



Bildgebung bei respiratorischen Infektionen

Sabine Dettmer · Jens Vogel-Claussen

Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Medizinische Hochschule Hannover, Hannover, Deutschland

In diesem Beitrag

- Allgemeine Empfehlungen für die Bildgebung bei Pneumonie
- Methoden
- Radiologische Formen der Pneumonie
- Sonderformen der Pneumonie
- Komplikationen
- Patienten mit zugrunde liegenden Erkrankungen
- COVID-19

Zusammenfassung

Das konventionelle Röntgenbild ist Methode der Wahl bei vermuteter Pneumonie. Bei therapierefraktären oder rezidivierenden Infiltraten, schwieriger Differenzialdiagnostik, Verdacht auf Komplikationen sowie bei immunkompromittierten Patienten kommt die Computertomographie (CT) zum Einsatz. Die Thoraxsonographie kann als alternative Initialdiagnostik und bei guter Verfügbarkeit auf der Intensivstation zur Verlaufskontrolle eingesetzt werden. Neben der Detektion von Infiltraten kann ihre radiologische Klassifizierung helfen, das Erregerspektrum einzuzugrenzen. Dafür werden radiologisch grundsätzlich 3 Formen der Pneumonie unterschieden: die Lobärpneumonie, die Bronchopneumonie und die interstitielle Pneumonie. Darüber hinaus gibt es Sonderformen der Pneumonie bei spezifischen Erregern, wie beispielsweise das Aspergillom, die invasive Mykose, die postprimäre Tuberkulose und die nichttuberkulöse Mykobakteriose, oder im speziellen klinischen Kontext, wie beispielsweise der Aspirationspneumonie, der Postinfarktpneumonie, der Retentionspneumonie und septischen Streuherden. Diese zeigen radiologisch häufig charakteristische Veränderungen und lassen sich bildgebend mit einer relativen Sicherheit diagnostizieren. Die häufigsten Komplikationen bei Pneumonie sind der Lungenabszess und das Pleuraempyem. Beide können mitunter, aber nicht immer, bereits im Röntgenbild sichtbar sein, sodass bei klinischem bestehendem Verdacht die Indikation für eine CT großzügig gestellt werden sollte. Bestimmte Vorerkrankungen wie eine Immundefizienz oder strukturelle Lungenveränderungen können zu pulmonalen Infektionen mit ungewöhnlichen Erregern oder Manifestationsformen prädisponieren, dies muss bei der Diagnostik besonders berücksichtigt werden.

Schlüsselwörter

Thoraxröntgenbild · Computertomographie · Pneumonie · Lobärpneumonie · Bronchopneumonie

Infektionen der Lunge sind häufig, die Pneumonie gehört zu den weltweit am häufigsten zum Tod führenden Infektionserkrankungen [16], und in Deutschland erkranken jährlich etwa 400.000 bis 600.000 Menschen daran [13]. Entsprechend häufig ist die Frage nach einer Pneumonie die Indikation für ein Röntgenbild des Thorax. Obwohl das Röntgenbild zur Sicherung der Diagnose Pneumonie empfohlen ist [6], wird in vielen Fällen insbesondere im ambulanten Bereich die Diagnose ausschließlich klinisch gestellt. Alternativ kann auch die Thoraxsonographie zur Diagnosestellung eingesetzt

werden. Bei hospitalisierten Patienten und insbesondere bei Vorerkrankungen und Immunsuppression hat die Bildgebung eine größere Bedeutung. Die Anforderungen sind groß, eine gute verfügbare Methode für die Detektion des pneumonischen Infiltrats und die Differenzialdiagnose des möglichen Keimspektrums zu bieten. Auch wenn sowohl das konventionelle Röntgen als auch die Computertomographie (CT) dies nicht umfassend erfüllen können, haben beide Methoden einen wichtigen Stellenwert bei der Diagnose-sicherung und Differenzialdiagnose der



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Pneumonie sowie ihrer Sonderformen und Komplikationen.

