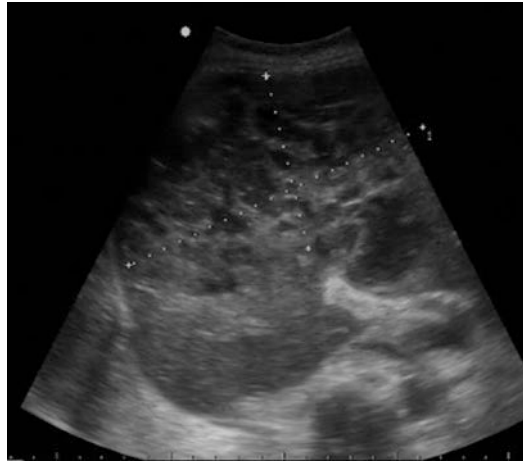
Leberwerterhöhungen sind bei intensivmedizinischen Patienten mit einer erhöhten Mortalität assoziiert (Penndorf et al. 2012) und können Hinweise auf eine chronische, bereits vorbestehende Schädigung der Leber geben sowie auch auf akute hepatische Veränderungen einschließlich iatrogenen Ursachen hinweisen. Zur Abklärung hepatobiliärer Erkrankungen bleibt die Sonographie unter intensivmedizinischen Bedingungen Methode der 1. Wahl. Bei Unklarheiten kann eine Schnittbilddiagnostik ergänzt werden.

**Normalbefund** Im Normalfall zeigt die Leber ein homogenes Echo, welches zumeist niedriger (also dunkler) im Vergleich zur Milz und nahezu gleich zum Kortex der Niere zur Darstellung kommt. Lebergefäße und Gallenwege stellen sich echoärmer als das Parenchym dar und können bis zur Mündung in bzw. ihrem Abgang aus den großen abdominalen Gefäßen/extrahepatischen Gallenwegen verfolgt werden.

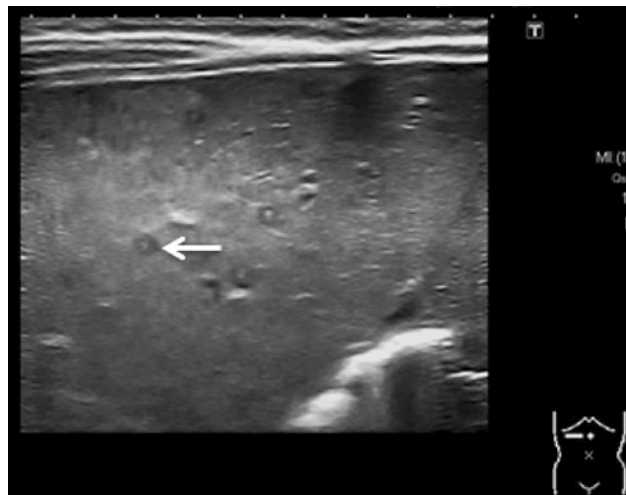
**Vorbestehende Schädigung der Leber (Steatose, Fibrose, Zirrhose)** Zeigt sich das Leberparenchym homogen oder anteilig echogenitätserhöht, so liegt eine Verfettung der Leberzellen vor. Die Ursachen sind vielfältig, als häufigste Ursachen sind alimentäre (Diabetes mellitus, Adipositas, Fettstoffwechselstörung, Alkohol), entzündliche und medikamententoxische Veränderungen zu nennen. Bei fibrotischen und zirrhotischen Veränderungen der Leber zeigt sich ein generalisierter Umbau, der zumeist ebenfalls mit einer Echogenitätserhöhung und einer zunehmenden Irregularität des Leberrandes einhergeht.

**Entzündliche Veränderungen der Leber** Ursächlich für Fieber, Sepsis und hohe Infektparameter können Leberabszesse sein, die in weit über 50 % einzeln, weniger häufig multipel vorkommen und aufgrund der prädominanten Blutversorgung häufiger im rechten Leberlappen zu finden sind. Das sonographische Erscheinungsbild von Leberabszessen kann sehr variabel sein: Es finden sich runde oder ovale, unscharf begrenzte und inhomogen, zumeist echogenitätsverminderte Areale (Abb. 46). Das sonomorphologische Erscheinungsbild kann sich mit der Zeit aufgrund der Veränderungen des Eiteranteils verändern. Auch können Luftsinschlüsse, Flüssigkeitsspiegel und Septierungen auftreten. In der Duplexsonographie kann neben einem zentral nicht perfundierten Anteil eine hyperperfundierte Abszessmembran detektiert werden.

Multiple kleine, oft charakteristisch schießscheibenartig (zentral echoreich, sonst echoarm) konfigurierte Läsionen können hinweisend auf eine hepatische Pilzinfektion (Candidiasis) sein (Abb. 47). Weitere, auch in der Milz vorliegende Läsionen gleichen Bildeindrucks erhärten die Diagnose. Pneumocystis-carinii-Infektionen der Leber wurden mit einem ähnlichen Erscheinungsbild beschrieben.



**Abb. 46** Sonographie der Leber: Großer, heterogen imponierender Leberabszess im rechten Leberlappen mit multiplen echoarmen Einschmelzungen. (Abbildung freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Dr. A. Dechêne, Klinik für Gastroenterologie und Hepatologie, Uniklinik Essen)

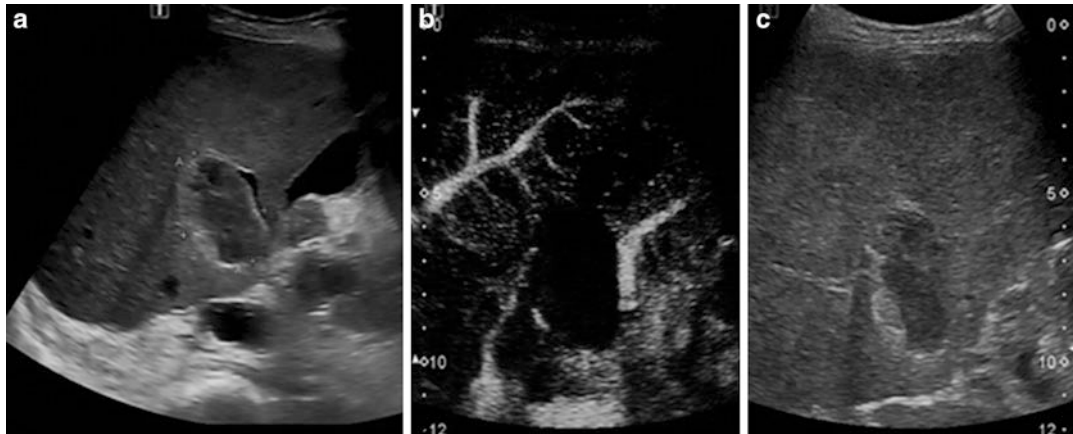


**Abb. 47** Sonographisches Bild einer hepatischen Candidiasis mit typischem „Schießscheibenmuster“ der multiplen Läsionen (Pfeil). Zur besseren Darstellung der teils oberflächlich gelegenen Läsionen wurde ein Linearschallkopf verwendet. (Abbildung freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Dr. A. Dechêne, Klinik für Gastroenterologie und Hepatologie, Uniklinik Essen)

Eine akute (Virus)hepatitis hat keine typischen Zeichen im Ultraschall: Die Leber ist zumeist etwas vergrößert und etwas echoärmer als normal, was je nach Erfahrung des Untersuchers erschwert zu differenzieren ist. Die Diagnose ist serologisch, virologisch und klinisch zu stellen.

**Posttraumatische Leberveränderungen: Hämatom, Ruptur** Die Leber ist beim abdominellen Trauma neben der Milz das am häufigsten betroffene Organ (Reichmann et al. 1998). Man unterscheidet die Lazeration, also den Einriss, vom Hämatom, der Einblutung.

Patienten mit Leberverletzungen nach Moore Grad I oder II werden konservativ behandelt (Moore et al. 1995). Dies sind zumeist Patienten mit subkapsulären Leberhämatomen, doch können Hämatome auch intraparenchymal lokalisiert sein. Initial sind die Blutansammlungen zumeist echofrei, bei intakter



**Abb. 48** a-c Pfortaderthrombus, erkennbar durch erhöhte Echogenität zentral in der erweiterten Pfortader. Dopplersonographische Untersuchungen oder Kontrastmittelsonographien können in Ergänzung hilfreich sein: Erkennbare fehlende Perfusion des Thrombus im Sinne einer Aussparung. (Abbildung freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Dr. A. Dechéne, Klinik für Gastroenterologie und Hepatologie, Uniklinik Essen)

Koagulation kommt es im Verlauf zu echoreichen Binnenechos. Subkapsuläre Hämatomate passen sich meist der Leberoberfläche an und sind scharf begrenzt. Es besteht die Gefahr der Kapselruptur. Eine Verwechslung mit perihepatischer subphrenischer oder pleuraler Flüssigkeit ist möglich. Intrahepatische Hämatomate sind zumeist unscharf begrenzt und können je nach Alter erschwert gegenüber Zysten oder Abszessformationen abgegrenzt werden. Leberhämatomate bieten einen guten Nährboden zur Entstehung von Abszessen.

**Lebergefäße** Chronische Leberparenchymschäden können Veränderungen der lebersorgenden Gefäße verursachen, wie z. B. eine portale Hypertension. Mit Hilfe der Dopplersonographie kann der Fluss in den hepatischen Gefäßen dargestellt und quantifiziert werden (Bunk et al. 1998). Üblicherweise werden bei der Dopplersonographie Bewegungen auf den Schallkopf zu mit der Farbe Rot und solche vom Schallkopf weg mit der Farbe Blau kodiert („Farbdoppler“) und dem B-Bild überlagert.

Die Lebergefäße verlaufen normalerweise in der Leber gestreckt. Bogige Verläufe können auf eine Verdrängung durch Raumforderungen (großbogig) oder auf eine Leberzirrhose (multipel kleinbogig) zurückzuführen sein. Ektasien von Lebervenen und V. cava inferior können auf eine Stauungsleber hindeuten. Die Erweiterung der Pfortader  $>14$  mm ist ein Zeichen für eine portale Hypertension im Rahmen einer Leberzirrhose. Pfortaderthrombosen können durch eine erhöhte Echogenität durch den vorliegenden Thrombus und eine mangelnde Komprimierbarkeit auffallen (Abb. 48). Hilfreich zur Detektion des Thrombus ist ebenfalls die Dopplersonographie. Die seltene akute Thrombose der Lebervenen (Budd-Chiari-Syndrom) kann sich in der Dopplersonographie mit fehlendem, umgekehrtem oder turbulentem Fluss in den Lebervenen darstellen. Klinisch finden sich meist Oberbauchschmerzen und Aszites neben einem Anstieg der Transaminasen.

Zur Beurteilung der Gefäße nach Lebertransplantation sind ebenfalls B-Mode-Sonographie, Farbdopplersonographie sowie auch die weniger winkelabhängige Power-Doppler-Sonographie (die nicht richtungskodierte Intensitäten angibt) unverzichtbare diagnostische Methoden.

## 19.2 Gallenblase und Gallenwege

Veränderungen an den Gallenwegen einschließlich der Gallenblase sind häufig entzündlicher Genese und können beim Intensivpatienten ursächlich sein für Fieber unklaren Ursprungs. Das biliäre System ist der





**Abb. 49** Sonographie einer Cholezystolithiasis: In den abhängigen Partien erkennt man gut 5 sehr echoreiche Konkreme innerhalb der Gallenblase, die teilweise einen dorsalen Schallschatten aufweisen. (Abbildung freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Dr. A. Dechêne, Klinik für Gastroenterologie und Hepatologie, Uniklinik Essen)

Ultraschall diagnostik einfach zugänglich. Daher ist die Indikation zur Sonographie weit zu stellen (Boland et al. 2000).

- Eine wichtige Voraussetzung zur Beurteilung der Gallenblase ist der Nüchternstatus des Patienten, da die Gallenblase anderenfalls entleert und nicht darstellbar sein kann oder die Kontraktion eine Wandverdickung vortäuscht.

**Normalbefund** Die Gallenblase findet sich bei nicht vergrößerter Leber zumeist in der Medioklavikularlinie (MCL) am unteren Leberrand. Der Inhalt der Gallenblase zeigt sich echofrei, die Gallenblasenwand sollte zart ( $<3$  mm Dicke) zur Darstellung kommen. Der Ductus choledochus sollte normalerweise nicht weiter als 7 mm sein, bei Zustand nach Cholezystektomie kann er normal bis 1 cm weit sein. Die gesunden intrahepatischen Gallengänge, die Äste der A. hepatica und Pfortader begleiten, sind aufgrund ihrer geringen Weite ( $<2$  mm) sonographisch nur mit neueren Geräten zu differenzieren.

**Konkremente** Sensitivität und Spezifität der Sonographie bei der Diagnostik der Cholezystolithiasis erreichen nahezu 100 %. 10–15 % der Bevölkerung haben Gallensteine, dabei ist der Anteil der Frauen doppelt so hoch wie der der Männer. Steine stellen sich sonographisch als intraluminale schattengebende Reflexe dar (Abb. 49). Bei Lagerungswechsel des Patienten kann (außer bei seltenen wandadhärenten Steinen) eine Lageveränderung der Konkreme dokumentiert werden. Wandadhärente Echos ohne Schallschatten können polypösen Veränderungen entsprechen.

Im Vergleich zur Cholezystolithiasis weist die Sensitivität des Ultraschalls in der Darstellung einer Choledocholithiasis mit 25–75 % eine deutliche Variabilität auf. Insbesondere bei kleinen oder im distalen Ductus cysticus lokalisierten Steinen kann der Nachweis des Schallschattens schwierig sein. „Sludge“/Gries kann sich als echoreichere Schicht in den lageabhängigen Partien der Gallenblase manifestieren (Abb. 50) und tritt gehäuft nach Fasten oder bei parenteraler Ernährung auf.

Generell hat das Vorliegen von Konkrementen und „sludge“ im biliären System keinen Krankheitswert. Nur ca. 25 % der Patienten mit Gallensteinen entwickelt entzündliche Veränderungen der Gallenwege.

**Cholezystitis** Eine Cholezystitis entsteht überwiegend durch Steinverschluss des Ductus cysticus ( $>90$  % der Fälle; kalkulöse Cholezystitis). In weniger häufigen Fällen entsteht eine Cholezystitis nach



**Abb. 50** Gallenblasengries/“sludge“: Innerhalb der Gallenblase dorsal inhomogen echoreichere, sedimentierende Substanz ohne darin abgrenzbare Konkreme. Nebenbefundlich einliegender TIPSS. (Abbildung freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Dr. A. Dechêne, Klinik für Gastroenterologie und Hepatologie, Uniklinik Essen)



**Abb. 51** Cholezystitis bei Lithiasis: Zirkuläre Wandverdickung der Gallenblase in der Sonographie mit Mehrschichtung aufgrund des Wandödems. In diesem Fall keine perizystische Flüssigkeitsammlung. Zusätzlich im Gallenblasenhals ein großer, verkalkter Stein mit deutlichem dorsalem Schallschatten. (Abbildung freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Dr. A. Dechêne, Klinik für Gastroenterologie und Hepatologie, Uniklinik Essen)

großen operativen Eingriffen (Stressgallenblase) oder nach schweren Traumen (Schockgallenblase) ohne Steinnachweis (akalkulös) (Boland et al. 1993).

Im B-Bild fällt bei der akuten Cholezystitis v. a. die Wandverdickung der Gallenblase ( $>3$  mm) auf (Abb. 51). Die Wandverdickung kann jedoch auch in Fällen nichtentzündlicher Erkrankungen, z. B. bei Aszites, Nierenerkrankungen oder Hypoalbuminämie auftreten. Hilfreich sind dann echoreiche Bänder, die in der sonst echoarmen Wand abgrenzbar sind und entzündungsbedingten Ödemen entsprechen. In der Wand finden sich in der Dopplersonographie zudem deutliche Signale als Zeichen der entzündungsbedingten Hyperämie. Eine Dreischichtung der Wand kann fehlen und ist eher als gangränöse Veränderung zu werten.

Das sensitivste Zeichen der akuten Cholezystitis ist das **Murphy-Zeichen** (Sensitivität 90 %): Bei Druck mit einem Finger oder dem Schallkopf über der Gallenblase werden Schmerzen ausgelöst. Bei der gangränösen Cholezystitis kann aufgrund der nekrosebedingten Denervation das Murphy-Zeichen fehlen, bei der akalkulösen Cholezystolithiasis ist es ebenfalls weniger zuverlässig. Weitere Begleitsympto-



**Abb. 52** „Doppelflintenzeichen“ als Korrelat einer Gallengangerweiterung: In der Sonographie stellen sich intrahepatisch Pfortaderast und erweiterter Gallengang nebeneinander dar. (Abbildung freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Dr. A. Dechêne, Klinik für Gastroenterologie und Hepatologie, Uniklinik Essen)

me oder hinweisende Veränderungen sind pericholezystische Flüssigkeitsansammlungen sowie eine generelle Vergrößerung des Organs (Hydrops) und „sludge“.

Bei ausgeprägter Entzündung mit Wandnekrose spricht man von einer gangränösen Cholezystitis, die in bis zu 10 % der Fälle mit einer Perforation einhergehen kann.

**Gallestau** Bei Patienten mit Choledocholithiasis findet man in nur etwa 70 % eine Erweiterung der Gallenwege. Man spricht von einer Erweiterung des Ductus hepatocholedochus ab einer Weite von  $>7$  mm beim Patienten mit nicht entfernter Gallenblase,  $>11$  mm bei Patienten nach Cholezystektomie. Die Gallengangerweiterung intrahepatisch kann im Vergleich zum begleitenden Pfortaderast beurteilt werden: Man spricht von einer Erweiterung ab einer Weite  $>2$  mm, dies entspricht zumeist  $>40$  % der begleitenden Pfortader. Oftmals sind die Gallenwege aber genauso weit wie der Pfortaderast oder weiter. Dann imponiert das B-Bild eines „Doppelflintenphänomens“ (Abb. 52).

