

Bildgebende Verfahren in der Intensivmedizin – Möglichkeiten und Grenzen

S. G. SAKKA, F. WAPPLER

1. Vorbemerkung

In der Intensivmedizin findet eine bildgebende Diagnostik überwiegend am Krankenbett statt („bedside radiology“), da für jegliche stationsferne Diagnostik zwischen dem Transportrisiko und einem neuen und ggfs. behandlungsrelevanten Befund abzuwägen bleibt. Etwa 90 % der radiologischen Untersuchungen in der Intensivmedizin stellen Röntgenaufnahmen des Thorax, des Abdomens und Skelettsystems dar. In zunehmendem Maße werden neben den klassischen Aufnahmen auch Schnittbildverfahren eingesetzt, hier kommt der Sonographie und der Computertomographie (CT) ein wachsender Stellenwert zu.

Spezielle Verfahren, wie die Magnetresonanztomographie (MRT) werden allenfalls für selektive neuroradiologische und die digitale Subtraktionsangiographie (DSA) für angiographische Fragestellungen eingesetzt. In der Regel werden CT, MRT bzw. DSA nur dann durchgeführt, wenn von ihrem Einsatz ein entsprechend hoher diagnostischer Zusatzgewinn erwartet wird und somit das erhöhte Transportrisiko im Interesse des Patienten eingegangen werden kann.

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

- die Mehrzahl der Patienten ist nicht kooperationsfähig
- es bestehen eingeschränkte Aufnahmebedingungen (z. B. Thoraxorgane in liegender oder sitzender Position, Seitenaufnahmen)
- zusätzliche diagnostische Verfahren wie Schichtaufnahmen, Durchleuchtung oder Projektionen sind bettseitig nur unter erschwerten Bedingungen oder gar nicht möglich
- die Überlagerung von Strukturen durch potenziell vorhandenes Fremdmaterial (Verbandmaterial, Metallimplantate, Katheter, Sonden und/oder Elektroden)
- eine begrenzte gerätetechnische Ausstattung (fahrbares Röntgengerät).

Die verschiedenen Punkte unterstreichen, dass gerade in der Intensivmedizin die Interpretation radiologischer Befunde vielfach nur in Kenntnis klinischer Parameter (Flüssigkeitsbilanz, Beatmungstherapie, Entzündungszeichen) möglich ist. Da es schwierig erscheint, einzelne intensivmedizinische Fragestellungen anhand verschiedener bildgebender Verfahren abzuhandeln, werden im Folgenden die diagnostischen Möglichkeiten durch konventionelles Röntgen, Computertomographie und Ultraschallverfahren vorgestellt. In Anbetracht des begrenzten Umfangs können an dieser Stelle nur die wichtigsten Indikationen und Befunde Erwähnung finden.

2. Konventionelle Röntgendiagnostik

Das konventionelle Röntgen umfasst im Wesentlichen die Thoraxdiagnostik. Dank auf der Station positionierter fahrbarer Geräte wird relativ rasch eine Diagnostik der Thoraxorgane, d.h. vor allem von Herz und Lungen, möglich. Da trotz technischer Entwicklungen der Strahlenschutz unverändert von Bedeutung ist, bleiben der indikationsgerechte Einsatz und eine gezielte Fragestellung unabdingbar. Durch Thoraxverlaufsserien (im Mittel 39 Röntgenbilder) fand sich eine effektive Dosisbelastung mit einem Krebsrisiko zwischen 0,01 % und 0,07 %, was gegenüber dem Risiko der Grunderkrankung als ver-

nachlässigbar einzustufen ist [1]. Ein täglicher „Routine-Thorax“ ist jedoch nicht zu rechtfertigen, es besteht kein Vorteil im Hinblick auf Prognose, Beatmungs- und Intensivbehandlungsdauer im Vergleich zu einer „on-demand“ Diagnostik [2].

Digitale Radiographie

Die digitale Radiographie hat sich wegen ihrer technischen Vorteile in zunehmendem Maße gerade auf der Intensivstation als Bildaufnahme- und Bilddokumentationssystem durchgesetzt. Vorteile beziehen sich vor allem auf organisatorische Aspekte: bei der konventionellen Radiographie steht pro Exposition lediglich ein Film zur Verfügung, während bei der digitalen Radiographie hingegen pro Film unbegrenzt viele Aufnahmen möglich sind. Die digitale Bildgebung verfügt zudem über den wesentlichen Vorteil, dass die Aufnahmen in mannigfaltiger Art (Kontrast, Zoomen, Invertieren, Abmessen etc.) nachbearbeitet werden und per Netzwerk transferiert werden können. Im Zeitalter elektronischer Datenverarbeitung (Picture Archiving and Communication System, PACS) kann auf dem mobilen Gerät das Röntgenbild unmittelbar aufgerufen und später im entsprechenden Radiologie-Informationssystem (RIS) jederzeit eingesehen werden. Die elektronische Bildgebung und -archivierung ist auf dem Vormarsch und stellt die Zukunft dar.

2.1. Thorax-Röntgenaufnahme am Krankenbett

Jede Röntgenaufnahme am Krankenbett auf der Intensivstation stellt einen Kompromiss dar, der sich aus den eingeschränkten Projektionsmöglichkeiten ergibt. Die radiologische Diagnostik insbesondere des Thorax ist durch eine nur **geringe Spezifität** der Befunde gekennzeichnet. Die Bildgebung sollte standardisiert durchgeführt werden, um einige der möglichen Fehlerquellen auszuschalten, die die radiologische Diagnostik der Lunge in liegender Position kennzeichnen. Eine „gute“ Liegendaufnahme gilt immer noch diagnostisch verwertbarer als eine unzureichende Sitzendaufnahme.

Merke: Der „Bett-Thorax“ sollte in tiefer Inspiration im anterior-posterioren Strahlengang und „so aufrecht sitzend wie möglich“ angefertigt werden. Der Patient sollte nur dann in eine sitzende Position gebracht werden, wenn es sein Allgemeinzustand erlaubt.

Für eine adäquate Aussagekraft bedarf es einer ausreichenden Inspirationstiefe. Bei unzureichender Inspirationstiefe erscheinen die beiden Lungenanteile verdichtet, das Herz ist quergelagert und scheinbar vergrößert, das Mediastinum scheinbar verbreitert.

Merke: Für eine ausreichende Inspiration spricht die Abgrenzbarkeit der Zwerchfellkuppe in der Medioklavikularlinie in Höhe der 5. ventralen Rippe.

Problematisch sind „verdrehte“, d.h. nicht orthograd getroffene Aufnahmen. Zur Bewertung der korrekten Projektion dienen die medialen Enden der Calviculae als vordere, die Dornfortsätze der oberen BWS als hintere Leitstrukturen. Bei einer „verdrehten“ Aufnahme erscheint der nach hinten gerichtete Lungenflügel auf der Röntgenaufnahme kleiner und vermehrt strahlendicht, das Mediastinum wirkt verbreitert. Wenn immer möglich, erfolgt die Betrachtung am Einzelbild seitenvergleichend, bei Röntgenbildserien eines Patienten stets im Vergleich mit früher angefertigten Aufnahmen. Initialveränderungen und Prozesse geringer Ausdehnung können dadurch vielfach erst erkannt werden. Die Belichtungsparameter sollten bei Verlaufsaufnahmen eines Patienten übereinstimmen, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

2.1.2. Lagekontrolle von Kathetern, Tuben, Drainagen und Sonden

Die richtige Lage aller zur Therapie oder diagnostischen Überwachung eingeführten Sonden und Katheter ist Grundvoraussetzung für eine optimale Funktion und Prävention

möglicher Schäden. In jedem Fall bleibt das Thoraxübersichtsbild, auch nach erfolgloser Gefäßpunktion, unerlässlich für die Erkennung etwaiger Komplikationen und Fehllagen. Eine Fehlpositionierung von neu eingebrachten Kathetern und Tuben wurde in bis zu 27 % beschrieben, mit einer radiologisch erkennbaren Komplikationsrate von 6 % [3].

