

Redaktion:

H.J. Bardenheuer,
Heidelberg
O. Hilfiker, Aarau
R. Larsen, Homburg/Saar
J. Radke, Halle

Anaesthesist (1996) 45:769–786 © Springer-Verlag 1996

Bildgebung in der Intensivmedizin

Techniken, Indikationen, diagnostische Zeichen – Teil I

A. A. Bankier, D. Fleischmann, L. Aram¹, K. Heimberger,
E. Schindler, und C. J. Herold
*Universitätsklinik für Radiodiagnostik, ¹Universitätsklinik für
Anästhesie und Allgemeine Intensivmedizin, Wien*

Zum Thema

Die rasant fortschreitenden Entwicklungen auf dem Gebiet der Radiodiagnostik eröffnen auch der Intensivmedizin neue Aspekte: ungleich rascher kann heute mittels moderner Technik zu konklusiven Diagnosen gelangt werden. Dies setzt jedoch die Kenntnis der Möglichkeiten und auch der Grenzen bildgebender Methoden in der Intensivmedizin voraus. Deshalb werden im vorliegenden Beitrag, ausgehend von relevanten klinischen Fragestellungen und Problemkomplexen, die Möglichkeiten bildgebender Verfahren vorgestellt und diskutiert. So werden nach einer technischen Einführung am Beispiel der Fokussuche, des Lungenödems, des Monitoring des beatmeten Patienten, sowie des zerebral erkrankten Patienten die wichtigsten diagnostischen Röntgenzeichen erläutert und ein diagnostisches Prozedere vorgezeichnet. Der vorliegende Beitrag soll somit eine kurze Zusammenfassung einiger für den Intensivmediziner wichtigen Aspekte der Bildgebung darstellen und so letztendlich zu einer besseren Kooperation zwischen diesen Disziplinen beitragen.

Die bildgebende Diagnostik hat in den letzten beiden Jahrzehnten eine durch technische Weiterentwicklungen bedingte rasante Entwicklung erfahren. Auf die Bildgebung in der Intensivmedizin hat dies insofern Auswirkung, als sich durch die zum Teil völlig neuartigen Methoden nunmehr diagnostische Möglichkeiten bieten, die in dieser Form für die Intensivmedizin nicht verfügbar waren. Dadurch sah sich aber auch die Rolle des Radiologen in der Intensivmedizin neu definiert. Neben dem rein diagnostischen Prozedere hat er nunmehr auch die Funktion, ein anhand des gegebenen klinischen Kontexts adäquates diagnostisches Vorgehen mit zu definieren. Deshalb sollen im vorliegenden Artikel neben den Basiszeichen der intensivmedizinisch-radiologischen Diagnostik anhand klinisch relevanter Fragestellungen auch die Einsatzmöglichkeiten moderner bildgebender Diagnostik besprochen werden, die den nunmehr verfügbaren neuen Methoden den ihnen entsprechenden Stellenwert zuweisen.

Dr. A. A. Bankier, Universitätsklinik für Radiodiagnostik, Währinger Gürtel 18-20, A-1090 Wien

Die Beiträge der Rubrik „Weiterbildung“ sollen dem Stand des zur Facharztprüfung für den Anästhesisten notwendigen Wissens entsprechen und zugleich dem Facharzt als Repetitorium dienen. Die Rubrik beschränkt sich auf klinisch gesicherte Aussagen zum Thema.

Radiologische Techniken

Bedside-Diagnostik: Konventionelle Radiographie

- **Konventionelle Radiographie: Film-Foliensystem**

Trotz seines nunmehr hundertjährigen Bestehens und der Einführung zahlreicher neuer Techniken hat das ► konventionelle Röntgenbild im intensivmedizinischen Bereich nichts an Bedeutung verloren. Nach wie vor ist es die am leichtesten verfügbare und billigste bildgebende Methode, die sowohl zur Erstevaluierung als auch zur Verlaufskontrolle bestens geeignet ist. Insbesondere im Bereich der Thoraxdiagnostik erlaubt das Lungenröntgen neben dem Monitoring von intravasculären Zugängen, Kathetern und Tuben auch die Beurteilung von Lungenparenchym, Pleura und Zwerchfell.

Das konventionelle Röntgenbild ist nach wie vor das Hauptstandbein der intensivmedizinischen Bildgebung.

- **Kippeffekt**

Die Bedside-Radiographie in der Intensivmedizin birgt spezifische Probleme. Aufgrund der liegenden Patientenposition ergeben sich oftmals Schwierigkeiten, die adäquaten Expositionsparameter zu bestimmen. Auch sollten die Expositionsparameter bei Verlaufskontrollen möglichst gleichbleibend sein, um einen zuverlässigen Vergleich zwischen Vorbildern und aktuellen Bildern zu ermöglichen. Wird das Film-Foliensystem durch einen nicht ideal flach auf der Kassette liegenden Patienten unregelmäßig geschwärzt, können durch diesen ► „Kippeffekt“ pathologische Veränderungen (z.B. Pleuraergüsse) vorgetäuscht werden (Abb. 1). Um diesen Problemen zuvorzukommen, sollten Röntgenaufnahmen auf der Intensivstation von erfahrenen und eigens dazu ausgebildeten Röntgenassistenten durchgeführt werden.

Spezifische Probleme der Bedside-Diagnostik.

Digitale Radiographie

- **Digitale Radiographie: Film-Foliensystem durch Phosphorplatte ersetzt**

Im Gegensatz zur konventionellen (analogen) Radiographie, die prinzipiell auf der Filmschwärzung durch Röntgenstrahlen beruht, kommen bei der ► digitalen Radiographie im Zuge der Bilderzeugung vielfältige elektronische Prozesse zum Einsatz. Die Strahlenquelle ist hier-

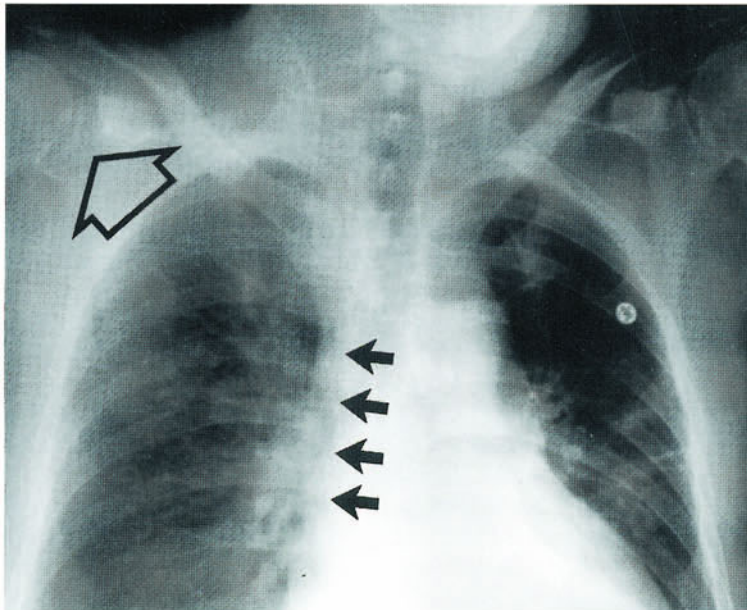


Abb. 1. Kippeffekt. Dieses konventionelle Thoraxröntgen verdeutlicht den durch das Kassettenraster verursachten Kippeffekt. Der homogen verdichtete rechte Hemithorax (*schwarze Pfeile*) könnte einen Pleuraerguß vortäuschen. Erst die ebenfalls verdichtet erscheinenden Weichteile rechts (*offener Pfeil*) erweisen die Verdichtung als technisches Artefakt

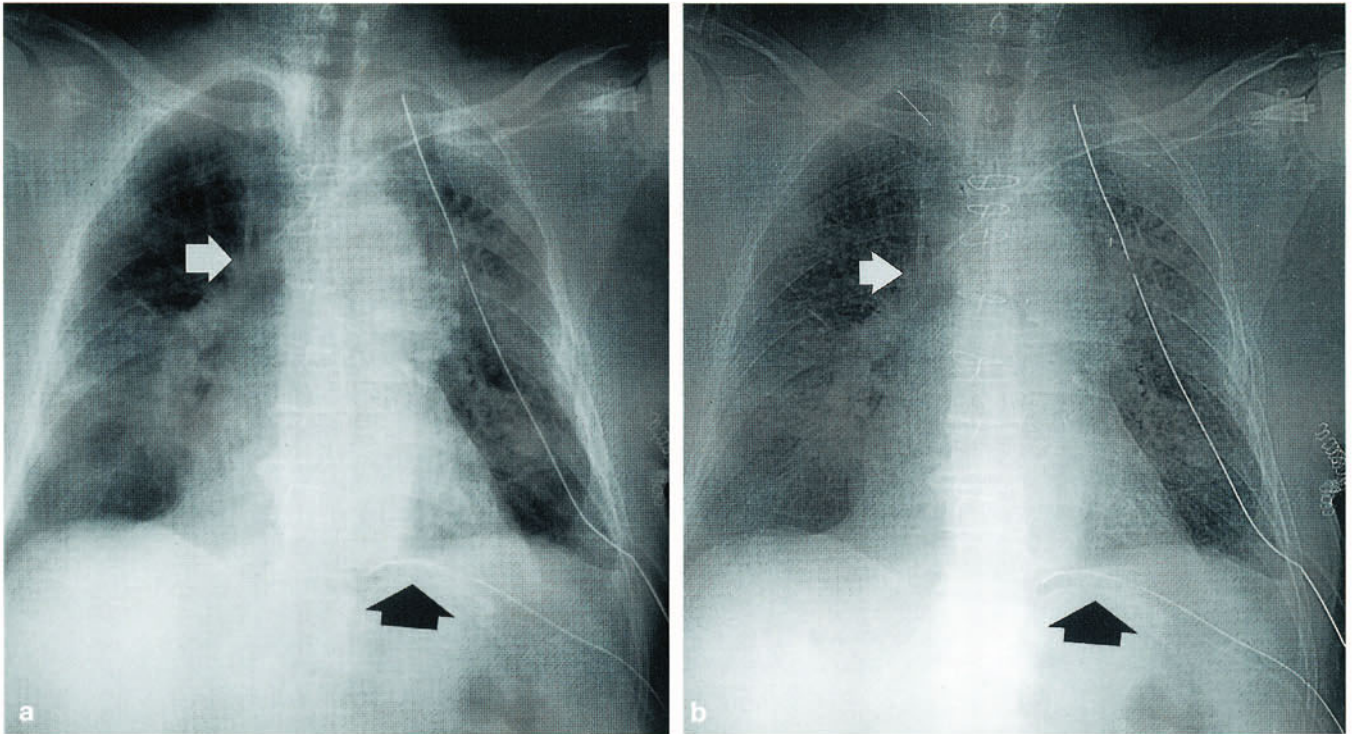


Abb. 2a, b. Digitale Radiographie. Digital hergestellte Thoraxaufnahme ohne (a) und mit (b) kantenanhebendem Rechenmodus. Während sich die Aufnahme ohne Kantenanhebung (a) besser zur Beurteilung des Lungenparenchyms eignet, lassen sich mit Kantenanhebung insbesondere der Verlauf von Kathetern und Drainagen (Pfeile) besser verfolgen