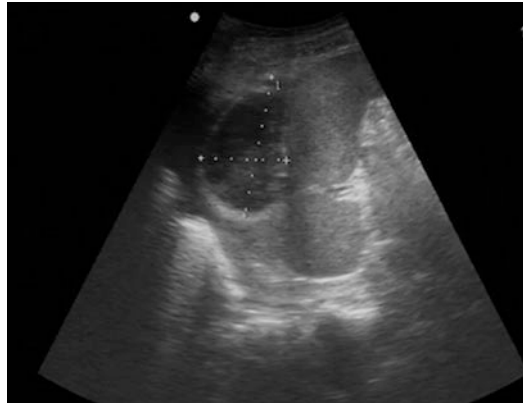
Die Dopplersonographie kann ebenfalls helfen: Hier zeigt sich ein fehlendes Dopplersignal im erweiterten Gallengang. Die Klärung der Ursache der Obstruktion ist weniger einfach: Neben Steinen können Veränderungen an der Papille und Pankreaspathologien (Entzündung, Tumoren) die Ursache sein.

**Entzündliche Veränderungen der Gallenwege** Bei der akuten eitrigen Cholangitis finden sich sonographisch unregelmäßige Wandbegrenzungen der erweiterten intrahepatischen Gallenwege. Die sekundär sklerosierende Cholangitis (SSC) weist ähnlich der primär sklerosierenden Cholangitis (PSC) ein Mischbild aus Erweiterungen und Rarefizierungen der Gallenwege mit dem Muster einer Perlschnur und nicht unerheblichen biliären Ausgüssen („cast“) auf (Gelbmann et al. 2007).

### 19.3 Milz

Beim liegenden Intensivpatienten ohne suffiziente Atemstillstände kann die Beurteilung der Milz aufgrund ihrer weit dorsolateralen Lage unter dem linken Zwerchfell eingeschränkt sein. Auch unter optimalen Bedingungen können die kranialen Anteile maskiert und der sonographischen Beurteilung nicht zugänglich sein.

**Normalbefund** Die normale Echogenität des Milzparenchyms ist homogen und gering echoreicher als beim Leberparenchym. Das Organ hat zumeist die Konfiguration einer Bohne. Als Normvariante finden sich nicht selten eine oder mehrere kleine Nebenmilzen, die an der gleichen Echogenität zum Milzpa-



**Abb. 53** Sonographisch erkennbarer Milzabszess mit abgekapselter Einschmelzung innerhalb des Milzparenchyms

renchym erkennbar sind. Die normale Größe der Milz beträgt 12 cm × 7,5 cm × 3 cm (Länge × Breite × Tiefe). Von einer Splenomegalie spricht man, wenn mindestens 2 der Ausdehnungsrichtungen höhere Werte aufweisen. Ursächlich hierfür können entzündliche Erkrankungen, hämatologische Grunderkrankungen, HIV-Infektion oder eine portale Hypertension sein.

**Posttraumatische Milzläsionen** Ähnlich der Leber können bei der Milz Lacerationen und intraparenchymatöse Hämatome durch abdominelle Traumata entstehen. Das sonographische Erscheinungsbild ist dem der posttraumatischen Leberläsionen ähnlich. Sollte die initiale Sonographie keine Milzverletzung detektieren, kann ein Milztrauma jedoch nicht ausgeschlossen werden (zweizeitige Milzruptur), daher wird bei adäquatem Trauma eine Computertomographie angeschlossen. Alternativ kann eine klinische Überwachung und Resonographie zur Kontrolle erfolgen.

**Fokale Milzläsionen** Fokale Milzläsionen sind selten und werden in <1 % der abdominellen Sonographien detektiert. Zur Charakterisierung der Läsionen müssen neben dem sonographischen Erscheinungsbild auch Anamnese und Klinik des Patienten berücksichtigt werden. Bei Infektionserkrankungen können auch in der Milz umschriebene Abszesse detektiert werden (Abb. 53).

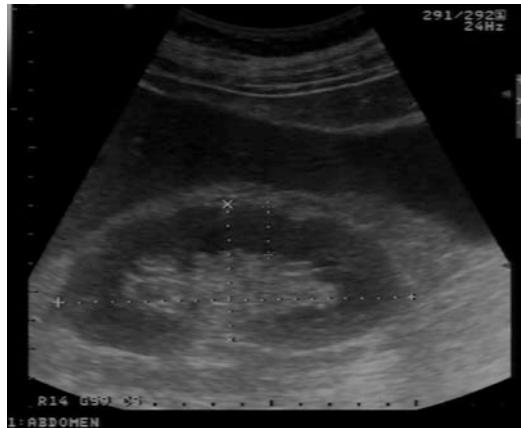
## 19.4 Pankreas

Die Bauchspeicheldrüse kann durch vermehrten Gasgehalt in den Darmschlingen (Meteorismus), durch postoperatives Nahtmaterial und Pflasterverbände nicht selten nur erschwert bzw. partiell oder gar nicht eingesehen werden.

**Normalbefund** Die Leitstruktur zur Auffindung des Pankreas ist die V. lienalis, die am Hinterrand und leicht kranial des Organs verläuft. Die Echogenität des Organs ist ähnlich der der Leber, homogen und feinkörnig. Der Ductus pancreaticus kann zart als feines echogenes Doppelband abgegrenzt werden oder kommt aufgrund der geringen Weite nicht zur Darstellung.

**Pankreatitis** Die akute Pankreatitis ist durch gürtelförmige Bauchschmerzen einhergehend mit dem Anstieg von Pankreasenzymen gekennzeichnet.

Die initiale, milde Form der Pankreatitis (ödematöse Pankreatitis) kann in der Anfangsphase dem sonographischen Nachweis entgehen. Im Verlauf zeigen sich eine diffuse oder umschriebene Vergrößerung des Organs und eine ödematös bedingte Absenkung der Echogenität bei verwaschenen Konturen. Bei der schweren Form der Entzündung (hamorrhagisch-nekrotisierende Pankreatitis und abszedierende Formen) finden sich echoarme bzw. echofreie Areale in der Bauchspeicheldrüse. Da die Computertomo-



**Abb. 54** Sonographischer Normalbefund der linken Niere mit kollabiertem, echoreichem Nierenbecken und echoarmem Kortex

graphie nach Kontrastmittelgabe diese Areale sensitiver als vital (Ödemzonen) oder avital (Nekrosezonen) klassifizieren und begleitende einfache Exsudate besser von Abszessformationen differenzieren und in ihrer Ausdehnung darstellen kann, ist die weitere Abklärung der Pankreatitis und ihrer Komplikationen die Domäne der kontrastverstärkten Computertomographie.

Beim nicht transportfähigen Intensivpatienten ist der Schweregrad der entzündlichen Veränderungen sonographisch ausreichend zu erfassen und im Verlauf zu kontrollieren. Es besteht zudem die sonographisch gesteuerte Möglichkeit der Drainage von postentzündlich entstehenden Pseudozysten.

**Posttraumatische Veränderungen** Pankreasverletzungen infolge stumpfer oder penetrierender Bauchverletzungen sind selten (3–4 % aller Abdominaltraumata). Typisch sind Autolenk- oder Fahrradlenkerverletzungen. Da die Mortalitätsraten aufgrund der begleitenden Komplikationen bei 20–40 % liegen, sollte bei entsprechendem Trauma immer eine weitere Abklärung mittels Computertomographie erfolgen (Lahiri und Bhattacharya 2013).

## 19.5 Nieren

Die Einsehbarkeit der Nieren von ventral ist je nach Patientenhabitus, insbesondere durch das Schallfenster der Leber auf der rechten Seite, zumeist gegeben. Häufiger jedoch werden die Nieren von dorsal geschallt, da so keine überlagernde Luft durch Magen und Kolon die Einsicht erschwert. Gegebenenfalls muss hierfür jeweils eine Seite beim bettlägerigen Intensivpatienten angehoben werden, um den Schallkopf dorsal positionieren zu können.

**Normalbefund** Die Niere hat eine mittlere Gesamtlänge von ca. 10 cm, abhängig von Geschlecht, Größe und Körpergewicht. Die Niere kann in Rinde (Kortex) und Mark (Medulla) differenziert werden. Der Nierenkortex wird sonographisch mit dem Leberparenchym verglichen (Abb. 54). Eine Erhöhung der Echogenität des Nierenkortex ist physiologisch bei Säuglingen, kann beim Erwachsenen jedoch Hinweis auf eine chronische Nierenerkrankung sein (Hricak et al. 1982). Beim Kind ist auch eine Renkulierung typisch, die bis in das Erwachsenenalter erhalten bleiben kann. Relevant ist ebenfalls die Analyse der Weite des Nierenbeckenkelchsystems (NBKS) sowie der Ureteren.

**Akutes Nierenversagen** Im Fall eines akuten Nierenversagens muss eine postrenale Obstruktion als Ursache ausgeschlossen werden. Die Erweiterung der ableitenden Harnwege kann in Grade eingeteilt werden (Abb. 55), die vom Grad 1 (Erweiterung des Nierenbeckens ohne Erweiterung der Kelche) bis hin



**Abb. 55** Gestautes Nierenbecken mit entsprechend echofreier Darstellung des Harns

zum Grad 4 (massive echofreie Erweiterung des NBKS mit aufgehobenen Grenzen zwischen Kelchen und Pylon) reichen kann. Nierengrößenveränderungen und Veränderungen der Parenchymechogenität sind für verschiedene Formen des akuten Nierenversagens wie bei akuter Tubulusnekrose, interstitieller Nephritis oder Glomerulonephritis beschrieben. Diese Befunde sind jedoch weder sehr sensitiv noch spezifisch. In den meisten Fällen von akutem Nierenversagen sind die Ultraschallbefunde unspezifisch bzw. normal.

**Entzündliche Veränderungen der Niere** Die Pyelonephritis ist mit 10–20 % eine der häufigsten Nierenerkrankungen. Häufig gibt ein Harnaufstau einen direkten Hinweis auf die Entzündung. Die sonographischen Zeichen bei nicht gestauter Niere können sehr diskret sein und werden auf Anhieb nicht immer erkannt. In fortgeschritteneren Stadien zeigen sich eine Schwellung und eine ödembedingte Echogenitätsverminderung der betroffenen Niere. Seltener sind die entzündlichen Veränderungen fokal und können mit Raumforderungen der Niere verwechselt werden. Die seltene emphysematöse Pyelonephritis zeigt Lufteinschlüsse, die durch Echos hoher Amplitude auffallen.

Bei einer akuten Glomerulonephritis sind die Nieren aufgrund einer deutlichen Parenchymschwellung erheblich vergrößert. Eine Verkleinerung tritt erst im chronischen Stadium bei Dialysepflichtigkeit ein. Eine Mark-Rinden-Differenzierung ist dann nicht mehr gegeben.

Als Komplikation einer Nephritis können intra- oder perirenale Abszesse auftreten, die sich als echofreie Raumforderungen zeigen, die auch mit einer Zyste verwechselt werden können. Es finden sich jedoch zumeist Wandverdickungen oder Septen. Bei Verdacht auf solche Komplikationen sollte eine zusätzliche Computertomographie erfolgen.

**Vaskuläre Veränderungen der Niere** Gefäßveränderungen können mittels Farbdopplersonographie gut diagnostiziert werden. Fehlende Flusssignale in Arterie oder Vene sind Zeichen eines Verschlusses.

► Relevant ist v. a. die Gefäßkontrolle in der Transplantationsdiagnostik.

Verlaufskontrollen zur Überprüfung der Organversorgung sind hier unerlässlich. Wie bei der Lebergefäßbeurteilung kann der RI („resistance index“), der aus der maximalen endsystolischen und enddiastolischen Strömungsgeschwindigkeit ermittelt wird, als Parameter für die Perfusion des Organs genutzt werden: Erhöhte Werte (insbesondere im Seitenvergleich) können bei Transplantatabstoßung, Hydronephrose oder intrinsischer Nierenerkrankung gefunden werden. Erniedrigte Werte können ein Hinweis auf eine Nierenarterienstenose sein.



**Abb. 56** Sonographische Beurteilung der Darmwand. Im dargestellten Sonogramm kollabiertes Darmlumen und messebare Wandverdickung

**Posttraumatische Veränderungen der Niere** Bei hochgradigem Verdacht bzw. adäquatem Trauma ist die CT die Methode der Wahl. Als Initialdiagnostik im Schockraum oder zur Verlaufskontrolle von instabilen Patienten auf der Intensivstation kann die Sonographie eingesetzt werden: Hämatome, Urinome oder Harnstau können im B-Bild diagnostiziert werden. Unter Einsatz der Farbdopplersonographie kann eine fehlende Durchblutung bei (partiell) Nierenstielabriss detektiert werden.

## 19.6 Darm

Die Beurteilung des Darms ist primär nicht die Domäne der Sonographie. Dennoch kann mittels Ultraschall eine Aussage zur Darmmotilität gemacht werden. Postoperative und parenteral ernährte Patienten zeigen dabei häufig eine reduzierte Beweglichkeit des Darms (Atonie) mit zumeist weitgestellten Darmabschnitten. Auch kann die Dicke der Darmwand sonographisch beurteilt werden, sodass akute entzündliche Veränderungen erkannt werden können (Abb. 56).

Eine Appendizitis kann sich mit der typischen Kokarde darstellen. Hilfreich sind zudem lokale Entzündungszeichen wie freie Flüssigkeit, Lymphknotenvergrößerungen und eine vermehrte Durchblutung in der Dopplersonographie. Ein negativer Ultraschallbefund schließt die Appendizitis aber nicht aus: Führend bleibt der klinische Befund des Patienten.

## 19.7 Retroperitoneale Gefäße

Der Einblick in das Retroperitoneum kann beim liegenden Intensivpatienten aufgrund von Adipositas und Meteorismus erschwert sein. Bei guten Schallbedingungen sind Aorta und V. cava inferior sowie assoziierte Pathologien wie Aneurysmata, Dissektionen, Thrombosen und Prothesen gut beurteilbar. Viele Pathologien sind bereits im B-Bild erkennbar. Für die Detektion von Thromben und nicht perfundierten Gefäßanteilen hilft die Dopplersonographie weiter.

## 19.8 Freie Flüssigkeit

Beim liegenden Patienten muss an typischen Prädilektionsstellen nach freier Flüssigkeit gefahndet werden:

- subhepatisch im Recessus hepatorenalis (Morrison-Pouch),
- retrovesikal (Douglas-Raum),
- parakolisch (rechts häufiger als links),
- interenterisch und
- perisplenisches.

Im Normalfall ist Aszites echofrei. Auch Serome, Biliome, Urinome und Lymphozelen sind echofrei und damit nur aufgrund der Lokalisation und Fokalität von Aszites zu differenzieren. Ältere Abszesse und Hämatome unterschiedlichen Alters zeigen eine mittlere Echogenität.

- ▶ Gegebenenfalls muss neben Anamnese, Klinik und Labor eine diagnostische Punktion zur Klärung des Ursprungs der Flüssigkeiten erfolgen.

In der Initialversorgung des Traumapatienten kommt im Rahmen der FAST („focussed assessment with sonography for trauma“) Sonographie dem Erkennen von freier Flüssigkeit eine hohe Bedeutung zu (Walcher et al. 2006): Mit den standardisierten Ultraschallschnitten 1. perihepatisch/hepatorenal, 2. perisplenisches, 3. pelvin/suprapubisch und 4. subxiphoidal/perikardial wird nach freier Flüssigkeit als Korrelat von Blutansammlungen gesucht.

## 20 Abdomen-CT

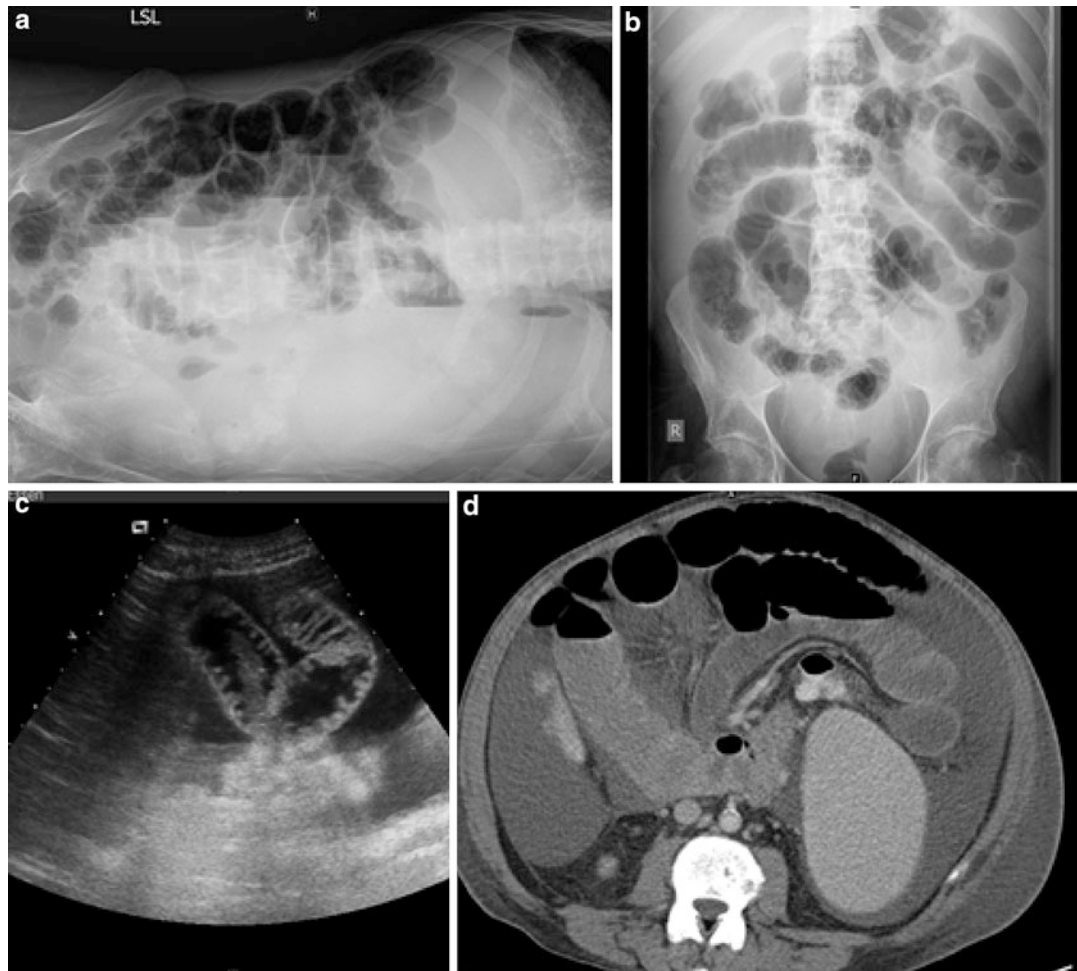
Die Beurteilung des Abdomens mittels Computertomographie ist unverzichtbar in der Diagnostik auch kritisch Kranker. Die abdominellen Strukturen können mittels der neuesten CT-Gerätegenerationen schnell und genau beurteilt werden. Eine intensivmedizinische Überwachung ist an den meisten CT-Standorten gegeben.

