

Bildgebende Verfahren in der Intensivmedizin Möglichkeiten und Grenzen

Zusammenfassung

In der Intensivmedizin findet die bildgebende Diagnostik überwiegend am Krankenbett statt, da es für jegliche stationsferne Diagnostik zwischen dem Transportrisiko und einem neuen und ggf. behandlungsrelevanten Befund abzuwegen gilt. Etwa 90% der radiologischen Untersuchungen in der Intensivmedizin stellen Röntgenaufnahmen des Thorax, des Abdomens und des Skelettsystems dar. Neben den klassischen Aufnahmen haben Schnittbildverfahren – wie die Sonographie und Computertomographie – besonderen Stellenwert. Die bildgebende Diagnostik in der Intensivmedizin ist vor allem durch folgende Problematik gekennzeichnet: Die Mehrzahl der Patienten ist nicht kooperationsfähig, und es bestehen eingeschränkte Aufnahmebedingungen; zusätzliche diagnostische Verfahren wie Schichtaufnahmen, Durchleuchtung oder Projektionen sind bettseitig nur unter erschwerten Bedingungen oder gar nicht möglich; weiter erschwerend können sich die Überlagerung von Strukturen durch vorhandenes Fremdmaterial und eine begrenzte gerätetechnische Ausstattung auswirken.

Summary

Diagnostic imaging in the critically ill is usually performed at the patient's bedside since the risks attendant on transport outside the ICU always need to be considered and weighed against the potential gains of relevant new findings. Some 90% of the radiological examinations in the intensive care unit are x-rays of the

Fortbildung

Medical Education

Imaging procedures in the critically ill patient – possibilities and limitations

S. G. Sakka · F. Wappler



Zur kostenfreien Teilnahme an der CME-zertifizierten Online-Fortbildung müssen Sie den Kurs zum o.a. Thema unter www.my-bda.com mit folgender PIN-Nr. buchen:
548713

chest, abdomen and skeleton. Apart from the classical techniques, cross-sectional imaging techniques – ultrasound and computed tomography – are also of importance. Diagnostic imaging in intensive care medicine is beset by the following problems: most patients are unable to cooperate and imaging conditions are not optimal, additional diagnostic procedures such as cross-sectional imaging techniques, fluoroscopy and projections encounter less than optimal conditions, or are even impossible, at the bedside. Finally, imaging may be rendered impossible by non-removable “foreign material” and the shortcomings of the equipment available.

Vorbemerkung

In der Intensivmedizin findet die bildgebende Diagnostik überwiegend bettseitig statt, da für jegliche stationsferne Diagnostik zwischen dem Transportrisiko und dem Nachweis eines neuen und behandlungsrelevanten Befundes abzuwagen ist [1]. Bei etwa 90% der radiologischen Untersuchungen in der Intensivmedizin handelt es sich um Röntgenaufnahmen von Thorax, Abdomen und Skelett. Neben konventionellen Röntgenaufnahmen haben Schnittbildverfahren wie die Sonographie und Computertomographie (CT) einen besonderen Stellenwert. Spezielle Verfahren wie die Magnetresonanztomographie (MRT) und die digitale Subtraktionsangiographie (DSA) werden allenfalls für selektive neuroradiologische oder angiographische Fragestellungen

Danksagung

Die Autoren danken Herrn PD Dr. med. Axel Goßmann, Chefarzt der Klinik für Radiologie, Neuroradiologie und Nuklearmedizin, Krankenhaus Köln-Merheim, für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Schlüsselwörter

Intensivmedizin – Bildgebung – konventionelles Röntgen – Computertomographie – Ultraschall

Keywords

Intensive Care Medicine – Imaging – Conventional Radiography – Computed Tomography – Ultrasound

eingesetzt. CT, MRT bzw. DSA werden im Interesse des Patienten nur dann durchgeführt, wenn von ihrem Einsatz ein entsprechend hoher diagnostischer Zusatzgewinn erwartet und das erhöhte Transportrisiko somit gerechtfertigt wird.

Die bildgebende Diagnostik in der Intensivmedizin ist durch folgende grundsätzliche Problematik gekennzeichnet:

- die Mehrzahl der Patienten ist nicht kooperationsfähig;
- es bestehen eingeschränkte Aufnahmeverbedingungen (z.B. für die Thoraxorgane in liegender oder sitzender Position, seitliche Aufnahmen);
- zusätzliche diagnostische Verfahren wie Schichtaufnahmen, Durchleuchtung oder Projektionen sindbettseitig nur unter erschwerten Bedingungen oder gar nicht möglich;
- wichtige Strukturen werden ggf. durch Fremdmaterial (Verband, Metallimplantate, Katheter, Sonden, Elektroden usw.) überlagert;
- die gerätetechnische Ausstattung ist begrenzt (fahrbares Röntgengerät).

Darüber hinaus ist die Interpretation der radiologischen Befunde vielfach nur in Kenntnis klinischer Parameter wie Flüssigkeitsbilanz, Beatmungstherapie und Entzündungszeichen möglich. Da es schwierig ist, einzelne intensivmedizinische Fragestellungen anhand verschiedener bildgebender Verfahren abzuhandeln, werden in diesem Beitrag die diagnostischen Möglichkeiten und Grenzen des konventionellen Röntgens, der Computertomographie und des Ultraschalls vorgestellt. Dabei können nur die wichtigsten Indikationen und Befunde Erwähnung finden.

Allgemeine Bewertung bildgebender Verfahren

Ein wesentlicher Aspekt der Bewertung bildgebender Verfahren ist ihr aufgrund physikalischer Bedingungen vorgegebenes räumliches Auflösungsvermögen (Tab. 1).

Unabhängig von der räumlichen Auflösung sind die einzelnen Verfahren mit weiteren Vor- und Nachteilen verbunden.

Tabelle 1

Im klinischen Alltag eingesetzte bildgebende Verfahren mit ihren räumlichen Auflösungsvermögen und den resultierenden Einschränkungen.

Verfahren	Δ [mm]	Bemerkung/Einschränkung
Analoges Röntgen	0,08	Ortsauflösung Film/Folie
Digitales Röntgen	0,07	Limitation durch die Größe der Detektorelemente
Computertomographie	0,04	Pixelgröße ca. 0,04 mm
Magnetresonanztomographie	0,5	Signal-zu-Rausch-Verhältnis steigt mit magnetischer Feldstärke
Ultraschall	0,3	Limitation durch die Länge akustischer Wellen

Das konventionelle Röntgen wie auch die Computertomographie basieren auf der Verwendung potenziell kanzerogener ionisierender Strahlen (Tab. 2). Trotz allen technischen Fortschritts bleibt daher der Strahlenschutz zu beachten, und der indikationsgerechte Einsatz mit gezielter Fragestellung ist unabdingbar. Beispielhaft für die effektive Dosisbelastung durch Thorax-Verlaufsserien von Intensivpatienten mit (im Mittel) 39 Aufnahmen zu einem Krebsrisiko, das von den Autoren gegenüber dem Risiko der Grunderkrankung als vernachlässigbar eingestuft wurde [2].

Ein täglicher „Routine-Thorax“ ist nicht zu rechtfertigen. Im Vergleich zu einer gezielten „On-demand“-Diagnostik besteht kein Vorteil im Hinblick auf die Prognose sowie die

Dauer der Beatmung und Intensivbehandlung [3,4].

Der entscheidende Vorteil der Computertomographie ist die zweidimensionale und damit überlagerungsfreie Darstellung aller Körperregionen; dieser Vorteil muss jedoch regelmäßig durch einen Patiententransport erkauft werden.

Wegen der relativ hohen Strahlenbelastung bedarf das Verfahren grundsätzlich einer strengen Indikationsstellung (Tab. 2). Der aktuelle Stand der Technik ist die Mehrzeilen-CT, die mit neuesten Geräten (je nach Hersteller >300 Zeilen) bei höchster Auflösung in deutlich weniger als 10 s die Untersuchung von Thorax oder

Tabelle 2

Effektive Strahlendosis verschiedener bildgebender Verfahren im Vergleich zur natürlichen Bestrahlung.

Untersuchung	Effektive Strahlendosis	Vergleichbar mit einer natürlichen Strahlenbestrahlung von
Abdomen		
CT-Abdomen	10 mSv	3 Jahren
Intravenöse Urographie	1,6 mSv	6 Monaten
Oberer Magendarmtrakt	2 mSv	8 Monaten
Unterer Magendarmtrakt	4 mSv	16 Monaten
Zentrales Nervensystem		
CT-Schädel	2 mSv	8 Monaten
Thorax		
Thorax-Röntgenaufnahme	0,1 mSv	10 Tagen
CT-Thorax	8 mSv	3 Jahren

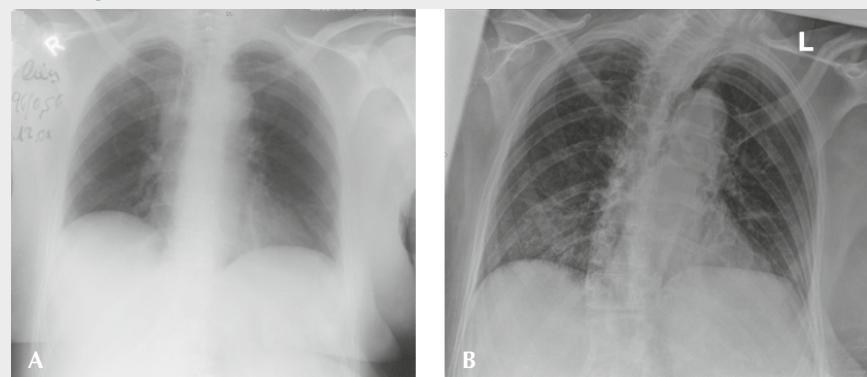
CT = Computertomographie; mSv = Milli-Sievert.