bei weiterhin die konventionelle Röntgenröhre, das bestrahlte Medium ist jedoch keine Film-Folien-Kombination, sondern eine Phosphorplatte, deren Partikel durch die Röntgenstrahlung mehr oder weniger stark angeregt werden. Diese Phosphorplatte wird dann in einem entsprechenden Gerät mittels Laserstrahl abgelesen und anschließend wieder gelöscht; sie ist dann sofort wieder verwendbar. Die abgelesenen Signale werden in einem aufwendigen Rechenverfahren in digitale Bildinformationen umgesetzt und bieten als solche alle bekannten Vorteile digitaler Bilder: Sie sind über entsprechende Leitungen transportabel, sie lassen sich speichern, und vor allem, sie lassen sich an entsprechenden Workstations elektronisch nachbearbeiten. Hierbei kann durch artifizielle Modifizierung virtueller Schwärzungskurven der Bildinhalt derart verändert werden, daß z.B. Konturen verdeutlicht oder Kontraste verstärkt werden (Abb. 2).

Dies ist im Rahmen der Intensivmedizin deshalb von besonderem Interesse, weil trotz möglicherweise suboptimaler Aufnahmebedingungen aus einem Bild durch elektronische Nachbearbeitung doch ein suffizientes diagnostisches Ergebnis gewonnen werden kann. Phosphorplatten sind im Vergleich mit konventionellen Filmkassetten wesentlich leichter und damit einfacher zu transportieren. Auch werden zur Anfertigung digitaler Röntgenbilder in der Regel geringere Strahlendosen benötigt als in der konventionellen Radiographie, was die digitale Radiographie aufgrund oft zahlreicher längerfristiger Kontrollaufnahmen für die Intensivmedizin attraktiv macht.

Den oben erwähnten Vorteilen der digitalen Radiographie stehen jedoch auch Nachteile gegenüber. So ist z.B. das Auflösungsvermögen digitaler Röntgenaufnahme noch immer geringer als das konventioneller Bilder. Auch ist die digitale Technik ein entsprechend aufwendiges Verfahren, was natürlich mit hohen Kosten verbunden

Die digitale Radiographie ist eine noch wenig verbreitete jedoch vielversprechende Weiterentwicklung der konventionellen Radiographie.

Nachteile der digitalen Radiographie: geringeres Auflösungsvermögen, aufwendigeres Verfahren, hohe Kosten

► **B-Bild Sonographie:**
zweidimensionales
real-time Bild

ist. Auch Bildspeicherung und Bildtransport sind teurer als in der konventionellen Radiographie. Dieses Kostenproblem macht die digitale Radiographie vorerst nur für größere Zentren interessant und erschwinglich.

Sonographie, Farbcodierte Doppler Duplex Sonographie

Durch die Entwicklung fahrbarer und nicht zuletzt auch relativ billiger Geräte hat die ►B-Bild Sonographie in der intensivmedizinischen Diagnostik neben radiographischen Techniken einen festen Platz. Oftmals erlaubt sie unmittelbar am Patientenbett eine rasche Klärung relevanter klinischer Fragestellungen. Im Bereich der Thoraxdiagnostik kommt die Sonographie vor allem in der Beurteilung pleuraler Ergüsse zum Einsatz. Dabei kann nicht nur die Breite der Ergußlamelle bestimmt werden, auch kann durch die Darstellung eventuell vorhandener Septen oder Lokulationen eine mögliche Punktion optimal geplant werden. Im Bereich des Abdomens ist, neben der Feststellung freier abdomineller Flüssigkeit, vor allem die Beurteilung von Oberbauch-Veränderungen von Bedeutung. Häufige klinische Indikationen sind hierbei die Abklärung von fraglichen Cholangiekasien, Cholezystitiden, Spleno- oder Hepatomegalien, sowie Veränderungen am Nierenparenchym oder am Nierenhohlraumssystem.

Die Sonographie erlaubt dynamische Bildgebung unmittelbar am Krankenbett.

► **Doppler-Duplex Sonographie:**
Farbkodierung von
Flußphänomenen

Die farbcodierte ►Doppler Duplex Sonographie (FCDDS) ist eine technische Weiterentwicklung sowohl der B-Bild Sonographie als auch des konventionellen Doppler-Verfahrens. Die FCDDS erlaubt es, innerhalb des B-Bildes das Doppler-Signal punktgenau zu lokalisieren und damit zielgerichtet Doppler-Signale abzuleiten. Zudem können sowohl Gefäße als auch Organparenchym farbkodiert werden, d.h. daß dort eventuell vorhandener Blutfluß gemäß einer vorwählbaren Skala farbig am Bildschirm zur Darstellung kommt. Damit können Flußmuster typisiert und deren spezifisches Dopplerspektrum charakterisiert werden.

Die FCDDS ermöglicht funktionelle Bildgebung am Krankenbett.

► **Anwendung der FCDDS**

Das breite ►Anwendungsgebiet der FCDDS erschließt sich intensivmedizinischen Fragestellungen insofern, als mit dieser Methode eine nichtinvasive funktionelle Diagnostik direkt am Krankenbett möglich ist. Häufige Fragestellungen, die mittels FCDDS abgeklärt werden können, sind fragliche Durchblutungsstörungen oder -stops in zentralen Gefäßen (Aorta, A. carotis, A. mesenterica superior), Durchblutungsstörungen in Gefäßbypässen oder Gefäßprothesen, aber auch die Objektivierung von Durchblutungsstörungen in geschädigten oder transplantierten parenchymatösen Organen (Nieren, Leber).

Non-Bedside-Diagnostik: Computertomographie

► **Computertomographie (CT): digitales Schnittbildverfahren**

Die ►Computertomographie (CT) ist ein radiologisches Schnittbildverfahren, bei dem zur Bilderzeugung die elektronische Verarbeitung von Schwächungskoeffizienten einer zirkulär um den Patienten rotierenden Röntgenröhre verwendet werden. Die CT hat im Laufe des letzten Jahrzehnts weite Verbreitung gefunden und ist zum heutigen Zeitpunkt eine praktisch allgemein verfügbare Technik. Auch für den Intensivmediziner liegt das Interesse der CT in der überlagerungsfreien Darstellung von Körperregionen, die mit anderen bildgebenden Methoden nur schwer zugänglich sind. Dazu gehören z.B. das Mediastinum, erguß- oder verdichtungsbedingt überlagerte Lungenabschnitte, sowie Teile des Abdomens, die sonographisch wegen Darmgasüberlagerung nicht einwandfrei darstellbar sind.

Die CT erlaubt die überlagerungsfreie Darstellung komplexer anatomischer Kompartments.

Diese Vorteile der CT erhalten besonders im Rahmen der Fokus- oder Abszessuche Bedeutung. Andere Anwendungsbereiche der CT im Rahmen der Intensivmedizin sind beispielsweise das Monitoring

► **Spiral-Computertomographie: kontinuierliche Datenaquisition**

postoperativer Komplikationen (Mediastinitis, Peritonitis), sowie die Abklärung unklarer konventionell-radiographischer oder sonographischer Befunde.

Trotz ihrer allgemein guten Verfügbarkeit muß die Indikation zur CT auch vom Intensivmediziner eher restriktiv gestellt werden, da der apparative Aufwand insgesamt groß ist und Transport und Untersuchung eines beatmeten und monitierten Patienten zusätzliche personelle Ressourcen erfordern.

Spiral-Computertomographie

Die ► Spiral-Computertomographie (SCT) stellt eine technische Weiterentwicklung der konventionellen CT dar. Anders als bei der konventionellen CT, bei der Bilddaten Schicht für Schicht mit dazwischenliegenden Pausen gesammelt werden, erfolgt die Datenaquisition bei der SCT kontinuierlich. Dabei rotiert die Röntgenröhre ohne Unterbrechungen um den Patienten, während der Patient auf dem Untersuchungstisch fortbewegt wird. Dadurch wird in einem einzigen Untersuchungsgang ein lückenloses Datenvolumen erfaßt, das später elektronisch rekonstruiert und bearbeitet werden kann. Der Vorteil der SCT liegt vor allem in der Kürze und der Lückenlosigkeit der Datenerfassung. Hierdurch ist es möglich, Bewegungsartefakte (z.B. Atmung) zu reduzieren und, zeitlich definiert, hohe intravaskuläre Kontrastmittelkonzentrationen zu erreichen. In diesen Vorteilen liegt auch für die Intensivmedizin das Interesse der SCT. Die Reduzierung von Bewegungsartefakten bringt vor allem in der Thoraxdiagnostik erhebliche Verbesserungen, da die Bildqualität in beatmeten Patienten deutlich verbessert werden kann.

Die optimale Gefäßkontrastierung erlaubt der SCT vor allem bei der häufigen und klinisch relevanten Frage nach dem Vorliegen einer Lungenembolie eine diagnostische Aussage. Durch die hohe intravaskuläre Kontrastmittelkonzentration stellen sich Emboli als Kontrastmittelaussparungen dar. Somit kann mittels SCT im Falle einer Lungenembolie nicht nur der Embolusnachweis, sondern auch der Nachweis von begleitenden Parenchymveränderungen erbracht werden (Abb. 3). Dieser Nachweis kann dem Patienten oftmals eine weitere, möglicherweise invasive (Angiographie) Abklärung ersparen.

Die Nachteile der SCT liegen vor allem in der vorerst noch geringen Verbreitung verfügbarer Geräte. Auch ist die Datenaquisition zwar kürzer als bei der konventionellen CT, die elektronische Bildrekonstruktion ist jedoch so aufwendig, daß die Gesamtdauer der Untersuchung länger ist als bei einer konventionellen CT. Eine eher restriktive Indikationsstellung sollte also auch hier beibehalten werden.