### Typische Indikationen für eine CT des Abdomens

- Unklare Fieberzustände zur Fokussuche
- Unklares Abdomen mit oder ohne bereits detektierbare Pathologien in der abdominellen Röntgendiagnostik oder Sonographie (Go et al. 2005)
- Trauma
- Hb-Abfälle zur Blutungssuche
- postoperative Komplikationen wie z. B. Nahtinsuffizienzen
- Abszesse
- Durchblutungsstörungen viszeraler Organe

Generell können mit der Computertomographie des Abdomens Aussagen zu den parenchymatösen Organen, dem Darm, zu Gefäßen sowie knöchernen Strukturen getroffen werden. Im Folgenden wird dabei jedoch nur auf die hauptsächlich relevanten Krankheitsbilder und Pathologien für den akut trau-





**Abb. 57** a-d Typischer Abklärungsalgorithmus bei unklarem Abdomen: Methode der 1. Wahl sind Röntgenübersichtsaufnahmen (a, b), soweit möglich in Rücken- (b) und in Linksseitenlage (a; distendierter Dünndarm mit Spiegeln) sowie die Sonographie (c; ebenfalls erkennbare erweiterte Dünndarmschlingen, Aszites). Bei Unklarheiten erfolgt die Computertomographie (d; hier war keine mechanische Passagebehinderung erkennbar: paralytischer Ileus)

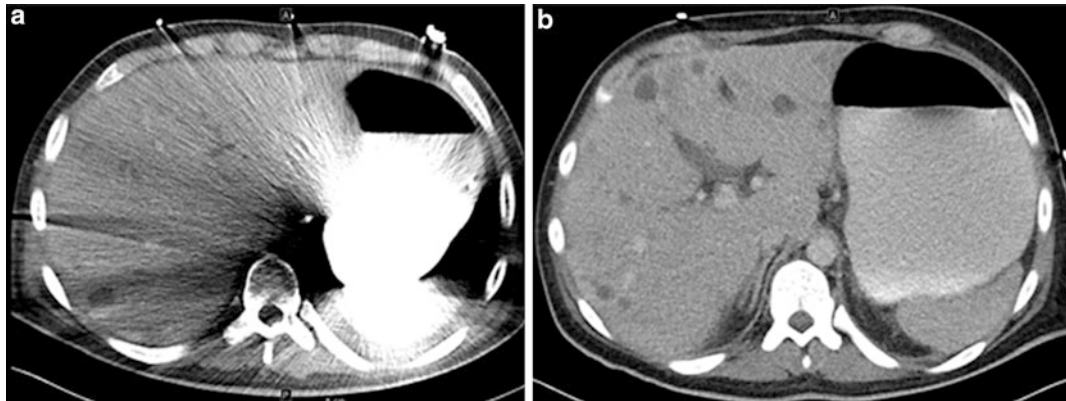
matisierten oder kritisch kranken Patienten auf der Intensivstation eingegangen, bei denen eine Zusatzinformation durch die CT zu erwarten ist.

## 20.1 Darmdiagnostik

### 20.1.1 Ileus

Die Computertomographie (Abb. 57) ermöglicht die genaue Lokalisation einer mechanischen Engstellung oder die Differenzierung zum paralytischen Ileus. Ursächlich für mechanische Passagehindernisse sind neben Briden (50 %) v. a. Hernien und Tumormanifestationen (jeweils 15 %). Weniger häufige Ursachen sind kleinere primäre Tumoren des Darms, entzündlich bedingte Engen und peritoneale Absiedlungen.

Für die CT sollte der Patient wenn möglich enterales Kontrastmittel erhalten. Es kann beim wachen Patienten mit guter Compliance oral gegeben oder über eine Magen- oder Dünndarmsonde appliziert werden. Von enormer Wichtigkeit ist hier erneut die ausschließliche Verwendung wasserlöslichen Kontrastmittels, das für die CT verdünnt (3 %-ig, entsprechend 30 ml Kontrastmittel auf 1 l Wasser)



**Abb. 58 a, b** Für die Computertomographie muss das orale Kontrastmittel verdünnt verabreicht werden (**b**), da ansonsten ausgeprägte Überstrahlungsartefakte auftreten (**a**), die die Diagnostik der angrenzenden Strukturen (z. B. Leberläsionen; **b**) verhindern können

gegeben werden muss, da es sonst zu massiven Überstrahlungsartefakten und eingeschränkter Beurteilbarkeit kommen kann (Abb. 58). Proximal möglicher Engstellen finden sich im CT dann distendierte, kontrastierte Darmschlingen, die man von oral nach aboral verfolgen kann. Findet sich eine Stelle, an der der Darm einen Kalibersprung aufweist (Übergangszone), so ist das mechanische Hindernis erkannt.

Liegen keine extraintestinalen Ursachen der Kompression vor, so muss man von einer mechanischen Passagebehinderung durch Briden ausgehen. Findet sich kein Kalibersprung des Darmes im gesamten Verlauf und ist der Darm durchgehend weit gestellt, so ist von dem Bild eines paralytischen Ileus auszugehen.

- ▶ **Cave** Vorsicht ist geboten bei der enteralen Gabe von Kontrastmittel, wenn Erbrechen oder starke Magensondensekretion vorliegen und Aspirationsgefahr besteht.

### 20.1.2 Entzündliche Veränderungen des Darms

Der Verdacht auf entzündliche Veränderungen kann einerseits bei (blutigen) Diarrhöen wie auch bei steigenden Entzündungsparametern oder Fieber bestehen.

Zur Beurteilung entzündlicher Veränderungen des Darms eignet sich die CT hervorragend (Abb. 59), da sie neben der enteralen Entzündungskomponente auch perienterische Krankheitskomponenten beurteilen kann, was z. B. einer Endoskopie entgeht.

- ▶ Entzündlich veränderte Darmanteile zeigen in der CT eine verdickte Darmwand mit teils erkennbarer Schichtung der Wand. Eine ringförmige Kontrastmittelanreicherung kann als Korrelat eines submukösen Ödems abgrenzbar werden.

Entzündliche Veränderungen können sich akut im Rahmen einer chronisch-entzündlichen Darmerkrankung aufgrund der Gesamtsituation des Patienten manifestieren. Darüber hinaus finden sich typische infektiöse Darmentzündungen wie die neutropenische Kolitis (nekrotisierende Enteropathie/Enterokolitis) v. a. bei Patienten mit Neutropenie (unter Chemotherapie, Leukämie). Dabei kann das gesamte Kolon betroffen sein, häufig findet sich der Hauptbefund jedoch zökal (daher auch der Name Typhlitis). Als Komplikation gilt die Perforation, die im CT am Kontrastmittelaustritt oder fokalen Lufteinschlüssen erkennbar wird.

Die häufig notwendige Antibiotikatherapie auf der Intensivstation kann zu einer pseudomembranösen Kolitis (*Clostridium-difficile*-Toxin-positive Kolitis) führen. In der Computertomographie kann man eine



**Abb. 59** Deutlich verdickte Darmwand bei Divertikulitis im Colon sigmoideum. Umgebende Veränderungen des Fettgewebes ohne Hinweis auf eine (gedeckte) Perforation oder Abszedierung. Zur Distension und Detektion einer Perforation wurde rektal verdünntes Kontrastmittel appliziert

Pan- oder Segmentkolitis mit unterschiedlich starker Darmwandverdickung erkennen. Typisch sind ausgeprägte Wandverdickungen mit Schichtung und kräftiger KM-Anreicherung der Schleimhaut. Häufig sind nur geringe entzündliche Veränderungen des perikolischen Fettgewebes trotz ausgeprägter Wandverdickung erkennbar. Wandverdickungen, murales und submuköses Kontrastmittelverhalten können divergieren.

- **Cave** In bis zu 30 % der Fälle kann die CT die Veränderungen jedoch nicht detektieren, was die Diagnose nicht ausschließt und eine weitere Untersuchung mittels Stuhlkultur und Endoskopie bedingen sollte (Boland et al. 1994).

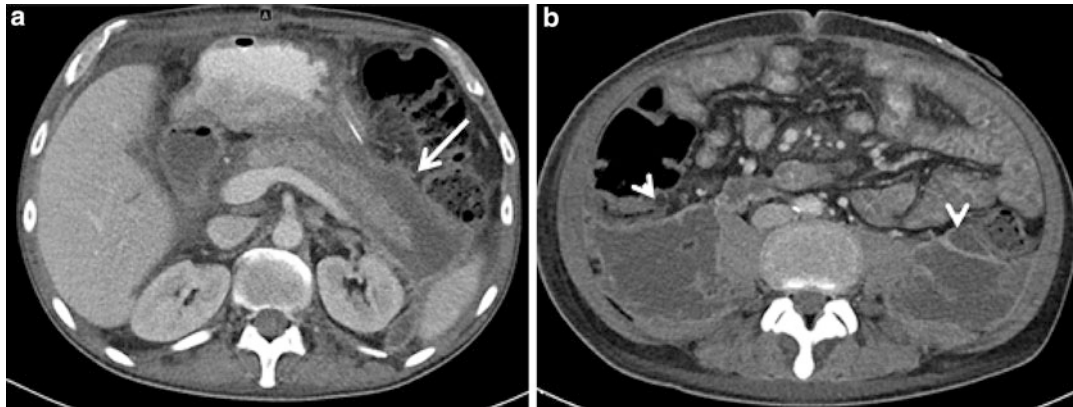
## 20.2 Entzündungsfokussuche

Ein Anstieg der Entzündungsparameter mit oder ohne rezidivierende Fieberschübe, mit abdomineller Symptomatik oder bei Verdacht auf Komplikation nach abdominellem operativem Eingriff ist eine Indikation zur Fokussuche im Abdomen mittels CT. Entzündliche Veränderungen können nahezu jedes Organ einschließlich des Darms betreffen. Typische Foci abdominell sind postoperative Abszesse oder Nahtinsuffizienzen gastrointestinaler Anastomosen, entzündliche Veränderungen der Bauchspeicheldrüse oder Nieren.

### 20.2.1 Abszess

- Die Computertomographie ist mit einer Genauigkeit von über 90 % die Methode der Wahl zur Diagnose eines intraabdominellen Abszesses (Paslawski et al. 2004).

Es besteht meist die Möglichkeit, mittels perkutaner Drainage eine direkte interventionelle Therapie durchzuführen. Abszesse erscheinen in der Regel als Flüssigkeitskollektion (0–40 HU), die von einer unterschiedlich dicken, auch irregulär konturierten Wand umgeben ist, welche ein unterschiedlich starkes Kontrastmittelanreicherungsverhalten aufweist. Sind im Verhalten nicht iatrogen erklärable Gaseinschlüsse nachweisbar (30–50 % der Fälle), so macht dies die Diagnose sehr wahrscheinlich. Intraparenchymatöse Abszesse manifestieren sich als einzelne oder multiple Foci, die als hypointense Areale erkennbar werden und dem sonographischen Erscheinungsbild ähneln.



**Abb. 60** a, b Ausgeprägte nekrotisierende Pankreatitis mit Flüssigkeitsverhalten um das Pankreas (a; Pfeil) und absteigenden Abszessformationen beidseits seitlich des M. psoas (b; Pfeilspitzen)

### 20.2.2 Pankreatitis

Der Verdacht auf Pankreatitis allein ist keine Indikation zu einer CT. Auch der Computertomographie kann in bis zu 14 % der Fälle der Nachweis einer milden Pankreatitis entgehen.

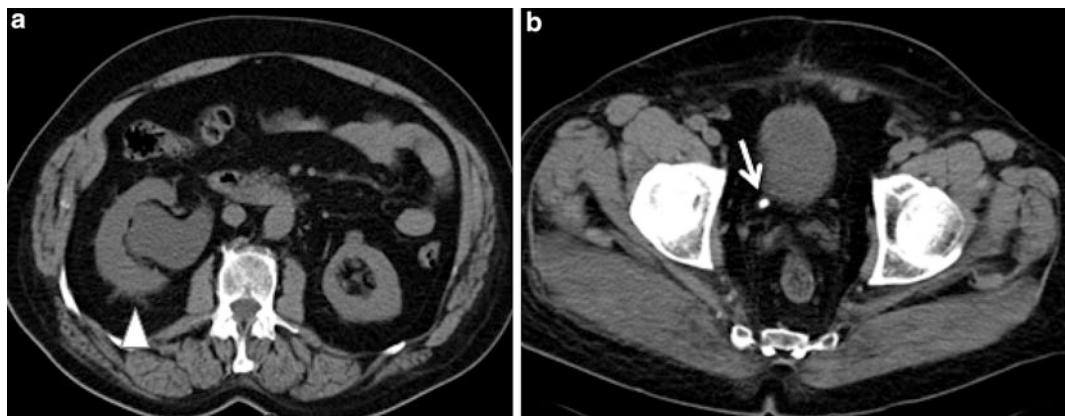
Die Vergrößerung des gesamten Organs oder auch nur einzelner Abschn. wird als früheste Manifestation einer Pankreatitis erkennbar. Mit zunehmender Schwere der Erkrankung erkennt man eine peripankreatische Weichteilentzündung, verdickte peripankreatische Faszien und ein inhomogenes Anreicherungsmuster des Parenchyms. Es treten in 40–50 % der Fälle intra- und extraparenchymatös akute Flüssigkeitsansammlungen auf, die sich in der Hälfte der Fälle spontan wieder zurückbilden. Eine Persistenz kann zu Pankreaspseudozystenbildung führen, die wiederum eine beachtliche Größe entwickeln können und neben Kompressionen der angrenzenden Organe als Komplikation einbluten oder superinfizieren können.

Die Nekrose von Pankreasarealen kann bei schweren Verlaufsformen anhand von fehlender Kontrastmittelaufnahme erkannt werden. Das Erkennen ist insofern relevant, als dass Pankreasnekrosen mit erhöhter Morbidität und Mortalität assoziiert sind. Typisch sind bei nekrotisierender Pankreatitis auch Exsudate, die peripankreatisch erkennbar sind oder sich straßenförmig im Retroperitoneum auf dem M. psoas beidseits ausbreiten können (Abb. 60). Auch diese potenziellen Abszesse sind einer interventionellen Therapie bei Bedarf zumeist zugänglich.

### 20.2.3 Nephritis

Die entzündlichen Veränderungen der Nieren sind oftmals klinisch und sonographisch erkennbar, sodass die CT in der Diagnostik zunächst keine Rolle spielt. Bei fehlendem Therapieansprechen kann die CT zur Diagnostik von Komplikationen wie Nierenabszessen eine Rolle spielen.

Im Initialstadium entzündlicher Veränderungen ist die betroffene Niere im Seitenvergleich vergrößert, kann keilförmige oder radspeichenartige Perfusionsveränderungen zeigen und eine verzögerte Kontrastierung und Ausscheidungsfunktion. Abszesse werden als Flüssigkeitskollektionen erhöhter Dichte erkennbar. Ursächlich kann ein Steinleiden sein. Die Methode der Wahl zum Konkrementnachweis in Nieren und ableitenden Harnwegen ist eine native Low-dose-Computertomographie (Hyams und Shah 2010) (Abb. 61).



**Abb. 61** a, b Natives Abdomen-CT in Low dose-Technik zur Detektion von röntgendichten Nierensteinen. Das Konkrement kann rechts prävesikal (**b**; Pfeil) abgegrenzt werden. Es hat bereits zu einem deutlichen Harnaufstau rechts mit Erweiterung des Nierenbeckens und perirenaler flüssiger Imbibierung geführt (**a**; Pfeilspitze)

#### 20.2.4 Cholezystitis

Die Sonographie gilt als Methode der Wahl für die Erkennung der akuten Cholezystitis. Bei eingeschränkten Untersuchungsbedingungen (Adipositas, Meteorismus, insuffiziente Atemstillstände) bleibt die CT als Abklärungsuntersuchung.

Die akute Entzündung der Gallenblase mit oder ohne Nachweis eines Steins (kalkulös/akalkulös) zeigt eine kontrastmittellaffine Gallenblasenwandverdickung mit perifokaler Flüssigkeit. Die Gallenblase kann erweitert sein ( $>5$  cm). Wie bereits erwähnt, ist die Wandverdickung unspezifisch und kann auch bei anderen Erkrankungen wie Hypoproteinämien, Hepatitiden oder im Rahmen von generalisiertem Aszites, z. B. auf dem Boden einer Leberzirrhose oder Rechtsherzinsuffizienz, auftreten.