Abdomen erlaubt. Die schnelle Scantechnik bietet darüber hinaus den Vorteil, dass die Bolusgabe eines Röntgen-Kontrastmittels (KM) optimal genutzt werden kann. Die Mehrzeilen-CT hat bei der Untersuchung eines Aortenaneurysmas, einer Aortendissektion oder einer Lungenarterienembolie andere diagnostische Verfahren weitgehend verdrängt. Die CT ist aber auch zur Untersuchung des Venensystems (z.B. bei Verdacht auf Thrombose der V. subclavia) geeignet. Nach Gabe von KM sind auch Aussagen zur Organperfusion und Fokussuche bei Sepsis usw. möglich. Insgesamt ist die Mehrzeilen-CT mit CT-Angiographie zum Routineverfahren für die Darstellung fast aller Gefäßregionen mit Ausnahme der A. spinalis anterior und mikroangiopathischer Veränderungen geworden. Die Quantifizierung der Houndsfield-Einheiten (HE) erlaubt darüber hinaus Dichtemessungen zur Artdiagnostik unterschiedlicher Gewebe und Flüssigkeiten.

Untersuchungen mittels Ultraschall (Sonographie) haben sich zu einem unverzichtbaren Instrument in der bettseitigen Diagnostik kritisch kranker Patienten entwickelt.

Die Sicherheit des nicht auf ionisierender Strahlung beruhenden Verfahrens und seine breite Verfügbarkeit ermöglichen eine rasche und detaillierte Information über das kardiovaskuläre System sowie die Anatomie und Funktion weiterer innerer Organe. Ein wesentlicher Vorteil der Sonographie ist, dass die Untersuchung bettseitig auf der Intensivstation und damit ohne gefährdenden Transport erfolgen kann. Einschränkungen beruhen u.a. auf physikalischen Gegebenheiten: Luft und Knochen stellen nahezu undurchdringbare Strukturen dar und erlauben keine adäquate Bildgebung. Weiter sind zur Erlangung aussagekräftiger Befunde eine adäquate Ausbildung des Anwenders und regelmäßige Praxis unabdingbar. Die Kosten für die Anschaffung und Wartung der Gerätschaften sind zwar relativ hoch, aber wegen der Bedeutung des Verfahrens insbesondere in der intensivmedizinischen Diagnostik unbedingt zu rechtfertigen.

Abbildung 1



Thorax-Röntgenaufnahmen in analoger (links, A) und digitaler (rechts, B) Technik im Vergleich.

Konventionelle Röntgendiagnostik

Allgemeines

Die konventionelle Röntgendiagnostik erfolgt heute vorwiegend digital und nicht mehr analog – gerade auf der Intensivstation hat sich die digitale Radiographie wegen ihrer technischen Vorteile sowohl als Bildaufnahme – wie auch als Bilddokumentationssystem durchgesetzt (Abb. 1). Die Vorteile sind vor allem organisatorischer Art: Bei der analogen Diagnostik muss pro Exposition eine Filmkassette eingesetzt werden, während bei der digitalen Radiographie mit Einsatz eines Röntgendetektors unbegrenzt viele Aufnahmen möglich sind. Die digitale Bildgebung verfügt zudem über den wesentlichen Vorteil, dass die Aufnahmen nachbearbeitet (Kontrast, Zoomen, Invertieren, Abmessen usw.) und per Netzwerk transferiert werden können. Im Zeitalter elektronischer Datenverarbeitung kann auf dem mobilen Röntgengerät das Röntgenbild unmittelbar aufgerufen und später jederzeit im „Picture Archiving and Communication System“ (PACS) eingesehen werden. Um eine Diagnose stellen zu dürfen, sind bei der Verwendung digitaler Techniken mit bettseitiger Beleuchtung der Röntgenaufnahme jedoch definierte Anforderungen bezüglich der Bildschirmqualität zu beachten.

Röntgen-Übersichtsaufnahme der Thoraxorgane am Krankenbett

Grundlagen und Indikation

Jede Röntgenaufnahme am Krankenbett der Intensivstation stellt einen Kompromiss mit den eingeschränkten Projektionsmöglichkeiten dar. Die Bildgebung erfolgt standardisiert, um einige der Fehlerquellen der radiologischen Diagnostik der Lunge in liegender Position auszuschalten. Eine „gute“ Liegendaufnahme ist daher diagnostisch durchaus verwertbarer als eine unzureichende Sitzendaufnahme.

Die Röntgen-Übersichtsaufnahme der Thoraxorgane (Thorax-Röntgenaufnahme) soll in tiefer Inspiration im anterior-posterioren (a.-p.) Strahlengang und so aufrecht sitzend wie möglich angefertigt werden. Der Patient wird jedoch nur dann in sitzende Position gebracht, wenn es sein Allgemeinzustand erlaubt.

- Für eine adäquate Aussagekraft bedarf es einer ausreichenden Inspirationstiefe. Bei unzureichender Inspiration erscheinen beide Lungenflügel verdichtet, das Herz ist quergelagert und vergrößert und das Mediastinum scheinbar verbreitert. Eine ausreichende Inspirationstiefe liegt vor, wenn die Zwerchfellkuppel in der Medio-klavikularlinie in Höhe der 5. Rippe (sternal) abgrenzbar ist.

- Problematisch sind „verdrehte“, nicht orthograd getroffene Aufnahmen. Zur Bewertung der korrekten Projektion dienen die medialen Enden der Klavikulae als vordere und die Dornfortsätze der oberen Brustwirbelsäule als hintere Leitstrukturen. Bei einer „verdrehten“ Aufnahme erscheint der nach hinten gerichtete Lungenflügel kleiner und vermehrt strahlendicht, und das Mediastinum wirkt verbreitert.
- Die Betrachtung des Einzelbildes erfolgt seitenvergleichend, bei Bildserien eines Patienten stets im Vergleich mit früheren Aufnahmen – Initialveränderungen und Prozesse geringer Ausdehnung können vielfach erst dadurch erkannt werden.
- Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sollen die Belichtungsparameter bei Verlaufsaufnahmen eines Patienten übereinstimmen.

Indikationen zur Anfertigung einer Thorax-Röntgenaufnahme sind vor allem die Lagekontrolle eingeführter Sonden und Katheter sowie der Nachweis bzw. Ausschluss von Pleuraerguss, Pneumothorax und pulmonalen Infiltraten.

Lagekontrolle von Fremdmaterialien

Die Lagekontrolle neu eingebrachter Katheter und Tuben ist schon deshalb angezeigt, weil Fehllagen bei bis zu 27% der Fälle beschrieben worden sind [5]. Da regelmäßig nur a.-p.-Aufnahmen vorliegen, ist die exakte topographische Zuordnung des Fremdmaterials gelegentlich schwierig – daher soll die Position korrekt erweise mit „in Projektion auf“ eine bestimmte Struktur beschrieben werden. Ist die korrekte Lage nicht eindeutig zu klären, müssen Schnittbildverfahren (Sonographie und CT) herangezogen bzw. Katheter oder Drainagen usw. mittels KM dargestellt werden.

Die Lage des Endotrachealtubus und aller anderen Sonden und Katheter muss auf jeder Thorax-Röntgenaufnahme kontrolliert werden.

Die Lage des Endotrachealtubus ist stets kritisch zu prüfen; bei 12-15%

der Patienten wurde auf der Thorax-Röntgenaufnahme eine Fehllage gefunden [6]. Viele der zumeist endobronchial fehlpositionierten Tuben werden durch alleinige klinische Untersuchung (Atemgeräusch, Thoraxexkursion usw.) nicht erkannt. Auch kann die Tubuslage bei Manipulationen (z.B. Neifixierung) oder durch Husten verändert sein.

- Der röntgendiftiche Streifen ermöglicht die Lokalisation des distalen Tubusendes. Dessen Lage wird normalerweise in Bezug auf die Carina tracheae angegeben, die sich wiederum in 95% der Fälle auf den 5. Brustwirbelsäulenkörper projiziert.
- In 10-20% der Fälle muss der Tubus nach radiologischer Lagekontrolle – meist wegen rechtsseitiger endobronchialer Intubation – korrigiert werden [7].
- Eine Flexion oder Extension der Halswirbelsäule kann die Lage des Tubus relevant verändern – bei Flexion wird der Tubus bis 2 cm distalwärts und bei Extension bis 2 cm kranialwärts verlagert.
- Bei klinischem Verdacht und radiologisch deutlicher Überblähung des Cuffs muss eine Trachealruptur ausgeschlossen werden. Durch Luftaustritt aus der rupturierten Trachea kann es zu einem Pneumomediastinum, Weichteilemphysem und Pneumothorax kommen. Zur genauen Lokalisation der Trachealruptur, zur Beurteilung einer möglichen Infektion im Bereich des Mediastinums bzw. zur Planung eines evtl. chirurgischen Eingriffs ist eine CT-Untersuchung erforderlich.