Da in der Regel nur Aufnahmen im sagittalen Strahlengang vorliegen, ist die exakte topographische Zuordnung des Fremdmaterials gelegentlich schwierig. Es sollte korrekterweise die Angabe einer Katheterposition „in Projektion auf“ eine bestimmte Gefäßstruktur gewählt werden. Ist die korrekte Lage aufgrund einer einzelnen Aufnahme nicht eindeutig zu klären, muss ggfs. eine weitergehende Diagnostik durchgeführt werden. Dazu zählen Aufnahmen in weiteren Untersuchungsebenen, die Darstellung von Kathetern oder Drainagen mit Kontrastmittel sowie die Dokumentation der Kontrastmittelverteilung. Bei Unklarheit müssen Schnittbildverfahren (Sonographie und Computertomographie) zur Bewertung der Lage eingebrachten Materials herangezogen werden.

Endotrachealtubus

Bei 12-15% der intubierten Patienten wird auf der Thoraxaufnahme eine Fehllage des Endotrachealtubus gefunden [4]. Ein Großteil der zumeist endobronchial fehlpositionierten oro- bzw. nasotrachealen Tuben wird durch alleinige klinische Untersuchung (Atemgeräusch, Thoraxexkursion) nicht erkannt. Auch kann die Tubuslage bei Manipulationen (z. B. Neufixierung) oder durch Husten verändert sein.

Merke: Die Lage des Endotrachealtubus und aller anderen Sonden und Katheter muss auf jeder angefertigten Thoraxaufnahme kontrolliert werden.

Der röntgendichte Streifen ermöglicht die Lokalisation der Spitze des Trachealtubus auf der Thoraxaufnahme, welche normalerweise in Bezug auf die Trachealkarina (95 % in Höhe des 5. BWK) angegeben wird. Flexion und Extension von Kopf und Hals können jedoch zu einer Änderung der Lage der Tubusspitze führen, d.h. bei einer Flexion des Halses wird der Tubus bis zu 2 cm distalwärts, durch Extension bis zu 2 cm kranialwärts verlagert. Der Cuff des Tubus sollte das tracheale Lumen ausfüllen, ohne die Trachealwand nach außen vorzuwölben, anderenfalls ist mit Schleimhautschädigungen bis hin zur Ruptur zu rechnen. In ca. 10-20 % der Fälle muss der Tubus nach radiologischer Lagekontrolle, am häufigsten wegen einer einseitigen endobronchialen Intubation, korrigiert werden [5].

Eine schwerwiegende, jedoch sehr seltene Komplikation der Intubation stellt die Ruptur im Bereich des Larynx oder der Trachea (meist im Bereich der Pars membranacea) dar. In der Thoraxübersichtsaufnahme muss eine Trachealruptur vermutet werden bei einer Überblähung des Cuffs. Durch Luftaustritt aus der rupturierten Trachea kann es zu Pneumomediastinum, Weichteilemphysem sowie Pneumothorax kommen. Eine CT bei bestehender Trachealperforation ist zu empfehlen zur genauen Lokalisation der Ruptur, zur Beurteilung einer möglichen Infektion im Bereich des Mediastinums bzw. der Halsregion sowie zur Planung eines eventuellen chirurgischen Eingriffes.

Zentralvenöser Katheter (ZVK)

Bei der röntgenologischen Lagekontrolle ist darauf zu achten, dass der gesamte intrathorakale Verlauf des Katheters von der Punktionsstelle bis zur Katheterspitze abgebildet ist. Auch bei erfolgloser Punktion ist zum Ausschluss möglicher punktionsassoziiierter Komplikationen eine Bildgebung anzufertigen. Um extravasale Katheterfehllagen oder Fehllagen eindeutig zu identifizieren, kann die Darstellung des Katheters mit einem nichtionischen Kontrastmittel (5-10 ml) erforderlich werden. ZVK-Fehllagen werden in bis zu einem Drittel der Thoraxübersichtsaufnahmen gefunden. Ein über die V. subclavia oder V. jugularis interna eingeführter Katheter sollte mit der Spitze im Bereich der V. cava superior liegen. Im a.p.-Bild sollte sich die Spitze auf einen Bereich zwischen den sternalen Ansätzen der 1.-3. Rippe und nicht tiefer als die Trachealkarina projizieren.

Die radiologische Beurteilung der verschiedenen Möglichkeiten zentralvenöser Katheterfehllagen setzt die genaue Kenntnis der venösen thorakalen Anatomie voraus [6]. Die häufigste Katheterfehllage bei Anlage eines Katheters über die V. subclavia ist der Verlauf in die ipsilaterale V. jugularis interna (ca. 15 %) [7]. Eine weitere Fehllage nach Punktion der V. jugularis interna ist der Verlauf in die Venen der oberen Extremität. Noch seltener sind Katheterfehllagen im Bereich der V. azygos und der V. thoracica interna zu beobachten, sie sind schwieriger bzw. nur bei Aufnahmen in 2 Ebenen oder nach Kontrastmittelmarkierung zu erkennen. Eine Katheterfehllage mit der Spitze in der V. azygos ist an einer Schleifenbildung in Projektion auf den Einmündungsbereich der V. azygos in die V. cava superior ableitbar [8]. Eindeutig ist eine Fehllage im Bereich der V. azygos auf einer Aufnahme im lateralen Strahlengang durch ihre dorsalwärts gerichtete Position charakterisiert. Eine Katheterlage 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 stellen ausgesprochene Raritäten dar.

Die häufigste venöse Gefäßvariante ist eine persistierende linke obere Hohlvene, die in 0,3 % der Bevölkerung und in 4,3 % der Patienten mit angeborenen Herzfehlern zu erwarten ist. Der Katheter verläuft typischerweise bei Punktion der linken V. jugularis interna oder V. subclavia links mediastinal nach kaudal. Die häufigste ZVK-punktionsassoziierte Komplikation ist ein Pneumothorax, am häufigsten nach Punktion der V. subclavia, insbesondere wenn bei dem Patienten ein Lungenemphysem bzw. Bullae vorhanden sind.

Cave: Beim Vorliegen eines Pneumothorax kann es zu respiratorischen Problemen und beim Spannungspneumothorax auch zu kardiozirkulatorischen Veränderungen kommen. Bei einer respiratorischen Funktionseinschränkung nach einem Punktionsversuch ist an die Möglichkeit des verspäteten Auftretens eines Pneumothorax zu denken; dies ist noch Stunden bis Tage nach der Punktion möglich [9].

Eine extravasale Katheterfehllage sollte durch Aspirationsversuch aus allen Schenkeln ausgeschlossen werden, da die Lage in Mediastinum oder Pleura zu einem Infusionsmediastinum mit zunehmender Mediastinalverbreiterung und Pleuraerguss führen kann. Diese Fehllage kann durch eine Extravasation nach Kontrastmittelgabe über den Katheter nachgewiesen werden.

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

Eine repositionsbedürftige Katheterposition ist die im Bereich der V. cava superior rechts wandständige Katheterspitze bei meist über die linke V. subclavia eingeführtem Katheter. Es besteht hier ein erhöhtes Risiko von Endothelschädigungen und Gefäßperforationen meist Stunden bis Tage nach der Anlage. Längere Katheterliegezeiten, Länge des intravasalen Verlaufs, Schleifenbildungen und Infektionen begünstigen die Bildung intravenöser Thrombosen. Nach 2 Wochen werden bei bis zu 73 % Thrombosierungen um den ZVK gefunden. Primäres Verfahren zur Thrombosedagnostik auf der Intensivstation im Bereich der V. subclavia und V. jugularis interna ist die dopplersonographische Untersuchung. Zur exakten Bestimmung der Ausdehnung der Thrombose in Richtung V. cava superior ist eine CT unter i.v.-Kontrastmittelapplikation über beide Arme angezeigt.