Der seltene pericholezystitische Abszess tritt typischerweise in der Nähe des Gallenblasenfundus auf, da dort die Blutversorgung eingeschränkter ist. Das Risiko für eine Perforation liegt 5-mal höher bei einer gangränösen Cholezystitis, der schwersten Verlaufsform, verglichen mit der akuten kalkulösen Cholezystitis. Gas in der Gallenblasenwand kann typischerweise erst 24–48 h nach Auftreten der Entzündung nachgewiesen werden.

Lufteinschlüsse in Gallenblase und Gallenwegen können auch anderer Ursache sein, z. B. posttraumatisch, postoperativ bei bilioenterischen Anastomosen oder nach Papillotomie.

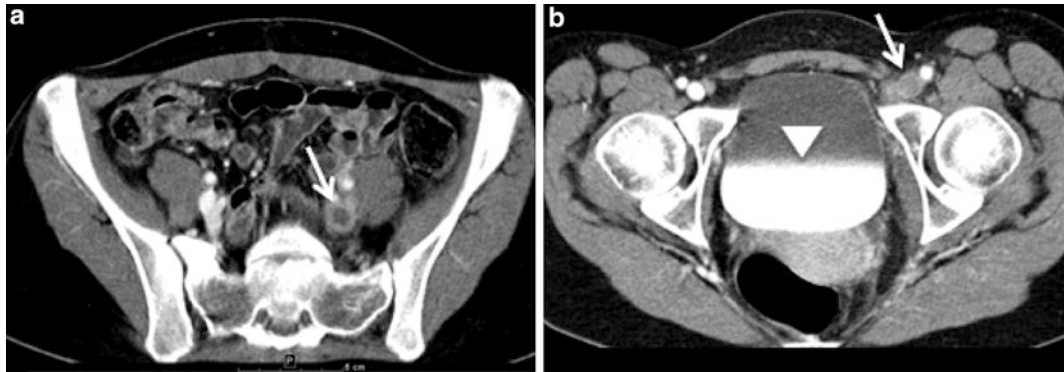
### 20.3 Gefäßdiagnostik und Blutungen

Bei ausgeprägtem Meteorismus können die retroperitonealen Gefäße der Sonographie nicht zugänglich sein. Zudem sind fokale Thromben erschwert detektierbar und Blutungen oftmals diffus, sodass der Computertomographie ein hoher Stellenwert bei der Frage der Gefäßdiagnostik zukommt.

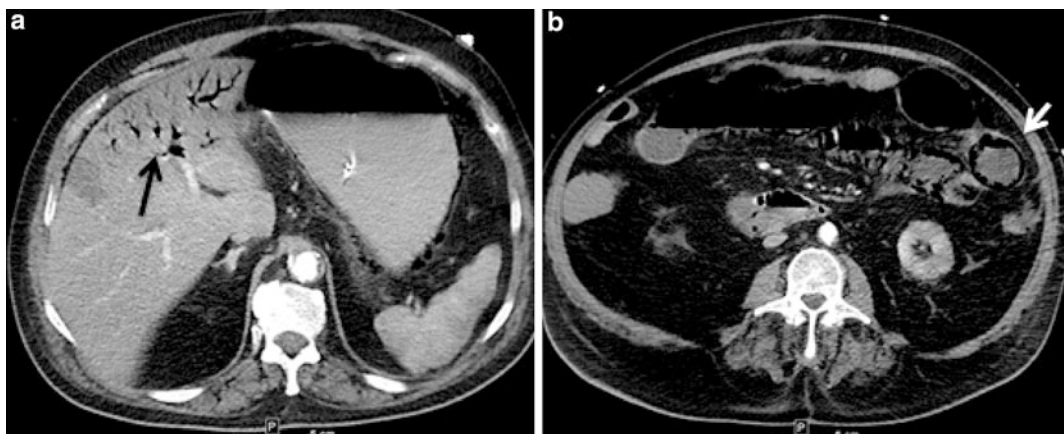
#### 20.3.1 Gefäßverschluss

Neben dem akuten oder chronischen Verschluss der Aorta (Leriche-Syndrom) können Veränderungen der venösen Gefäße bis zum Übergang in die femoralen Venen erkannt werden. Ein Verschluss zeigt sich durch Fehlen der Kontrastierung des Gefäßes für kurze oder längere Abschn. (Abb. 62). Eine Kontrastmittelanreicherung der Wand oder perifokal kann auf eine zusätzliche entzündliche Komponente hinweisen.

Auch mesenteriale Gefäßverschlüsse können im venösen wie arteriellen Schenkel vorkommen: Mittels mehrphasiger, d. h. nativ, arteriell und venös erfasster CT-Angiographie des Abdomens können sämtliche Gefäßabschnitte auf ihre Durchgängigkeit untersucht und ggf. vorliegende Thromben detektiert werden.



**Abb. 62** a, b Ausgedehnte Thrombose der linken Becken-Bein-Venen (a; Pfeile); erkennbar durch fehlende Kontrastierung. Arterielle Gefäße und rechtsseitige Venen regelrecht kontrastiert. Nach Kontrastmittelgabe bereits kräftige Kontrastierung der Harnblase mit Spiegelbildung (b; Pfeilspitze)

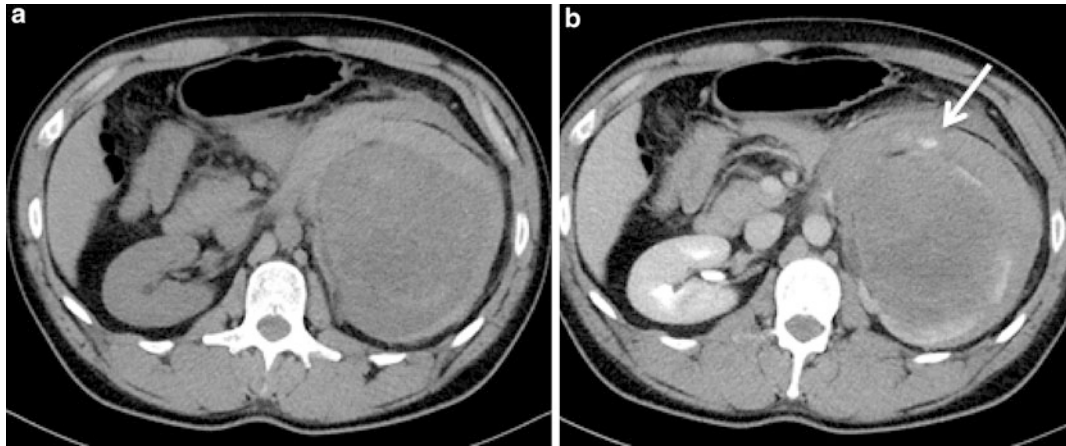


**Abb. 63** a, b Ausgeprägte Lufteinschlüsse in der intrahepatischen Pfortader (a; schwarzer Pfeil) mit begleitenden Perfusionsstörungen des Leberparenchyms. Im Dickdarm findet sich ischämisch bedingt eine deutliche Pneumatosis intestinalis (b; weißer Pfeil). Auch die linke Niere zeigt aufgrund ischämischer Veränderungen bereits Perfusionsdefizite

Häufig liegt eine Laktaterhöhung in Zusammenhang mit einem akuten Abdomen vor, wenn die Durchblutungsstörung an Dünn- oder Dickdarm zu transmuraler Nekrose führt.

Mesenterialarterienverschlüsse zeigen einen Verschluss zumeist der A. mesenterica superior mit nachgeschalteter Minderversorgung der Darmabschnitte, die eine reduzierte Kontrastierung aufweisen (Taourel et al. 1996). Bei einem venösen Gefäßverschluss findet man aufgrund der venösen Abschlussproblematik zumeist ein diffuses Wandödem und eine Hyperperfusion. Die arterielle Minderperfusion führt zur Nekrose der Darmanteile, die sich im späten Stadium durch intramurale Luft äußert (Pneumatosis intestinalis), die über die Pfortader bis in die Leber reichen kann (Abb. 63).

Zur Differenzierung von hepatischen Lufteinschlüssen in den Gallenwegen (Aerobilie) gegenüber Luft in den Pfortaderästen hilft das Verteilungsmuster: Portale Luft findet sich zumeist in den kranialen Leberanteilen peripher; Aerobilie ist zumeist in beiden Leberlappen auch zentral abgrenzbar. Nicht immer ist ein Thrombus detektierbar in der Abdomen-CT. Dennoch kann es zu einer Pneumatosis intestinalis kommen, z. B. im Rahmen von nicht okklusiven Mesenterialischämien (NOMI) unter Katecholamin-gabe. Auch medikamentöse Ursachen (Chemotherapie) können zu einer klinisch häufig inapparenten Form der Pneumatosis führen (Lee et al. 2013).



**Abb. 64** a, b Abdomen-CT auf Höhe der Nieren in nativer (a) und venöser (b) Phase: Man erkennt ein großes Hämatom der linken Niere mit Anteilen unterschiedlichen Alters und Dichtewerten. Nach Kontrastmittelgabe erkennbare aktive Blutung als Kontrastmittelaustritt am vorderen Pol (Pfeil)

- Für die Abklärung von arteriellen Gefäßstenosen und -verschlüssen ist eine gezielte CT-Untersuchung in Form der sog. CT-Angiographie (CTA) notwendig, die mit höherem Fluss und höheren Dosen von i.v.-Kontrastmittel sowie dünneren Schichten angefertigt wird. Unabdingbar für die korrekte Planung einer CTA ist die gezielte Fragestellung.

### 20.3.2 Abdominale Blutungen

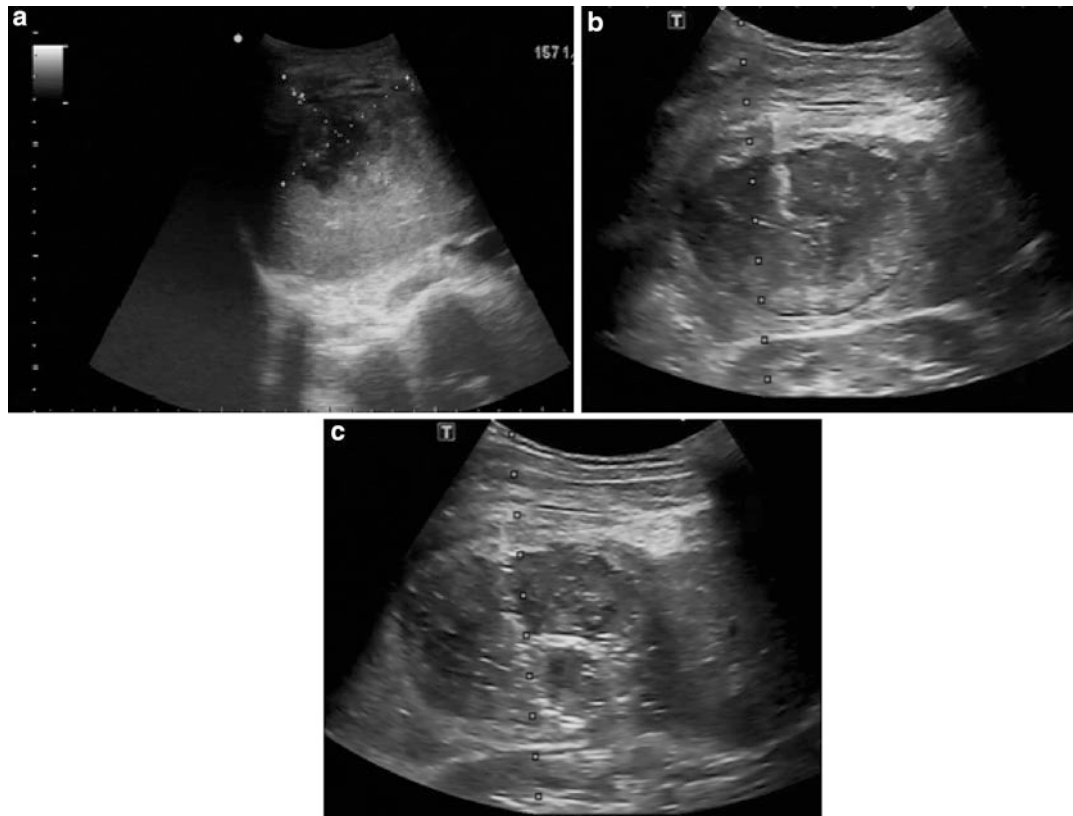
Abdominale Hämatome zeigen je nach Alter und Ausdehnung ein unterschiedliches CT-Erscheinungsbild. Zumeist haben akute Blutungen HU-Werte von  $>30$  und sind so von seröser Flüssigkeit (HU-Werte um 0, höher mit zunehmenden Proteinanteilen) differenzierbar. Ausnahmen sind dabei nur Patienten mit Anämie, hier können auch niedrige Werte vorliegen. Höhere Hounsfield-Einheiten finden sich bei geronnenem Blut. Typischerweise liegen zumeist gemischte Formen vor.

Die aktive Blutung kann in der CT anhand eines fahnenförmigen Kontrastmittelaustritts erkannt werden (Jeffrey et al. 1991; Abb. 64). Auch arterielle Blutungen sind dabei oftmals besser in der venösen Phase detektierbar, da sich das kontrastierte Blut erst langsam extravasal sammelt und dann mit hoher Dichte abgrenzbar ist. Blutungen können posttraumatisch, spontan oder medikamenteninduziert auftreten und sowohl intraabdominell, retroperitoneal als auch intraparenchymal oder intraenterisch auftreten.

- Bei der Suche nach einer Blutung im Gastrointestinaltrakt sollte die CT ohne orale Kontrastierung erfolgen, da das hyperdense orale Kontrastmittel den Austritt von ebenfalls hyperdensem intravasulärem Kontrastmittel maskieren kann.

## 21 Interventionelle Radiologie des Abdomens

Zumeist handelt es sich bei interventionellen Eingriffen bei Intensivpatienten um eine Entlastung von sonographisch oder computertomographisch detektierten abdominellen Flüssigkeitskolektionen oder Abszessformationen. Gelegentlich kann bzw. muss bei der Frage nach mesenterialer Ischämie, besonders NOMI, auch eine digitale Subtraktionsangiographie (DSA) zur weiteren Diagnostik und ggf. Therapie erfolgen.



**Abb. 65** a-c In der Sonographie Nachweis eines heterogenen intraparenchymalen Leberabszesses (a). Unter sonographischer Steuerung Einlage eines Pigtail-Katheters in die Abszessformation (b, c)

## 21.1 Sonographie- oder CT-gesteuerte Drainage

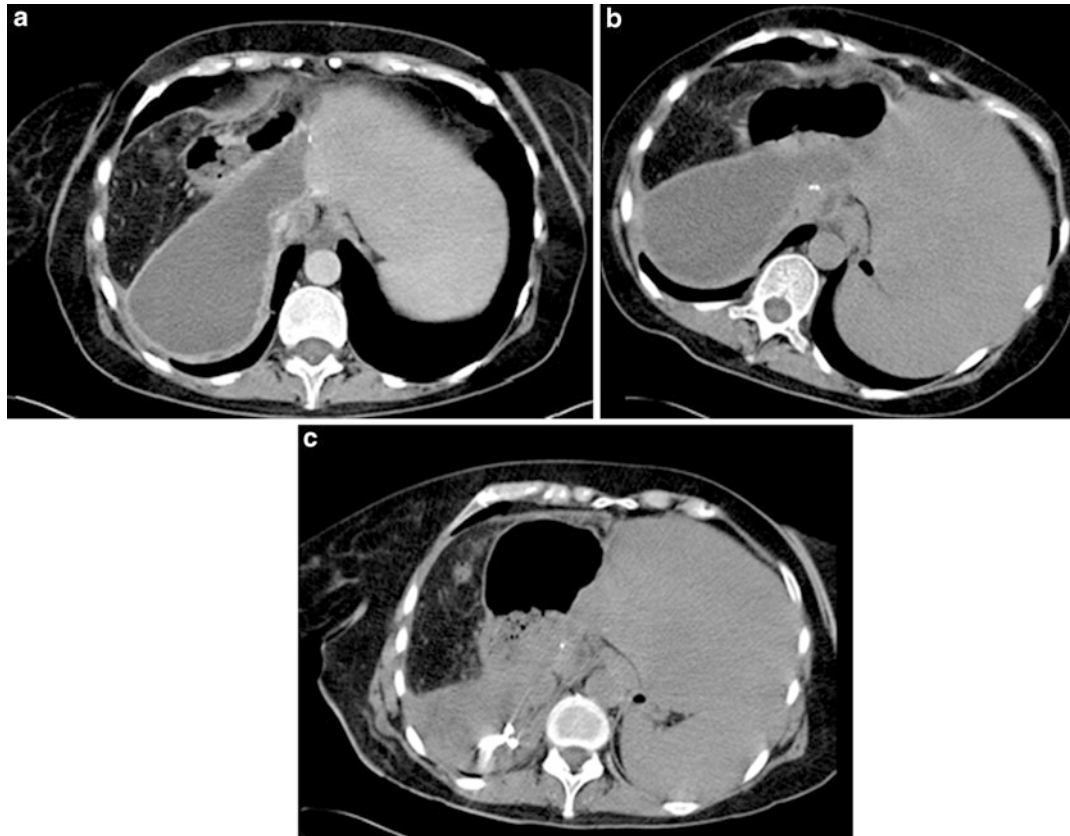
Abszessverdächtige abdominelle Flüssigkeitskolektionen sollten aufgrund der leichteren Handhabung und auf der Station durchführbaren Intervention sonographisch gesteuert entlastet werden, wenn die Verhalte in der Sonographie detektiert werden können und bei sicherer Darstellung des Punktionsweges dort erreichbar erscheinen. Bei komplexeren, ggf. auch nur anguliert erreichbaren Abszessformationen mit der Gefahr einer Verletzung angrenzender Organe, z. B. eines Pneumothorax, sollte die Intervention ggf. CT-gesteuert erfolgen, wenn der Patient stabil und transportfähig ist. In der Sonographie kann der Verhalt eingestellt und angelotet werden und unter stetiger Ultraschallkontrolle üblicherweise in Seldinger-Technik eine Drainage eingebracht werden (Abb. 65).