Die Spiral-CT kann zu einer Reduzierung der Atem- und Bewegungsartefakte führen.

Radiologisches Monitoring des beatmeten Patienten

Endotrachealer Tubus

► **Radiologische Beurteilung des Endotrachealtubus**

► Der handelsübliche endotracheale Tubus trägt eine linienförmige röntgendichte Markierung, die das Auffinden der Tubusspitze auf dem Röntgenbild erleichtert. Diese Spitze sollte – bei neutraler Position des Patientenkopfes – idealerweise 5 bis 7 cm cranial der Carina liegen. Bei überstrecktem Hals gleitet die Tubusspitze um bis zu 3 cm nach cranial, bei gebeugtem Hals um die gleiche Distanz nach caudal. Dies erklärt, weshalb bei neutraler Kopfposition die Tubusspitze der Carina nicht näher als 5 cm liegen sollte: bei einer kürzeren Distanz könnte nämlich die alleinige Änderung der Kopfposition zur einseitigen endobronchialen Fehlintonation führen. Deshalb sollte bei der radiologischen Lagebeurteilung des Tubus die Kopfpo-

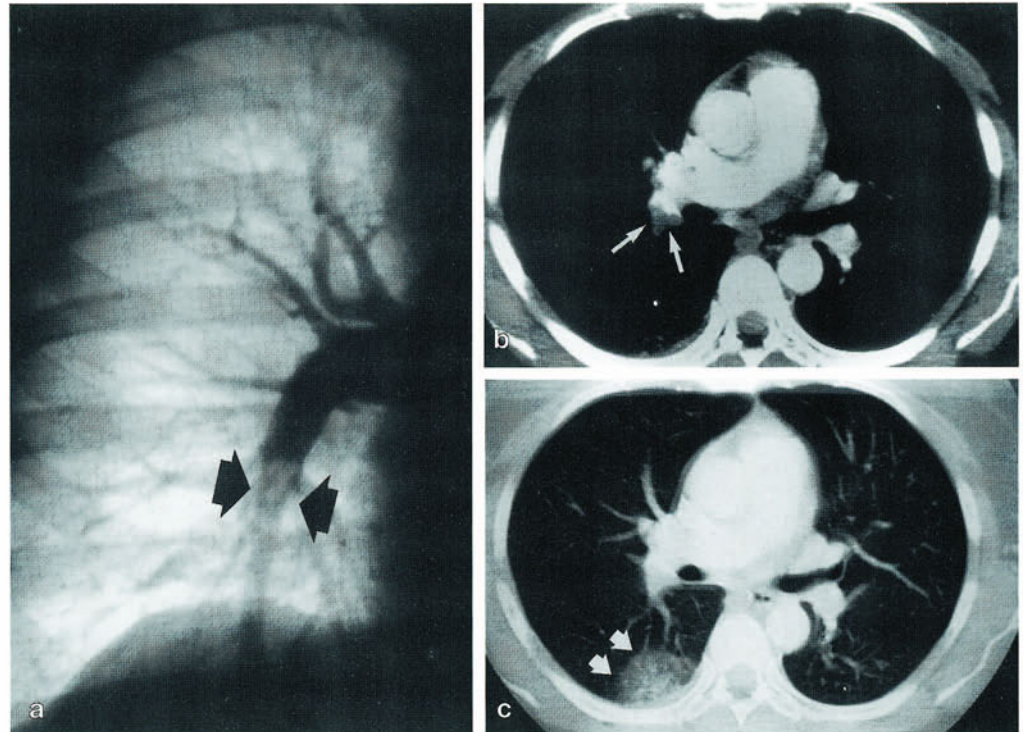


Abb. 3 a-c. Pulmonalembolie im Spiral-CT. Angiographisch (a) und computertomographisch (b, c) nachgewiesene Pulmonalembolie in einem Intensivpatienten nach Leberteilresektion. Die Angiographie (a) zeigt einen ausgedehnten Thrombus im Bereich der rechten Unterlappenarterie (schwarze Pfeile). Der gleiche Thrombus gelangt in der Spiral-CT (b) als Kontrastmittelausparung zur Darstellung (Pfeile). Das Parenchymfenster auf gleicher Höhe (c) zeigt zudem die embolie-bedingten Parenchymverdichtungen (Pfeile)

sition des Patienten zum Zeitpunkt der Bildanfertigung bekannt sein. Die Weite der Trachea in Höhe des insufflierten Cuffs sollte den Durchmesser des Tubus nicht wesentlich, keinesfalls aber um mehr als das Doppelte überschreiten (Abb. 4). Dies ist deshalb von Bedeutung, da überblähte Cuffs schon nach einigen Minuten zu Durchblutungsstörungen der Trachealschleimhaut und in weiterer Folge zu potentiell irreparablen Schleimhautschädigungen führen können. Im allgemeinen ist das suffiziente radiologische Monitoring des endotrachealen Tubus mittels Thoraxröntgen in einer Ebene möglich.

Das digitale Thoraxbild bietet gegenüber dem analogen Thoraxbild die Möglichkeit, mittels elektronischer Bildverarbeitung Tubusspitzen zu visualisieren, die durch Überlagerung mit anatomischen Strukturen oder mit anderen Zugängen schlecht sichtbar sind. Mögliche Komplikationen der endotrachealen Intubation bestehen in der Fehlintonation des rechten Hauptbronchus mit konsekutiver Atelektase der linken Lunge, in ungenügendem Verschieben des Tubus mit konsekutiver Schädigung der Larynxstrukturen, in der tracheobronchialen Obstruktion durch Verlegung des Tubuslumens mit Schleim oder Blut, und, bei langzeitintubierten Patienten, in der Trachealruptur durch längerfristig überblähte Cuffs mit konsekutivem Luftaustritt ins Mediastinum, ins Pericard und in die Pleurahöhle [5, 16].

Interstitielles Emphysem

Während das Vorliegen von Luft im Interstitium bei Neugeborenen mit Syndrom der hyalinen Membranen eine bekannte Komplikation des Barotraumas darstellt, hat das ► interstitielle Emphysem (IE) des Erwachsenen erst während der letzten 15-20 Jahre im Zuge der zunehmenden Verbreitung der Überdruckbeatmung weiterreichende

Das interstitielle Emphysem ist eine relativ häufige Komplikation der Überdruckbeatmung.

► **Interstitielles Emphysem: pathologische**

Luftansammlung im Lungenbindegewebe

Aufmerksamkeit erlangt. Die radiologische Erkennung des IE erfordert neben Röntgenbildern von optimaler Qualität die genaue anatomische Kenntnis der thorakalen Bindegewebsräume.

Das früheste radiologisch erkennbare Zeichen eines IE ist das plötzliche Auftreten von transparenten Streifen, die in ungeordneter Weise von den Hili zur Lungenperipherie ziehen. Anders als Luftbronchogramme zeigen diese Streifen keine Aufzweigungen und vermindern ihr Kaliber auch in peripherer Lage nicht. Die anatomische Entsprechung dieser transparenten Streifen ist Luft im sogenannten „axialen Interstitium“, d.h. im peribronchovaskulären Bindegewebe. Ist ein Gefäß, dessen peribronchovaskuläres Bindegewebe luftgefüllt ist, tangential getroffen, kommt es zur Ausbildung von charakteristischen ringförmigen perivaskulären Aufhellungen, den sogenannten „Halos“. Zum vorwiegend streifigen Aspekt des IE tragen vornehmlich luftgefüllte interlobuläre Septen („peripheres Interstitium“) bei. Die zufällige Anordnung der sekundären Lobuli bedingt den unorganisierten Aspekt dieser Veränderungen, die am einfachsten in subpleuraler Lokalisation zu erkennen sind. Sie erscheinen dann radiologisch wie das „Negativbild“ der im Kapitel „Lungenödem“ beschriebenen Kerley-Linien.

Bei Fortschreiten des IES bilden sich zystische Luftansammlungen mit Durchmessern im Millimeterbereich aus, die jedoch nur dann gut sichtbar sind, wenn sie unmittelbar subpleural liegen. Durchsetzen diese zystischen Luftbläschen die Lunge generalisiert und diffus, bleibt eine diffuse Transparenzerhöhung des Thorax deren einziges radiologisches Zeichen. Da die subpleuralen zystenartigen Luftaufhellungen in subpleuraler Lage durch das Vorliegen von Luft im peripheren Interstitium bedingt sind, müssen sie, insbesondere im beatmeten Patienten, als Warnzeichen vor einem drohenden Pneumothorax gewertet werden. Während zentral gelegene emphysebedingte Pneumatozelen im beatmeten Patienten, unabhängig von ihrer Größe, nur selten klinische Komplikationen hervorrufen, sollten selbst diskrete Zeichen eines peripheren IES immer ernstgenommen und insbesondere bei der Planung des Beatmungsregimes berücksichtigt werden.

Das Ausmaß und die Ausdehnung des IES lassen keine direkten Rückschlüsse auf dessen Prognose zu. So können diskrete IES schnell zu gravierenden Komplikationen führen, andererseits aber können ausgedehnte IES über Wochen hin radiologisch unverändert bleiben.

Pneumothorax

- ▶ **Pneumothorax: pathologische Luftansammlung im Pleuraspalt mit Aufhebung des pleuralen Unterdrucks und potentiellm Lungenkollaps**

▶ Aufgrund des im Pleuraraum herrschenden Unterdrucks und der darin angespannten Lunge führt das Eindringen von freier Luft durch die Eigenelastizität des Lungenparenchyms zum partiellen oder totalen Kollaps des betroffenen Lungenflügels. Luft kann den Pleuralraum über ein vorbestehendes interstitielles Emphysem bzw. Mediastinalemphysem erreichen oder durch Verletzung der Pleura von außen eindringen. Diese pleurale Verletzung kann traumatischer (z. B. Anspießung durch frakturierte Rippe) oder iatrogen (z. B. Anstechen bei zentraler Venenpunktion) Genese sein (Abb. 5).

Das klassische radiologische Zeichen eines Pneumothorax ist der sogenannte „Pneuspalt“, d.h. die feine, von der Lungenoberfläche hervorgerufene Linie, welche nach distal hin ein luftgefülltes Areal begrenzt, in dem keinerlei Lungenstrukturen mehr aufzufinden sind. Beim stehenden Patienten sammelt sich aufgrund der Schwerkraft freie pleurale Luft meist im Bereich der Lungenspitzen. Im Regelfall erscheint dann der Pneumothorax umso augenscheinlicher, je größer

Hauptzeichen des interstitiellen Emphysems sind hilifugale und periphere Aufhellungsstreifen.