Bei der Lagekontrolle zentraler Venenkatheter (ZVK) ist darauf zu achten, dass der gesamte intrathorakale Verlauf des Katheters von der Punktionsstelle bis zur Spitze abgebildet ist. Um extravasale Fehllagen eindeutig zu identifizieren, kann die Darstellung mit einem KM (5-10 ml) erforderlich werden. ZVK-Fehllagen werden bei bis zu einem Drittel der Thorax-Röntgenaufnahmen gefunden.

- Ein über die V. subclavia oder V. jugularis interna eingeführter Katheter soll mit der Spitze im Bereich der V. cava superior liegen; dies bedeutet, dass

sich die Spitze in der a.-p.-Aufnahme auf einen Bereich zwischen den sternalen Ansätzen der 1.-3. Rippe und nicht tiefer als auf die Carina tracheae projiziert [8].

- Die häufigste Fehllage bei Anlage über die V. subclavia (ca. 15% der Fälle) ist der Verlauf „nach oben“ in die ipsilaterale V. jugularis interna [9].
- Seltener Fehllagen im Bereich der V. azygos und der V. thoracica interna sind schwierig oder nur bei Aufnahmen in zwei Ebenen bzw. nach KM-Markierung zu erkennen. Eine Fehllage in der V. azygos ist bei einer Schleifenbildung in Projektion auf den Einmündungsbereich der V. azygos in die V. cava superior zu vermuten [10]. Eine Fehllage im Bereich der V. azygos ist im lateralen Strahlengang an ihrer dorsalwärts gerichteten Position erkennbar. Eine Fehllage in der V. thoracica interna kann in der Seitenaufnahme an ihrem retrosternalen Verlauf identifiziert werden. Andere Fehllagen wie im Bereich der V. pericardiophrenica, der V. intercostalis superior links und der V. thyroidea inferior sind Raritäten.
- Die häufigste venöse Gefäßvariante ist eine persistierende, linke obere Hohlvene, die bei 0,3% der Bevölkerung und 4,3% der Patienten mit angeborenen Herzfehlern zu erwarten ist. Nach Punktions der linken V. jugularis interna oder V. subclavia verläuft der Katheter typischerweise links mediastinal nach kaudal.
- Eine extravasale Fehllage in Mediastinum oder Pleura kann zu einem Infusionsmediastinum mit Mediastinalverbreiterung und Pleuraerguss führen. Die Fehllage kann durch Extravasation von KM nach Gabe über den Katheter nachgewiesen werden.

Es ist stets zu beachten, dass bei mehrlumigen Kathetern auch nur ein Lumen extravasal gelegen sein kann.

Eine intraaortale Ballonpumpe (IABP) ist in der Thorax-Röntgenaufnahme während der Diastole als längliche, gasgefüllte Struktur im Bereich der thorakalen

Aorta descendens erkennbar. Während der Systole ist der Ballon leer und daher nicht sichtbar. An der Katheterspitze befindet sich eine kleine, röntgendichte Markierung.

- Idealerweise liegt die Spitze der IABP unmittelbar distal des Abgangs der linken A. subclavia und stellt sich in der a.-p.-Aufnahme in Projektion auf den Arcus aortae dar.
- Bei Verdacht auf eine (iatrogene) Aortendissektion oder Aortenruptur ist zur weiteren Abklärung eine transösophageale Echokardiographie oder CT-Angiographie erforderlich.

Bei transvenösen Schrittmachersonden, die über die V. subclavia oder die V. jugularis interna vorgebracht werden, soll sich die Spitze der Sonde im a.-p.-Bild auf den Boden des rechten Ventrikels etwas medial vom linken Herzrand projizieren.

Bei einem Hämatoperikard erlaubt die Thorax-Röntgenaufnahme anhand des verbreiterten Herzschattens und dessen zeltförmiger Konfiguration allenfalls eine Verdachtsdiagnose. Der Nachweis einer Herzbeuteltamponade ist die Domäne der Echokardiographie.

Pleuraergüsse oder ein Pneumothorax machen häufig die Punktion bzw. die Anlage einer Thoraxdrainage erforderlich.

Zur Lagekontrolle und zum Ausschluss evtl. Komplikationen (z.B. Pneumothorax nach Punktions eines Pleuraergusses) wird vielfach eine Thorax-Röntgenaufnahme angefertigt.

Es ist besonders darauf zu achten, dass alle Seitenöffnungen des Drainageschlauchs – sie sind an einer Unterbrechung des Röntgenstreifens erkennbar – intrathorakal liegen.

- Eine Fehllage muss vermutet werden, wenn in der Thorax-Röntgenaufnahme keine Verbesserung gegenüber dem pathologischen Ausgangsbefund erkennbar ist. Im Einzelfall kann bei unklarer projektionsradiographischer Lage eine Thorax-CT erforderlich sein, die eine Differenzierung zwischen einer Lage im Bereich der Interlobien oder innerhalb des Lungenparenchyms erlaubt.

Magen-, Duodenal- oder Jejunalsonden werden in der Intensivmedizin meist klinisch oder endoskopisch kontrolliert platziert; Fehllagen sind jedoch nicht selten. Die Sonden sind mit einem röntgendichten Streifen versehen, sie sind jedoch bei unterexponierten Aufnahmen und geringer Röntgendichte oft nur schlecht sichtbar und können ggf. durch KM dargestellt werden.

Pneumothorax, Spannungspneumothorax und Pneumomediastinum

Insbesondere bei beatmeten Patienten ist ein Pneumothorax nicht selten, auch wenn die Häufigkeit über die letzten Jahre rückläufig ist und aktuell mit ca. 3% angegeben wird [11]. Ein Pneumothorax ist die häufigste ZVK-assoziierte Komplikation – am häufigsten nach Punktions der V. subclavia bei Patienten mit Lungenemphysem und Bullae.

Nach einer Punktion bzw. einem Punktionsversuch ist bei jeder respiratorischen Funktionseinschränkung an die Möglichkeit des – ggf. verspäteten – Auftretens eines Pneumothorax zu denken; dies ist noch Stunden bis Tage nach der Punktion möglich [12].

- Direkte Röntgenzeichen eines Pneumothorax (Abb. 2) sind die abgehobene Pleura visceralis als scharf abgrenzbare Linie zwischen Lunge und lufthaltigem Pleuraraum und die fehlende Darstellung von Lungengefäßen im Pneumothoraxspalt.
- Beim stehenden Patienten sammelt sich die pleurale Luft kranial. Eine Aufnahme in Expiration erhöht die Nachweisrate.
- Beim liegenden Patienten finden sich die klassischen Zeichen des Pneumothorax nur bei größerer intrapleuraler Luftansammlung und erhaltener Lungenelastizität – die freie pleurale Luft sammelt sich meist ventral und kaudal. Zur Darstellung in der Thorax-Röntgenaufnahme ist eine maximal aufgerichtete Patientenposition besonders wichtig. Indirekte Pneumothoraxzeichen sind das „deep sulcus sign“ – ein besonders tief ste-

Abbildung 2



Rechtsseitiger Pneumothorax (Pfeil) und ausgeprägtes Weichteilemphysem nach frustranen Punktionsversuchen zur Anlage eines zentralen Venenkatheters.

hender Recessus phrenicocostalis mit Konvexität der Zwerchfellkontur nach kaudal – sowie eine „aufgehellte“ Lunge.

Auf der a.-p.-Röntgenaufnahme des Thorax können ventrale Luftansammlungen dem direkten Nachweis entgehen. Die aussagekräftigste Methode bei Verdacht auf einen verborgenen Pneumothorax ist die Computertomographie [13].

Insbesondere bei älteren und kachekti- schen Patienten können Hautfalten als Pneumothorax fehlinterpretiert werden. Die Hautfalten laufen jedoch typischerweise über die Thoraxwand hinaus, sind oft bilateral oder multipel, verschwinden plötzlich und lassen durchziehende Gefäßstrukturen erkennen. Ebenso sprechen eine unscharfe Begrenzung, ein begleitender Weichteilschatten und die nicht parallele Ausrichtung zur Thoraxwand für eine Hautfalte. Ggf. muss eine Wiederholungsaufnahme unter kontrollierten Aufnahmebedingungen bzw. eine Sonographie oder CT erfolgen.

Auch andere intra- und extrathorakale Luftansammlungen, z.B. verursacht durch zystische Lungenvänderungen (Zysten, Emphysembullae), Luftansammlungen im Mediastinum, Perikard oder den Thoraxweichteilen sowie intrathorakale Hernien und externe Fremdkörper können mit einem Pneumothorax verwechselt werden.

Bei einem Spannungspneumothorax bestehen folgende radiologische Leitsymptome:

- Verlagerung der Mediastinalstrukturen zur Gegenseite mit Verlagerung der Trachea;
- Herniation der kollabierten bzw. retrahierten Lunge in das Mediastinum;
- Kaudalverlagerung des Zwerchfells;
- Kaudalverlagerung und Verbreiterung des lateralen Recessus phrenicocostalis.