In der CT erfolgt nach nativer oder ggf. kontrastverstärkter Bildgebung die Festlegung des Zugangsweges. Anschließend erfolgt auch hier über Punktion und drahtgeführte Sondierung die Drainagenanlage (Gazelle und Mueller 1994) (Abb. 66). Die CT-gesteuerte Drainage gelingt technisch in über 90 % der Fälle.

## 22 Zentrales Nervensystem: Neuroradiologie

Neuroradiologische Fragestellungen auf der Intensivstation sind vielfältig und abhängig von der Grunderkrankung des Patienten. In der Regel sind die Patienten nur sehr eingeschränkt neurologisch beurteilbar. Somit können Komplikationen teilweise erst in sehr fortgeschrittenem Stadium klinisch





**Abb. 66 a-c** Patient mit Fieber nach Hemihepatektomie rechts. In der Abdomen-CT erkennbarer, randständig kontrastmittelfaffiner Verhalt am rechtsseitigen Leberabsetzungsrand. Ventral davon erkennt man die bereits nach kranial umgeschlagene rechte Kolonflexur. In der im Anschluss durchgeführten CT-gesteuerten Abszessdrainage erfolgt nach Darstellung des Verhaltes und Auswahl des Zugangsweges die Einlage eines Korbchenkatheters

erkennbar sein. Daher gebührt neuroradiologischer Bildgebung in der Intensivmedizin ein besonderer Stellenwert.

Die sinnvollerweise am häufigsten durchgeführte Untersuchung ist die Computertomographie. Sie ist nahezu ubiquitär verfügbar und sehr schnell, sodass die Überwachung des Patienten während der Untersuchung wesentlich einfacher zu bewerkstelligen ist als bei der MRT, die speziellen Fragestellungen vorbehalten bleibt.

In der Regel wird zunächst eine Nativ-CT des Kopfes durchgeführt. Das Nativ-CT des Gehirns ermöglicht Aussagen über bestehende Ödeme, Blutungen oder stattgehabte Ischämien. Eine Kontrastmittelgabe ist häufig nicht erforderlich, sondern nur sinnvoll, wenn septische Streuungsherde, Metastasen, Abszesse oder die Darstellung der arteriellen oder venösen Blutleiter Teil der Fragestellung sind. Dennoch kann es bei der Untersuchung von Intensivpatienten sinnvoll sein, sowohl native als auch kontrastmittelgestützte Untersuchung hintereinander durchzuführen: Die native Untersuchung ermöglicht den Ausschluss von Blutungen und Ödemen. Blutungen können nach Kontrastmittelgabe maskiert sein, was die native Untersuchung erforderlich macht.

Bei Intensivpatienten wird häufig eine Untersuchung von Thorax und Abdomen durchgeführt, die in der Regel nach Kontrastmittelgabe erfolgt. Somit ist es grundsätzlich sinnvoll – da das Kontrastmittel dem Patienten bereits verabreicht worden ist –, auch den Kopf ein zweites Mal zu untersuchen, ohne eigens Kontrastmittel geben zu müssen.

Es kommt immer wieder vor, dass im Nachgang der Sofortbefundung Fragen auftauchen, die nur nach Kontrastmittelgabe zu klären sind und die eine erneute Untersuchung inklusive erneutem Intensivtransport erforderlich machen würden (Übersicht).

**Kontrastmittelgestützte Computertomographie** Radiologen und Intensivmediziner sollten daran denken, zur Vereinfachung des Workflows nach einer kontrastmittelgestützten Thorax-/Abdomen-CT ggf. eine Schädeluntersuchung zu ergänzen. Es erfordert lediglich eine Umpositionierung der Arme, die während einer Thorax-/Abdomenuntersuchung nach Möglichkeit eleviert und bei einer Schädel-/Halsuntersuchung dem Körper anliegend gelagert sein sollten.

Während der Umlagerung verstreicht etwas Zeit, was der intrakraniellen Kontrastierung zugute kommt: Bei Untersuchungen des Gehirns sollte zwischen Applikation des Kontrastmittels und Bildakquisition 5–10 min abgewartet werden.

Pathologien im Hirnparenchym, seien sie entzündlicher oder tumoröser Genese, führen häufig zu einer Schädigung der Blut-Hirn-Schranke. Das anflutende Kontrastmittel dringt an den Stellen der Schädigung in das Gewebe ein und reichert sich dort an. Akquiriert man die Bilder zu früh, ist das Kontrastmittel noch in den Gefäßen vorhanden, und eine etwaige Kontrastmittelanreicherung des Gewebes kann übersehen werden oder noch nicht aufgetreten sein.

## 22.1 Hirnödem

Ein Hirnödem kann sowohl exogene als auch endogene Ursachen haben. In Frage kommen neben metabolischen Störungen auch Hypoxie und Hypoxämie sowie Neoplasien, Intoxikationen, Traumata und Entzündungen. Das Hirnödem betrifft im Cortex insbesondere den Intrazellularraum, im Mark vorwiegend den Extrazellularraum.

Schwerwiegendste Komplikation eines Hirnödems ist die sogenannte Einklemmung. Man unterscheidet fünf Formen der Einklemmung (Übersicht).

### Die 5 Formen der Herniation

- Lateralisierte transtentorielle/unkale Herniation: Hierbei herniert der Uncus gyri parahippocampalis über den Tentoriumrand mit Kompromittierung u. a. des N. oculomotorius (weite Pupille) und des Mittelhirns.
- Zentrale transtentorielle Herniation nach kaudal mit Verlagerung des Mittelhirns und diencephalen Störungen. Gefahr von Ischämien im Posteriorstromgebiet.
- Zentrale transtentorielle Herniation nach rostral durch erhöhten Druck in der hinteren Schädelgrube mit Verlagerung des Kleinhirnüberwurms. Gefahr von Kleinhirnschämien.
- Cinguläre Herniation mit Verlagerung des Gyrus cinguli unter die Falx und Abklemmung der A. pericallosa. Gefahr frontaler Ischämien.
- Foraminale/tonsilläre Herniation mit Verlagerung der Kleinhirntonsillen in das Foramen magnum und Kompression der Medulla oblongata und Gefahr zerebellärer Ischämien.

Der bildmorphologische Nachweis gelingt computertomographisch. Hauptaugenmerk sollte auf den basalen Zisternen liegen. Sind diese nicht mehr abgrenzbar, ist von einem Hirnödem auszugehen. Zusätzlich sollte die Weite der äußeren Liquorräume bewertet werden. Bei fortgeschrittenen Ödemen ist zunehmend auch die Mark-Rinden-Grenze nicht mehr scharf abgrenzbar. Der Bildeindruck kann

**Tab. 8** Erscheinung von Blut im MRT im zeitlichen Verlauf

Zeitpunkt	Molekül	T1-Gewichtung	T2-Gewichtung
0–12 h	Oxy-Hb	iso-/hypointens	hyperintens
12–72 h	Desoxy-Hb	iso-/hypointens	hypointens
3–7 Tage	Met-Hb (intrazellulär)	hyperintens	hypointens
7–28 Tage	Met-Hb (extrazellulär)	hyperintens	hyperintens
>28 Tage	Hämosiderin	iso-/hypointens	hypointens

Extraaxiale Blutungen werden nach ihrer Lokalisation eingeteilt:

abhängig vom Alter des Patienten und damit einhergehendem Stadium der Hirninvolution stark variieren. Grundsätzlich ist ein Hirnödem auch in der MRT nachweisbar.

## 22.2 Blutungen und Hämatome

Nachweismethode der Wahl ist die CT. Grundsätzlich ist der Blutungsnachweis aber auch MR-tomographisch mit gleicher, bzw. bei geringen Blutmengen und zeitlicher Latenz zum Blutungsereignis auch mit etwas höherer Sensitivität möglich.

Blutungen werden nach ihrer Lokalisation in intraaxial und extraaxial eingeteilt. Intraaxiale Blutungen befinden sich innerhalb des Parenchyms, extraaxiale Blutungen außerhalb. Bei spontanen intraaxialen Hämatomen ist zudem die Unterscheidung in typische und atypische Blutungen von Belang. Eine typische Blutung findet sich in den Stammganglien, dem Hirnstamm, dem Pons oder dem Kleinhirn. Der Patient ist meist fortgeschrittenen Alters und hat ein durch arterielle Hypertonie vorgeschädigtes Hirn. Liegt eine Blutung in dieser Konstellation vor, kann man als Ursache der Blutung die mikrovaskuläre Schädigung des Hirns annehmen. Man spricht von einer typischen hypertonen Blutung.

Ist die Blutung anders lokalisiert, der Patient jünger oder ohne vorgeschädigtes Hirn, spricht man von einer atypischen Blutung. Bei diesen Blutungen muss die Ursache gesucht (CTA, MRT und im Zweifel DSA) und gefunden werden. Mögliche Ursachen atypischer intraaxialer Blutungen sind beispielsweise durale Fisteln, eingeblutete Ischämien, Metastasen, Sinusvenenthrombosen, Kavernome etc.

- ▶ Grundsätzlich ist die primäre Nachweismethode von Blutungen die CT, in der akute Blutungen hyperdens imponieren. Ältere Blutungen werden zunehmend hypodens und entwickeln ein umgebendes, ebenfalls hypodenses Ödem des Parenchyms.

Hyperakute Blutungen zeichnen sich häufig durch eine Spiegelbildung aus. Der räumlich unten gelegene (bei Rückenlage des Patienten der hintere) Anteil ist durch Sedimentieren der Korpuskeln hyperdens, während der obere Anteil hypodens ist. Das Signalverhalten von Blutungen im MRT ist analog Tab. 8.

### 22.2.1 Epidurales Hämatom (EDH)

Beim epiduralen Hämatom (Abb. 67) handelt es sich in der Regel um eine Blutung aus Ästen der A. meningea media zwischen Dura mater und Schädelkalotte. Meist sind diese Blutungen traumatisch bedingt. Nicht selten findet sich eine Kalottenfraktur im Bereich des Hämatoms. Typisch ist ein zwei-zeitiger klinischer Verlauf: Nach erlittenem Trauma erholt sich der Patient wieder, trübt dann aber sekundär ein.

Bildmorphologisch fallen epidurale Hämatome im CT durch eine bikonvexe hyperdense Form auf, die zum einen durch die Kalotte und zum anderen durch die aufgespannte Dura bedingt ist. Die Blutung



**Abb. 67** Computertomographie einer akuten epiduralen Blutung rechts parietal



**Abb. 68** Chronische subdurale Hämatome über beiden Hemisphären, linksseitig mit akuter Einblutung. Die korpuskulären Blutungsbestandteile sind sedimentiert

überschreitet die Schädelnähte in der Regel nicht. Das Erscheinungsbild im MRT ist variabel und hängt vom Alter der Blutung ab (Tab. 8).

### 22.2.2 Subdurales Hämatom (SDH)

Blutung aus Brückenvenen zwischen Dura mater und Arachnoidea (Abb. 68). Dieser Blutungstyp tritt häufig bei Patienten mit eingeschränkter Gerinnung auf. Bei älteren Patienten kann selbst ein großes subdurales Hämatom klinisch erstaunlich wenig Symptome verursachen. Ein akutes subdurales Hämatom ist hyperdens, ein chronisch subdurales Hämatom hypodens im CT. Ausnahme stellen Subdurallhämatome bei Patienten mit starker Anämie dar. Hier kann auch ein akutes Hämatom iso-/hypodens zum Hirngewebe sein.



**Abb. 69** CT einer akuten Subarachnoidalblutung. Ausgedehnte hyperdense Blutmengen in den basalen Zisternen. Zudem umschriebene intrazerebrale Blutung rechts frontobasal

In der Regel ist eine Kontrastmittelgabe zum Ausschluss eines Subdurallhämatoms nicht erforderlich, kann jedoch im Einzelfall hilfreich sein: Auf dem Weg zur Chronifizierung des Hämatoms, bildmorphologisch von hyperdens zu hypodens, ist irgendwann der Zeitpunkt erreicht, an dem das Hämatom computertomographisch die gleiche Dichte hat wie das umgebende Hirnparenchym. Dann kann ein Hämatom dem Blick entgehen bzw. nur indirekt durch eine Verlagerung der Mittellinie auffallen. In solchen Fällen hilft eine Kontrastmittelgabe, da das Kontrastmittel das Gehirn perfundiert, das Hämatom aber nicht.

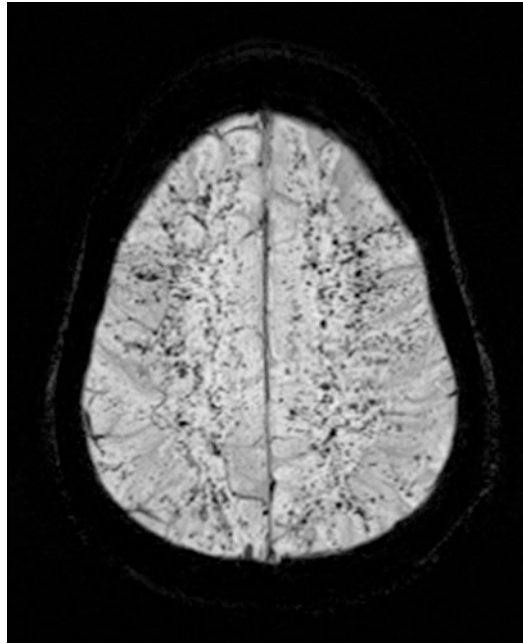
Der Nachweis eines subduralen Hämatoms im MRT ist ebenfalls problemlos möglich. Das Signalverhalten ist analog Tab. 8.

### 22.2.3 Subarachnoidalblutung (SAB)

Es kommt zum Blutaustritt unterhalb der Arachnoidea in den Liquorraum (Abb. 69). Ursächlich ist in 80 % der Fälle ein rupturiertes Aneurysma der Hirnarterien. Alternative Ursachen können u. a. ein stattgehabtes Trauma oder Fisteln sein. In etwa 10 % der Fälle bleibt die Ursache ungeklärt. Wichtig bei unauffälliger zerebraler Angiographie ist es, die spinale Achse mittels MRT zu untersuchen, da sich auch hier die Blutungsquelle verbergen kann.

Je nach Lokalisation und Konfiguration wird ein rupturiertes Aneurysma neurochirurgisch mittels Clipping oder neuroradiologisch mittels Coiling verschlossen. Dies dient der Sekundärprophylaxe einer erneuten Blutung, deren Wahrscheinlichkeit in den ersten Tagen nach Blutung deutlich erhöht ist (20 % in den ersten 14 Tagen, Letalität einer Rezidivblutung bis 70 %). Somit sollte eine Subarachnoidalblutung zügig versorgt werden; das Zeitfenster ist jedoch deutlich größer als bei der Schlaganfallbehandlung.

Die Letalität einer SAB ist nach wie vor hoch: Von den Patienten, die die Klinik erreichen, überlebt ein Drittel nicht; ein weiteres Drittel hat persistierende Defizite. Wichtigste Komplikationen bei zunächst überlebter SAB sind der Vasospasmus, der mit konservativen und ggf. wiederholten interventionellen



**Abb. 70** MRT („susceptibility-weighted“ Sequenz; SWI) mit diffusen Scherverletzungen (Hypointensitäten als Korrelat kleiner Blutungen)

Methoden (intraarterielle Nimodipin-Gabe, Ballon-PTA) behandelt werden kann, und der malresorptive Hydrozephalus.

Der bildmorphologische Nachweis einer SAB gelingt nicht immer. Grundsätzlich ist die CT das Mittel der Wahl, bei sehr geringen Blutmengen und bereits einige Tage vergangenem Blutungsereignis kann die CT aber unauffällig sein. Die MRT ist mit blutungssensitiven Gradientenechosequenzen und der FLAIR-Sequenz der CT überlegen. Bei typischer Klinik und unauffälliger Bildgebung sollte jedoch eine Lumbalpunktion durchgeführt werden, um eine stattgehabte Blutung auszuschließen (Blut oder Siderophagennachweis im Liquor).

## 22.3 Schädel-Hirn-Trauma (SHT)

### 22.3.1 Scherverletzungen

Häufigste Folge von Schädel-Hirn-Traumata sind Scherverletzungen (engl. „diffuse axonal injury“ – DAI). Aufgrund des Traumamechanismus (Akzeleration/Dezeleration) kommt es zum Dehnen oder Abreißen von Nervenfasern. Je nach Ausprägungsgrad imponieren somit passagere oder dauerhafte Funktionsstörungen. Werden gleichzeitig Blutgefäße beschädigt, lassen sich in der weißen Substanz multiple petechiale Blutungen nachweisen.

Diagnostische Methode der Wahl ist die MRT, deren spezielle Gradientenechosequenzen (T2\* oder SWI) sehr sensitiv für Blutabbauprodukte sind (Abb. 70). Dennoch gelingt es im MRT nur, einen Bruchteil der vorhandenen Scherverletzungen nachzuweisen. Durch den Schädigungsmechanismus sind sie meist dort zu finden, wo Gewebe unterschiedlicher Konsistenz benachbart ist. Am häufigsten findet man sie an der Grenze zwischen weißer und grauer Substanz sowie im Corpus callosum, dessen Splenium am häufigsten betroffen ist.