Allgemeine Empfehlungen für die Bildgebung bei Pneumonie

In der 2021 überarbeiteten Leitlinie für Patienten mit ambulant erworbener Pneumonie („community acquired pneumonia“ [CAP]) kommt der konventionellen Röntgenuntersuchung des Thorax in 2 Ebenen eine große Bedeutung zu und wird bei Patienten mit klinisch bestehendem Verdacht auf CAP empfohlen [6]. Dabei geht es nicht nur um die Erfassung eines pneumonischen Infiltrates, sondern auch um Begleiterkrankungen wie eine Herzinsuffizienz, Differenzialdiagnosen und Ursachen wie ein stenosierendes Bronchialkarzinom und Komplikationen wie ein Pleuraerguss, ein Empyem und eine Abszedierung. Eine routinemäßige Röntgenkontrolle bei Therapieansprechen nach Abklingen der Symptome wird nicht empfohlen. Die Thoraxsonographie kann ebenfalls zur Diagnosesicherung und bei Komplikationen, wie z. B. Pleuraergüssen, eingesetzt werden. Bei Risikopatienten, wie z. B. langjähriger Nikotinabusus, Komorbiditäten oder hohes Alter, sollte im späteren Verlauf eine Röntgenkontrolle durchgeführt werden, um ein Bronchialkarzinom oder andere nichtinfektiöse Lungenerkrankungen auszuschließen. Da sich pneumonische Infiltrate häufig über mehrere Wochen zurückbilden, sollte diese frühestens 4 Wochen nach der Infektion erfolgen [6].

» Die Röntgenuntersuchung des Thorax in 2 Ebenen wird bei klinischem Verdacht auf CAP empfohlen

Bei Patienten mit Verdacht auf eine nosokomial erworbene Pneumonie („hospital-acquired pneumonia“ [HAP]) sind die Empfehlungen ähnlich, auch in diesem Fall sollte eine Röntgenuntersuchung des Thorax, wenn möglich in 2 Ebenen, erfolgen [4]. Verlaufsaufnahmen werden zur Beurteilung des Therapieansprechens nach 48–72 h und bei neuen klinischen Ereignissen, nicht jedoch regelmäßig routinemäßig empfohlen [4]. Die Thoraxsonographie kann ergänzend zur Diagnosesicherung und zum Erkennen von Komplika-

tionen, wie z. B. Pleuraergüssen, eingesetzt werden, sie hat insbesondere auf Intensivstationen durch die gute Verfügbarkeit Relevanz. Weiterführende bildgebende Diagnostik – in der Regel mittels CT – sollte dann erfolgen, wenn die Infiltrate therapierefraktär sind, Nebenbefunde wie beispielsweise eine Lungenarterienembolie oder Komplikationen wie z. B. eine Abszedierung vermutet werden [4]. Mithilfe der CT kann die Erregergewinnung mittels Bronchoskopie gezielter durchgeführt werden.

Bei Patienten mit Immunsuppression gelten gesonderte Empfehlungen, die eine CT bereits wesentlich früher und auch ohne initiales Röntgenbild vorsehen ([23], s. hierzu auch Abschnitt zu immunsupprimierten Patienten).

Methoden

Das *konventionelle Röntgen* ist die radiologische Basisdiagnostik und steht am Anfang der bildgebenden Diagnostik. Die konventionelle Thoraxaufnahme ist ein Summationsbild, bei der alle Röntgenstrahlen, die den Körper durchdringen und weder absorbiert noch gestreut werden, zur Bildentstehung beitragen. Die Aufnahme wird, wenn möglich, in 2 Ebenen, im posterior-anterioren (p.-a.) und seitlichen Strahlengang, angefertigt, sodass die Lokalisation pathologischer Veränderungen möglich ist und verdeckte Regionen, wie z. B. der Retrokardial- und Retrosternalraum, in der zweiten Ebene einsehbar sind. Die Strahlenbelastung für eine Thoraxuntersuchung in 2 Ebenen liegt bei ca. 0,1 mSv, das ist ein Bruchteil der natürlichen Strahlenexposition (ca. 2,5 mSv pro Jahr). Da die Lungen aufgrund ihres hohen Luftgehalts strahlentransparent und Pathologien durch Flüssigkeit oder Weichgewebe häufig vermehrt schattengebend sind, ergibt sich ein hoher natürlicher Kontrast, der viele pulmonale Pathologien wie auch pneumonische Infiltrate sichtbar werden lässt. Schwieriger ist es, wenn 2 weichteildichte Strukturen aufeinandertreffen, z. B. eine Raumforderung und ein poststenotisches Infiltrat, dann können diese nicht gegeneinander abgegrenzt werden. Die höchste Aufnahmequalität wird bei einer Aufnahme im Stehen und in tiefer Inspiration erreicht, weil hier die