Die Röntgenzeichen eines Spannungspneumothorax können bei bilateralen diffusen Lungenveränderungen (z.B. bei ARDS; Acute Respiratory Distress Syndrome, akutes Lungenversagen) nur sehr diskret ausgebildet sein.

Ein Mediastinalemphysem führt in der Thorax-Röntgenaufnahme zu streifenförmigen, in kraniokaudaler Richtung verlaufenden mediastinalen Aufhellungen. Die Unterscheidung eines medialen Pneumothorax von einem Mediastinalemphysem kann schwierig sein. Häufiger Begleitbefund des Mediastinalemphsems ist ein Weichteilemphysem der Thoraxwand oder des Halses; die mediastinale Luft kann sich bis in das Retroperitoneum und Peritoneum ausbreiten. In Zweifelsfällen ist der Luftgehalt im retrosternalen Mediastinum durch eine CT gut darstellbar.

Die Ruptur subpleuraler Alveolen führt beim beatmeten Patienten unmittelbar zum Pneumothorax – aber auch intrapulmonale extraalveolare Luftansammlungen stellen eine ernste Komplikation dar. Die Luft breitet sich im Interstitium entlang dem broncho-vaskulären Bündel und der interlobulären Septen aus [14]; das so entstehende interstitielle Emphysem kann sich nach peripher bis zum Pneumothorax und nach zentral bis zum Pneumomediastinum ausweiten. Wegweisend sind irregulär angeordnete Luftbläschen, seltener streifenförmige Luftansammlungen entlang den kleinen Gefäßen und Bronchusstrukturen sowie subpleural gelegene Luft. Es zeigen sich vom Hilus nach peripher ziehende Auf-

hellungsstreifen, die im Gegensatz zum Luftbronchogramm keine Verzweigungen oder eine regelmäßige, peripherwärts gerichtete Kaliberabnahme aufweisen. Ringförmige, perivaskuläre Aufhellungen („Halos“) sind selten, aber typisch, und entstehen durch Luft im perivaskulären Interstitium. Im Verlauf können vorbestehende Konsolidierungen bei Ausbildung eines interstitiellen Emphysems transparenter erscheinen. Hier ist Vorsicht vor einer Fehlinterpretation im Sinne einer Befundbesserung geboten.

Pleuraerguss

Bei kritisch kranken Patienten finden sich häufig pleurale Flüssigkeitsansammelungen – so werden nach abdominellen Operationen bei bis zu 50% der Patienten Pleuraergüsse nachgewiesen, die oft jedoch keiner speziellen Behandlung bedürfen. Nach Thoraxeingriffen finden sich häufig Pleuraergüsse – teils mit hämorrhagischer Komponente; diese Patienten werden regelmäßig schon intraoperativ mit Thoraxdrainagen versorgt.

Beim liegenden Patienten ist eine Ergussmenge von 200-500 ml notwendig, um eine sichtbare Verschattung in der Thorax-Röntgenaufnahme zu verursachen.

- Beim liegenden Patienten mit nicht oblitteriertem Pleuraspalt verteilt sich der Erguss flächig nach dorsal, wobei durch Anheben des Oberkörpers eine mehr kaudale Verteilung erreicht werden kann.
- Bei einseitigem Pleuraerguss ist die betroffene Thoraxseite im Vergleich zur gesunden Seite transparenzmindert. Bei beidseitigem Erguss sind weitere Röntgenzeichen wie die homogene, kranial abnehmende Transparenzminderung einer Lungenhälfte, die unscharfe oder fehlende Begrenzung des Zwerchfells, die laterale und apikale Verbreiterung des Pleuraraums sowie die Flüssigkeitsmarkierung der Interlobärspalten zu beachten. Bei großen Ergüssen steigt die charakteristische homogene Verschattung weiter nach kranial, überlagert und verdeckt die Konturen

von Zwerchfell und Mediastinum bzw. Herzrand und kann zur Totalverschattung einer Thoraxhälfte mit Verdrängung des Mediastinums zur Gegenseite führen (sog. expansiver Pleuraerguss).

- Ein Interlobärerguss ist in der a.-p.-Aufnahme an elliptischen oder runden, in der Seitenaufnahme spindelförmigen Verschattungen im Verlauf der Interlobärspalten zu erkennen.
- Abgekapselte Pleuraergüsse entstehen bei Adhäsionen zwischen viszeraler und parietaler Pleura; in der Thorax-Röntgenaufnahme stellen sie sich bei tangentialer Projektion als halbkugelige, der Pleura parietalis breitbasig aufsitzende Verschattungen dar.

Der Nachweis sowie die Bestimmung der Ausdehnung und optimalen Punktionssstelle bei abgekapselten Pleuraergüssen ist eine Indikation für die Sonographie der Pleura. Ggf. ist eine CT indiziert; beide Verfahren bieten gleichzeitig die Option zur bildgebungsgestützten Punktions- bzw. Drainageanlage.

Atelektasen

Pulmonale Belüftungsstörungen sind sehr häufig. Bedingt durch Schwerkraft und eingeschränkte Atembewegungen, liegen v.a. dorsobasal hypoventilierte Areale vor. Atelektasen finden sich bei >90% der Patienten nach Thoraxoperationen, 20-30% nach Oberbauch- und 5% nach Unterbaueingriffen. Bei Dystelektasen liegt eine Minderbelüftung von Subsegmentbereichen (v.a. im Mittel- und Unterfeld) vor, bei Lappen- oder Totalatelektasen die Minderbelüftung eines ganzen Lappens (meist des Unterlappens).

- Das führende direkte Zeichen der Atelektase ist die Transparenzminde rung (Verschattung) des betroffenen Areals.
- Da es durch die fehlende Belüftung zur Volumenminderung des betroffenen Lungenabschnitts kommt, kann eine Atelektase auch durch indirekte Zeichen wie Zwerchfellhochstand, Mediastinalverlagerung zur betroffenen Seite oder Überblähung der kontralateralen Lungenabschnitte diagnostiziert werden.

- Es kann unmöglich sein, eine lobäre Ateletase von einer Lobärpneumonie zu unterscheiden.

Pneumonie

Eine Pneumonie ist eine häufige intensivmedizinische Diagnose. Die Diagnosestellung beim kritisch Kranken ist schwierig; die Befunde werden häufig übersehen oder falsch interpretiert. Die Thorax-Röntgenaufnahme erlaubt nur in 50% der Fälle eine korrekte Diagnose – in Anbetracht der Tatsache, dass Infektionen der Atemwege ca. 60% aller Infektionen in der Intensivmedizin ausmachen, ist dies eine erhebliche Einschränkung.

- Radiologisch liegen bei einer Pneumonie pulmonale Infiltrate (unspezifisches Zeichen), alveolare Konsolidierungen und ein positives Bronchopneumogramm vor.
- Eine Bronchopneumonie ist durch unscharf begrenzte, konfluierende Verdichtungsareale auf Subsegment- oder Segmentniveau gekennzeichnet.

Einschmelzende Prozesse bei einer Pneumonie sollen unbedingt mittels CT abgeklärt werden.

Lungenödem und ARDS

Das Lungenödem ist als pathologische Ansammlung von Flüssigkeit im Lungenparenchym definiert und entwickelt sich immer dann, wenn das Gleichgewicht zwischen Transsudation und Resorption gestört ist. Es werden das sog. kardiale („hydrostatische“) Ödem und das nicht-kardiale („Permeabilitätsödem“) beim ARDS usw. unterschieden.

- Radiologische Zeichen des ARDS sind beidseitige „fleckige“ pulmonale Infiltrate, die mit den Zeichen eines Lungenödems einhergehen und nicht anderweitig erklärt werden können; bei einem schweren ARDS sind drei oder alle vier Quadranten betroffen [15].
- Eine CT-Untersuchung kann – besser als eine Thorax-Röntgenaufnahme – anhand der Verteilung der Infiltrate zur Differenzierung von kardialem Ödem, ARDS und atypischen pulmonalen Infektionen beitragen.

Röntgen-Übersichtsaufnahme des Abdomens am Krankenbett

Vor der Röntgen-Übersichtsaufnahme des Abdomens sollen die Patienten nach Möglichkeit fünf Minuten in Linkssseitenlage gebracht werden. Es wird je ein Röntgenbild in Linksseiten- und Rückenlage angefertigt. Bei Kindern genügt je nach Fragestellung auch die Aufnahme in nur einer Ebene.

- Die Aufnahme dient dem Nachweis von Spiegelbildungen, der Beurteilung der intraluminalen Gasverteilung sowie dem Nachweis einer freien Perforation und atypischer Gasansammlungen (z.B. Aerobilie).
- Falls anhand der bettseitigen Abdomen-Übersichtsaufnahme keine Diagnose gestellt werden kann, ist zügig eine CT durchzuführen.