Im CT ist der Nachweis von Scherverletzungen nur in seltenen und sehr ausgeprägten Fällen möglich. Reagiert der Patient nach einem Trauma nicht adäquat, sollte bei unauffälligem CT-Befund eine MRT mit Gradientenechosequenzen und T2-gewichteten Sequenzen erwogen werden. Letztere dienen dem Nach-

weis nicht hämorrhagischer Scherverletzungen, die in T2-gewichteten Sequenzen hyperintens imponieren. Auch hier sind nur ausgedehnte Befunde bildmorphologisch fassbar.

### 22.3.2 Hirnkontusion

Hirnkontusionen kommen häufig zusammen mit Scherverletzungen vor. Im Gegensatz zu Scherverletzungen handelt es sich hierbei um Nekrosen, Blutungen und Ödemen der grauen Substanz, meist durch unmittelbare Druckwirkung verursacht. Daher treten Kontusionen besonders häufig an Stellen auf, an denen der Kortex besonders „unebenen“ Stellen der Kalotte aufliegt. Das sind neben der Frontobasis insbesondere die Felsenbeine. Kontusionen finden sich sowohl am Ort der Krafteinwirkung („Coup“) als auch auf der Gegenseite („Contre-Coup“). Häufig ist die Ausprägung des „Contre-Coup“ stärker als die des „Coup“.

Im CT können Kontusionen gemischt hypo-/hyperdens aussehen. Häufig ist das initiale CT unauffällig.

- ▶ Wichtig ist, dass Kontusionen sich erst bis zu 24 h nach einem Trauma entwickeln können. Somit ist bei klinischem Verdacht eine Kontrolluntersuchung obligat.

Zeigen sich im intrakraniellen CT-Bild Luftsinschlüsse, so kann dies ein indirektes Zeichen für ein offenes Schädel-Hirn Trauma sein. Auch ohne nachweisbare Fraktur kann eine Antibiotikatherapie zur Meningitisprophylaxe diskutiert werden.

### 22.3.3 Carotis-Cavernosus-Fistel

Ein seltenes Krankheitsbild nach Schädel-Hirn-Trauma, jedoch mit sehr typischer Klinik, ist die Carotis-Cavernosus-Fistel (CCF). Teilweise mit einiger Latenz kommt es durch Schädigung von Ästen der A. carotis externa und/oder A. carotis interna zu Fistelungen in den Sinus cavernosus. Durch den venösen Rückstau in die Orbita kommt es zu ziliaren Injektionen, im Extremfall zum Exophthalmus, Sehstörungen und im Verlauf von einigen Tagen zur Erblindung. Die Diagnostik stützt sich auf die DSA, die dann auch über einen interventionellen Verschluss der Fistel die Therapie bietet.

## 22.4 Ischämie, Hirninfarkt

Besteht der klinische Verdacht auf eine Ischämie, ist zunächst eine CT indiziert. Hier stellen sich Infarkte zunehmend hypodens dar (spätestens nach etwa 3 h). Bei klinischer Konsequenz mit möglicher Lyseindikation (sowohl lokal als auch systemisch) sollte eine CT-Angiographie durchgeführt werden. Hierbei können der Gefäßverschluss direkt detektiert und eventuelle Therapieentscheidungen getroffen werden. Eine weitere Möglichkeit stellt das Perfusions-CT dar. Dabei wird ein Kontrastmittelbolus unter hohem Fluss injiziert und gleichzeitig repetitiv die Kontrastierung des Hirnparenchyms gemessen. So kann das territoriale Ausmaß einer Hypoperfusion auch im Hinblick auf eine mögliche Kollateralisierung über andere Gefäße bestimmt und mit Einschränkungen das Ausmaß der entstehenden Ischämie vorhergesagt werden.

- ▶ **Cave** Zu beachten ist jedoch, dass ein Perfusionsbild immer nur eine Momentdarstellung liefert. Insbesondere Blutdruckschwankungen können das Perfusionsbild durch Veränderungen des Perfusionsdrucks in den Kollateralkreisläufen deutlich verändern.

Das CT-Bild lässt häufig Rückschlüsse auf die Ätiologie des Schlaganfalls zu: Bei einer kardiogenen Emboliequelle sind in der Regel mehrere Gefäßterritorien in beiden Hemisphären betroffen. Ist eine Stenose eines Gefäßes ursächlich, findet sich die Ischämie im Versorgungsgebiet dieses Gefäßes. Weitere

Infarktmuster sind z. B. hämodynamisch: Beispielsweise auf dem Boden einer vorbestehenden Carotisstenose kann sich im Zuge einer Hypotonie eine Ischämie im Bereich der „Wasserscheide“ zwischen Anterior- und Mediastromgebiet entwickeln. Hierdurch ergibt sich ein sehr charakteristisches Bild aus perlschnurartig zwischen Media- und Anteriorstromgebiet gelegenen Infarktarealen.

Grundsätzlich ist der Nachweis von Ischämien im MRT ebenfalls möglich. In der Diffusionssequenz lässt sich ein ischämisches Areal bereits ab etwa 20–30 min nach Symptombeginn erkennen. Nach etwa 3 h zeigen sich zunehmende Veränderungen in der FLAIR-Sequenz („fluid attenuated inversion recovery“). Die Veränderungen in der Diffusion verschwinden um den 8. Tag, während die Veränderungen in der FLAIR im Rahmen der Alterung des Infarkts bestehen bleiben. Die Darstellung der Gefäße ist sowohl mit als auch ohne Kontrastmittel möglich. Zusätzlich kann analog zur CT eine Perfusionsmessung durchgeführt werden.

Der Vorteil in der MRT liegt neben der Strahlenfreiheit in der frühzeitigen sicheren Diagnostizierbarkeit von Ischämien, weshalb viele Kliniken diesem Verfahren den Vorzug geben. Nachteilig sind die deutlich höhere Messzeit (CT 3–5 min, MRT >20 min) und die wesentlich aufwendigere Lagerung und Überwachung, gerade bei Intensivpatienten. Insbesondere bei zeitkritischen Diagnosen wie der zerebralen Ischämie wird daher in der Regel das schnellste diagnostische Verfahren, die CT, angewendet.

► „Time is brain.“

Therapeutisch kann, sofern keine Kontraindikationen vorliegen, eine systemische Lyse durchgeführt werden, falls die Symptome nicht länger als 4,5 h bestehen. Jenseits dieses Zeitfensters (maximal 6 h, in der A. basilaris auch länger), bei Verschlüssen der ACI, des Carotis-T, der A. basilaris, längerstreckigen Mediaverschlüssen oder bei Vorliegen von Kontraindikationen gegen eine systemische Lyse ist eine lokale interventionelle Lyse vorzuziehen. Hierbei wird der Thrombus interventionell entfernt. Dies kann bei kooperativem Patienten (rechtshemisphärisches Ereignis) in wachem Zustand durchgeführt werden, bei unkooperativem Patienten ist eine Behandlung in Analgosedierung oder Narkose notwendig. Hierbei ist es sinnvoll, aufgrund der zeitkritischen Gesamtsituation so viel Zeit zu sparen wie möglich und z. B. statt einer gesonderten arteriellen Druckmessung sich der dann größer dimensionierten arteriellen Schleuse des Interventionalisten zu bedienen.

## 22.5 Hypoxischer Hirnschaden

Aufgrund einer Stagnation des Blutflusses kann es zu einem globalen hypoxischen Hirnschaden kommen. Je nach Dauer und Grad der resultierenden Hypoxie imponieren unterschiedliche klinische und radiologische Befunde. Besonders sensibel reagiert der Kortex, er ist daher als erstes betroffen. Es kann zu vorübergehenden oder auch dauerhaften Funktionseinbußen kommen. Bildmorphologisches Korrelat ist hierbei ein Ödem, das zunächst im Bereich der Grenzgebiete der arteriellen Versorgungsgebiete nachweisbar ist. Zudem kann es zu einer kortikalen Störung der Blut-Hirn-Schranke kommen, die besonders in der subakuten Phase nachweisbar ist. Bei schwer betroffenen Patienten zeigt sich im akuten Stadium ein zytotoxisches Hirnödem. Im subakuten Stadium kommt es zu einem zytotoxischen und einem vasogenen Hirnödem. Im chronischen Stadium findet sich ein Nebeneinander von Gliosen und Nekrosen. Der Nachweis gelingt sowohl im CT als auch im MRT; das MRT ist jedoch insgesamt sensitiver.

Im CT zeigt sich ein ausgedehntes Hirnödem mit verstrichenen äußeren Liquorräumen, deutlich eingengtem Ventrikelsystem und engen basalen Zisternen. Die Mark-Rinden-Differenzierung ist aufgehoben, in manchen Fällen invertiert, beginnend an den „Wasserscheiden“ zwischen Media-, Anterior- und Posteriorstromgebiet, später ubiquitär. Die Stammganglien imponieren hypodens.



- ▶ Wichtig zu bemerken ist, dass dieser bildmorphologische Zustand keine Rückschlüsse auf die Prognose des Patienten zulässt. Wenngleich prognostisch sicherlich ungünstig, gibt es einzelne Patienten, die sich vollständig erholen.

Durch die ausgedehnte Hypodensität des Hirnparenchyms können die Sinus, die Falx oder auch die Hirnarterien im Vergleich hyperdens erscheinen. Dies sollte nicht fälschlich als Zeichen einer Subarachnoidalblutung fehlgedeutet werden. Weitere Befunde im CT können kortikale Hyperdensitäten sein, die Korrelat eingebluteter laminärer Nekrosen sind.

Der MRT-Befund folgt, ähnlich der Abfolge beim ischämischen Schlaganfall, einem zeitlichen Schema. Im akuten Stadium zeigt sich das Hirnödem analog zum CT-Befund. In T2-gewichteten Sequenzen findet sich eine Hyperintensität der Stammganglien. Zusätzlich sind Diffusionsstörungen mit Verminderung des ADC-Wertes in Kortex, Stammganglien und teilweise auch zerebellär abgrenzbar.

## 22.6 Sinusvenenthrombose (SVT)

Die Sinusvenenthrombose kann klinisch höchst variabel symptomatisch werden und ist eines der „Chamäleons der Medizin“. Häufigste Erscheinungsform auf der Intensivstation ist die atypische zerebrale Blutung, die sich häufig frontal und parietal im falxnahen Marklager findet und auch beidseitig auftreten kann.

Die Sinusvenenthrombose ist sowohl im MRT als auch im CT gut nachweisbar. Bei der MRT wird beispielsweise eine sog. venöse Phasenkontrastangiographie oder aber eine venöse Time-of-flight-Angiographie durchgeführt. Für beide Verfahren ist keine Kontrastmittelapplikation erforderlich.

Beim CT muss eine Kontrastmittelgabe erfolgen. Hier werden dünne (in der Regel 1 mm) Schichten zur venösen Phase eines Kontrastmittelbolus akquiriert. Der Thrombus stellt sich als Füllungsdefekt bzw. als Aussparung im Kontrastmittelfluss dar.

- ▶ **Cave** Ein reguläres CT nach Kontrastmittelgabe ist in der Spätphase nicht ausreichend zum definitiven Ausschluss einer Sinusvenenthrombose. Der Thrombus selbst kann das Kontrastmittel anreichern und dadurch im Bild vollständig maskiert werden.

## 22.7 Entzündungsfokussuche

Auf der Suche nach einem Entzündungsfokus steht das Neurokranium in der Regel nicht primär im Vordergrund. Das Gehirn ist jedoch häufig von einer hämatogenen Streuung betroffen, die sich in entzündlichen Läsionen unterschiedlicher Anzahl, Größe und Morphologie widerspiegelt.

Auf der Suche nach entzündlichen Foci wird häufig ein CT des Thorax und Abdomens durchgeführt. Es empfiehlt sich schon aus logistischen Gründen, den Kopf mit zu untersuchen. Hierbei sollte zunächst ein Nativscan durchgeführt werden. Dieser dient hauptsächlich dem Blutungsausschluss. Wichtiger ist der Scan mit Kontrastmittel, der im Anschluss an das Thorax-/Abdomen-CT durchgeführt werden kann. Eine weitere Kontrastmittelgabe ist nicht erforderlich (Abschn. 20.2).

Wie bei jeder Suche nach zerebralen Tumoren oder Entzündungsherden sollte auch hier 5–10 min zwischen Kontrastmittelapplikation und Scan gewartet werden, da die Pathologie in der Regel zur Störung der Blut-Hirn Schranke führt. An diesen Stellen dringt das Kontrastmittel in das Gewebe ein, während es in den nicht betroffenen Hirnarealen abfließt. Nach der Umlagerung der Arme (Artefakte im Kopf-Hals-Bereich) nach der Durchführung des Thorax-/Abdomen-CT ist in der Regel die Wartezeit bereits weitgehend verstrichen.

In manchen Fällen kann es sinnvoll sein, die Zähne mit im CT-Feld zu erfassen, um dentogene Abszesse nachzuweisen/auszuschließen. Steht ein dentogener oder sinugener Abszess im Raum, kann

ein CT des Mittelgesichts ergänzt werden. Bei beatmeten Patienten finden sich jedoch häufig nahezu vollständig verlegte Nasennebenhöhlen, sodass aus diesem Befund nicht automatisch ein Infektfokus herzuleiten ist.

Bildmorphologisch kommt es abhängig vom Infektionsweg zu charakteristischen Untersuchungsbefunden. Bei hämatogen verbreiteten Infektionen finden sich häufig multiple Kontrastmittelanreicherungen ubiquitär im Hirnparenchym. Eine Kontrastmittelgabe ist bei der Frage nach entzündlichen Foci obligat. Abszesse zeigen eine liquide zentrale Einschmelzung mit zirkulärer Kontrastmittelanreicherung. Häufig findet man selbst bei sehr kleinen Läsionen ein sehr ausgedehntes perifokales Ödem. Bei direkter Übertragung aus den Nasennebenhöhlen oder dem Mastoid reagiert zunächst die angrenzende Dura (Meningitis) und dann das angrenzende Hirnparenchym (Meningoenzephalitis).

Bei liquogener Verbreitung kommt es häufig zu einer Kontrastmittelmehranreicherung des Ventrikelsystems als Zeichen einer Ventrikulitis.

► Grundsätzlich ist die Sensitivität gegenüber entzündlichen Foci im MRT deutlich höher als im CT.

Vorteile bestehen auch in der möglichen ätiologischen Zuordnung zystischer Raumforderungen: während das CT eine Zyste mit randständiger Anreicherung und ggf. einem perifokalen Ödem zeigt, kann das MRT die möglichen Differenzialdiagnosen zystische Metastase/Tumor und Abszess häufig aufklären: In der Diffusions-MRT zeigt sich ein Abszess im b1000-Bild hyperintens und hypointens in der sog. ADC-Karte (Abb. 71). Eine tumoröse Raumforderung zeigt dieses Bild nicht.

In Einzelfällen kann es sinnvoll sein, sowohl CT als auch MRT durchzuführen. Das gilt insbesondere für otogene Prozesse, die nach intrakraniell durchbrechen können. Das CT ermöglicht dann die Beurteilung der ossären Strukturen des Felsenbeins und Mastoids (Abb. 72), während das MRT Aufschluss über entzündliche Reaktionen der Dura oder des Hirnparenchyms gibt.

Eine wichtige Komplikation einer nach intrakraniell fortgeleiteten Mastoiditis ist die septische Sinusvenenthrombose. Sie kann sowohl im MRT als auch im CT nachgewiesen werden. Auch dentogene Abszesse sind grundsätzlich in beiden Verfahren nachweisbar.

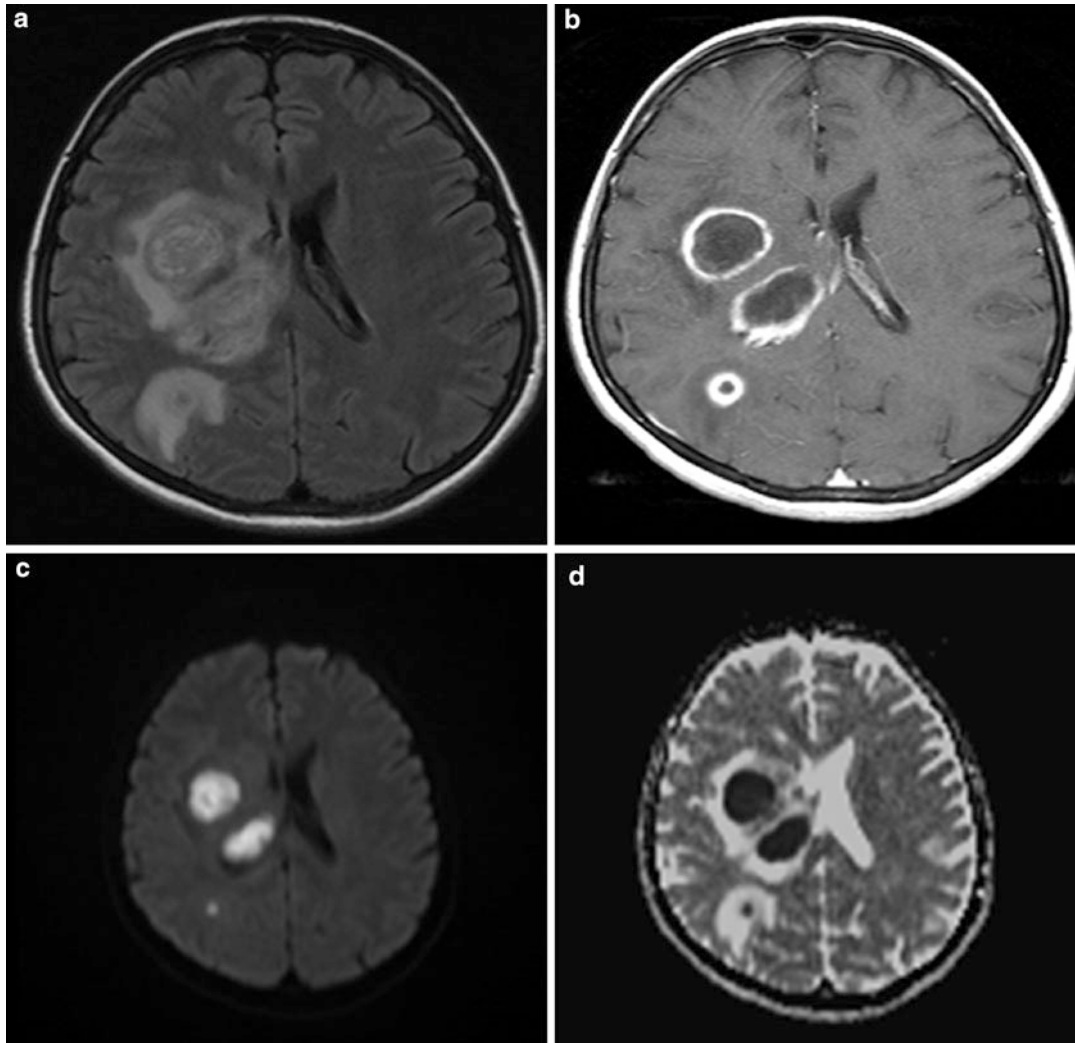
► Besteht der Verdacht auf einen Pilz oder einen Parasiten als ursächliches Agens, kann sich das bildmorphologische intrakranielle Korrelat deutlich von dem anderer Infektionen unterscheiden.