Aus dem IE kann sich ein Pneumothorax entwickeln!

Klassisches Zeichen des Pneumothorax ist der „Pneuspalt“

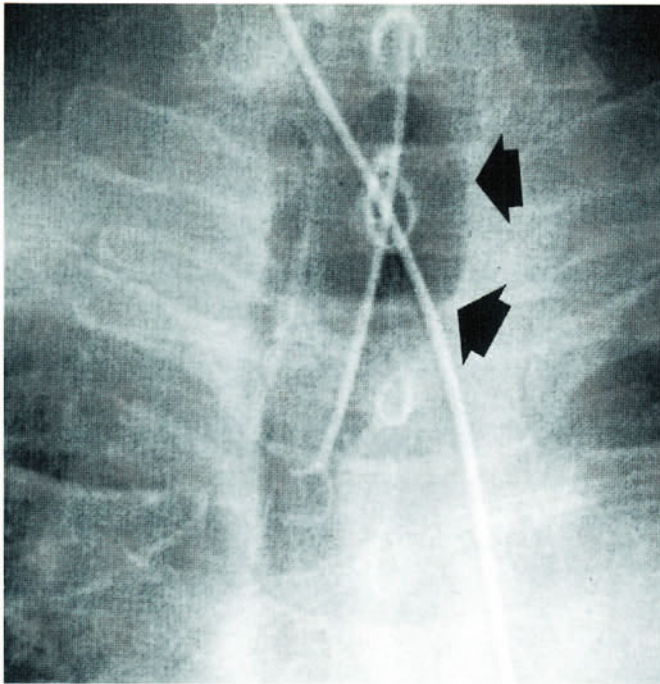


Abb. 4. Endotrachealer Tubus. Diese Vergrößerung aus einer digitalen Thoraxaufnahme zeigt eine im Verhältnis zur Karina zu hoch positionierte Tubusspitze und einen deutlich überblähten Tubus-Cuff (Pfeile)

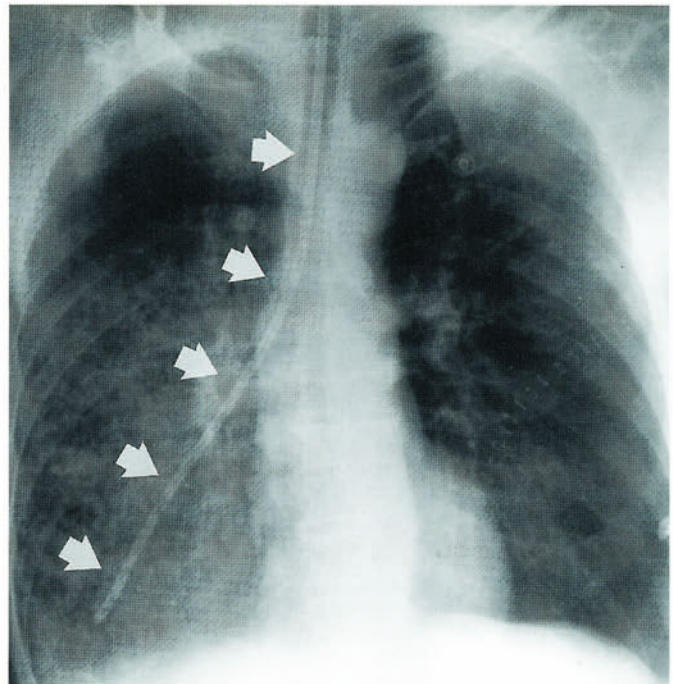


Abb. 5. Magensonden-Fehllage. Das Thoraxröntgen eines Lungentransplantierten Patienten zeigt die fehlpositionierte Magensonde (weiße Pfeile), die dem Verlauf der Trachea und des rechten Hauptbronchus folgt und mit ihrer Spitze weit distal im Tracheobronchialbaum zu liegen kommt. Solche Fehllagen können mit Bronchial-Perforationen und konsekutiven Pneumothoraces einhergehen

dessen Ausdehnung ist. Voraussetzung hierfür bleibt allerdings, daß die Lungenoberfläche von den Röntgenstrahlen tangential getroffen wird und so eine klar erkennbare Grenzfläche bildet (Abb. 6).

Die radiologische Darstellung eines Pneumothorax beim Intensivpatienten bereitet aus bereits erwähnten Gründen spezifische Schwierigkeiten [2, 15]: Aufgrund der liegenden Patientenposition sammelt sich die freie pleurale Luft nicht im Bereich der Lungenspitzen, sondern meist ventral bzw. subpulmonal. Da meist nur eine Aufnahme im antero-posterioren Strahlengang vorliegt, gelingt es oft nicht, einen „Pneuspalt“ einwandfrei darzustellen. Zudem ist die Lunge des beatmeten Patienten bei intakter viszeraler Pleura trotz lädierter parietaler Pleura relativ gut entfaltet, sodaß der Pneuspalt insgesamt klein bleibt.

Daher erfordert der Nachweis eines Pneumothorax im Intensivpatienten neben der Suche nach indirekten Röntgenzeichen möglicherweise die Anfertigung zusätzlicher Röntgenaufnahmen. Ziel dieser zusätzlichen Aufnahmen ist die tangential Darstellung der Oberfläche der kollabierten Lunge. Hierfür kann sowohl eine Quertisch-Seitaufnahme als auch eine Tangentialaufnahme angefertigt werden. In den Händen eines geübten Untersuchers erlauben diese Aufnahmen dann genügend Informationen, um das Vorliegen eines Pneumothorax zu bestätigen oder auszuschließen. Der routinemäßige Einsatz der Computertomographie allein zur Diagnose des Pneumothorax sollte Ausnahmefällen vorbehalten bleiben.

Wie oben erwähnt, sammelt sich freie pleurale Luft im liegenden Intensivpatienten meist ventral oder subpulmonal. Dadurch kommt es zu ungewöhnlich deutlicher optischer Demarkierung von thorakalen Grenzflächen, wie sie im stehenden Patienten mit Pneumothorax nur selten gesehen werden. Diese Grenzflächendemarkierungen gel-

Anzustreben ist die tangential Darstellung der Oberfläche der kollabierten Lungen.

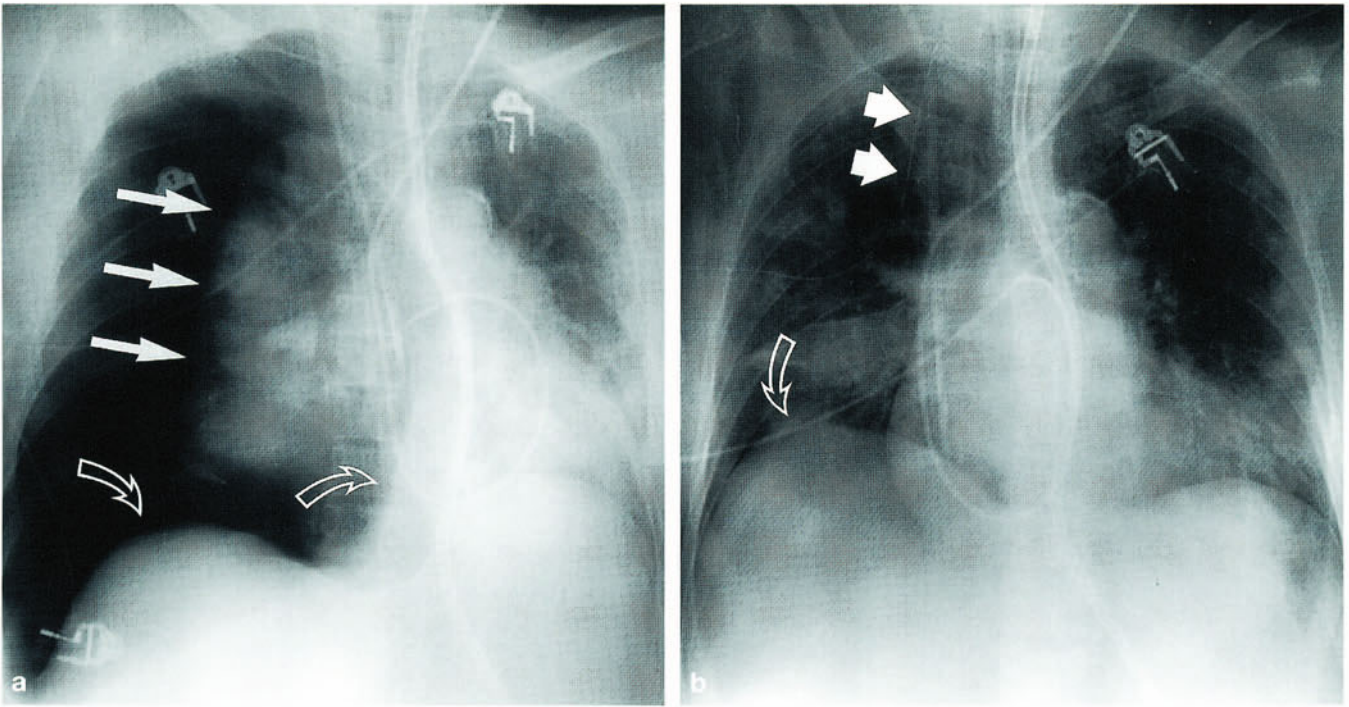


Abb. 6. Pneumothorax. Die beiden Thoraxaufnahmen zeigen einen hochgradigen Spannungs-Pneumothorax vor (a) und nach (b) Pleuradrainage; b zeigt sowohl den ausgedehnten Pneuspalt (gerade Pfeile) als auch die Zwerchfelldepression und die Mediastinalverschiebung zur Gegenseite (gebogene Pfeile); b zeigt beide Veränderungen nach Insertion eines Pleuradrains (gerade Pfeile) rückgebildet. Das Zwerchfell (gebogener Pfeil) ist wieder in annähernd normaler Lage, ein Pneuspalt ist nicht mehr nachweisbar

► **Pneumomediastinum:**
pathologische Luft-
ansammlung im
Mediastinum

ten als indirekte Röntgenzeichen des Pneumothorax. Die genaue Lokalisation der Grenzflächendemarkierungen bzw. die betroffenen anatomischen Strukturen sind von Seite und Lage der pleuralen Luftansammlung abhängig. Die Tabellen 1 und 2 fassen die wichtigsten indirekten Zeichen des Pneumothorax zusammen.