Computertomographie (CT)

Allgemeines

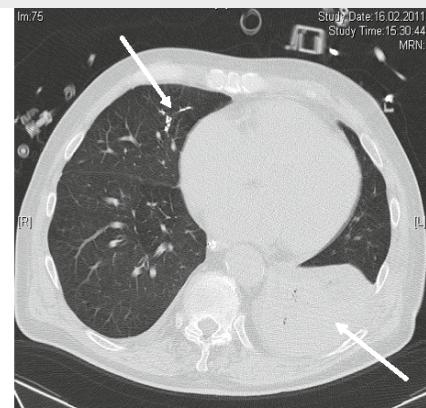
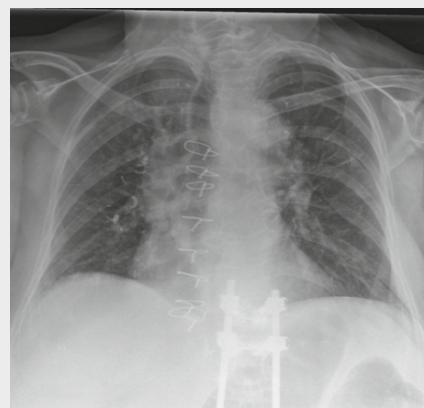
CT-Untersuchungen von Intensiv- und Notfallpatienten sollen nach Möglichkeit mit einem Mehrzeilen-gerät (Multislice-Scanner) erfolgen.

Während die Routine-CT einer standardisierten Technik folgt, ist die Untersuchung in einer Notfallsituation der klinischen

Fragestellung anzupassen. Es muss im Einzelfall geklärt werden, ob eine initiale Nativserie erforderlich ist, so bei der Frage nach einer zerebralen Blutung (cave: Maskierung der Blutung durch KM), und ob eine zusätzliche Kontrastierung des Gastrointestinaltrakts oder eine Markierung von z.B. Harnblase oder Rektum erfolgen soll. Vielfach wird die CT-Diagnostik auch nicht zum Nachweis, sondern zum Ausschluss bestimmter Prozesse (z.B. Fokussuche bei unklarem Fieber) indiziert, was entsprechend zu begründen ist.

Während fahrbare Geräte zur kraniellen Bildgebung vereinzelt vorhanden sind, ist – abgesehen von Prototypen – bislang kein fahrbares Ganzkörper-CT-Gerät zur mobilen Diagnostik etabliert. Eine Auswertung zum Einsatz eines derartigen Systems hat gezeigt, dass in 97% eine Schädel-, gefolgt von Thorax- und Abdomen-CT durchgeführt wurde. Als Gründe für die bettseitige Diagnostik wurden extrakorporale Verfahren (93%), die Schwere der Erkrankung (77%) sowie eine kardiovaskuläre (70%) bzw. respiratorische Instabilität (57%) genannt. Die Autoren beschreiben die mobile CT-Diagnostik als eine alternative und potenziell sichere Möglichkeit der Bildgebung [16]. Allerdings benötigen die derzeitigen Geräte relativ viel Platz, was den Einsatz in Abhängigkeit von den räumlichen Gegebenheiten der Intensivstation limitiert.

Abbildung 3



Thorax-Röntgenaufnahme (links) und Computertomographie (CT; rechts) im Vergleich. Die CT-Diagnostik liefert den Nachweis einer Unterlappenatelektase links (Pfeil unten), die im a.-p.-Röntgenbild nicht nachzuweisen ist. Zudem wird die rechtspulmonale Fremdkörperembolie nach Wirbelsäulenstabilisierung erkennbar (Pfeil oben).

Thorakale und abdominelle Computertomographie

Die thorakale CT dient vor allem der Differenzierung von Prozessen, die sich überlagern, damit gegenseitig maskieren und im konventionellen Röntgenbild zu einer pulmonalen Verschattung führen (Abb. 3). Insbesondere mediastinale Prozesse (Halsabszess, Ösophagusperforation, mediastinales Hämatom, Gefäßruptur) sind Indikationen für eine CT-Bildgebung. Beim Intensivpatienten liegen darüber hinaus häufig multiple Ursachen und Befunde vor; dazu zählen Atelektasen, Pneumonie, Aspiration, kardiales Lungenödem, ARDS und Pleuraergüsse. Die Überlegenheit der CT-Diagnostik ist hier offensichtlich, da, wie bereits ausgeführt, das konventionelle Röntgenbild in nur 50% der Fälle die korrekte Diagnose einer Pneumonie erlaubt [17]. Die Computertomographie ermöglicht ferner auch die Differenzierung von pleuralen und pulmonalen Prozessen, z.B. von Lungenabszess und Pleuraempyem.

Die CT-Diagnostik ist darüber hinaus der Goldstandard zum Nachweis einer Lungenarterienembolie. Die Mehrzeilen-CT kann sowohl akute Embolien als auch organisierte Thromben mit einer Sensitivität und Spezifität von jeweils >90% (bis auf Segmentebene) nachweisen. Im Vergleich zu anderen Verfahren gelingt durch die KM-Aussparung der direkte Embolusnachweis (Abb. 4).

Abbildung 4



Thorakale Computertomographie nach intravenöser Kontrastmittelgabe mit Nachweis eines Embolus im Stamm der rechten Pulmonalarterie (Pfeil).

Abbildung 5



Abdominelle Computertomographie mit Nachweis von freier intraperitonealer Luft und am Kontrastmittelaustritt erkennbarer Magenperforation (Pfeil).

Eine abdominelle CT (Abb. 5) soll bei sonographisch nicht adäquat zu untersuchenden Patienten (Meteorismus, Verband, eingeschränkte Lagerung usw.) erfolgen. Zu den Fragestellungen zählen freie intraabdominelle Luft, intestinale Ischämie, akute Cholezystitis (kalkulös, nicht-kalkulös), Flüssigkeitsansammlungen, Hämatome, Abszesse (z.T. intraparenchymatos) und Blutungen [18,19]. In der Diagnostik und Verlaufsbeobachtung der akuten Pankreatitis (CT-Schwere-Score) ist die Computertomographie das Verfahren der Wahl [20].

CT in der Neuroradiologie

Die CT ist die am schnellsten verfügbare und für die Akutsituation meist ausreichende Untersuchung zur Bewertung von Schädel und Wirbelsäule. Wesentliche Indikationen sind Trauma, ischämischer Infarkt, Blutung, postoperative Kontrolle und (seltener) entzündliche Prozesse (z.B. Hirnabszess). Spezielle Fragestellungen (z.B. Scherverletzung, Hirnstammpathologien) können mittels CT nur unzureichend beantwortet werden und bedürfen der Magnetresonanztomographie. Deren wesentliche Probleme liegen in der unzureichenden Zugänglichkeit zum Patienten während der Untersuchung; Atemweg, Gefäßzugänge, Sonden und Überwachungssysteme usw. müssen speziell gesichert und funktionstüchtig gehalten werden.

Ultraschall

Allgemeines

Ultraschalluntersuchungen liefern rasche und detaillierte Informationen über das kardiovaskuläre System (Echokardiographie) sowie die Anatomie und Funktion anderer innerer Organe [21,22].

Ultraschallgeräte in der Intensivmedizin unterscheiden sich nicht grundsätzlich von den „Routine-Geräten“, es handelt sich in der Regel um sog. Realtime-Geräte mit Sektortechnik und einem 3,0-3,5 MHz-Schallkopf. Zudem sollte eine Duplexfunktion vorhanden sein, die zum Standard der nicht-invasiven Beurteilung der Durchblutung von Organen, Herz-höhlen und Gefäßen zählt. Schallköpfe mit höherer Ultraschallfrequenz (5-10 MHz) sind in der pädiatrischen Intensivmedizin und bei Erwachsenen zur Beurteilung oberflächennaher Prozesse (bis ca. 5 cm Eindringtiefe) angebracht. Eine sinnvolle Zusatzausstattung ist ein Punktionschallkopf zur Assistenz bei interventionellen Maßnahmen wie Punktionen und Drainagen. In Bezug auf eine Standardisierung der Ausbildung in der Intensivmedizin liegt national keine einheitliche Regelung vor; als Referenz kann das für US-amerikanische Fachärzte für Notfallmedizin entwickelte Curriculum dienen [23,24].

Echokardiographie

Die Indikationen zur Durchführung einer transösophagealen Echokardiographie (TEE) oder transthorakalen Echokardiographie (TTE) sind umfangreich und wurden aktuell überarbeitet [25]. Die Indikationen zur TEE beim nicht-kardiochirurgischen Patienten sind in Tabelle 3 dargestellt.

Die TEE gilt als sicheres Verfahren – die Rate lebensbedrohlicher Komplikationen wie Kreislaufstillstand und respiratorisches Versagen wird in der Literatur mit 0,4% angegeben [27].

Tabelle 3

Indikationen zur Durchführung einer transösophagealen Echokardiographie (TEE) beim nicht-kardiochirurgischen Patienten und Wertung gemäß American Society of Anesthesiologists – mod. aus [26].

Klasse 1-Indikation: Nach heutigem Wissenstand sinnvolle Indikation mit wahrscheinlich positivem Einfluss auf das Patientenüberleben. **Klasse 2-Indikation:** Mögliche Indikation ohne gesicherten positiven Einfluss auf das Patientenüberleben. **Klasse 3-Indikation:** Wenig belegte Indikation mit unklarem Einfluss auf das Patientenüberleben.