Intraaortale Ballonpumpe

Die intraaortale Ballonpumpe (IABP) ist im Röntgenthoraxbild 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.

Merke: Idealerweise liegt die Spitze der IABP unmittelbar distal des Abgangs der linken A. subclavia und kann in der a.p.-Thoraxaufnahme in Projektion auf den Arcus aortae dargestellt werden.

Wichtig ist der Ausschluss einer Katheterfehllage: liegt die IABP zu weit proximal im Aortenbogen, besteht die Gefahr eines Verschlusses der linken A. subclavia oder der hirnversorgenden Arterien mit dem Risiko zerebraler Embolien. Eine zu weit distale Fehllage der IABP führt zu ungenügender Funktion und der Gefahr einer Obstruktion von Viszeralarterien. Die häufigste Komplikation ist eine Ischämie der unteren Extremität, die sowohl ipsi- als auch kontralateral auftreten kann. Zur Abklärung eventueller thromboembolischer Gefäßverschlüsse stehen die Doppleruntersuchung, die Farbduplexsonographie sowie die intraarterielle DSA zur Verfügung. Während der Platzierung einer IABP kann es zu einer Dissektion der Aortenwand oder zu einer Perforation der Aorta kommen. Bei Verdacht auf Aortendissektion oder Aortenruptur ist die transösophageale Echokardiographie (TEE) bzw. die CT-Angiographie zur weiteren Abklärung das Verfahren der Wahl.

Pleuradrainagen

Pleuradrainagen werden zur Evakuierung von pleuraler Luft oder Flüssigkeit eingeführt. Nach Punktion bzw. Anlage einer Thoraxdrainage sollte zur Lagekontrolle, zum Ausschluss evtl. Komplikationen (z.B. Pneumothorax bei Pleuraergusspunktion) und zur Überprüfung des Therapieerfolges ein Thorax-Röntgenbild in zwei Ebenen angefertigt werden. Die Drainagespitze sollte beim Pneumothorax in der Nähe der Lungenspitze in antero-superiorer Richtung liegen, bei Entlastung pleuraler Flüssigkeit sollte die Drainagespitze postero-inferior zur Darstellung kommen. Abgekapselte Flüssigkeits- oder Luftansammlungen können evtl. atypische Drainagepositionen erfordern.

Merke: Es ist besonders darauf zu achten, dass alle Seitenlöcher - diese sind an einer Unterbrechung des Röntgenstreifens erkennbar - intrathorakal liegen.

Eine Fehllage der Drainage muss vermutet werden, wenn in der Kontrollröntgenaufnahme keine Besserung eingetreten ist. Pleuradrainagen können in Interlobien, im Lungenparenchym sowie extrapleural im Bereich der Thoraxweichteile liegen. Zur genauen Lokalisation der Thoraxdrainage können, wenn die Drainagefunktion ungenügend ist, zusätzliche Seiten- oder Schrägaufnahmen bzw. eine CT, indiziert sein. Des Weiteren können auch Koagel, die via Thoraxsaugdrainage nicht entfernt werden können, oder gekammerte Ergüsse für den fehlenden Therapieerfolg verantwortlich sein. Eine Drainagelage innerhalb des Lungengewebes führt zum Parenchymdefekt, zu Hämatombildung und bronchopleuraler Fistelbildung. Im Einzelfall kann bei unklarer projektionsradiographischer Lage der Thoraxdrainage eine Thorax-CT erforderlich sein, sie erlaubt zwischen einer Lage im Bereich der Interlobien oder innerhalb des Lungenparenchyms zu differenzieren.

Ernährungs sonden

Eine Fehlpositionierung von Magen-, Duodenal- oder Jejunalsonden, die in der Intensivmedizin zumeist klinisch oder endoskopisch kontrolliert platziert werden, ist nicht selten und wird häufig nicht erkannt. Daher sollte nach dem Einführen einer neuen Ernährungs- sonde und bei unklarer Position eine Thoraxübersichtsaufnahme angefertigt werden. Das Auffinden der Ernährungs- sonde wird durch einen röntgendichten Streifen erleichtert. Es muss jedoch beachtet werden, dass diese, bei unterexponierten Aufnahmen und bei nur wenig röntgendichten Ernährungs- sonden, nicht oder nur sehr schlecht sichtbar sind; hier kann Kontrastmittel über die Sonde verabreicht werden. Üblicherweise besitzen die Ernährungs- und Ablaufsonden Seitenlöcher im Bereich der distalen 10 cm; die Spitze sollte also zumindest 10 cm distal des gastroösophagealen Übergangs liegen. Die Ernährungs- sonde kann versehentlich in das Tracheobronchialsystem gelangen und zu Pneumonien, zur Perforation und zu einem Pneumothorax führen. Eine Ösophagusperforation ist eine sehr seltene Komplikation im Rahmen der Platzierung einer Ernährungs- sonde. Sie kann zu einer Mediastinalverbreiterung und zu einem Pneumomediastinum führen.

Transvenöser Herzschrittmacher

Bei Intensivpatienten werden meist transvenös über die V. subclavia oder die V. jugularis interna eingeführte Schrittmachersonden verwendet. Die Schrittmachersonde wird in der

Regel unter EKG-Kontrolle in die Spitze des rechten Ventrikels platziert und in den Trabekeln positioniert, so dass sie engen Kontakt zum Endokard besitzt. Im a.-p.-Bild projiziert sich die Spitze der Sonde auf den Boden des rechten Ventrikels, etwas medial vom linken Herzrand. In der Seitenaufnahme sollte die Schrittmachersonde nach ventral verlaufen. Eine Lage im Sinus coronarius ist nur im Seitenbild an einem nach dorsal gerichteten Verlauf zu erkennen. Weitere, meist schon durch gestörte Erregungsübertragung erkennbare Fehllagen sind die in der V. cava superior oder inferior, im rechten Vorhof, Truncus pulmonalis oder den Pulmonalarterien. Myokardperforationen können schwer zu erkennen sein, wenn sich die Spitze der Schrittmachersonde nicht eindeutig außerhalb des Myokards oder des epikardialen Fettstreifens projiziert. In seltenen Fällen kommt es zu einem Hämotoperikard mit Herzbeutelamponade.

Pneumothorax

Das Auftreten eines Pneumothorax auf einer Intensivstation, insbesondere bei beatmeten Patienten, ist kein seltenes Ereignis: Die Häufigkeit unter positiver Druckbeatmung wird mit 5-15 % angegeben. Die Ursachen eines Pneumothorax bei Intensivpatienten sind häufig iatrogen, durch ein Barotrauma oder Komplikationen im Rahmen der Anlage eines zentralvenösen Katheters bedingt. Seltene Ursachen sind ein penetrierendes oder stumpfes Thoraxtrauma oder ein Mediastinalemphysem mit sekundärer Entwicklung eines Pneumothorax. Ursächlich können auch Rippenfrakturen nach Herz-Druckmassage, die Punktion eines Pleuraergusses oder intraoperative Lungenverletzungen verantwortlich sein.

Die direkten Röntgenzeichen eines Pneumothorax sind der Nachweis der abgehobenen Pleura viszeralis als scharf abgrenzbare Linie zwischen Lunge und lufthaltigem Pleuraraum und die fehlende Darstellung von peripheren Lungengefäßen im Pneumothoraxspalt. Beim stehenden Patienten verteilt sich die pleurale Luft entsprechend der Schwerkraft mehr in die kranialen Pleuraabschnitte. Eine Aufnahme in Expiration erhöht die Nachweisrate.