Pneumomediastinum

Luft im Mediastinum ist bei Intensivpatienten meist die Folge eines Barotraumas, doch können auch andere Veränderungen wie z.B. eine Ruptur im Bereich der Luftwege oder des Ösophagus zur Ausbildung eines ►Pneumomediastinums führen. Auch ein interstitielles Emphysem kann entlang der bronchovaskulären Bündel bis ins Mediastinum disseziieren (Abb. 7).

Radiologisch ist das Pneumomediastinum daran erkennbar, daß es durch Luftaufhellungen anatomische Grenzflächen von Mediastinalstrukturen sichtbar macht, die für gewöhnlich nicht sichtbar sind. Besonders von diesem Phänomen betroffen sind der mediale Rand der Vena cava superior, der linken Arteria subclavia, der linken Arteria carotis communis und der rechten Vena inominata. Auch die Visualisierung der Vena azygos oder der Vena intercostalis superior kann als sicheres Röntgenzeichen des Pneumomediastinums gelten. Außerdem kann mediastinale Luft auch um die Pulmonalarterien und um die Aorta ascendens radiologisch sichtbar werden. Weil die beiden Seiten des Mediastinums in Verbindung stehen, kann mediastinale Luft beide zentralen Anteile des Zwerchfells unter der Herzsilhouette demarkieren und unterscheidet sich in dieser Fähigkeit prinzipiell vom subpulmonalen Pneumothorax. Die anatomische Kontinuität zwischen Mediastinum und Retroperitoneum ermöglicht es zudem, daß freie mediastinale Luft ins Retroperitoneum übertritt.

Das Pneumomediastinum macht anatomische Grenzflächen sichtbar, die für gewöhnlich nicht sichtbar sind.

Tabelle 1

Die wichtigsten radiologischen Zeichen des anteromedialen Pneumothorax**Suprahilärer anteromedialer Pneumothorax**

Scharfe Demarkierung von:

- Vena cava superior
- Vena azygos
- Linke Arteria subclavia
- Vordere Pleuraumschlagfalte
- Obere Pulmonalvene

Infrahilärer anteromedialer Pneumothorax

Scharfe Demarkierung von:

- Herzrand
- Vena cava inferior
- Tiefer anteriorer cardiophrenischer Sulcus
- Mediales Zwerchfell unter der Herzsilhouette
- Scharfe Demarkierung des pericardialen Fettbüzels

Tabelle 2

Die wichtigsten radiologischen Zeichen des subpulmonalen Pneumothorax

- Hypertransparente obere Quadranten
- Tiefe costophrenische Sulci
- Scharfe diaphragmale Begrenzung
- Sichtbarwerdung der anterioren und posterioren diaphragmalen Sulci
- Sichtbarwerdung der Vena cava inferior

► **PEEP: Positive end-expiratory pressure**

PEEP

Mechanische Beatmung, im besonderen ► PEEP, kann zu maßgeblichen Änderungen sowohl des Thoraxröntgens als auch des Thorax-CTs führen. Da erhöhter Beatmungsdruck zu einer vermehrt luftgefüllten Lunge führt, können pathologische Prozesse ihr radiologisches Bild auf artifizielle Art ändern, obwohl sie selbst nicht von dieser Änderung betroffen sind. Dies gilt für alle pulmonalen Prozesse, die zu radiologischen Verdichtungen führen, insbesondere für das Lungenödem, jedoch auch für das ARDS sowie für Pneumonien. Als Faustregel kann hier gelten: wird der Atemdruck in einem Patienten mit gleichbleibend ausgedehnter Verdichtung erhöht, so scheint diese Verdichtung nach Erhöhung des Atemdrucks radiologisch weniger ausgedehnt und/oder weniger dicht.

Die Lunge wirkt besser transparent, die Gefäßzeichnung erscheint schlanker und schärfer. Der zugrundeliegende physiologische Mechanismus ist hierbei, daß Flüssigkeit aus den Alveolen durch den erhöhten Atmungsdruck ins Lungenbindegewebe hinausgepreßt wird. Auch kann, liegt keine intraalveoläre Flüssigkeit vor, zusätzlich durch den relativ größeren Luftgehalt der Lunge die Abnahme einer Verdichtung vorgetäuscht werden. Diese Veränderungen sind vollständig rückbildungsfähig: bei Rücknahme des Beatmungsdrucks stellt sich der ursprüngliche radiologische Zustand der Verdichtung wieder her. In CT-Studien konnte gezeigt werden, daß ein erhöhter Atmungsdruck bei Intensivpatienten mit atelektatischen Lungenarealen zu einer teilweisen Wiederbelüftung dieser Areale führen kann. Demgegenüber bleibt das schon suffizient belüftete Lungengewebe unverändert. Bei Intensivpatienten mit atelektatischen Veränderungen wird die klinische und radiologische Verbesserung also durch teilweise Wiedergewinnung ehemals atelektatischer Lungenbezirke bewirkt und nicht durch Überventilation von noch gesundem Lungengewebe.

Änderungen des Beatmungsdrucks können zu scheinbaren Vortäuschungen oder zum scheinbaren Verschwinden von pathologischen Veränderungen führen.

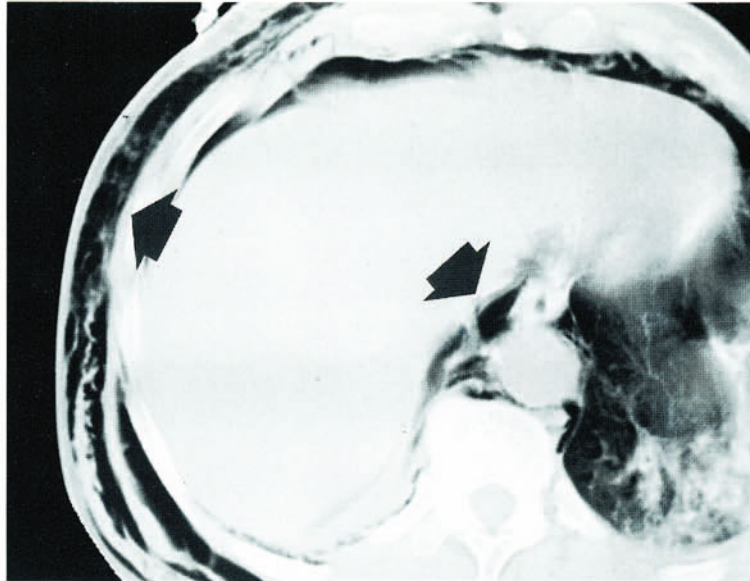


Abb. 7. Pneumomediastinum. Diese CT-Schicht in Höhe des thorako-abdominellen Übergangs zeigt sowohl ein ausgeprägtes Weichteilemphysem als auch eine deutliche Luftansammlung zwischen Zwerchfell, Aorta und Ösophagus (*schwarze Pfeile*). Der Patient hatte ein ausgeprägtes Barotrauma erlitten

Aus oben genannten Gründen ist es im Fall von beatmeten Intensivpatienten von großer Bedeutung, über eventuell stattgehabte Änderungen im Beatmungsregime zu erfahren. Anderenfalls kann dies zu Interpretationsirrtümern führen.

Freie pleurale Flüssigkeit

► Freie pleurale Flüssigkeit

► Freie pleurale Flüssigkeit in Form von pleuralen Ergüssen ist bei intensivpflichtigen Patienten häufig, bleibt jedoch, insbesondere bei mengenmäßig wenig ausgeprägten Ergüssen, schwierig zu diagnostizieren, da zur ersten Diagnose meist nur das Thoraxbettröntgen zur Verfügung steht. Wiewohl in der Computertomographie auch im liegenden Patienten selbst kleine Ergüsse zweifelsfrei nachgewiesen werden können, bedarf es dieser aufwendigen Untersuchung zur alleinigen Diagnose eines Pleuraergusses meist nicht, da selbst ausgedehntere Ergüsse erst bei klinisch instabilen Patienten zu funktionell relevanten Einschränkungen der Atemmechanik führen. Als wichtige bildgebende Zusatzuntersuchung zur Beurteilung von Pleuraergüssen hat sich in den letzten Jahren die Sonographie erwiesen: durch sie kann ohne Patientenbelastung und direkt am Krankenbett durch Nachweis der charakteristischen echofreien Lamelle im Pleuraraum das Vorliegen eines Ergusses bestätigt werden.

Da sich größere pleurale Flüssigkeitsmengen der Schwerkraft folgend verteilen, kommt es sowohl in halbsitzenden Patienten als auch in Kopftieflage zu charakteristischen basalen bzw. apikalen kappenförmigen oder meniskusartigen homogenen Verdichtungen, die sich, bei intakter Pleura und fehlendem Pneumothorax, entlang der lateralen Thoraxwandanteile verschmälern und an Dichte abnehmen [17]. Im flach liegenden Patienten kann eine diskrete homogene Verdichtung eines Hemithorax der einzige radiologische Hinweis für das Vorliegen eines Pleuraergusses sein; dieses Zeichen ist jedoch diskret und oftmals sind Vorbilder nötig, um es von einer durch einen Raster-effekt verursachten Pseudoverdichtung zu differenzieren. Auch die Flüssigkeitsmarkierung der pleuralen Interlobien kann wichtige

► **Komplikationen der Pleuradrainage**

radiologische Hinweise auf das Vorliegen eines Pleuraergusses geben. Die Flüssigkeitsmarkierung der Interlobien kann jedoch nicht als direkter Rückschluß auf die Menge und die Ausdehnung eines Ergusses verwendet werden, da sie in hohem Maß davon abhängt, wie die betreffenden Interlobien tangential im Strahlengang liegen und ob es zusätzliche pleurale Veränderungen (Synechien, inkomplette Fissuren) gibt, die das radiologische Aussehen des Ergusses beeinflussen können.

Zusammenfassend sollte neben dem Thoraxröntgen, welches im Zweifelsfall kurzfristig mit anderer Patientenlagerung (z.B. Seitlage) zu wiederholen ist, die Sonographie eine zunehmende Rolle bei der Evaluierung pleuraler Ergüsse im intensivpflichtigen Patienten erhalten, da sie wenig belastend, schnell und zuverlässig über Vorhandensein, Verteilung und ungefähre Menge des Ergusses Auskunft geben kann [18].