Indikation für eine TEE	Wertung
Hämodynamisch instabiler Patient, intra- und postoperativ	Klasse 1
Intensivpatient mit V.a. Klappenpathologie/Thrombembolie	Klasse 1
Erhöhtes Risiko für perioperative Myokardischämie	Klasse 2
Erhöhtes Risiko für hämodynamische Instabilität	Klasse 2
Thoraxtrauma, Verdacht auf Herzkontusion	Klasse 2
Nicht-kardiochirurgischer Eingriff bei Endokarditis	Klasse 3
Echokardiographische Kontrolle nach Aortenruptur	Klasse 3
Intraoperative Beurteilung von Pleura und Lunge	Klasse 3
Lagekontrolle zentralvenöser/pulmonalarterieller Katheter	Klasse 3

Als absolute Kontraindikationen der TEE gelten ösophageale Pathologien (Strikturen, Tumore, Ösophagusdivertikel, Mallory-Weiss-Läsion), unabgeklärte Dysphagie oder Odynophagie und Instabilität der Halswirbelsäule. Zu den relativen Kontraindikationen zählen Ösophagusvarizen, eine stattgehabte Ösophagus- oder Magenoperation, eine obere gastrointestinale Blutung und Erkrankungen des atlanto-axialen Gelenks. Zu den allgemeinen Komplikationen der TEE zählen Blutdruckschwankungen (0,8%), selbstli-

mitierende orale Schleimhautblutungen (0,7%) und atriale Arrhythmien (0,2%). Eine Alternative beim kritisch Kranken ist die schneller einsetzbare und weniger invasive TTE. In Tabelle 4 sind die Indikationen der TTE und TEE vergleichend dargestellt.

Derzeit liegen für den Einsatz der TEE in der Intensivmedizin – wie für viele andere Verfahren – keine prospektiv-randomisierten Studien mit den Endpunkten Morbidität, Mortalität oder Kosteneffektivität vor. Allerdings weisen

Studienergebnisse durchaus auf die Vorteile der Echokardiographie (insbesondere der TEE) und auf die Notwendigkeit der Ausbildung in diesem Bereich hin [28,29].

Nicht-kardiale Ultraschall-diagnostik

Allgemeines

Indikationen zum bettseitigen Einsatz für nicht-kardiale Ultraschalldiagnostik in der Intensivmedizin sind u.a.:

- Beurteilung parenchymatöser Organe in Thorax und Abdomen,
- Überwachung der Organperfusion (z.B. Leber),
- Bewertung von Ausmaß und Lokalisation von pleuraler und abdomineller Flüssigkeit,
- Platzierung zentraler Venenkatheter,
- Platzierung arterieller Zugänge,
- Lagekontrolle der intra-aortalen Ballonpumpe (IABP),
- Bewertung von Harnstauung, Nierenperfusion und Füllung der Harnblase,
- fokussierte Untersuchung von Traumapatienten (FAST; Focused Assessment with Sonography for Trauma),
- Neurosonographie,
- kranielle Dopplersonographie im Rahmen der Hirntoddiagnostik.

Intrathorakale und intraabdominelle Flüssigkeitsareale und Abszesse lassen sich sonographisch sowohl nachweisen als auch sonographisch gestützt drainieren [30] – bei schwer zugänglicher Lokalisation soll allerdings besser eine CT-gestützte Punktion erfolgen. Die Perikardpunktion wird unter Zuhilfenahme der TTE durchgeführt.

Thorax-Sonographie

Die Sonographie des Thorax ist insbesondere zum raschen Nachweis eines Pleuraergusses oder Pneumothorax geeignet (Abb. 6) - beide Befunde können in kurzer Zeit zur respiratorischen Insuffizienz führen und müssen daher umgehend nachgewiesen oder ausgeschlossen werden.

Tabelle 4

Indikationen für die transthorakale Echokardiographie (TTE) und die transösophageale Echokardiographie (TEE) – mod. aus [27].

TTE	TEE
Generelles Screening	Unzureichende Visualisierung durch TTE
Bewertung der Hämodynamik	Hämodynamische Instabilität
	Unerklärbare Hypoxämie, Bauchlagerung
Ausschluss einer Perikardtamponade	Perikardtamponade (lokal)
	Komplizierter Verlauf nach herzchirurgischem Eingriff
Akute Rechtsherzelastung (Lungenarterienembolie)	Akute Rechtsherzelastung mit Hypoxämie, hämodynamische Instabilität, Lungenarterienembolie
Thoraxtrauma (Patient nicht beatmet)	Thoraxtrauma (Patient beatmet) und Verdacht auf Aortenverletzung
Kontraindikationen für eine TEE	Diagnose/Ausschluss einer thorakalen Aortendissektion, Endokarditis, kardiale oder aortale Emboliequelle
	Platzierung eines zentralen Venenkatheters oder Pulmonalarterienkatheters, Kanülierungen

Abbildung 6

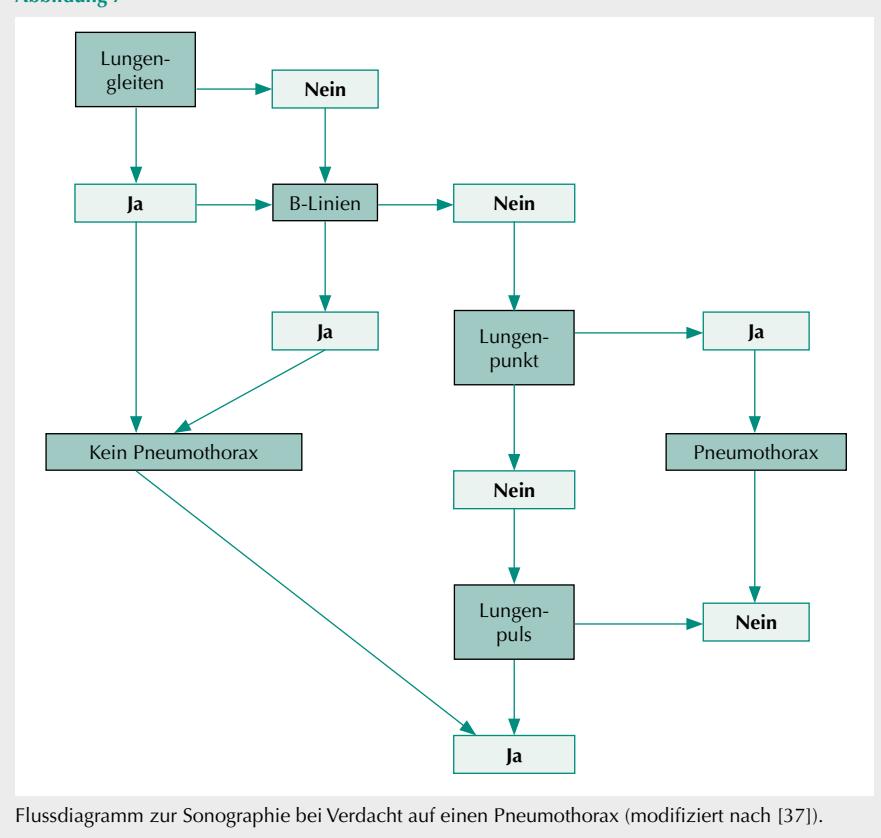
Thorax-Sonographie. Links: physiologischer Zustand. Rechts: Nachweis von B-Linien als Zeichen für das Nichtvorliegen eines Pneumothorax.

Die meisten Pleuraergüsse haben ein geringes Volumen – sie können punktiert werden, während die Anlage einer Thoraxdrainage vor allem bei respiratorischer Insuffizienz indiziert ist. Nach einem Trauma können große hämorrhagische Ergüsse vorliegen; hier kann die Entfernung der Koagel (bevorzugt nach CT-Befund) eine Thorakotomie erfordern. Die Sonographie zum Nachweis eines Pleuraergusses hat eine sehr hohe Sensitivität (100%) und Spezifität (90%) und ist der Thorax-Röntgenaufnahme (Sensitivität beim liegenden Patienten 40-60%) klar überlegen.

- Neben der Quantifizierung des Ergusses [31] erlaubt die Sonographie die Beurteilung der Lokalisation, der Binnenstruktur und der Kompression der anliegenden Lungenabschnitte.
- Atelektatische Lungenareale ohne jegliche Belüftung zeigen sonographisch das Bild von Gewebe (Hepatisation).
- Teilweise belüftete Lungenabschnitte sind durch multiple echoreiche Punkte und ein Bronchopneumogramm charakterisiert.
- Mit Hilfe des Ultraschalls lässt sich bei Titration des PEEP (positive endexpiratory pressure; positiver endexpiratorischer Druck) die Ventilation optimieren; auch das Ausmaß eines Lungenödems kann quantifiziert werden [32,33].

- Ein Pneumothorax kann sonographisch durch das Auslöschen des physiologischen Ultraschallsignals („Lungengleiten“) mit evtl. Identifikation eines „Lungenpunktes“ (= Wechsel von sonographisch bewegtem und unbewegtem Lungengewebe im M-Mode) erkannt werden.
- Als zusätzliches Zeichen dient ein regelmäßiger Lungenpuls, der durch die Pulsation des Herzens entsteht und ebenfalls im M-Mode nachweisbar ist (Abb. 7).

Die Sensitivität zum Nachweis eines Pneumothorax beträgt >95% und ist somit dem Röntgenbild (28-60%) überlegen [34-37]. Die sonographisch erfassbaren Binnenstrukturen des Lungengewebes erlauben zudem eine Aussage bezüglich infiltrativer Prozesse [36]. Aufgrund der vielfältigen Vorteile führt der Routine-einsatz der Thorax-Sonographie zu einer signifikanten Reduktion von Röntgenaufnahmen und Computertomographien [38].