Beim liegenden Patienten, wie es auf einer Intensivstation meist der Fall ist, findet man die klassischen Zeichen des Pneumothorax nur bei größerer intrapleuraler Luftansammlung und erhaltener Lungenelastizität. Für eine derartige Darstellung im Röntgenbild ist eine maximal aufgerichtete Patientenposition von besonderer Bedeutung. Häufiger verteilt sich in der liegenden Position die Luft vorwiegend in den ventralen und basalen Pleuraabschnitten. Ein sog. „deep sulcus sign“, das einen besonders tief stehenden Recessus phrenicocostalis andeutet, kann auf einen Pneumothorax hinweisen. Eine „aufgehellte“ Lunge kann ebenfalls Hinweis auf einen Pneumothorax sein.

Cave: Auf der a.-p.-Thoraxaufnahme können ventral gelegene Luftansammlungen dem direkten Nachweis entgehen.

Die aussagekräftigste Methode bei der klinischen Verdachtsdiagnose eines verborgenen Pneumothorax ist die Computertomographie [10]. Vorsicht ist geboten, um die Fehlinterpretation von Hautfalten besonders bei älteren und kachektischen Patienten zu vermeiden: Diese laufen 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 das Vorliegen einer Hautfalte. Gegebenenfalls muss eine Wiederholungsaufnahme unter kontrollierten Aufnahmebedingungen oder eine CT angefertigt werden. Intra- und extrathorakale Luftansammlungen, verursacht durch zystische Lungenveränderungen (Zysten, Emphysembullae), Luftansammlungen im Mediastinum, im Perikard oder in den Thoraxweichteilen, intrathorakale Hernien und externe Fremdkörper können ebenfalls zu einer Verwechslung mit einem Pneumothorax führen.

Beim 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.

Sicherstes und häufig einziges Spannungszeichen im Röntgenbild sind Kaudalverlagerung und Abflachung des Zwerchfells auf der betroffenen Seite. Bei höheren Druckwerten verläuft die Zwerchfellkontur in kaudalwärts gerichteter Konvexität mit stumpfwinkliger breiter Öffnung des lateralen Sinus („deep sulcus sign“).

Cave: Die Röntgenzeichen eines Spannungspneumothorax können bei Vorliegen bilateraler diffuser Lungenveränderungen (z. B. ARDS) nur sehr diskret ausgebildet sein.

Bei mit Positivdruck beatmeten Patienten führt fast jeder Pneumothorax zu einem Spannungspneumothorax, auch wenn er klein und durch pleurale Adhäsionen abgekapselt erscheint.

Atypische Lokalisationen des Pneumothorax

Aufgrund der meist liegenden Patientenposition auf der Intensivstation sammelt sich die freie pleurale Luft meist ventral und subpulmonal und führt somit häufig zu atypischen Lokalisationen des Pneumothorax. Am liegenden Patienten sammelt sich ein Pneumothorax bevorzugt anterior entlang der vorderen Thoraxwand bzw. das anteriore Mediastinum umgebend an. Es kommt zu einer deutlichen Demarkierung thorakaler Grenzflächen in Abhängigkeit von der Lokalisation der freien pleuralen Luft (indirekte Pneumothoraxzeichen).

Pneumomediastinum

Neben den für die Pneumothoraxentstehung bereits angeführten Ursachen kommen für das Pneumomediastinum folgende Mechanismen ergänzend in Frage:

- Ösophagusläsionen durch Sonden, Endoskopie, Dilatation bzw. Bougierungen, verschluckte Fremdkörper
- Ösophagotrachealfistel, Boerhaave- oder Mallory-Weiss-Syndrom,
- Z.n. Ösophaguschirurgie
- selten: Tumoren und Entzündungen

Ein Mediastinalemphysem darf postoperativ bis zu 2 Wochen nach Thoraxeingriffen nachweisbar sein. Lufteinschlüsse im Perikard (Pneumoperikard) sind Folge einer penetrierenden Verletzung oder einer Operation mit Perikarderöffnung. Die mediastinal gelegene Luft verteilt sich entlang der Mediastinalfaszien, des Perikards, der Mediastinalgefäße, Trachea, Bronchien und des Zwerchfells. Dadurch werden normalerweise unsichtbare Mediastinalstrukturen sichtbar. Dies führt im Thoraxbild zu streifenförmigen, in kraniokaudaler Richtung verlaufenden mediastinalen Luftaufhellungen. Differenzialdiagnostisch kann manchmal die Unterscheidung eines medialen Pneumothorax von einem Mediastinalemphysem schwierig sein. Ein Weichteilemphysem der Thoraxwand oder des Halses ist ein häufiger Begleitbefund des Mediastinalemphysems, eine Ausbreitung der mediastinalen Luft bis in das Retroperitoneum und Peritoneum ist möglich. In Zweifelsfällen ist der Luftgehalt im Mediastinum retrosternal durch ein CT gut darstellbar.

Interstitielles Emphysem

Intrapulmonale, extraalveoläre Luftansammlungen stellen eine ernste Komplikation beim beatmungspflichtigen Intensivpatienten dar. Erhöhter intraalveolärer Druck infolge Überdruckbeatmung führt zur Ruptur der Alveolarwand, Luft breitet sich im Interstitium entlang dem broncho-vaskulären Bündel und der interlobulären Septen aus [11]. Ein inter-

stittielles Emphysem kann sich nach peripher bis zum Pneumothorax und nach zentral bis zum Pneumomediastinum ausweiten. Die Ruptur subpleuraler Alveolen führt direkt zum Pneumothorax ohne Nachweis einer interstitiellen Emphysems. Wegweisend sind irregulär angeordnete Luftbläschen von bis zu 5 mm Durchmesser, seltener streifenförmige Luftansammlungen entlang der kleinen Gefäße und Bronchusstrukturen sowie subpleural gelegene Luft. Man erkennt lufthaltige, vom Hilus nach peripher ziehende Aufhellungsstreifen, die im Gegensatz zum Luftbronchogramm keine Verzweigungen oder eine regelmäßige, peripherwärts gerichtete Kaliberabnahme aufweisen. Ringförmige, perivaskuläre Aufhellungen, sog. „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 einer scheinbaren Befundbesserung geboten.

Pleuraerguss

Pleurale Flüssigkeitsansammlungen sind in der Intensivmedizin häufige Begleitbefunde. Nach abdominalen Operationen werden bei bis zu 50% der Patienten pleurale Ergüsse nachgewiesen, die jedoch keiner speziellen Behandlung bedürfen. Nach Thoraxeingriffen kommt es beinahe bei allen Patienten zur Ausbildung von Pleuraergüssen, z.T. mit hämorrhagischer Komponente. In der Regel werden diese Patienten bereits intraoperativ mit Thoraxdrainagen versorgt.

Beim liegenden Patienten kommt es bei nicht obliteriertem Pleuraspalt zu einer flächigen dorsalen Verteilung des Pleuraergusses, wobei das Anheben des Oberkörpers eine mehr kaudale Umverteilung bedingt. Bei einseitigem Pleuraerguss ist die betroffene Thoraxseite im Vergleich zur gesunden Seite transparenzgemindert, bei beidseitigem Erguss müssen zur Diagnosestellung weitere Röntgenzeichen wie die homogene, nach kranial abnehmende Transparenzminderung einer Lungenhälfte, die unscharfe oder fehlende Begrenzung des Zwerchfells, die Verbreiterung des Pleuraraums lateral und apikal sowie die Flüssigkeitsmarkierung der Interlobärspalten hinzutreten.

Merke: Beim liegenden Patienten ist eine Ergussmenge von 200-500 ml notwendig, um eine sichtbare Verschattung im Thorax-Röntgenbild zu verursachen.