Lungen am besten belüftet und somit gut einsehbar sind. Bei infektiösen Lungenerkrankungen wird ein Röntgenbild des Thorax durchgeführt [4, 6, 7], um die Diagnose einer Pneumonie durch Nachweis eines Infiltrates zu bestätigen. Prinzipiell ist die Röntgenuntersuchung des Thorax hierzu gut geeignet, mit jedoch Einschränkungen: Das fehlende Infiltrat im Röntgenbild schließt eine Pneumonie nicht sicher aus, z. B. können kleinere Infiltrate projektionsradiographisch okkult sein oder auch verzögert zur klinischen Symptomatik auftreten. Hinzu kommt, dass verdeckte Regionen retrosternal und retrokardial nicht ausreichend einsehbar sind. Die Sensitivität für die Detektion eines pneumonischen Infiltrates ist nicht sehr hoch, die Zahlen variieren in der Literatur je nach Studie und zugrunde liegender Untersuchungstechnik zwischen ca. 25 und 70 % [10, 23, 26, 34]. Flächenhafte Verschattungen sind unspezifisch und können auch weitere Ursachen haben, wie beispielsweise eine Raumforderung bei der poststenotischen Pneumonie. Die Spezifität der Röntgenuntersuchung wird in der Literatur mit 30–93 % sehr unterschiedlich angegeben und ist eher gering. Im Kontext eines respiratorischen Infektes ist eine flächenhafte Verschattung suggestiv für ein pneumonisches Infiltrat, bei nicht konklusiven Befunden und rezidivierenden oder persistierenden Infekten sollte eine weitere Abklärung erfolgen. Neben der Sicherung der Diagnose einer Pneumonie können auch ihre Ausdehnung (mono oder multilobär, uni- oder bilateral), mögliche Komplikationen (Pleuraerguss, Abszedierung), Begleiterkrankungen (z. B. Herzinsuffizienz) und einige Differenzialdiagnosen (Malignom) diagnostiziert werden. Des Weiteren können durch das radiologische Muster (Lobärpneumonie, Bronchopneumonie und interstitielle Pneumonie) bereits erste Hinweise über den Erreger erlangt werden. Dies ersetzt nicht die mikrobiologische Diagnostik, kann aber das Erregerspektrum mitunter einschränken.

Der *thorakale Ultraschall* bietet die Vorteile, dass er breit verfügbar ist und keine Strahlenbelastung hat. Die Sensitivität und Spezifität werden in der Literatur mit Werten über 80 % bzw. 90 % sehr hoch angegeben [2, 18, 24]. Damit ist er