Abbildung 7

Vor allem eine Seitenlage des Patienten kann die Einsicht in bestimmte Lungenabschnitte erschweren; auch Wundverbände und Drainagen können die Visualisierung beeinträchtigen.

Abdomen-Sonographie

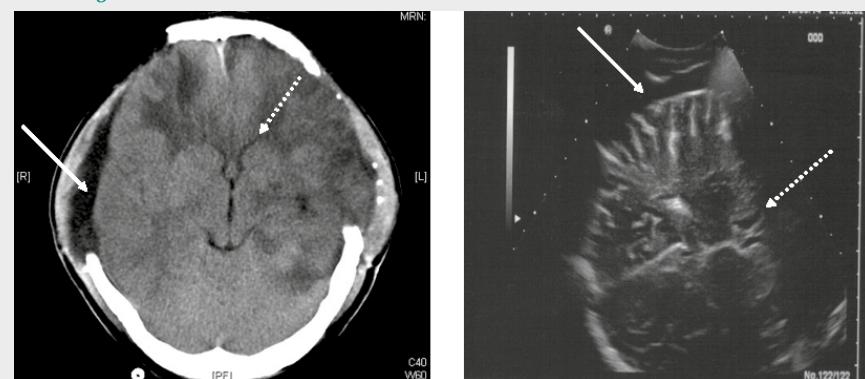
Auch die Abdomen-Sonographie ist ein wichtiges diagnostisches Instrument der Intensivmedizin. Eine retrospektive Analyse abdominal-sonographischer Untersuchungen bei 400 Intensivpatienten (2% Notfall, 56% dringlich, 42% elektiv) erbrachte bei 31% der Patienten neue pathologische Befunde, bei 33% wurden bekannte Pathologien bestätigt [39]. Bei 53% der Untersuchungen ergab sich keine unmittelbare therapeutische Konsequenz, während bei 27% die Therapie gemäß dem Ultraschallbefund fortgesetzt und bei 10% eine Intervention indiziert wurde. Bei 80% erfolgte keine zusätzliche Bildgebung; damit wurde die Sonographie bei einem Großteil der Patienten als ausreichend eingestuft und weitergehende Diagnostik vermieden.

Auch in der Versorgung von Traumapatienten hat sich die Ultraschalldiagnostik einen festen Platz erworben. Hier ist insbesondere die fokussierte Sonographie beim Trauma (FAST; siehe oben) zu nennen [40], die auf die strukturierte Suche nach Verletzungen parenchymatöser Organe gerichtet ist.

Weitere Indikationen

Bei der elektiven Einbringung eines ZVK empfiehlt das britische National Institute for Clinical Excellence (NICE) bei Erwachsenen und Kindern eine 2D-Ultraschallunterstützung – darüber hinaus sollte die Sonographie generell und in den meisten klinischen Situationen (ob elektiv oder im Notfall) genutzt werden [41]. Dabei wird ausdrücklich eine adäquate Ausbildung des Anwenders gefordert; die akustisch geführte dopplerbasierte Punktions- und Platzierung wird dagegen nicht empfohlen [41]. Eine 2D-Darstellung ist mit einer höheren Erfolgsrate und geringeren Komplikationen verbunden, dies vor allem bei Patienten mit einem Body-Mass-Index >30 kg/m² [42].

Abbildung 8



Computertomographie des Schädels (links) und 2D-Ultraschallbild (rechts) im Vergleich bei einem Patienten nach Schädel-Hirn-Trauma und beidseitiger Entlastungskraniotomie. Das rechtsseitige Hygrom (durchgezogene Pfeile) sowie die Mittellinie und die Ventrikeldachstrukturen (gestrichelte Pfeile) sind mit beiden Verfahren abgrenzbar.

Der Einsatz von Ultraschall zur Platzierung von Gefäßzugängen reduziert den Einsatz radiologischer Bildgebung [43]. Darüber hinaus konnten sowohl höhere Erfolgsraten als auch reduzierte Komplikationshäufigkeiten sowie ökonomische Vorteile belegt werden [44]. Bei Verdacht auf eine Katheterthrombose im Bereich der V. subclavia und V. jugularis interna ist die sonographische Untersuchung das Mittel der Wahl. Zur exakten Bestimmung der Ausdehnung der Thrombose in Richtung V. cava superior ist jedoch eine CT mit KM-Applikation über beide Arme angezeigt.

Auch bei der Planung und Durchführung einer perkutan-dilatativen Tracheotomie hat die Sonographie ihren Stellenwert. In Anbetracht des Ultraschallbefundes wurde die Punktionssstelle der Trachea bei 24% der Patienten geändert und bei einem von 72 Patienten aufgrund der Gefäßanatomie eine offene chirurgische Tracheostomie durchgeführt [45]. Die Kombination aus Ultraschall und Bronchoskopiekontrolle wurde als sicher, einfach und kosteneffektiv bewertet [45]. Weiter beschreibt eine aktuelle Arbeit den Einsatz von „Real-time“-Sonographie während der Dilatationstracheotomie [46]. Auch in der allgemeinen Atemwegssicherung hat der Ultraschall Bedeutung erlangt und kann u.a. zur Überprüfung einer korrekten endotrachealen Intubation genutzt werden [47,48].

Die Neurosonographie stellt ein eigenes Einsatzgebiet dar. Neben der extra- und intrakraniellen Gefäßdiagnostik (Duplex- und Doppler-Sonographie) kann eine 2D-Darstellung (Abb. 8) z.B. Aufschluss über die Lokalisation der Mittellinie und das Ventrikelsystem liefern [49].

Ausblick und Zusammenfassung

Die mobile CT-Diagnostik kann bei entsprechender Miniaturisierung des Systems zu einem vielversprechenden Instrument in der Intensivmedizin werden. In der Ultraschalldiagnostik wird vor allem die weitere Verbreitung der TTE und der fokussierten Untersuchung bei Trauma im Vordergrund stehen. Einen weiteren Fortschritt kann die 3D-Echokardiographie bringen, die eine noch detailliertere visuelle und funktionelle Erfassung kardialer Dimensionen und Funktionen ermöglicht. Darüber hinaus werden besondere Ultraschalltechniken und spezielle Gerätschaften mit integrierten anatomischen Grundlagen größere Sicherheit bei ultraschallgestützten Interventionen ermöglichen und vor allem für die Ausbildung von Bedeutung sein.

Derzeit besteht die bettseitige radiologische Bildgebung in der Intensivmedizin im Wesentlichen aus der Thoraxdiagnostik. In Anbetracht ihrer vielfältigen Einschränkungen ist und bleibt die Computertomographie das Verfahren der Wahl

zur Abklärung unklarer Befunde. Für bestimmte Indikationen (wie den Nachweis einer Lungenarterienembolie) stellt die Computertomographie darüber hinaus den Goldstandard dar. In jedem Fall ist das Risiko des Transportes eines kritisch kranken Patienten gegen die Möglichkeit abzuwegen, dass ein neuer und therapierelevanter Befund nachgewiesen wird. Der Ultraschall als bettseitiges Verfahren ohne ionisierende Strahlung hat großes Entwicklungspotenzial. Schon die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass durch den Einsatz der Ultraschalldiagnostik der Umfang anderer potenziell gefährdender und kostenintensiver radiologischer Bildgebung signifikant gesenkt werden kann.