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“). Einen Interlobärguss erkennt man im a.-p.-Bild an elliptischen oder runden, in der Seitenaufnahme spindelförmigen Verschattungen im Verlauf der Interlobärspalten. Abgekapselte Pleuraergüsse entstehen bei Adhäsionen zwischen viszeraler und parietaler Pleura. In der Thoraxübersichtsaufnahme sieht man bei tangentialer Projektion eine halbkugelige, der Pleura parietalis breitbasig aufsitzende Verschattung. Der Nachweis, die Bestimmung der Ausdehnung sowie der optimalen Punktionsstelle bei abgekapselten Pleuraergüssen ist eine Indikation für die Sonographie der Pleura, ggfs. ist eine CT indiziert. Dabei besteht gleich die Option zur computergestützten Punktion bzw. Drainageanlage.

Atelektase

Pulmonale Belüftungsstörungen sind im Intensivbereich sehr häufig. Bedingt durch Schwerkraft und eingeschränkte Atembewegungen liegen v.a. dorsobasal hypoventilierte Areale vor. Atelektasen finden sich in 20-30 % nach Oberbauchoperationen, 5 % nach Unterbaucheingriffen und >90 % nach Thoraxoperationen. Man unterscheidet Dystelektasen (v.a. im Mittel- und Unterfeld), d.h. Minderbelüftung von Subsegmentbereichen, von Lappen-/ Totalatelektasen, d.h. der Minderbelüftung eines ganzen Lappens (zumeist des Unterlappens). Durch die fehlende Belüftung kommt es zur Volumenminderung des

Lungenabschnitts, so dass eine Atelektase auch durch indirekte Zeichen (Zwerchfellhochstand, Mediastinalverlagerung zur betroffenen Seite, Überblähung der kontralateralen Lungenabschnitte) diagnostiziert werden kann. Es kann unmöglich sein, eine lobäre Atelektase von einer Lobärpneumonie zu unterscheiden.

Pneumonie

Eine Pneumonie ist eine relativ häufige Diagnose in der Intensivmedizin. Der radiologische Befund einer nosokomialen Pneumonie besteht in pulmonalen Infiltraten, es liegen alveoläre Konsolidierungen und ein positives Bronchopneumogramm vor. Eine Bronchopneumonie zeigt sich radiologisch als unscharf begrenzte, konfluierende Verdichtungsareale auf Subsegment- oder Segmentniveau. Eine ambulant erworbene Pneumonie (*S. aureus*, *H. influenzae*) ist gekennzeichnet durch eine Beteiligung ganzer Lappen (Lobärpneumonie).

Wichtig: Einschmelzende Prozesse bei einer Pneumonie sollten unbedingt mittels einer Computertomographie abgeklärt werden.

Lungenödem und ARDS

Das Lungenödem ist definiert als pathologische Ansammlung von Flüssigkeit im Lungparenchym. Ein Lungenödem entwickelt sich immer dann, wenn das Gleichgewicht zwischen Transsudation und Resorption gestört ist.

Merke: Es werden 2 Klassen von Lungenödemen unterschieden, das sog. kardiale („hydrostatische“) Ödem und das nicht kardiale („Permeabilitätsödem“) beim ARDS.

Bei Dysfunktion des Kapillarendothels kommt es zum Austritt von Flüssigkeit aus den Kapillaren ins Interstitium (hydrostatisches Ödem oder Permeabilitätsödem ohne Alveolarschädigung). Das Wasser bleibt im Interstitium solange das Alveolarepithel intakt ist. Erst wenn das Alveolarepithel ebenfalls Permeabilitätsstörungen zeigt, kommt es zum Übertritt in die Lufträume der Alveolen. Eine CT-Untersuchung kann im Vergleich zum Röntgenbild wesentlich mehr Aufschluss liefern zur Differenzierung zwischen kardialem Ödem, ARDS und atypischen pulmonalen Infektionen.

2.2. Abdomenaufnahme am Krankbett

Zur Gewährleistung einer reproduzierbaren Aufnahmetechnik bei der konventionellen Übersichtsradiographie des Abdomens wird die Untersuchung in 2 Ebenen durchgeführt. Vor der Aufnahme sollten die Patienten 15 bis 30 Minuten in Linksseitenlage gelagert werden. Es wird jeweils ein Röntgenbild in Rücken- und Linksseitenlage angefertigt. Eine Ausnahme stellt lediglich die Untersuchung bei Kindern dar, hier kann je nach Fragestellung nur eine Ebene angefertigt werden. Die Aufnahme dient dem Nachweis von Spiegelbildungen, der Beurteilung der intraluminalen Gasverteilung, einer freien Perforation und atypischer Gasansammlungen (z.B. Pneumatoxis, Aerobilie).

3. Computertomographie (CT)

Aktueller Standard der Computertomographietechnik stellt heute das sog. Spiral-CT dar, welches die Untersuchung von z.B. Thorax und Abdomen, in einer Atemstillstandphase (ca. 30 s) ermöglicht. Diese Scantechnik hat neben der Tatsache, dass die Untersuchung sehr schnell und damit nur wenig belastend für den Patienten ist, den Vorteil, dass ein Kontrastmittelbolus optimiert ausgenutzt werden kann. Mit Hilfe der Dichtebestimmung in Hounsfield-Einheiten (HE) können Blutungen, Flüssigkeitsansammlungen und Luft

voneinander differenziert werden. Die Spiral-CT hat andere diagnostische Methoden bei der Untersuchung eines Aortenaneurysmas, einer Aortendissektion oder einer Lungenarterienembolie verdrängt. Die CT ist auch zur Untersuchung des Venensystems (z.B. Subclavia- oder Jugularisthrombose) geeignet. Die Wahl der Scanparameter (Schichtdicke, Tischvorschub und Rekonstruktionsabstand) ist abhängig von der Fragestellung und der notwendigen Ortsauflösung in allen 3 Raumebenen. Während die Routine-CT einer standardisierten Technik folgt, ist bei einer Notfallsituation die Untersuchung der klinischen Fragestellung anzupassen. Es muss im Einzelfall geklärt werden, ob eine Nativserie erforderlich ist (zumeist bei Frage nach Blutung) und ob eine zusätzliche Kontrastierung des Gastrointestinaltraktes oder Markierung von z.B. Harnblase oder Rektum erfolgen soll.

Multislice-Computertomographie

Mit Einführung der Multislice-CT 1998 wurde es erstmals möglich, gleichzeitig 4 Schichten zu erfassen („4-Zeilen-Scanner“) und so entweder dünne Schichten zur Datenerfassung heranzuziehen oder den Untersuchungsbereich schneller abzubilden. Besonders beim Notfallpatienten lassen sich somit Thorax und Abdomen mit hoher Auflösung gemeinsam untersuchen. Dank der neuesten CT-Generation (16-Detektor-Zeilen) lassen sich bei höchster Auflösung Thorax oder Abdomen in weniger als 10 sec untersuchen. Mit der Multislice-CT wird die CT-Angiographie ein Routineverfahren für die Darstellung fast aller Gefäßregionen (Ausnahmen: A. spinalis anterior, mikroangiopathische Veränderungen).

Merke: Intensiv- oder Notfallpatienten sollten mittels Spiral-CT, idealerweise mit Hilfe moderner Multislice-Scanner, untersucht werden. Subsegmentale Lungenembolien lassen sich durch Multislice-Scanner im Vergleich zu Einzelscannern sicher und regelhaft nachweisen. Entsprechend der Fragestellung sollte mit dem Radiologen die Indikation zur Kontrastmittelgabe besprochen werden.

Heutzutage stehen fahrbare CT-Geräte für den Einsatz auf der Intensivstation zur Verfügung. Eine Auswertung zum Einsatz eines solchen Systems erbrachte, dass in 97 % eine Schädel- gefolgt von Thorax- und Abdomen-CT durchgeführt wurde. Als Gründe für die bettseitige Diagnostik wurden die Schwere der Erkrankung (77 %), extrakorporale Verfahren (93 %) und eine kardiovaskuläre (70 %) bzw. respiratorische Instabilität (57 %) benannt. Die Autoren dieser Arbeit beschreiben die mobile CT-Diagnostik als eine alternative und potentiell sichere Möglichkeit der Bildgebung [12].