### 22.7.1 Aspergillose

Eine zerebrale Aspergillose kann zu solitären oder auch multiplen Hirnabszessen führen. Der Pilz infiltriert häufig auch die Blutgefäße der Stammganglien und des Thalamus (angioinvasiv), was dann zu ausgedehnten Hämorrhagien führen kann. 50 % der Patienten erleiden hämorrhagische Infarkte im Rahmen einer Vaskulitis. Weitere Komplikationen können entzündliche Aneurysmen der Hirnarterien mit entsprechender Blutungsgefahr sein.

## 22.8 Hydrozephalus

Man unterscheidet 3 Arten des Hydrozephalus (Übersicht).

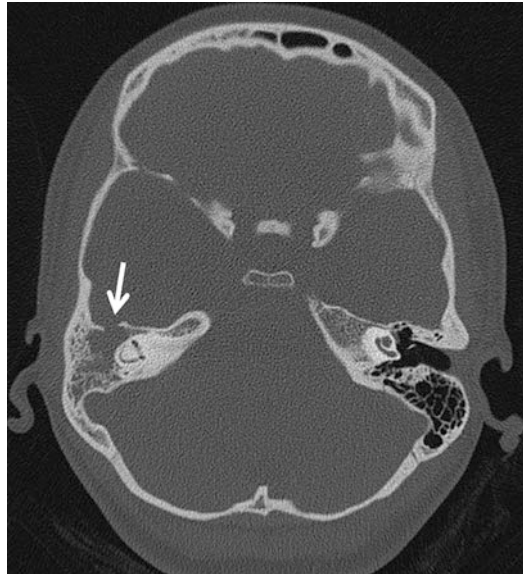


**Abb. 71 a-d** MRT bei hämatogenen Hirnabszessen. **a** FLAIR-Sequenz mit Nachweis eines ausgedehnten Ödems. **b** T1-Gewichtung nach Kontrastmittelgabe mit zirkulärer Kontrastmittelanreicherung der 3 zentral liquiden Raumforderungen. **c** Diffusionsbild (b1000) mit Nachweis der Hyperintensität der liquiden Raumforderungen. **d** Korrespondierendes ADC-Bild mit Hypointensität

### Formen des Hydrozephalus

- Hydrozephalus hypersecretorius bei vermehrter Produktion
- Hydrozephalus malresorptivus bei verminderter Resorption
- Hydrozephalus occlusus bei gestörtem Liquorfluss

Das wichtigste und erste radiologische Zeichen eines Hydrozephalus ist die Aufweitung der Temporalhörner. Erst in der Folge zeigt sich eine Aufweitung der Seitenventrikel. Im Verlauf kommt es dann zur Aufweitung der betroffenen Anteile des Ventrikelsystems, abhängig von der Ätiologie des Hydrozephalus. Ein Hydrozephalus occlusus entsteht am häufigsten durch eine Stenose/einen Verschluss des Aquädukts am Boden des 3. Ventrikels. Es kommt somit zu einer Aufweitung der Seitenventrikel und des



**Abb. 72** Rechtsseitige Mastoiditis im CT (Knochenfenster) mit Flüssigkeitsfüllung der Mastoidzellen: Die ossäre Begrenzung zur mittleren Schädelgrube ist destruiert (Pfeil)

3. Ventrikels (sog. triventrikulärer Hydrozephalus). Der 4. Ventrikel bleibt schlank. Im Zuge des Aufstaus kommt es zur transependymalen Liquorabpressung. Dieser Befund stellt sich im CT als hypodenser Saum insbesondere um die Seitenventrikelvorderhörner dar.

In der MRT zeigt sich das Bild abhängig von der verwendeten Sequenz. Besonders sensitiv sind FLAIR-Sequenzen, die bei diesem Befund deutliche periventrikuläre Hyperintensitäten aufweisen. Grundsätzlich ist der Nachweis eines Hydrozephalus in CT und MRT möglich, jedoch ist das MRT in der Ursachenklärung deutlich überlegen. Während die CT nur indirekte Schlüsse auf die Ätiologie zulässt, kann die MRT aufgrund des besseren Weichteilkontrastes auch kleine Raumforderungen z. B. am Aquädukt, zuverlässig detektieren. Zudem ist eine direkte Quantifizierung des Liquorflusses möglich.

## 22.9 Krampfanfälle

Epileptische Anfälle können im intensivmedizinischen Setting durch eine Vielzahl von Auslösern bedingt sein. Neben der Wirkung krampfschwelensenkender Medikamente kommt eine Reihe entzündlicher und metabolischer Faktoren in Frage. Auch intrakranielle Blutungen können natürlich zu Krampfanfällen führen.

- ▶ Als Primärdiagnostik reicht in der Regel ein Nativ-CT. Bietet es keine hinreichende Erklärung, sollte eine MRT angeschlossen werden.

Häufige Ursache für epileptische Anfälle in der Intensivmedizin ist das PRES (posteriores reversibles Enzephalopathiesyndrom): Ein Symptomenkomplex aus Kopfschmerzen, epileptischen Anfällen und Bewusstseinsstörungen, häufig im Rahmen von medikamentösen Therapien oder Intensivaufenthalten.

Computertomographisch finden sich häufig hypodense Areale in Kortex und subkortikalem Marklager als Ausdruck eines Ödems. Entgegen der Suggestion durch den Namen sind die Hypodensitäten nicht auf die posterioren Hirnanteile beschränkt. MR-tomographisch zeigen sich in der FLAIR-Sequenz Hyperintensitäten. Durch die zusätzliche Anwendung von Diffusionssequenzen kann zwischen einem potenzi-

ell reversiblen vasogenen Hirnödemen und einem zytotoxischen Ödem unterschieden werden. Zusätzlich ermöglichen T2\*-gewichtete Sequenzen die Visualisierung auch kleiner Hämorrhagien, die eine Komplikation des PRES darstellen.

## 22.10 Akute sekundäre Enzephalopathien

### 22.10.1 Hepatische Enzephalopathie (HE)

Bei Patienten mit hepatischer Enzephalopathie findet sich im MRT eine Hyperintensität des Globus pallidus und der Substantia nigra in T1-gewichteten Aufnahmen, was als Korrelat von Manganablagerungen anzusehen ist. Diese Veränderungen korrelieren nur wenig mit dem Schweregrad der Leberfunktionsstörung, sind jedoch in der Regel nach einer Transplantation nicht mehr nachweisbar.

### 22.10.2 Hämolytisch-urämisches Syndrom (HUS)

Bei neurologischen Symptomen im Rahmen eines HUS ist das MRT dem CT vorzuziehen. Bildmorphologisch können sich T1- und T2-Hyperintensitäten in den Stammganglien als Korrelat hämorrhagischer Infarzierungen und Signalalterationen im Splenium des Corpus callosum finden (Ogura et al. 1998).

## 22.11 Komplikationen

Jede therapeutische Maßnahme birgt das Risiko von Komplikationen. In der Intensivmedizin ist dies häufig durch fehlerhaft einliegende Katheter bedingt. Infolge von Fehlpunktionen kann es zu Verletzungen benachbarter Strukturen kommen, so beispielsweise nach ZVK-Anlage zu einer AV-Fistel durch Verletzung der A. carotis. Auch kann es durch Infektionen zentralvenöser Katheter zu Phlebitiden kommen, die im Extremfall eine Sinusvenenthrombose und eine intrakranielle Druckerhöhung oder auch Abszedierungen nach sich ziehen können.

Diagnostisches Verfahren der Wahl ist zunächst eine CT-Angiographie, wobei darauf geachtet werden sollte, dass der Kontrastmittelbolus in einer späten Phase abgepasst wird, um eine optimale venöse Kontrastierung zu erzielen. Einschmelzungen und Abszesse sind im CT ebenfalls abgrenzbar. Bei konkretem Verdacht auf eine Fistel sollte eine MRT mit zeitaufgelöster Angiographie oder ggf. eine DSA durchgeführt werden. Gegebenenfalls kann dann in gleicher Sitzung ein interventioneller Fistelverschluss durchgeführt werden.

## 22.12 Hirntod

Neuroradiologische Verfahren haben in der Hirntoddiagnostik nur einen begrenzten Stellenwert. Computertomographisch zeigt sich in der Regel ein globales Hirnödem mit verwaschener Mark-Rinden-Grenze. Die basalen Zisternen sind deutlich eingengt. Dieser Befund allein sagt jedoch nichts über die Irreversibilität aus und kann sogar vollständig reversibel sein. Die Ergänzung durch eine CT-Angiographie ist sinnvoll und offenbart einen zerebralen Perfusionsstillstand.

- Wichtig ist es bei dieser Untersuchung, auf das richtige Timing zu achten: Moderne CT-Scanner können einen Kontrastmittelbolus überholen und auf diese Weise einen Perfusionsstillstand vortäuschen. Daher sollte die Auswertung der Untersuchung nur von erfahrenen Neuroradiologen durchgeführt werden (Shankar und Vandorpe 2013; Welschehold et al. 2013).

Im MRT zeigen sich T2-Hyperintensitäten sowie Diffusionsstörungen. Weiterreichende Aussagekraft als die CT hat die MRT bei der Feststellung des Hirntods aktuell nicht (Selcuk et al. 2012).

Technisch möglich ist auch die Durchführung einer Katheterangiographie. Hierbei ist zu bedenken, dass diese Untersuchung aufgrund ihrer Invasivität nur durchgeführt werden darf, wenn aus ihr eine therapeutische Konsequenz erwachsen könnte. Zur reinen Hirntoddiagnostik ist eine DSA somit nicht zulässig.

### **22.13 Spinale Erkrankungen**

Eine im Rahmen des intensivmedizinischen Aufenthaltes auftretende Paraparese oder Blasen-Mastdarm-Störungen können zahlreiche Ursachen haben. Postoperativ kann es nach Eingriffen an der Aorta zu spinalen Ischämien (akute ischämische Myelomalazie) kommen. Diese bleiben jedoch häufig zunächst eine Verdachtsdiagnose, da sich eine spinale Ischämie im Vergleich zur zerebralen Ischämie erst spät im MRT darstellen lässt. Bei 52 % der Patienten ist innerhalb von 24 h eine Veränderung im T2-Bild zu erkennen (Mull 2005). Eine CT-Bildgebung ist bei dieser Differenzialdiagnose nicht zielführend, jedoch zum Ausschluss konkurrierender Erkrankungen gelegentlich hilfreich. Die Bedeutung der Diffusionsbildgebung ist noch unklar, da erst seit Kurzem Sequenzen zur Verfügung stehen, die im Bereich der Wirbelsäule aufgrund der Artefaktüberlagerung überhaupt eine Beurteilung zulassen. Es scheint aber, dass Ischämien im Myelon ebenfalls diffusionsgestört sind.

Eine wichtige Differenzialdiagnose zur spinalen Ischämie stellt die Myelitis dar. Die Klinik kann hier sehr ähnlich sein. Zur Unterscheidung kann eine MRT-Bildgebung beitragen: Während sich bei der spinalen Ischämie die T2-Hyperintensitäten im Versorgungsgebiet des betroffenen Gefäßes findet (meist A. spinalis anterior), hält sich die Myelitis nicht an Gefäßterritorien. Wegweisend ist zudem häufig der Liquorbefund.

Wichtige Differenzialdiagnosen mit therapeutischer Konsequenz sind spinale Blutung oder der spinale Abszess. Beide Entitäten sind grundsätzlich in der Computertomographie in einem hohen Prozentsatz nachweisbar. Es empfiehlt sich, die Untersuchung nach Kontrastmittelgabe durchzuführen. Hierbei sollte nicht, wie sonst bei neuroradiologischen Untersuchungen erforderlich, gewartet werden, sondern das Kontrastmittel in der venösen Phase abgepasst werden. Dadurch kommt es zur Kontrastierung des epiduralen Venenplexus, was die Abgrenzbarkeit anatomischer Strukturen im Spinalkanal begünstigt. Nach Möglichkeit sollte jedoch eine MRT durchgeführt werden. In den akquirierten T1- und T2-Sequenzen ist eine Blutung sicher nachzuweisen. Zusätzliches Kontrastmittel kann bei der Abgrenzung zu einem Abszess helfen.

Weiterer möglicher Grund für spinale Symptome im intensivmedizinischen Setting ist die Critical-illness-Polyneuropathie (CIP). Hierbei gibt es kein spezifisches bildmorphologisches Korrelat.

## **23 Nuklearmedizin: Ganzkörperuntersuchungen**

### **23.1 Entzündungsdiagnostik**

Zur tragenden Säule in der bildgebenden Entzündungsdiagnostik auch der Intensivmedizin hat sich in den letzten Jahren die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) mit dem Tracer [ $^{18}\text{F}$ ]-Fluordesoxyglukose (FDG), heute üblicherweise als kombinierte PET/CT durchgeführt, entwickelt. Dies ist v. a. auch durch die breitere Verfügbarkeit moderner PET/CT-Geräte bedingt, welche einen hochauflösenden PET-Scanner mit einer voll diagnostischen CT-Komponente kombinieren.

- ▶ Somit können mit dieser Untersuchungsmodalität hochauflösende sensitive metabolische Diagnostik und kontrastmittelgestützte morphologische Diagnostik in einer Untersuchung kombiniert werden.

Dies bietet v. a. auch in der Intensivmedizin die Möglichkeit, neben der reinen Entzündungsdiagnostik eine Reihe weiterer sowohl an die metabolische als auch an die morphologische Diagnostik geknüpfter Fragestellungen zu beantworten. Ein weiterer Vorteil der FDG-PET/CT ist zudem, dass sie nahezu immer als Ganzkörperdiagnostik durchgeführt werden kann.

Der in der Entzündungsdiagnostik verwendete Tracer [ $^{18}\text{F}$ ]-Fluordesoxyglukose (FDG) reichert sich in entzündlichen Prozessen in Makrophagen und Granulozyten des Entzündungsgebietes an. Besonders wichtig ist bei der Entzündungsdiagnostik eine genaue Information des Nuklearmediziners bezüglich vorangegangener operativer Eingriffe oder auch anderer Interventionen, da sich FDG in Granulationsgewebe nach Operationen ebenfalls anreichert und somit evtl. zu falsch-positiven Befunden führen kann (Meller et al. 2002). Sollte dennoch eine Differenzierung zwischen postoperativ erhöhter FDG-Anreicherung und granulozytärer Entzündung nicht möglich sein, empfiehlt sich ggf. eine ergänzende  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Antigranulozytenszintigraphie, welche nur bei granulozytärer Pathologie (bakterieller Genese) positiv ist.

### **Indikationen für die PET im Rahmen der Entzündungsdiagnostik**

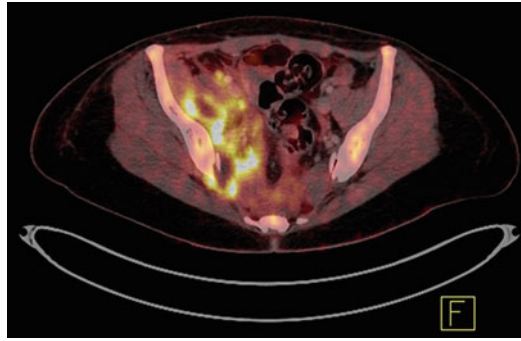
- Fieber unklarer Genese
- Entzündungsfokus bei septischem Krankheitsbild
- Osteomyelitis
- Gelenkprotheseninfektion
- Gefäßprotheseninfektion
- Vaskulitis
- Schrittmacher-, Schrittmachersondeninfektionen

Die FDG-PET/CT eignet sich zur Entzündungsdiagnostik nahezu aller Weichteil- und Knochenstrukturen (Abb. 73). Die Indikationen für die FDG-PET/CT erstrecken sich somit über Fieber unklarer Genese über Osteomyelitis bis hin zur Vaskulitis (Meller et al. 2002). Ebenso sehr gute Ergebnisse hat die FDG-PET/CT beim Nachweis von Gefäßprotheseninfektionen zeigen können (Keidar und Nitecki 2009). Eine Ausnahme, bei der die FDG-PET/CT nicht zielführend ist, ist die Beantwortung der Frage nach einer Endokarditis, da das Myokard an sich bereits einen physiologisch sehr hohen Glukosestoffwechsel aufweist und die subtilen Klappenstrukturen nicht beurteilt werden können. Ebenso ist die FDG-PET/CT aufgrund des physiologisch hohen Glukosestoffwechsels des Gehirns nicht die Untersuchung der Wahl bei der Suche nach intrazerebralen Infektfozi.