Literatur

1. Lahner D, Nikolic A, Marhofer P, Koinig H, Germann P, Weinstabl C, Krenn CG: Incidence of complications in intrahospital transport of critically ill patients—experience in an Austrian university hospital. *Wien Klin Wochenschr* 2007;119:412-16
2. Leppek R, Bertrams SS, Höltermann W, Klose KJ: Radiation exposure during thoracic radiography at the intensive care unit. Dose accumulation and risk of radiation-induced cancer in long-term therapy. *Radiologe* 1998;38:730-36
3. Hejblum G, Chalumeau-Lemoine L, Loos V, Boëlle P-Y, Salomon L, Simon T, Vibert J-F, Guidet B: Comparison of routine and on-demand prescription of chest radiographs in mechanically ventilated adults: A multicentre, cluster-randomised, two-period crossover study. *Lancet* 2009;374:1687-93
4. Oba Y, Zaza T: Abandoning daily routine chest radiography in the intensive care unit: Meta-analysis. *Radiology* 2010;255:386-95
5. Bekemeyer WB, Crapo RO, Calhoun S, Cannon CY, Clayton PD: Efficacy of chest radiography in a respiratory intensive care unit. A prospective study. *Chest* 1985;88:691-96
6. Henschke CI, Pasternack GS, Schroeder S, Hart KK, Herman PG: Bedside chest radiography: Diagnostic efficacy. *Radiology* 1983;149:23-26
7. Stauffer JL, Olson DE, Petty TL: Complications and consequences of endotracheal intubation and tracheotomy. A prospective study of 150 critically ill adult patients. *Am J Med* 1981;70:65-76
8. Wunderbaldinger P, Bankier AA, Kreuzer S, Turetschek K, Fleischmann D, Herold CJ: Thoracic venous anatomy delineated by malpositioned central venous catheters on plain chest films. *J Thorac Imaging* 1999;14:286-92
9. Wechsler RJ, Steiner RM, Kinori I: Monitoring the monitors: The radiology of thoracic catheters, wires, and tubes. *Semin Roentgenol* 1988;23:61-84
10. Bankier AA, Mallek R, Wiesmayer MN, Fleischmann D, Kranz A, Kontrus M, Knapp S, Winkelbauer FW: Azygos arch cannulation by central venous catheters: radiographic detection of malposition and subsequent complications. *J Thorac Imaging* 1997;12:64-69
11. de Lassence A, Timsit JF, Tafflet M, Azoulay E, Jamali S, Vincent F, Cohen Y, Garrouste-Orgeas M, Alberti C, Dreyfuss D, OUTCOMERA Study Group: Pneumothorax in the intensive care unit: Incidence, risk factors, and outcome. *Anesthesiology* 2006;104:5-13
12. Sivak SL: Late appearance of pneumothorax after subclavian venipuncture. *Am J Med* 1986;80:323-24
13. Tocino IM, Miller MH, Frederick PR, Bahr AL, Thomas F: CT detection of occult pneumothorax in head trauma. *Am J Roentgenol* 1984;143:987-90
14. Woodring JH: Pulmonary interstitial emphysema in the adult respiratory distress syndrome. *Crit Care Med* 1985;13:786-91
15. ARDS Definition Task Force, Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, Ferguson ND, Caldwell E, Fan E, Camporota L, Slutsky AS: Acute respiratory distress syndrome: The Berlin definition. *JAMA* 2012;307:2526-33
16. McCunn M, Mirvis S, Reynolds N, Cottingham C: Physician utilization of a portable computed tomography scanner in the intensive care unit. *Crit Care Med* 2000;28:3808-13
17. Winer-Muram HT, Rubin SA, Ellis JV, Jennings SG, Arheart KL, Wunderink RG, Leeper KV, Meduri GU: Pneumonia and ARDS in patients receiving mechanical ventilation: Diagnostic accuracy of chest radiography. *Radiology* 1993;188:479-85
18. Shapiro MJ, Luchefeld WB, Kurzweil S, Kaminski DL, Durham RM, Mazuski JE: Acute acalculous cholecystitis in the critically ill. *Am Surg* 1994;60:335-39
19. Taourel PG, Deneuville M, Pradel JA, Régent D, Bruel JM: Acute mesenteric ischemia: Diagnosis with contrast-enhanced CT. *Radiology* 1996;199:632-36
20. Balthazar EJ: CT of the gastrointestinal tract: principles and interpretation. *Am J Roentgenol* 1991;156:23-32
21. Beaulieu Y, Marik PE: Bedside ultrasonography in the ICU: Part 2. *Chest* 2005;128:1766-81
22. Beaulieu Y, Marik PE: Bedside ultrasonography in the ICU: Part 1. *Chest* 2005;128:881-95
23. Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, Feller-Kopman D, Harrod C, Kaplan A, et al: American College of Chest Physicians/ La Société de Réanimation de Langue Française. Statement on competence in critical care ultrasonography. *Chest* 2009;135:1050-60
24. Kaplan A, Mayo PH: Echocardiography performed by the pulmonary/critical care medicine physician. *Chest* 2009;135:529-35
25. ACCF/AHA/ASNC/HFSA/HRS/SCAI/SCCM/SCCT/SCMR 2011 Appropriate Use Criteria for Echocardiography. A Report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, American Society of Echocardiography, American Heart Association, American Society of Nuclear Cardiology, Heart Failure Society of America, Heart Rhythm Society, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Critical Care Medicine, Society of Cardiovascular Computed Tomography, and Society for Cardiovascular Magnetic Resonance Endorsed by the American College of Chest Physicians, Douglas PS, Garcia MJ, Haines DE, Lai WW, Manning WJ, Patel AR, Picard MH, Polk DM, Ragosta M, Parker Ward R, Weiner RB: *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24:229-67
26. Brederlau J, Kredel M, Wurm T, Dirks J, Schwemmer U, Broscheit J, et al: Transösophageale Echokardiographie bei nichtkardiochirurgischen Intensivpatienten. Überflüssiger Luxus oder unerlässliches Diagnostikum? *Anaesthetist* 2006;55:937-40
27. Hüttemann E: Transoesophageal echocardiography in critical care. *Minerva Anesthesiol* 2006;72:891-913
28. Heidenreich PA, Masoudi FA, Maini B, Chou TM, Foster E, Schiller NB, Owens DK: Echocardiography in patients with suspected endocarditis: A cost-effectiveness analysis. *Am J Med* 1999;107:198-208
29. Rosen AB, Fowler VG Jr, Corey GR, Downs SM, Biddle AK, Li J, Jollis JG: Cost-effectiveness of transesophageal echocardiography to determine the duration of therapy for intravascular

- catheter-associated *Staphylococcus aureus* bacteraemia. *Ann Intern Med* 1999;130:810-20
30. McGahan JP: Aspiration and drainage procedures in the intensive care unit: percutaneous sonographic guidance. *Radiology* 1985;154:531-32
 31. Vignon P, Chastagner C, Berkane V, Chardac E, François B, Normand S, et al: Quantitative assessment of pleural effusion in critically ill patients by means of ultrasonography. *Crit Care Med* 2005;33:1757-63
 32. Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, Arbelot C, Lu Q, Rouby JJ: Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *Am J Respir Crit Care Med* 2011;183:341-47
 33. Agricola E, Bove T, Oppizzi M, Marino G, Zangrillo A, Margonato A, Picano E: "Ultrasound comet-tail images": A marker of pulmonary edema: A comparative study with wedge pressure and extravascular lung water. *Chest* 2005;127:1690-95
 34. Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, Gepner A: The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive Care Med* 2000;26:1434-40
 35. Lichtenstein DA, Lascols N, Prin S, Mezière G: The "lung pulse": An early ultrasound sign of complete atelectasis. *Intensive Care Med* 2003;29:2187-92
 36. Soldati G, Sher S: Bedside lung ultrasound in critical care practice. *Minerva Anesthesiol* 2009;75:509-17
 37. Volpicelli G: Sonographic diagnosis of pneumothorax. *Intensive Care Med* 2011;37:224-32
 38. Peris A, Tutino L, Zagli G, Batacchi S, Cianchi G, Spina R, et al: The use of point-of-care bedside lung ultrasound significantly reduces the number of radiographs and computed tomography scans in critically ill patients. *Anesth Analg* 2010;111:687-92
 39. Schacherer D, Klebl F, Goetz D, Buettner R, Zierhut S, Schoelmerich J, Langgartner J: Abdominal ultrasound in the intensive care unit: A 3-year survey on 400 patients. *Intensive Care Med* 2007;33: 841-44
 40. Walcher F, Kirschning T, Brenner F, Stier M, Rüsseler M, Müller M, et al: Schulung in Notfallsonographie bei Trauma. Konzept eines eintägigen Kursprogramms. *Anaesthesist* 2009;58:375-78
 41. National Institute for Clinical Excellence. www.nice.org.uk
 42. Schummer W, Schummer C, Tuppatsch H, Fuchs J, Bloos F, Hüttemann E: Ultrasound-guided central venous cannulation: Is there a difference between Doppler and B-mode ultrasound? *J Clin Anesth* 2006;18:167-72
 43. Matsushima K, Frankel HL: Bedside ultrasound can safely eliminate the need for chest radiographs after central venous catheter placement: CVC sono in the surgical ICU (SICU). *J Surg Res* 2010;163: 155-61
 44. Calvert N, Hind D, McWilliams R, Davidson A, Beverley CA, Thomas SM: Ultrasound for central venous cannulation: Economic evaluation of cost-effectiveness. *Anaesthesia* 2004;59:1116-20
 45. Kollig E, Heydenreich U, Roetman B, Hopf F, Muhr G: Ultrasound and bronchoscopic controlled percutaneous tracheostomy on trauma ICU. *Injury* 2000;31:663-68
 46. Rajajee V, Fletcher JJ, Rochlen LR, Jacobs TL: Real-time ultrasound-guided percutaneous dilatational tracheostomy: A feasibility study. *Crit Care* 2011;15:R67
 47. Kristensen MS: Ultrasonography in the management of the airway. *Acta Anaesthesiol Scand* 2011;55: 1155-73
 48. Chou HC, Tseng WP, Wang CH, Ma MH, Wang HP, Huang PC, et al: Tracheal rapid ultrasound exam (T.R.U.E.) for confirming endotracheal tube placement during emergency intubation. *Resuscitation* 2011;82:1279-84
 49. Caricato A, Mignani V, Bocci MG, Pennisi MA, Sandroni C, Tersali A, et al: Usefulness of transcranial echography in patients with decompressive craniectomy: A comparison with computed tomography scan. *Crit Care Med* 2012;40:1745-52.

Korrespondenzadresse



**Prof. Dr. med.
Samir G. Sakka,
DEAA, EDIC**

Klinikum der Universität
Witten-Herdecke
Klinik für Anästhesiologie und
operative Intensivmedizin
Kliniken der Stadt Köln gGmbH
Ostmerheimer Straße 200
51109 Köln, Deutschland
Tel.: 0221 8907-0
Fax: 0221 8907-8666
E-Mail: SakkaS@kliniken-koeln.de