3.1. Thorakale und abdominelle Computertomographie

Indikationen für den Einsatz der CT zur Thoraxdiagnostik beinhalten die Differenzierung sämtlicher Prozesse, die sich überlagern und potenziell gegenseitig maskieren und im Röntgenbild zu einer pulmonalen Verschattung führen. Beim Intensivpatienten bestehen als Gründe hierfür möglicherweise multiple Befunde, wie Atelektasen, Pneumonie, Aspiration, kardiales Lungenödem, ARDS und Pleuraerüsse. Die Überlegenheit der CT-Diagnostik wird hier offensichtlich, da das konventionelle Röntgenbild beim Intensivpatienten in nur 50 % eine korrekte Diagnose einer Pneumonie erlaubt [13].

Merke: Die Computertomographie erlaubt die Differenzierung zwischen pleuralen und pulmonalen Prozessen, z.B. zwischen Lungenabszess und Pleuraempyem.

Vielfach wird eine CT-Diagnostik nicht zum Nachweis sondern Ausschluss (z.B. Infektquelle bei unklarem Fieber) indiziert. Mediastinale Prozesse sind klare Indikationen für eine CT-Bildgebung: Halsabszesse, Ösophagusperforation, mediastinales Hämatom oder eine Gefäßruptur. Die CT-Diagnostik stellt das Goldstandard-Verfahren zum Nachweis

einer Lungenarterienembolie dar. Die Spiral-CT kann sowohl akute Embolien als auch organisierte Thromben mit einer Sensitivität und Spezifität von je >90 % bis auf Segmentebene nachweisen. Durch die Kontrastmittelaussparung gelingt mit diesem Verfahren im Vergleich zu anderen der direkte Thrombusnachweis.

Eine abdominelle CT sollte bei sonographisch nicht adäquat zu untersuchendem Patienten (Meteorismus, Verbände, eingeschränkte Lagerungsmöglichkeit u.a.) und klinischer Fragestellung mittels CT erfolgen. Freie intraabdominelle Luft, intestinale Ischämie, eine akute Cholezystitis (kalkulös oder nicht-kalkulös), Flüssigkeitsareale, Hämatome und Abszesse (z.T. intraparenchymatös) und Blutungen zählen zu den Indikationen einer CT [14,15]. In der Diagnostik und Verlaufsbeobachtung einer akuten Pankreatitis (CT-Schwere-Score) bleibt die Computertomographie das Verfahren der Wahl [16].

3.2. Computertomographie in der Neuroradiologie

Die CT stellt die am schnellsten verfügbare und für die Akutsituation meistens ausreichende Untersuchung zur Bewertung von Schädel und Wirbelsäule dar. Die Indikationen für eine CT beinhalten im Wesentlichen: Trauma, ischämischer Infarkt, Blutungen, postoperative Kontrollen und (seltener) entzündliche Prozesse (z.B. Hirnabszesse). Spezielle Fragestellungen (z.B. Scherverletzungen, Hirnstammpathologien) können nur unzureichend mittels CT-Diagnostik beantwortet werden und bedürfen der Magnetresonanztomographie. Die wesentlichen Probleme liegen in der unzureichenden Zugänglichkeit der Patienten während der Untersuchung: alle Gefäßzugänge, Atemwegsbrücken, Sonden, und Monitoringsysteme müssen entsprechend gesichert und funktionstüchtig gehalten werden.

4. Ultraschall

Der Ultraschall als nicht auf ionisierender Strahlung beruhendes Verfahren hat sich zu einem unverzichtbaren Instrument im Management kritisch kranker Patienten entwickelt. Ultraschallgeräte in der Intensivmedizin unterscheiden sich nicht grundsätzlich von den „Routine-Geräten“, das heißt es handelt sich um sog. Realtime-Geräte mit Sektortechnik und einem 3- bis 3,5-MHz-Schallkopf als Minimalausstattung. Zudem sollte eine Duplexfunktion vorliegen, weil diese Technik zur nicht-invasiven Beurteilung der Durchblutung von Organen, Herzhöhlen und Gefäßen zum Standard zählt. Hochfrequenzere Schallköpfe (5-10 MHz) sind angebracht in der pädiatrischen Intensivmedizin sowie bei Erwachsenen zur Beurteilung von oberflächennahen Prozessen (bis 5 cm Eindringtiefe). Die Bilddokumentation erfolgt über einen Direktdruck (relativ teuer) oder Videoprinter. Eine evtl. sinnvolle Zusatzausstattung umfasst einen Punktionsschallkopf für interventionelle Maßnahmen wie Punktionen und Drainagen. Die Sicherheit und breite Verfügbarkeit des Verfahrens ermöglichen bettseitig eine rasche und detaillierte Information über das kardiovaskuläre System (Echokardiographie) sowie die Anatomie und Funktion anderer innerer Organe [17,18]. Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens ist, dass die Untersuchung ohne einen potenziell gefährdenden Transport auf der Intensivstation erfolgen kann. Insbesondere die transösophageale Echokardiographie (TEE) stellt ein wichtiges Verfahren in der Intensivmedizin dar.

4.1. Echokardiographie

Indikationen zur Durchführung einer transösophagealen Echokardiographie (TEE) beim nicht-kardiochirurgischen Patienten stellen dar:

Indikation	Wertung
Hämodynamisch instabiler Patient, intra- und postoperativ	Klasse 1
Intensivpatient mit vermuteter Klappenpathologie oder 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

* Wertung durch die American Society of Anesthesiologists.

Klasse 1-Indikation: nach heutigem Wissensstand sinnvolle Indikation mit wahrscheinlich positivem Einfluss auf das Patientenoutcome.

Klasse 2-Indikation: mögliche Indikation ohne gesicherten positiven Einfluss auf das Patientenoutcome.

Klasse 3-Indikation: wenig belegte Indikation mit unklarem Einfluss auf das Patientenoutcome.

Tab. 1: Mögliche Indikationen für die perioperative TEE beim nicht-kardiochirurgischen Patienten*. Modifiziert aus [19].

Als absolute Kontraindikationen einer transösophagealen Echokardiographie gelten ösophageale Pathologien (Strikturen, Tumore, Ösophagusdivertikel, Mallory-Weiss Läsion), eine unabgeklärte Dysphagie oder Odynophagie und die Instabilität der Halswirbelsäule. Zu den relativen Kontraindikationen zählen Ösophagusvarizen, eine stattgehabte Ösophagus- oder Magenoperation, eine obere gastrointestinale Blutung und Erkrankungen des atlanto-axialen Gelenks.

Merke: Die TEE gilt als ein sicheres Verfahren, die Rate lebensbedrohlicher Komplikationen (Herzstillstand und respiratorisches Versagen) wird in der Literatur mit 0,4 % beschrieben [20].

Zu den allgemeinen Komplikationen der TEE zählen Blutdruckschwankungen (0,8 %), selbst-limitierende diffuse orale Schleimhautblutungen (0,7 %) und vor allem atriale Arrhythmien (0,2 %). Als eine mögliche Alternative beim kritisch Kranken bleibt die schneller einsetzbare und weniger invasive transthorakale Echokardiographie (TTE).

Transthorakale Echokardiographie (TTE)	Transösophageale Echokardiographie (TEE)
Generelles Screening	Unzureichende Visualisierung durch TTE
Bewertung der Hämodynamik	Hämodynamische Instabilität
	Unerklärbare Hypoxämie
	Bauchlagerung
Ausschluss einer Perikardtamponade	Perikardtamponade (lokal)
	Nach herzchirurgischem Eingriff- komplizierter Verlauf
Akute Rechtsherzbelastung (Lungenarterienembolie)	Akute Rechtsherzbelastung 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, Pulmonalkatheters, Kanülierungen

In Abhängigkeit von der Qualität der Visualisierung:

- maschinell beatmeter Patient
- Komplikationen eines Myokardinfarktes
- Evaluation eines potentiellen Organspenders

Tab. 2: Indikationen für die transthorakale und transösophageale Echokardiographie. Modifiziert aus [20].