Die Therapie der Wahl im Falle größerer oder funktionell wirksamer Pleuraergüsse stellt die ►Pleuradrainage dar. Hierbei sollte die Lage des Pleuradrains radiologisch monitiert werden, da der alleinige Verlaß auf das Funktionieren des Drains irreführend sein kann. So kann zum Beispiel ein extrathorakal liegender Drain, der eine Interkostalarterie verletzt hat, durchaus hämorrhagische Flüssigkeit fördern und somit eine regelrechte Lage vortäuschen. Die Drainspitze projiziert sich radiologisch idealerweise auf den punctum maximum der zu drainierenden Flüssigkeitsansammlung. Allgemeingültige radiologische Kriterien für eine regelrechte Drainlage gibt es nicht, jedenfalls sollte das Drain auf dem a.p.-Bild eine leichte Kurve nach oben oder nach unten beschreiben, weil dies auf einen regelrechten intrapleuralem Drainverlauf hinweist [13, 16]. Schon im Zuge der ersten radiologischen Kontrolle kann eine Aufnahme in einer zweiten Ebene angestrebt werden, eine solche sollte aber spätestens bei Auftreten klinischer Komplikationen angefertigt werden, da zahlreiche Drain-Fehllagen in einer Ebene nur schwer zu erkennen sind.

Zu den möglichen Komplikationen pleuraler Drainagen zählen extrathorakale Fehllagen mit konsekutivem Weichteilemphysem, intrafissurale Fehllagen und intrapulmonale Fehllagen mit konsekutivem intraparenchymalen Hämatom. Im Falle inkonklusiver konventioneller Thoraxaufnahmen kann die Computertomographie zur weiteren Abklärung einer suspizierten Drainfehllage dienen. Sie ermöglicht es, überlagerungsfrei das topographische Verhältnis des Drains zu umgebenden pulmonalen oder mediastinalen Strukturen darzustellen.

Radiologische Fokussuche in der Thoraxbildgebung

Thorakaler Fokus, Pneumonie

Die hohe Pneumonie-Inzidenz auf Intensivstationen wird durch zahlreiche Faktoren verursacht. Grunderkrankungen wie Diabetes, Malignome, chronische Atemwegserkrankungen oder hämatologische Erkrankungen können das Entstehen von Pneumonien begünstigen. Lange Hospitalisierungen führen zu Veränderungen der Pharynxflora in Richtung eines Spektrums, das reich an Gram-negativen Organismen ist. Längerdauernde Antibiotikatherapie oder die Verabreichung von Steroiden begünstigen eine rasche Kolonialisierung.

Physiologische Barrieren können durch den Einsatz von Endotrachealtuben und zentralvenösen Kathetern umgangen werden. So ist bei den meisten über mehrere Tage intubierten Patienten eine Keimkolonisierung der Trachea nachweisbar. Schließlich führen zahlreiche Medikamente zu einer pH-Änderung im Magen, welche wiederum vermehrtes gastrisches Keimwachstum hervorruft. Wird dieser

Bei unklarem Thoraxröntgen sollte ein Pleuraerguß mittels Sonographie abgeklärt werden.

Leicht bogiger Verlauf eines Pleuradrains weist auf eine intrapleurale Lage hin.

Bei Verdacht auf Drainagefehllagen sollten Thoraxaufnahmen in zwei Ebenen durchgeführt werden.

► Radiologische Pneumoniediagnostik

keimreiche Mageninhalt aspiriert, wirkt er als zusätzliche endogene Infektionsquelle.

Die ideale ► radiologische Klassifikation der Pneumonien entspräche einer Einteilung nach Erregern. Leider sind viele Pneumonie-assoziierte Veränderungen weder im Lungenröntgen noch im CT so spezifisch, daß sie einen sicheren Rückschluß auf einen bestimmten Erreger zulassen. Dieser Umstand ist im Rahmen der Intensivstation umso gravierender, als hier andere Veränderungen wie z.B. verschiedene Formen des Lungenödems Pneumonie-ähnliche radiographische Bilder hervorbringen können. Trotzdem hat die Bildgebung bei Intensivpatienten mit suspeziierten Pneumonien große Bedeutung: Das Lungenröntgen ist als bildgebende Methode die erste Wahl, die sowohl das Vorliegen einer Pneumonie objektivieren als auch deren Lokalisation und Ausdehnung bestimmen kann. Prädisponierende Faktoren (Tubusfehlagen, maligne Raumforderungen, Aspiration) können ebenso sichtbar gemacht werden wie eventuelle Komplikationen (Pleuraergüsse, Empyeme, Abszesse). Schließlich bietet das Thoraxröntgen die Möglichkeit, nach der Erstdiagnose der Pneumonie den post-therapeutischen Verlauf zu monitorieren. Das wesentliche radiographische Merkmal der Pneumonie ist die pulmonale Parenchymverdichtung. Das Spektrum dieser Verdichtungen kann von einer solitären diskreten Dichteerhöhung bis zur ausgeprägten Konsolidierung einer ganzen Lunge reichen.

Unabhängig von ihrer Ausdehnung werden die pulmonalen Verdichtungen nach ihrer Morphologie in noduläre, miliare, streifige, netzartige und fleckförmige Verdichtungen unterteilt. Das Vorliegen dieser unterschiedlichen Verdichtungsformen hängt nicht nur vom jeweiligen Erreger, sondern auch vom Immunstatus des Patienten ab. Aufgrund ihres radiographischen Bildes werden Pneumonien auch in Bronchopneumonien, Lobärpneumonien und interstitielle Pneumonien unterteilt. Obwohl diese Begriffe häufig angewendet werden, haben sie nur begrenzte praktische Bedeutung, da die gleichen Erreger unterschiedliche Verdichtungsbilder hervorrufen können und verschiedene Verdichtungsbilder bei ein und demselben Patienten überlappen können.

► Radiodiagnostische Hinweise auf Erreger

Weil neben der eigentlichen Objektivierung einer suspeziierten Pneumonie die Suche nach dem möglichen ► Erreger im Vordergrund jeder klinischen Diagnostik steht, soll im folgenden anhand stichwortartig zusammengefaßter Merkmale gezeigt werden, in welcher Weise die radiologische Diagnostik die klinische Diagnostik ergänzen kann bzw. welche klinischen Gesichtspunkte in die Interpretation von Intensiv-Thoraxbildern einfließen sollten.

Streng unilaterale, segmentale oder lobäre Verdichtungen, wie sie bei nicht-vorerkrankten Patienten angetroffen werden, sind bei Intensivpatienten sehr selten und dann zumeist von Bakterien verursacht. Die wichtigsten Differentialdiagnosen sind hierbei das lokalisierte Lungenödem und das einseitige ARDS. Diffuse bilaterale Verdichtungen sind meist durch Viren oder Protozoen verursacht.

Bei lokalisierten Veränderungen sollte in jedem Fall an das Vorliegen einer postobstruktiven Pneumonie gedacht werden und eine mögliche Obstruktion (Schleim, Fremdkörper, Fehlintonation, intrabronchiale Raumforderung) bronchoskopisch ausgeschlossen werden. Großflächige Konsolidierungen können durch Klebsiellen, *S. aureus*, Legionellen oder Gram-negative Keime hervorgerufen werden. Die Volumenerhöhung eines konsolidierten Lungenareals legt das Vorliegen von Pneumokokken oder Klebsiellen nahe.

Verdichtungen mit Kavitationen machen bakterielle oder Pilzpneumonien wahrscheinlicher als Virus- oder Mykoplasmen-Infektionen, wobei zu beachten ist, daß Pilzpneumonien am ehesten bei

Das konventionelle Thoraxröntgen ist die erste und wichtigste bildgebende Methode bei suspeziierten Pneumonien.

Unilaterale, segmentale oder lobuläre Verdichtungen sind meist bakterieller Genese (selten).

Diffuse bilaterale Verdichtungen sind durch Viren oder Protozoen verursacht (häufig).

Immunsuprimierten auftreten. Bakterien, die am häufigsten Kavitationen hervorrufen, sind *S. aureus*, Klebsiellen, Proteus, Pseudomonas, Anaerobier und *M. tuberculosis*. Eine große solitäre homogene Verdichtung mit Kavitation, der sogenannte primäre Lungenabszess, ist meist von Anaerobiern verursacht. Diesen Abszessen liegt bei Intensivpatienten häufig die Aspiration von Fremdmaterial zugrunde, die eine lokale Abwehrstörung verursacht.

Kavitationen meist bei bakteriellen- oder Pilzpneumonien.

Pneumatozelen sind oft schwierig von Kavitationen zu unterscheiden. Wenn Pneumatozelen auf Basis von Pneumonien entstehen, ist meist *S. aureus* der dafür verantwortliche Erreger. Pneumatozelen oder Kavitationen sollten nicht mit rundlichen Transparenzerhöhungen anderer Genese verwechselt werden. Die häufigste Ursache hierfür sind Emphysemläsionen, in deren lokalem Umfeld sich pneumonische Verdichtungen ausbilden, die jedoch keinen kausalen Zusammenhang zur Pneumonie haben.

Pneumatozelen meist bei Staph. aureus.

Rundherdartige Verdichtungen sind meist durch Pilze oder Nocardien verursacht, sie können aber auch durch hämatogene Streuung von Bakterien entstehen. Entzündlich noduläre Verdichtungen weisen oftmals Luftbronchogramme auf und zeigen, zumindest in längerfristigen Verlaufskontrollen über mehrere Tage, Größenzunahme.

Retikulonoduläre Verdichtungen meist viral- oder mykoplasmenbedingt.

Fokale oder diffuse unscharf begrenzte bilaterale retikulo-noduläre Verdichtungen sind meist durch virale oder mykoplasmen-bedingte Pneumonien verursacht. Nur in Ausnahmefällen können auch Pilz- oder Streptokokken-Infektionen solche Verdichtungen hervorrufen.

Miliare Verdichtungen, deren Knötchen uniforme Größen von ca. 2 bis 4 mm aufweisen, sind hauptsächlich durch *M. tuberculosis*, in Ausnahmefällen auch durch Pilze verursacht.

Miliare Verdichtungen meist bei TB.

Fleckige Oberlappenverdichtungen lassen das Vorliegen von tuberkulösen oder fungalen Veränderungen vermuten. Im Intensivpatienten sind hier Histoplasmen und Kryptokokken die häufigsten Erreger. Ausgedehntere Pleuraergüsse sind häufig mit Pneumonien vergesellschaftet, die durch Anaerobier, Gram-negative Bakterien, *S. aureus* und *S. pyogenes* verursacht sind.