FDG wird im Rahmen einer PET/CT-Untersuchung ca. 60 min vor Untersuchungsbeginn injiziert (möglichst in einen peripheren intravenösen Zugang). Die reine Untersuchungszeit liegt bei modernen Geräten etwa zwischen 20 und 40 min.

Wie oben bereits erwähnt, ist es oftmals sinnvoll, die PET/CT mit einem volldiagnostischen Kontrastmittel-CT zu kombinieren. Die Untersuchung kann jedoch auch in Kombination mit einer nativen CT-Untersuchung durchgeführt (ggf. in Low-dose-Technik) werden. Somit ist die FDG-PET/CT auch bei Patienten mit Kontraindikationen gegenüber jodhaltigen Kontrastmitteln (Niereninsuffizienz, Kontrastmittelallergie) sehr gut einsetzbar.

Wichtig für eine gute diagnostische Aussagekraft dieser Untersuchung ist ein möglichst gut eingestellter Blutzucker, der möglichst deutlich unter 150 mg/dl (absolutes Maximum 200 mg/dl) liegen sollte, da bei hohen Blutzuckerspiegeln mit einer deutlich geringeren Sensitivität der Untersuchung zu rechnen ist (Übersicht). Somit sollte der Blutglukosespiegel bei diabetischen Patienten zur FDG-PET/CT-Untersuchung möglichst gut eingestellt sein. Eine kurzfristige Senkung des Blutzuckerspiegels direkt



**Abb. 73** FDG-PET/CT mit Darstellung der typischen glukosehypermetabolen Kapsel eines Psoas-Abszesses

vor Untersuchungsbeginn ist hierbei jedoch nicht zielführend, da auch ein Hyperinsulinismus die Aussagekraft der Untersuchung herabsetzen kann. Für alle Patienten wird eine Nahrungskarenz von 6 Stunden vor der Untersuchung (auch die parenterale Ernährung betreffend) empfohlen. Alle intensivmedizinischen Patienten sollten für diese Untersuchung über einen Harnblasenkatheter verfügen.

### Durchführung der FDG-PET/CT

- Mindestens 6 h Nahrungskarenz vor Beginn der Untersuchung (gilt auch für parenterale Ernährung).
- Gut eingestellter Blutzucker (möglichst  $<150$  mg/dl).
- Gutes Zeitmanagement notwendig (relativ kurze Halbwertszeit des Radiopharmakons – somit in der Regel nur kurzes Zeitfenster für die Untersuchung).
- Untersuchung auch bei Kontraindikationen gegenüber jodhaltigen Kontrastmitteln durchführbar.
- Harnblasenkatheter für alle intensivmedizinischen Patienten.
- Der befundende Nuklearmediziner muss über Interventionen und operative Eingriffe des Patienten für eine korrekte Bildinterpretation ausführlich informiert werden.
- Untersuchungsdauer ca. 20–40 min. Tracerinjektion ca. 60 min vor Beginn der Untersuchung.

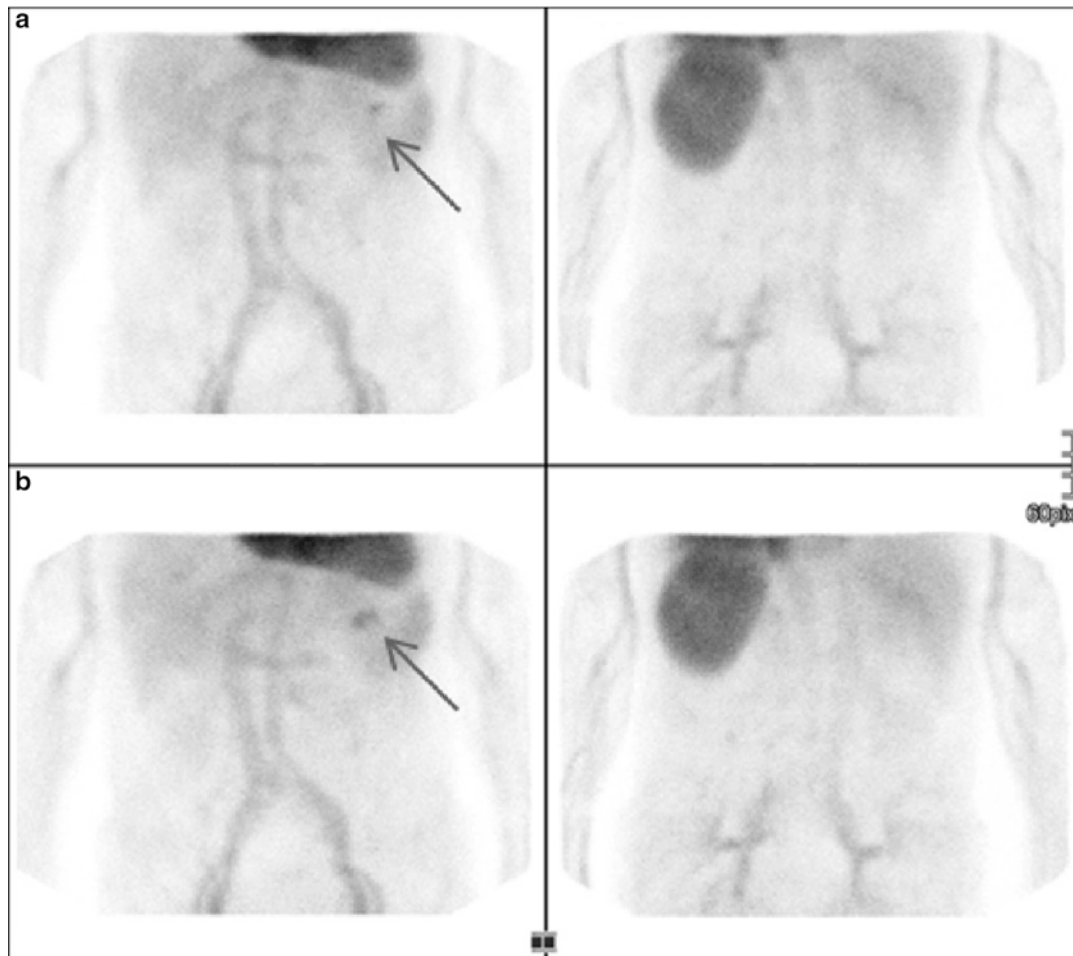
## 23.2 Blutungsquellensuche

Die Abklärung unklarer gastrointestinaler Blutungen obliegt im Magen bis zum Übergang ins Jejunum und im Kolon primär der Endoskopie. Blutungen des Dünndarms können oftmals ab einer gewissen Intensität angiographisch abgeklärt werden. Szintigraphisch können abdominelle Blutungsquellen mittels mit  $^{99m}\text{Tc}$  radioaktiv in vitro oder in vivo markierter patienteneigener Erythrozyten nachgewiesen werden (Abb. 74). Hierbei ist die Szintigraphie sehr sensitiv und kann okkulte oder auch intermittierende Blutungen im Gastrointestinalbereich mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 90 % nachweisen.

► Die untere Nachweisgrenze einer Blutung liegt bei ca. 0,1 ml/min (Smith et al. 1987).

Die Untersuchungsdauer ist sehr variabel, je nachdem, wann und ob sich eine Blutungsquelle darstellt. Aufnahmen unter der Kamera werden in der Regel direkt nach Injektion zunächst über 1 h durchgeführt, ggf. auch mit SPECT-Aufnahmen. Danach schließen sich ggf. in 1–3-stündigen Intervallen weitere Aufnahmen an. Die Gesamtuntersuchungsdauer kann bis zu 24 h betragen, sodass diese Untersuchung mit oftmaligen Patiententransporten zwischen Nuklearmedizin und Intensivstation und somit einem erheblichen logistischen Aufwand verbunden sein kann.





**Abb. 74 a, b** Gastrointestinale Blutung (Pfeil). **a** 30 min, **b** 40 min nach Applikation von mit  $^{99m}\text{Tc}$  radioaktiv markierten patienteneigenen Erythrozyten

### Wichtig für die Praxis

- Lange Dauer der gesamten Untersuchung über einen Zeitraum von bis zu 24 h.
- Mehrere Transporte des Patienten innerhalb dieses Zeitraums in die nuklearmedizinische Abteilung

### 23.3 Weitere nuklearmedizinische Diagnostik

Die FDG-PET/CT ist nicht nur eine sensitive Untersuchung in der Entzündungs-, sondern v. a. auch in der **Tumordiagnostik**. Mittels FDG-PET können auch viele Malignome, welche evtl. Ursache eines begleitenden entzündlichen oder entzündlich anmutenden paraneoplastischen Krankheitsgeschehens sind, identifiziert und hinsichtlich der Krankheitsausbreitung zuverlässig beurteilt werden.

Nicht unerwähnt bleiben sollte auch, dass die FDG-PET in der **kardiologischen Diagnostik** hervorragend eingesetzt werden kann, um in myokardialen Infarktarealen zwischen avitaler Narbe und vitalem, hibernierendem Myokard zu unterscheiden.

Neben der oben näher beschriebenen nuklearmedizinischen Diagnostik gibt es eine Vielzahl weiterer nuklearmedizinischer Untersuchungen, welche für intensivmedizinische Patienten eine Rolle spielen. Zu nennen sind hierbei insbesondere:

- die szintigraphische Hirntoddiagnostik,
- die Nierenzintigraphie (Beurteilung der Seitenfunktionsanteile, Beurteilung/Quantifizierung einer Abflussstörung, Beurteilung einer Transplantatabstoßung),
- die Myokardszintigraphie (Diagnostik von myokardialen Belastungs-/Ruheischämien)
- oder im Rahmen weiterer szintigraphischer Entzündungsdiagnostik die Mehrphasenskelettszintigraphie (zur Beurteilung ossärer Strukturen)
- oder die oben bereits erwähnte Antigranulozytenszintigraphie.

## Literatur

- Adar T, Paz K (2013) Images in clinical medicine. Pneumatosis intestinalis. *N Engl J Med* 368(15):e19
- Boland G, Lee MJ, Mueller PR (1993) Acute cholecystitis in the intensive care unit. *New Horiz* 1(2):246–260
- Boland GW, Lee MJ, Cats AM, Gaa JA, Saini S, Mueller PR (1994) Antibiotic-induced diarrhea: specificity of abdominal CT for the diagnosis of *Clostridium difficile* disease. *Radiology* 191(1):103–106
- Boland GW, Slater G, Lu DS, Eisenberg P, Lee MJ, Mueller PR (2000) Prevalence and significance of gallbladder abnormalities seen on sonography in intensive care unit patients. *AJR Am J Roentgenol* 174(4):973–977
- Brenchley J, Walker A, Sloan JP, Hassan TB, Venables H (2006) Evaluation of focussed assessment with sonography in trauma (FAST) by UK emergency physicians. *Emerg Med J* 23(6):446–448
- Bunk A, Stoelben E, Konopke R, Nagel M, Saeger HD (1998) Color Doppler sonography in liver surgery. Status of perioperative monitoring. *Ultraschall Med* 19(5):202–212
- Chiu YH, Chen JD, Tiu CM, Chou YH, Yen DH, Huang CI, Chang CY (2009) Reappraisal of radiographic signs of pneumoperitoneum at emergency department. *Am J Emerg Med* 27(3):320–327
- Gammon RB, Shin MS, Buhalter SE (1992) Pulmonary barotraumas in mechanical ventilation. *Chest* 102:568–572
- Gazelle GS, Mueller PR (1994) Abdominal abscess. Imaging and intervention. *Radiol Clin North Am* 32(5):913–932
- Gelbmann CM, Rümmele P, Wimmer M, Hofstädter F, Göhlmann B, Endlicher E, Kullmann F, Langgartner J, Schölmerich J (2007) Ischemic-like cholangiopathy with secondary sclerosing cholangitis in critically ill patients. *Am J Gastroenterol* 102(6):1221–1229
- Go HL, Baarslag HJ, Vermeulen H, Laméris JS, Legemate DA (2005) A comparative study to validate the use of ultrasonography and computed tomography in patients with post-operative intra-abdominal sepsis. *Eur J Radiol* 54(3):383–387
- Godoy MCB, Leitman BS, de Groot PM, Vlahos I, Naidich DP (2012a) Chest radiography in the ICU: part 1, evaluation of airway, enteric, and pleural tubes. *AJR Am J Roentgenol* 198:563–571
- Godoy MCB, Leitman BS, de Groot PM, Vlahos I, Naidich DP (2012b) Chest radiography in the ICU: part 2, evaluation of cardiovascular lines and other devices. *AJR Am J Roentgenol* 198:572–581
- Hill JR, Horner PE, Primack SL (2008) ICU imaging. *Clin Chest Med* 29:59–76
- Hricak H, Romanski RN, Eyler WR (1982) The renal sinus during allograft rejection: sonographic and histopathologic findings. *Radiology* 142(3):693–699

- Hurwitz LM, Goodman PC (2005) Intraaortic balloon pump location and aortic dissection. *AJR* 184:1245–1246
- Hyams ES, Shah O (2010) Evaluation and follow-up of patients with urinary lithiasis: minimizing radiation exposure. *Curr Urol Rep* 11(2):80–86
- Jeffrey RB Jr, Cardoza JD, Olcott EW (1991) Detection of active intraabdominal arterial hemorrhage: value of dynamic contrast-enhanced CT. *AJR Am J Roentgenol* 156(4):725–729
- Keidar Z, Nitecki S (2009) FDG-PET for the detection of vascular grafts. *Q J Nucl Med Mol Imaging* 53:35–40
- Kollef MH (1991) Risk factors for the misdiagnosis of pneumothorax in the intensive care unit. *Crit Care Med* 19:906–910
- Lahiri R, Bhattacharya S (2013) Pancreatic trauma. *Ann R Coll Surg Engl* 95(4):241–245
- Lee KS, Hwang S, Rúa SM, Janjigian YY, Gollub MJ (2013) Distinguishing benign and life-threatening pneumatosis intestinalis in patients with cancer by CT imaging features. *AJR Am J Roentgenol* 200(5):1042–1047
- Meller J, Sahlmann CO, Lehmann K et al (2002) FDG-Hybrid-Camera-PET in patients with postoperative fever. *Nuklearmedizin* 29:22–29
- Moore EE, Cogbill TH, Jurkovich GJ, Shackford SR, Malangoni MA, Champion HR (1995) Organ injury scaling: spleen and liver (1994 revision). *J Trauma* 38(3):323–324
- Mull M (2005) Der akute Rückenmarkinfarkt: Diagnostik ohne therapeutischen Ansatz? *Klin Neuro-radiol* 15:79–88
- Oba Y, Zaza T (2010) Abandoning daily routine chest radiography in the intensive care unit: meta-analysis. *Radiology* 255:386–395
- Ogura H, Takaoka M, Kishi M et al (1998) Reversible MR findings of hemolytic uremic syndrome with mild encephalopathy. *AJNR Am J Neuroradiol* 19(6):1144–1145
- Paslawski M, Szafranek-Pyzel J, Złomaniec J (2004) Imaging of abdominal abscesses. *Ann Univ Mariae Curie Skłodowska Med* 59(2):284–288
- Penndorf V, Saner F, Gerken G, Canbay A (2012) Liver parameters in intensive care medicine. *Zentralbl Chir (Epub vor Druck)*
- Peterson GW, Baier H (1983) Incidence of pulmonary barotraumas in a medical ICU. *Crit Care Med* 11:67–69
- Reichmann I, Aufmkolk M, Neudeck F, Bardenheuer M, Schmit-Neuerburg KP, Obertacke U (1998) Comparison of severe multiple injuries in childhood and adulthood. *Unfallchirurg* 101(12):919–927
- Romano L, Pinto A, Giovine S et al (2001) Helical CT as preferred imaging modality in the diagnosis of pulmonary embolism. *Radiol Med (Torino)* 102:320–324
- Schacherer D et al (2007) Abdominal ultrasound in the intensive care unit: a 3-year survey on 400 patients. *Intensive Care Med* 33(5):841–844
- Selcuk H, Albayram S, Tureci E et al (2012) Diffusion-weighted imaging findings in brain death. *Neuroradiology* 54(6):547–554
- Shankar JJ, Vandorpe R (2013) CT perfusion for confirmation of brain death. *AJNR Am J Neuroradiol* 34(6):1175–1179
- Smith RK, Copely DJ, Bolen FH (1987) <sup>99m</sup>Tc RBC scintigraphy: correlation of gastrointestinal bleeding rates with scintigraphic findings. *AJR Am J Roentgenol* 148:869–874
- Taourel PG, Deneville M, Pradel JA, Régent D, Bruel JM (1996) Acute mesenteric ischemia: diagnosis with contrast-enhanced CT. *Radiology* 199(3):632–636
- Trotman-Dickenson B (2010) Radiography in the critical care patient. In: McCloud TC, Boiselle P (Hrsg) *Thoracic radiology: the requisites*. Mosby Elsevier, Philadelphia, S 136–159

- Tuladhar R, Daftary A, Patole SK, Whitehall JS (1999) Oral gastrografin in neonates: a note of caution. *Int J Clin Pract* 53(7):565
- Walcher F, Weinlich M, Conrad G, Schweigkofler U, Breitzkreutz R, Kirschning T, Marzi I (2006) Prehospital ultrasound imaging improves management of abdominal trauma. *Br J Surg* 93:238–242
- Welschehold S, Kerz T, Boor S et al (2013) Computed tomographic angiography as a useful adjunct in the diagnosis of brain death. *J Trauma Acute Care Surg* 74(5):1279–1285