4.2. Nicht-kardiale Ultraschalldiagnostik

Weitere Indikationen zum bettseitigen Einsatz des Ultraschalls in der Intensivmedizin stellen dar:

- Beurteilung parenchymatöser Organe in Thorax und Abdomen
- Bewertung von Ausmaß und Lokalisation von pleuraler und abdomineller Flüssigkeit
- Platzierung zentraler Venenkatheter (z.B. V. jugularis interna, V. femoralis)
- Platzierung arterieller Zugänge (z.B. A. axillaris, A. femoralis)
- Intra-aortale Ballonpumpe (IABP)
- Harnstauung, Nierenperfusion, Füllungszustand der Harnblase
- Fokussierte Erfassung beim Traumapatienten (FAST)
- Neurosonographie
- Kraniale Dopplersonografie im Rahmen der Hirntoddiagnostik zum Nachweis von Pendelflüßen

Zusätzlich kann die Duplexsonografie zum Nachweis einer arteriovenösen Fistel nach Punktion benutzt werden. Da die Bildgebung des Thorax eine besondere Bedeutung hat, stellt neben der Echokardiographie die Sonographie des Thorax einen wesentlichen Aspekt dar. Sowohl Pleuraerguss als auch Pneumothorax können in kurzer Zeit zu einer sich rasch entwickelnden respiratorischen Insuffizienz führen. Daher bedarf es umgehend der korrekten Diagnose, die in den meisten Fällen zunächst anhand eines Thorax-Röntgenbildes erfolgt. Die meisten Pleuraergüsse in der Intensivmedizin sind von geringem Ausmaß, die nicht unbedingt die Anlage einer Drainage erfordern, sondern auch punktiert werden können. Eine Drainage ist bei einer respiratorischen Insuffizienz angezeigt. Es bleibt zu beachten, dass vor allem nach einem Trauma große hämorrhagische Ergüsse vorliegen können. Bei Koageln kann eine Thorakotomie indiziert sein (CT-Befund). Das Röntgenbild verfügt beim auf dem Rücken liegenden Patienten nur über eine begrenzte Aussagekraft (40-60 % Sensitivität) und erlaubt keine sichere Differenzierung zwischen pleuralen und parenchymatösen Verschattungen.

Merke: Der Ultraschall bietet eine hohe Sensitivität (100 %) und Spezifität (90 %) beim Nachweis eines Pleuraergusses.

Neben der Quantifizierung eines Ergusses erlaubt die Sonographie die Lokalisation, Beurteilung der Binnenstruktur und 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.

Die Platzierung eines zentralen Venenkatheters sollte stets ultraschallgestützt erfolgen [21]. Die Empfehlungen des britischen National Institute for Clinical Excellence (NICE) lauten, dass eine 2D-Ultraschalluntersuchung eingesetzt werden sollte als zu bevorzugendes Instrument bei der Anlage eines V. jugularis interna Katheters bei Erwachsenen und Kindern in elektiven Situationen. Die Sonographie sollte generell in den meisten klinischen Situationen, ob elektiv oder Notfall, herangezogen werden. Eine adäquate Ausbildung des Anwenders wird in diesem Rahmen ausdrücklich gefordert. Eine akustischgeführte Doppler-basierte Punktion und Platzierung wird nicht empfohlen. Eine 2D-Darstellung ist in der Tat mit einer höheren Erfolgsrate und geringeren Komplikationen, vor allem bei Patienten mit einem BMI > 30 kg/m², verbunden [22]. Der Einsatz des Ultraschalls zur Platzierung von Gefäßzugängen führt zu einer Reduktion weiterer radiologischer Bildgebung [23].

Die Platzierung eines zentralen Venenkatheters bei maschinell beatmeten Patienten führt in 4-15 % zu einem Pneumothorax. Besonders häufig tritt diese Komplikation bei Patienten mit einem ARDS auf, die Gefahr eines Spannungspneumothorax ist hier besonders hoch ist (60-96 %). Ungefähr die Hälfte der Fälle mit einem ventralen Pneumothorax

beim Patienten in Rückenlage wird dieser nicht zeitnah mit Hilfe eines Röntgenbildes diagnostiziert. Ein Pneumothorax kann bettseitig sonographisch durch das Auslöschten des Ultraschallsignals erkannt werden. Im Vergleich zum Röntgenbild beträgt die Sensitivität >95 % und ist damit deutlich überlegen (28-60 %) [24]. Die sonographisch erfassbare Binnenstruktur des Lungengewebes erlaubt zudem eine Aussage bezüglich infiltrativer Prozesse und des Ausmaßes eines Lungenödems [24]. Der Routineeinsatz der Thorax-Sonographie ist mit einer signifikanten Reduktion von Röntgenaufnahmen und CT's assoziiert [25].

Wichtig: Vor allem eine Seitenlage des Patienten kann die Einsicht in bestimmte Lungenabschnitte erschweren. Postoperative Bedingungen, Wundverbände und Drainagen können die Visualisierung ebenfalls beeinträchtigen.

Intrathorakale und intraabdominelle Flüssigkeitsareale und Abszesse lassen sich sonographisch sowohl nachweisen als auch ggfs. in einer Sitzung gezielt durch die Einbringung geeigneter Drainagen entlasten [26]. Schwierig zugängliche Lokalisationen sollten allerdings einer CT-gestützten Punktion vorbehalten bleiben. Die Perikardpunktion wird klassisch unter Zuhilfenahme der transthorakalen Echokardiographie durchgeführt. Die Sonographie sollte in der Planung und Durchführung einer perkutan-dilatativen Tracheotomie berücksichtigt werden. In Anbetracht des Ultraschallbefundes wurde vor Durchführung der Maßnahme die Punktionsstelle der Trachea bei 24 % geändert und bei einem der 72 untersuchten Patienten wurde aufgrund der Gefäßanatomie eine (kostenintensivere) offene chirurgische Tracheostomie durchgeführt [27]. Die Kombination aus Ultraschall- und Bronchoskopiekontrolle wurde als sicher, einfach und kosteneffektiv bewertet.

Die Abdominalsonographie stellt ein ebenfalls wichtiges Instrument in der Intensivmedizin dar. Eine retrospektive Analyse abdominal-sonographischer Untersuchungen bei 400 Intensivpatienten (2 % Notfall, 56 % dringlich, 42 % elektiv) erbrachte, dass neue pathologische Befunde in 31 % gefunden und bereits bekannte Pathologien in 33 % der Fälle bestätigt wurden [28]. In 53 % bestand keine unmittelbare therapeutische Konsequenz, in 27 % wurde die Therapie gemäß dem Ultraschallbefund fortgesetzt und in 10 % wurde eine Intervention abgeleitet. In 80 % wurde keine zusätzliche Bildgebung durchgeführt, so dass die Sonographie bei einem Großteil der Patienten als ausreichend eingestuft wurde und eine weitergehende Diagnostik vermieden werden kann.

Die Bedeutung der Ultraschalldiagnostik in der Versorgung von Traumapatienten erfährt ebenfalls Fortschritte. Nicht nur prähospital sondern auch auf der Intensivstation hat die sog. fokussierte abdominelle Sonographie beim Trauma (FAST) einen hohen Stellenwert erlangt [29]. Dieses Konzept beinhaltet eine strukturierte, vor allem auf die Verletzung parenchymatöser Organe gerichtete Diagnostik.