► Aspirationspneumonie

Bei Intensivpatienten liegt einer Pneumonie oft eine vorausgegangene Aspiration von Fremdmaterial zugrunde. Diese ► Aspirationspneumonien finden sich meist im Mittellappen bzw. in der Lingula und erscheinen in ihrem Anfangsstadium als parakardial gelegene peribronchiale streifige Verdichtungen. Kommt es zu einer Mitreaktion des umgebenden Lungenparenchyms, können die daraus entstehenden fleckigen Verdichtungen von Zeichen des Volumenverlustes begleitet sein. Die Aspirationspneumonie kann sich von ihrem fokalen Ursprungsort auf benachbarte Lungenareale ausdehnen.

Beim beatmeten Patienten fällt die Diagnose der Pneumonie oft schwer, weil Pneumonie, Ödem und ARDS ähnliche Röntgenmuster aufweisen.

Bei beatmeten Patienten fällt die radiologische Diagnose einer Pneumonie oft besonders schwer. Pneumonien, Ödeme, das ARDS, Infarkte und Blutungen können ähnliche Röntgenmuster aufweisen, sodaß die zuverlässige Bestätigung des Vorliegens einer Pneumonie aufgrund des Röntgenbildes allein oft nicht möglich ist. Das Röntgenmerkmal der Aerobronchogramme hat hier mit ca. 70% den besten prädiktiven Wert; dieses Zeichen ist jedoch auch für das ARDS relativ typisch. Um eventuellen Fehlinterpretationen pulmonaler Verdichtungen vorzubeugen, sollten pneumoniesuspekte Areale immer mit Vorbildern verglichen werden. Zudem sollte jede Änderung des Beatmungsregimes dem Radiologen mitgeteilt werden.

► Empyem, Abszess

Empyem, Abszess

► Sterile parapneumonische Pleuraergüsse verhalten sich radiologisch ähnlich wie andere primäre und sekundäre nicht-infektiöse Er-

güsse; zwar können pleurale Narben zu Lokulationen führen, sonst aber dehnen sich Pleuraergüsse der Schwerkraft entsprechend aus. Demgegenüber zeigen fibropurulente Flüssigkeitsansammlungen eine starke Lokulationstendenz, sodaß auch bei Lageänderung des Patienten die Lage des Empyems gleichbleiben kann. Im Unterschied zu nicht-bettlägrigen Patienten, bei denen unkompliziert Röntgenaufnahmen in mehreren Ebenen angefertigt werden können, ist die Differenzierung zwischen Empyem und peripherem Lungenabszess im Intensivpatienten allein aufgrund der Röntgenaufnahme in einer Ebene extrem schwierig. Hier kann die CT von diagnostischer Bedeutung sein [9, 10]. Die Kriterien, welche zur Unterscheidung zwischen Empyem und Abszess herangezogen werden, sind: Form, Wandcharakteristika, umgebendes Gewebe.

Empyeme weisen meist eine linsenartige Konfiguration auf und bilden mit der Thoraxwand einen stumpfen Winkel. Demgegenüber erscheinen Abszesse sphärisch und bilden mit der Thoraxwand einen spitzen Winkel. Die Wand eines Empyems wird von verdickter Pleura gebildet. Die Dicke der Pleura ist ebenmäßig und weichteildicht. Demgegenüber hat der Abszess unregelmäßige Begrenzungen, die meist auch dicker sind als die Begrenzungen von Empyemen. Abszesswände können Luftpneumothorax beinhalten und weisen manchmal verzerrte Luftbronchogramme auf. Einem Empyem benachbarte Lungenabschnitte sind, insbesondere bei großen Empyemen, oftmals komprimiert. Diese Kompression kann zur Verlagerung von benachbarten Gefäßen und Bronchien führen. Da Abszesse benachbartes Lungengewebe eher zerstören als verdrängen, werden Gefäße und Bronchien hier nicht verdrängt. Auch wenn die Unterscheidung zwischen Empyem und Abszess aufwendige Techniken wie die CT erfordert, sollte diese Differenzierung in Intensivpatienten immer angestrebt werden, da sie den therapeutischen Zugang grundlegend beeinflusst: während Empyeme schnellstmöglich drainiert werden sollten, können im Fall des Abszesses Erreger-spezifische Antibiotika den Bedarf nach einer invasiven Therapie hintanhaltend.

Fibropurulente Flüssigkeitsansammlungen zeigen starke Lokulationstendenz und sind kaum lageverschieblich.

Abdomineller Fokus: Bed-Side Diagnostik

► Abdomineller Fokus

Die am Krankenbett einsetzbaren Techniken zur Suche nach einem ► abdominalen Fokus beschränken sich prinzipiell auf den Ultraschall. Hier muß die Aufmerksamkeit des Untersuchers in erster Linie pathologisch veränderten Organen und pathologischen Flüssigkeitsansammlungen dienen. Ein häufiger Fokus bei Intensivpatienten ist die ► entzündete Gallenblase. Sonographisch erscheint diese meist vergrößert, reichlich flüssigkeitsgefüllt, und mit verdickter dreigeschichteter Wand (echoreicher Außenstreifen, echoarmer Mittelstreifen, echoreicher Innenstreifen). Als Grenzwert für eine Vergrößerung gilt ein maximaler Durchmesser von ca. 8 cm, als Wandverdickung gilt jeder Wanddurchmesser von über 4 mm. Häufig zeigt sich im angrenzenden Leberparenchym ein echoarmer Randwall (Abb. 8).

Die entzündete Gallenblase ist der häufigste entzündliche abdominelle Fokus bei Intensivpatienten.

► Cholezystitis

► Abdominalabszess

Bei der sonographischen Suche nach ► entzündlichen abdominalen Flüssigkeitsretentionen erscheint es wichtig, die Echostruktur der Retention zu beachten. Während reiner Aszites und frische Hämatome echofrei sind bzw. nur diskreteste Binnenechos aufweisen, zeigen Abszessbildungen meist deutliche Binnenechos; sie können scharf oder unscharf begrenzt sein und sind bei gezielter Sonopalpation gewöhnlich schmerzhaft. Lokalisiert sind diese Retentionen meist in präformierten abdominalen Hohlräumen, wobei im Oberbauch bevorzugt das subdiaphragmale, subhepatische, hepatorenale, perisplenische und peripankreatische Kompartiment betroffen sind.

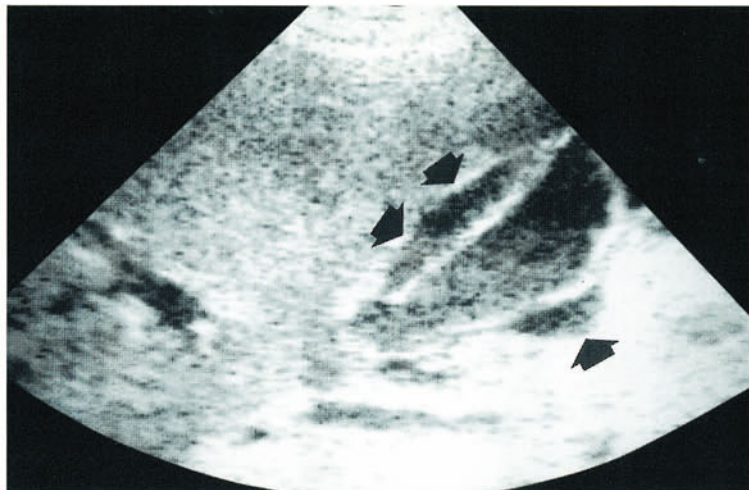


Abb. 8. Cholezystitis, Gallenblasenruptur. Sonographischer Längsschnitt über die Gallenblase zeigt die deutlich verdickte Gallenblasenwand, die von echoarmer Flüssigkeit (*schwarze Pfeile*) umgeben ist. Die eigentliche Stelle der Ruptur kann nicht dargestellt werden. (Mit freundlicher Genehmigung von Dr. Th. Helbich, Wien)

Im Unterbauch zeigen sich diese Retentionen meist perizökal, perivesikal und im Douglas'schen Raum. Neben diesen klassischen Abszesslokalisationen sollte bei postoperativen Patienten auch an Abszessformationen im Bereich der jeweiligen Operationsstelle gedacht werden.

Die sonographische Fokussuche im Abdomen kann durch verschiedene Faktoren erschwert werden. Luftgeblähte Darmschlingen können im Mittel- und Unterbauch einen sonographischen Zugang verhindern, da Luft die Schallwellen nicht leitet. Bei postoperativen Patienten kann die sonographische Manipulation unmittelbar im Bereich einer frischen Operationswunde problematisch sein. Schließlich sind das subhepatische und das perisplenische Kompartiment prinzipiell sonographisch schwer zugänglich. In solchen Fällen muß, abhängig von der klinischen Indikation, ein anderes bildgebendes Verfahren angewandt werden.

Non-Bedside Techniken

Dieses Verfahren ist im Regelfall die Computertomographie [9]. Sie ermöglicht ein überlagerungsfreies Darstellen pathologischer Prozesse selbst in komplexen anatomischen Regionen. Zudem kann die Dichte einer Retention Aufschluß über deren Zusammensetzung geben. Nach intravenöser Verabreichung von Kontrastmittel zeigen Abszesse typischerweise eine starke Anfärbung ihrer Membran, während ihr Zentrum dazu relativ hypodens bleibt; nicht-abgekapselte Retentionen zeigen naturgemäß keine Randanfärbung. Im CT ist auch die eventuelle Septierung von Retentionen gut zu beurteilen, was wiederum von Bedeutung für eine einzuleitende Therapie ist. So können im Falle von septierten Retentionen unmittelbar nach der Diagnosesicherung durch das CT punktgenau Drainagen eingebracht werden, um eine optimale Entlastung zu gewähren. Zusammenfassend stellt die CT in der abdominalen Fokusdiagnostik den Goldstandard dar; sie sollte jedoch aufgrund des großen mit ihr verbundenen Aufwands nur in jenen Fällen zum Einsatz kommen, in denen

Die sonographische Fokussuche im Abdomen ist zwar leicht durchführbar, muß aber nicht immer konklusiv sein.

Die CT erlaubt mit hoher Sensitivität die Detektion abdominaleller Foci.