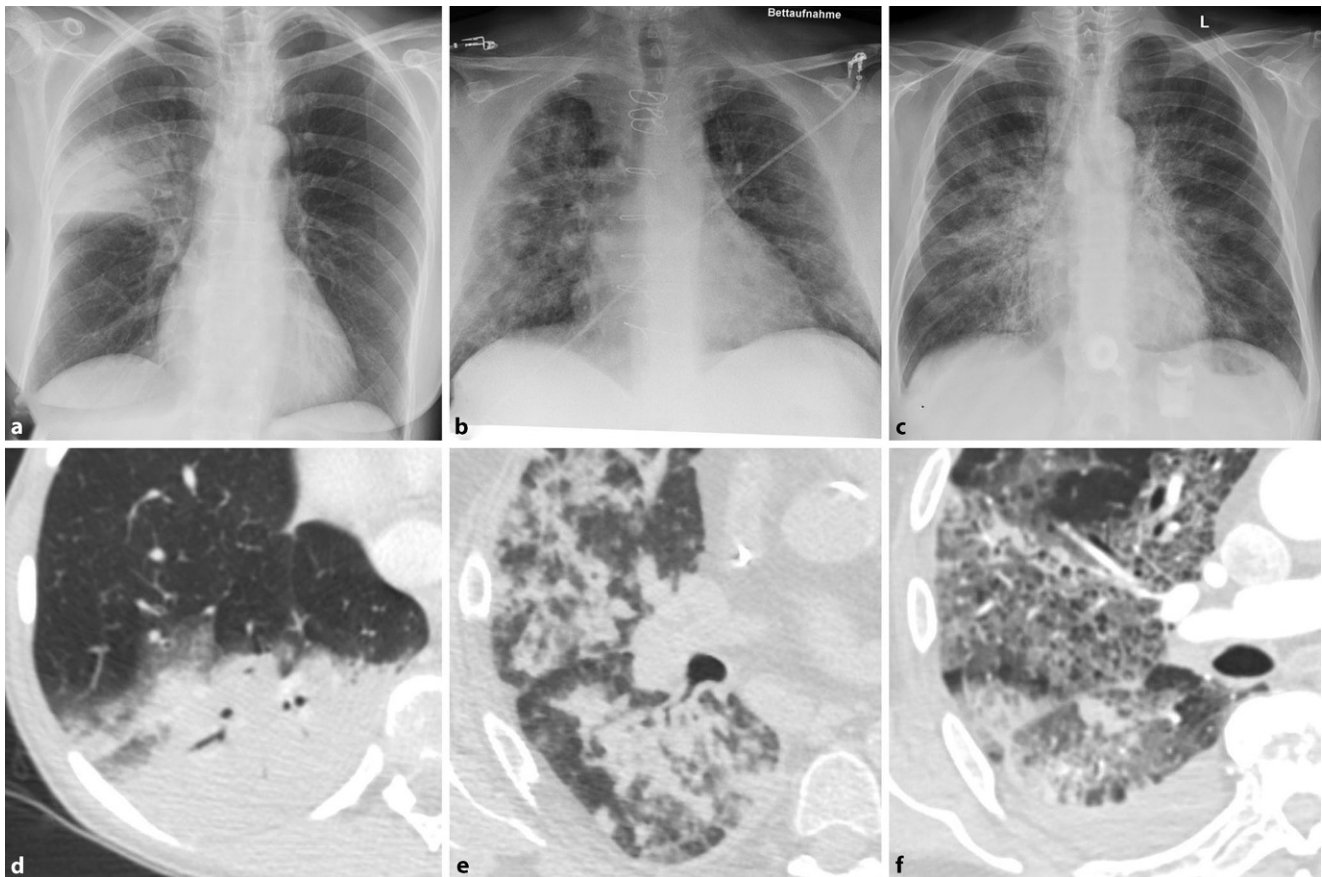


Abb. 1 ▲ Radiologisch werden 3 verschiedene Befundmuster bei Pneumonie unterschieden: die Lobärpneumonie, die Bronchopneumonie und die interstitielle Pneumonie. Die Lobärpneumonie zeigt eine flächenhafte Verschattung in einem oder seltener mehreren Lungenlappen im Röntgenbild (a) und eine homogene Konsolidierung häufig mit Milchglasanteilen in der Computertomographie (CT; d), die Bronchien sind als luftgefüllte Strukturen darin abgrenzbar (positives Bronchopneumogramm). Bei einer Bronchopneumonie weist das Röntgenbild disseminierte fleckige Transparenzminderungen (b) und korrelierend herdförmige Konsolidierungen in bevorzugt peribronchialer Lokalisation in der CT (e) auf. Die interstitielle Pneumonie zeigt im Röntgen meist nur diskrete Veränderungen mit einer diffusen flauen, streifigen Transparenzminderung (c), in der CT zeigt sich eine streifige und retikuläre Zeichnungsvermehrung (f)

durchaus geeignet für die Detektion eines Infiltrates und insbesondere auch eines begleitenden Ergusses. Die Methode ist jedoch sehr stark vom Untersucher abhängig und erfordert viel Erfahrung sowie einen relativ hohen zeitlichen Aufwand. Eine weitere Limitation ist die eingeschränkte Eindringtiefe des Ultraschalls, sodass periphere Infiltrate gut detektiert werden können, während zentrale, von belüftetem Lungenparenchym umgebene Infiltrate okkult bleiben. Aus den genannten Gründen wird in der CAP-Leitlinie der thorakale Ultraschall für die Detektion pulmonaler Infiltrate empfohlen, wenn eine Thoraxröntgenaufnahme nicht zeitnah verfügbar ist [6].