Die Neurosonographie stellt ein eigenes Gebiet dar, neben der extra- und intrakraniellen Gefäßdiagnostik (Duplex- und Doppler-Sonographie) kann auch eine 2D-Darstellung (z.B. nach osteoklastischer Trepanation) Aufschluss über die Lokalisation der Mittellinie und das Ventrikelsystem liefern.

Einschränkungen der Sonographie zur Erlangung aussagekräftiger Befunde liegen darin, dass eine adäquate Ausbildung des Anwenders und regelmäßige Praxis unabdingbar sind. Die Kosten für die Anschaffung und Wartung der Gerätschaften sind zu rechtfertigen und sollten nicht zu Ungunsten der Ultraschalldiagnostik ausgelegt werden. Die aktuelle Datenlage zum Einsatz der TEE beim kritisch kranken Patienten beinhaltet, wie für viele andere Maßnahmen und Monitoringverfahren in der Intensivmedizin, keine prospektiven, randomisiert kontrollierten Studien zu den Endpunkten wie Kosteneffektivität, Morbidität und Mortalität [30,31]. Allerdings weisen Studienergebnisse auf die Vorteile der Echokardiographie, insbesondere die Verfügbarkeit der TEE in der Intensivmedizin, und auf die Notwendigkeit der Ausbildung in diesem Bereich hin.

Ausblick

Die zunehmende Verbreitung elektronischer Bildgebung und Archivierung stellt einen wesentlichen Fortschritt dar. Die radiologische Bildgebung kann intern oder extern zugänglich gemacht werden und die jeweiligen therapeutischen Maßnahmen zeitnah und optimiert durchgeführt werden. Die mobile CT-Diagnostik stellt ein viel versprechendes Instrument in der Intensivmedizin dar, es wird sich zeigen müssen, in welchem Umfang sie Einzug in die Klinik finden wird. In der Ultraschalldiagnostik wird die 3D-Echokardiographie, die derzeit noch keinen Standard darstellt, ein wesentlicher Fortschritt sein. Mittels dieser Technik wird die visuelle und funktionelle Erfassung kardialer Dimensionen und Funktionen noch detaillierter möglich. Besondere Ultraschalltechniken und spezielle Gerätschaften mit integrierten anatomischen Grundlagen werden eine deutlich größere Sicherheit in der Durchführung von ultraschallgestützten Interventionen ermöglichen und vor allem für die Ausbildung von Bedeutung sein.

Zusammenfassung

Die bettseitige radiologische Bildgebung in der Intensivmedizin besteht im Wesentlichen unverändert aus der Thoraxdiagnostik. In Anbetracht der vielfältigen Einschränkungen dieser Diagnostik ist und bleibt die Computertomographie bei unklaren Befunden das Verfahren der Wahl. Für bestimmte Indikationen (Nachweis einer Lungenarterienembolie) stellt die Computertomographie den Goldstandard dar. Abzuwägen bleibt in jedem Falle das Risiko des Transportes des kritisch kranken Patienten und eines neuen und ggfs. therapie relevanten Befundes. Der Ultraschall als bettseitiges Verfahren ohne ionisierende Strahlung hat ein großes Potential. Bisherige Untersuchungen zeigen, dass durch den Einsatz der Ultraschalldiagnostik in der Intensivmedizin der Umfang anderer potentiell gefährdender und kostenintensiver radiologischer Bildgebung signifikant gesenkt werden kann.

Interessenskonflikt:

S.G. Sakka ist Mitglied des Medical Advisory Board der Firma Pulsion Medical Systems AG und hat von dieser Firma und MSD Sharp&Dohme Honorare für Vorträge erhalten.

Literatur

1. Leppik 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. *Radio- loge* 1998; 38: 730-6
2. Oba Y, Zaza T. Abandoning daily routine chest radiography in the intensive care unit: meta-analysis. *Radiology* 2010; 255: 386-95
3. Bekemeyer WB, Crapo RO, Calhoon S, Cannon CY, Clayton PD. Efficacy of chest radiography in a respi- ratory intensive care unit. A prospective study. *Chest* 1985; 88: 691-6
4. Henschke CI, Pasternack GS, Schroeder S, Hart KK, Herman PG. Bedside chest radiography: diagnostic efficacy. *Radiology* 1983; 149: 23-6
5. Stauffer JL, Olson DE, Petty TL. Complications and consequences of endotracheal intubation and tracheo- tomy. A prospective study of 150 critically ill adult patients. *Am J Med* 1981; 70: 65-76
6. 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
7. Wechsler RJ, Steiner RM, Kinori I. Monitoring the monitors: the radiology of thoracic catheters, wires, and tubes. *Semin Roentgenol* 1988; 23: 61-84
8. Bankier AA, Mallek R, Wiesmayr MN, Fleischmann D, Kranz A, Kontrus M, Knapp S, Winkelbauer FW. Azygos arch cannulation by central venous catheters: radiographic detection of malposition and subse- quent complications. *J Thorac Imaging* 1997; 12: 64-9

9. Sivak SL. Late appearance of pneumothorax after subclavian venipuncture. *Am J Med* 1986; 80: 323-4
10. 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
11. Woodring JH. Pulmonary interstitial emphysema in the adult respiratory distress syndrome. *Crit Care Med* 1985; 13: 786-91
12. 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
13. 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
14. Shapiro MJ, Luchtefeld WB, Kurzweil S, Kaminski DL, Durham RM, Mazuski JE. Acute acalculous cholecystitis in the critically ill. *Am Surg* 1994; 60: 335-9
15. Taourel PG, Deneuille M, Pradel JA, Régent D, Bruel JM. Acute mesenteric ischemia: diagnosis with contrast-enhanced CT. *Radiology* 1996; 199: 632-6
16. Balthazar EJ. CT of the gastrointestinal tract: principles and interpretation. *Am J Roentgenol* 1991; 156: 23-32
17. Beaulieu Y, Marik PE. Bedside ultrasonography in the ICU: part 2. *Chest* 2005; 128: 1766-81
18. Beaulieu Y, Marik PE. Bedside ultrasonography in the ICU: part 1. *Chest* 2005; 128: 881-95
19. Brederlau J, Kredel M, Wurmb T, Dirks J, Schwemmer U, Broscheit J, Roewer N, Greim CA. Transoesophageal echocardiography for non-cardiac surgery patients: superfluous luxury or essential diagnostic tool? *Anaesthesist* 2006; 55: 937-40
20. Hüttemann E. Transoesophageal echocardiography in critical care. *Minerva Anesthesiol* 2006; 72: 891-913
21. National Institute for Clinical Excellence. Web: www.nice.org.uk
22. 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
23. 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
24. Soldati G, Sher S. Bedside lung ultrasound in critical care practice. *Minerva Anesthesiol* 2009; 75: 509-17
25. Peris A, Tutino L, Zagli G, Batacchi S, Cianchi G, Spina R, Bonizzoli M, Migliaccio L, Perretta L, Bartolini M, Ban K, Balik M. 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
26. McGahan JP. Aspiration and drainage procedures in the intensive care unit: percutaneous sonographic guidance. *Radiology* 1985; 154: 531-2
27. Kollig E, Heydenreich U, Roetman B, Hopf F, Muhr G. Ultrasound and bronchoscopic controlled percutaneous tracheostomy on trauma ICU. *Injury* 2000; 31: 663-8
28. 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: 841-4
29. Walcher F, Kirschning T, Brenner F, Stier M, Rüsseler M, Müller M, Ilper H, Heinz T, Breikreutz R, Marzi I. Training in emergency sonography for trauma. Concept of a 1-day course program. *Anaesthesist* 2009; 58: 375-8
30. 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
31. Rosen AB, Fowler VG Jr, Corey GR, Downs SM, Biddle AK, Li J, Jollis JG. Cost-effectiveness of transeophageal echocardiography to determine the duration of therapy for intravascular catheter-associated *Staphylococcus aureus* bacteremia. *Ann Intern Med* 1999; 130: 810-20