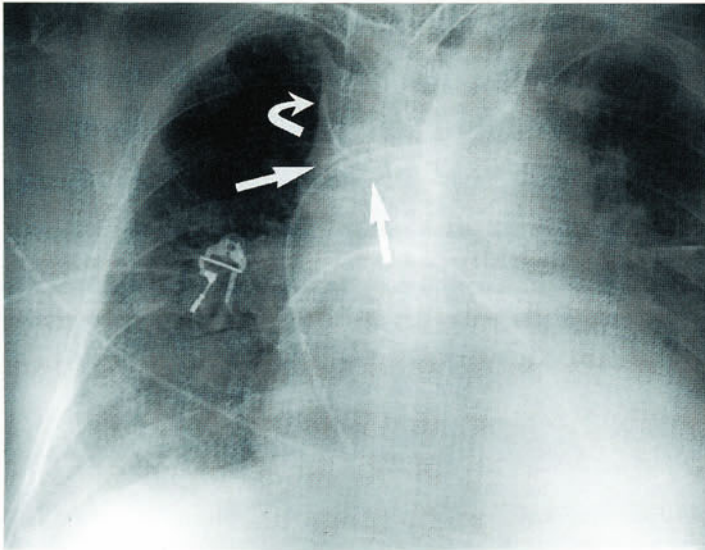


Abb. 9. Katheter-Fehllagen. Während der über die linke Vena subclavia eingeführte Katheter mit seiner Spitze in die Vena cava superior abweicht (*gebogener Pfeil*), bildet der über die rechte Vena jugularis eingeführte Katheter in Höhe des venösen Konfluens eine Schlinge (*gerade Pfeile*)

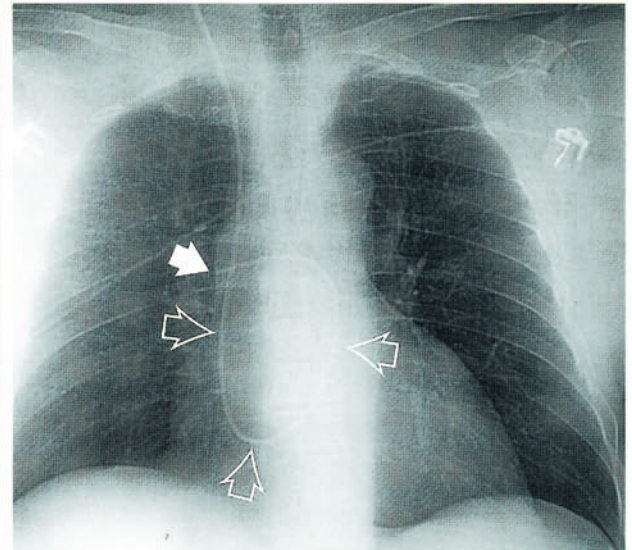


Abb. 10. Beispiel eines regulär positionierten Pulmonalis-Katheters. Das Röntgenbild macht den Verlauf des Katheters in der Vena cava superior, im rechten Vorhof, sowie im Ausflußtrakt des rechten Ventrikels deutlich (*transparente Pfeile*). Die Katheterspitze liegt im Hauptstamm der rechten Pulmonalarterie (*weißer Pfeil*)

► **Intravasale Katheter**

► **Radiologisch sichtbare Komplikationen zentralvenöser Katheter**

die Sonographie keine konklusiven Ergebnisse gewährleistet.

Radiologische Lagekontrolle intravaskulärer Zugänge

Zentralvenöse Katheter

Die bevorzugt über die ► V. jugularis interna bzw. über die V. subclavia eingeführten Katheter sollten mit ihrer Spitze idealerweise in der V. cava superior zu liegen kommen und somit auf dem a.p.-Bild in Projektion auf den Bereich zwischen den sternalen Ansätzen der I. bis III. Rippe rechts gelangen. Bei der röntgenologischen Lagekontrolle dieser Katheter ist darauf zu achten, daß der Katheter immer in seinem gesamten intrathorakalen Verlauf dargestellt wird (also beispielsweise nicht mit abgeschnittener Spitze oder abgeschnittenem Ende). Sicherheitshalber sollte im Zuge der Erstkontrolle der Katheter mit Kontrastmittel dargestellt werden, um eine intravaskuläre Lage zweifelsfrei zu bestätigen. ► Mögliche radiologisch sichtbare Komplikationen zentralvenöser Katheter sind Fehllagen der Katheterspitze (z.B. in der V. cava inferior, in der V. jugularis, in Venen der oberen Extremität), der Pneumothorax durch Verletzung der Pleura infolge der Venenpunktion, die Perforation zentraler Venen und der Katheterbruch mit konsekutiver Katheterembolisation (Abb. 9).

Es bleibt anzumerken, daß radiologische Kontrollen auch nach erfolgloser zentralvenöser Punktion durchgeführt werden sollten, um Komplikationen wie Pneumothorax oder größere Weichteilhämatome auszuschließen. Liegen mehrere Katheter in einem Gefäß (z.B. V. cava oder V. subclavia) vor, ist zu beobachten, daß sich diese Katheter in ihrem Verlauf überkreuzen. Liegt dieses Überkreuzen nicht vor, sollte unbedingt an die intraarterielle Fehllage eines der Katheter gedacht werden [14, 16].

Swan-Ganz Katheter

Der ideale Sitz der Katheterspitze ist der rechte oder linke Hauptstamm der Pulmonalarterie. Im Regelfall genügt die a.p.-Aufnahme,

► **Swan-Ganz Katheter**

um eine suffiziente Katheterlage zu bestätigen, doch kann im Zweifelsfall das Anfertigen eines Seitbildes angestrebt werden (Abb. 10). Abgesehen von Schlingenbildungen im rechten Vorhof, welche auf dem a.p.-Bild gut zur Darstellung kommen, stellt die schwerwiegendste Komplikation des ► Swan-Ganz-Katheters, nämlich die Verlegung einer Pulmonalarterie durch einen nicht desufflierten Ballon bzw. durch eine gebrochene Katheterspitze, eine Indikation zur Computertomographie dar, da hier das genaue Ausmaß eventueller pulmonaler Parenchymschädigung beurteilt werden kann.

Intraaortale Ballonpumpe

► **Komplikationen**

Während der Diastole imponiert die Pumpe als längliche, gasgefüllte Struktur, die dem topographischen Verlauf der Aorta folgt. Während der Systole ist der desufflierte Ballon nicht sichtbar; lediglich ein röntgendichter Marker, der die Spitze des Katheters bezeichnet, läßt sich darstellen. Idealerweise liegt die Katheterspitze genau distal der linken A. subclavia und kommt demnach auf dem a.p.-Bild in Projektion auf den Aortenbogen zur Darstellung. Zu den möglichen radiologisch erkennbaren ► Komplikationen zählen die proximale Katheter-Fehllage mit konsekutiver Obstruktion der linken A. subclavia bzw. eventuell hirnersorgender Gefäße, die distale Katheter-Fehllage mit konsekutivem Funktionsdefizit der Pumpe, die Dissektion der Aortenwand, sowie die Ballon-Ruptur mit konsekutiver Gasembolie. Die regelrechte Lage der ► intraaortalen Ballonpumpe läßt sich nativradiologisch gut überprüfen. Aufgrund der tiefgreifenden Konsequenzen möglicher Komplikationen sollte jedoch nicht gezögert werden, zur weiteren Abklärung die Computertomographie einzusetzen. Von der Aortographie sollte abgesehen werden, da die meisten Träger intraaortaler Ballonpumpen heparinisiert sind.

► **Intraaortale Ballonpumpe**

Teil II des Beitrags erscheint in der September-Ausgabe (Band 45, Heft 9, 1996)

Fragen zur Erfolgskontrolle

1. Welche Auswirkungen hat die PEEP-Beatmung auf den Thorax-Röntgenbefund?

Bei Patienten mit Lungenödem, Pneumonie oder ARDS, also Befunden, die zu Verdichtungen im Röntgenbild führen, werden durch den erhöhten Beatmungsdruck die Verdichtungen geringer (Mechanismus: Auspressen von Flüssigkeit aus den Alveolen ins Interstitium). Eine Befundverbesserung kann durch PEEP-Beatmung vorgetäuscht werden (bei Senkung des Beatmungsdruckes sind diese Transparenzänderungen reversibel). Die Überdruckbeatmung kann aber auch zur tatsächlichen Befundverbesserung führen, z.B. bei Atelektasen, die durch den Überdruck wieder belüftet werden.

Cave: Interpretationsfehler bei Nicht-Wissen über Beatmungsregime zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahme!

2. Welche Hinweise zur Tubuslage kann ein Röntgenbefund liefern? Was ist bei der Aufnahme zu beachten?

Die richtige Tubuslage kann durch das Thoraxbild kontrolliert werden (Tubusspitze 5-7 cm vor Carina, durch Extension oder Flexion der HWS kann es zu Verschiebungen von je 3 cm nach oben und unten kommen). Auch der Zustand des Cuffs kann kontrolliert werden (sein Durchmesser sollte kaum größer als der des Tubus und nie mehr als doppelt so groß wie der des Tubus sein).

Cave: Schleimhautnekrosen nach wenigen Minuten! Zu beachten: Kopflage beim Anfertigen der Aufnahme.

3. Welches bildgebende Verfahren ist zur Diagnose des jeweiligen Krankheitsbildes besonders gut geeignet?

- a) Pleuraerguß
- b) Katheterlagekontrolle
- c) Durchblutungsstörung (z.B. an Gefäßprothesen)
- d) Pneumothorax
- e) Differentialdiagnose Lungenabszeß versus -empyem

4. Wo zeigt sich eine Aspirationspneumonie im Thoraxbefund und welche Differentialdiagnose mit ähnlichem Thoraxbefund gibt es?

5. Welche ZVK-Fehllagen und Komplikationen können im Röntgen-Thorax sichtbar sein?

- a) Sonographie
- b) Röntgen-Thorax – optimal: digitales Röntgen wegen Kontrastverbesserungsmöglichkeit
- c) Farbcodierte Doppler-Duplex-Sonographie
- d) Röntgen-Thorax – möglichst tangentiale Darstellung der Oberfläche der kollabierten Lunge (indirekte Zeichen bei nicht tangentialer Aufnahme: Demarkierung thorakaler Grenzflächen)
- e) CT wegen überlappungsfreier Darstellung komplexer anatomischer Kompartments, Differenzierung wichtig wegen unterschiedlicher Therapie: Empyem – Drainage, Abszeß – Antibiotika

Die Aspiration von Fremdmaterial führt zur Aspirationspneumonie, meist im Mittellappen gelegen: parakardiale, peribronchiale streifige Verdichtungen; bei Mitbeteiligung des umgebenden Lungengewebes flächige Verdichtungen. Differentialdiagnosen: Pneumonien, Ödeme, ARDS, Infarkte, Blutungen.

Fehllagen

- Schlingenbildung
- Pneumothorax
- Perforation zentraler Venen
- Katheterbruch

Auch nach zentralen Fehlpunktionen sollte zum Ausschluß von Komplikationen ein Röntgen-Thorax erfolgen!