Die *Computertomographie* (CT) ermöglicht eine überlagerungsfreie Bildgebung des Thorax. Die Strahlenbelastung

ist mit 0,2–5 mSv für eine Untersuchung der Thoraxorgane deutlich höher als beim konventionellen Röntgen. Moderne Niedrigdosisprotokolle kommen mit einer geringeren Dosis aus und sind zur reinen Detektion von Infiltraten ausreichend. Kontrastmittel wird zur Darstellung von Veränderungen des Lungenparenchyms wie pneumonischen Infiltraten aufgrund des hohen natürlichen Kontrastes nicht benötigt. Es ist dann erforderlich, wenn weitere Pathologien, wie z. B. ein stenosierender Tumor, eine Lungenarterienembolie oder ein Pleuraempyem, ausgeschlossen werden können. Die Untersuchungsdauer ist mit ca. 1–8 s je nach verwendeter CT-Technik für den Thorax sehr kurz und sowohl bei Patienten mit Dyspnoe als auch mit maschineller Beatmung unproblematisch. Relative Kontraindikationen für eine

intravenöse Kontrastmittelgabe sind eine Allergie, eine eingeschränkte Nierenfunktion sowie eine Schilddrüsenüberfunktion. Zum Abschätzen der diagnostischen Aussagekraft und Nutzen-Risiko-Abschätzung einer Kontrastmittelgabe kann der Radiologe beraten. Die CT spielt nicht nur wegen der Strahlenexposition, sondern auch aufgrund der Kosten und der Verfügbarkeit eine nachgeschaltete Rolle bei der Diagnostik einer unkomplizierten Pneumonie. Sie kommt insbesondere bei nichtkonklusiven Befunden und rezidivierenden oder persistierenden Infekten zum Einsatz, wenn z. B. ein stenosierender Tumor oder strukturelle Veränderungen der Atemwege als Ursache ausgeschlossen werden sollen. Auch für die Diagnose von Komplikationen wie pulmonaler Abszess oder Pleuraempyem hat die CT gegenüber

Hier steht eine Anzeige.



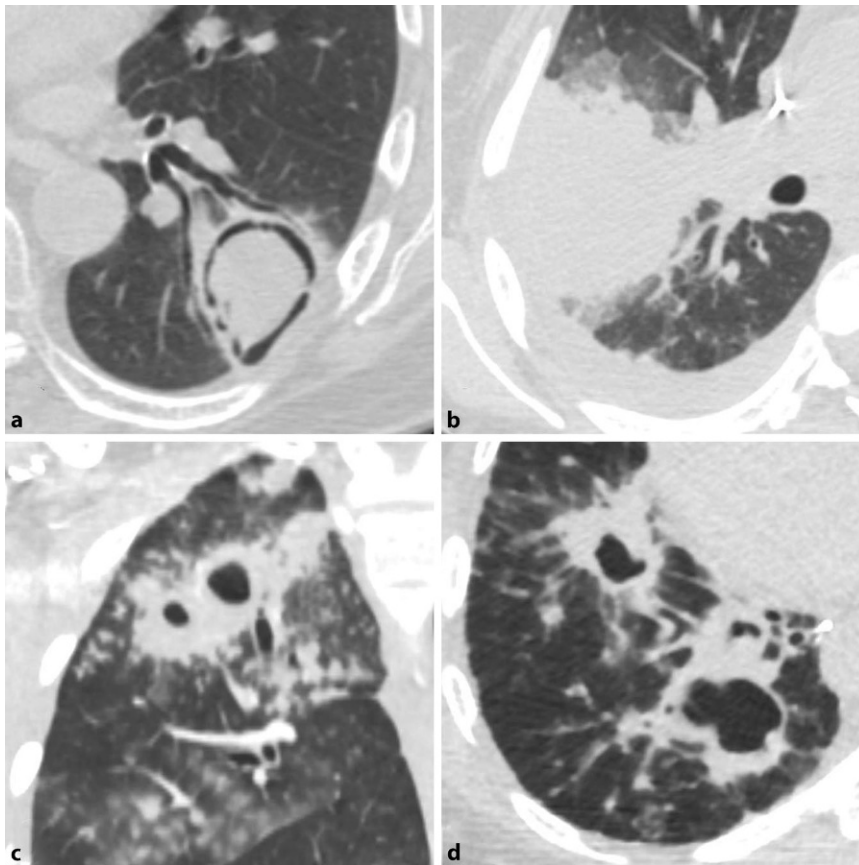


Abb. 2 ▲ Manche Erreger verursachen sehr charakteristische Veränderungen in der Bildgebung, sodass schon alleine anhand des Röntgenbildes oder der Computertomographie (CT) Rückschlüsse auf den zugrunde liegenden Keim gezogen werden können. Dazu gehören z. B. das Aspergillom mit dem typischen Pilzball in einer Höhlenbildung (a), die invasive Aspergillose mit herdförmigen Infiltraten mit umgebendem Milchglas und Luftsichelzeichen (b), die postprimäre Tuberkulose mit einem kavitierenden Infiltrat im Oberlappen (c) und die nichttuberkulöse Mykobakteriose mit herdförmigen Konsolidierungen, Kavitation, nodulären Veränderungen sowie Ausbildung von Bronchiektasen (d)

dem konventionellen Röntgenbild einen deutlichen diagnostischen Mehrwert. Bei immunsupprimierten Patienten ist die Initialdiagnostik meist eine CT, da in diesem klinischen Zusammenhang häufige Erreger, wie z. B. Pilze, respiratorische Viren und manchmal auch die *Pneumocystis-jirovecii*-Pneumonie (PcP), im Röntgenbild nicht sicher diagnostiziert werden können.

» Das konventionelle Röntgen ist die radiologische Basisdiagnostik bei respiratorischen Infektionen

Die *Magnetresonanztomographie* (MRT) ermöglicht die Detektion eines pneumonischen Infiltrates ohne Röntgenstrahlen mit hoher Übereinstimmung zur CT. Die Bildgebung der Lunge in der MRT ist durch die geringe Protonendichte erschwert, wo-

bei es hier bereits neue innovative Techniken mit ultrakurzen Echozeiten („ultrashort echo time“ [UTE]) gibt, die die Darstellung der feinen parenchymalen Strukturen sehr verbessert [1, 27, 28, 33]. Weitere Stärken der MRT liegen in dem hohen Weichteilkontrast und der Möglichkeit einer funktionellen Bildgebung für Ventilation und Perfusion. Dennoch gibt es im Falle einer Pneumonie meistens keinen klinisch relevanten Zusatzgewinn durch die MRT im Vergleich zur CT. Sowohl die Kosten als auch die Verfügbarkeit sind deutlich schlechter als bei den anderen Modalitäten, sodass die MRT keine Rolle in der Diagnostik der Pneumonie spielt.

Radiologische Formen der Pneumonie

Eine Pneumonie kann sich morphologisch auf unterschiedliche Art und Weise manifestieren. Radiologisch werden 3 verschiedene Formen unterschieden:

- die Lobärpneumonie,
- die Bronchopneumonie und
- die interstitielle Pneumonie.

Diese Unterteilung ist deskriptiv, kann aber mitunter erste Hinweise auf das zugrunde liegende Erregerspektrum geben [25, 31].

Bei der *Lobärpneumonie* (■ Abb. 1a, d) spielt sich die Entzündung im Alveolarraum ab. Es ist meist eine fokale Entzündung, die auf einen Lappen beschränkt ist, es können aber auch mehrere Lappen betroffen sein. Erreger sind meist Pneumokokken, seltener Staphylokokken, Klebsiellen und Legionellen. Im Röntgenbild erscheint die Lobärpneumonie als flächenhafte Verschattung, die zum umgebenden Lungenparenchym unscharf und am Lappenspalt scharf berandet ist. Im Infiltrat kann man typischerweise die Bronchien als luftgefüllte tubuläre Strukturen abgrenzen, das sog. positive Bronchopneumogramm. In der CT zeigt sich korrelierend eine flächenhafte Konsolidierung, in der die Gefäßstrukturen maskiert sind. Im Randbereich oder wenn das Infiltrat milde ausgeprägt ist und nur eine Teilfüllung der Alveolen vorliegt, kann die Dichte geringer sein mit noch durchscheinenden Gefäßstrukturen, in diesem Fall spricht man von einer milchglasartigen Dichte. Auch in der CT sind die Bronchien luftgefüllt gegenüber dem Infiltrat abgrenzbar.

Die *Bronchopneumonie* (■ Abb. 1b, e) beginnt in der Mukosa der Atemwege und breitet sich von hier in die Alveolen aus. Erreger sind häufig *Staphylococcus aureus*, *Haemophilus influenzae* und Anaerobier. Im Röntgenbild zeigen sich fleckförmige, unscharf berandete Transparenzminderungen, die je nach Schweregrad häufig bilateral und diffus über beide Lungen verteilt sind. In der CT erscheinen diese ähnlich wie bei der Lobärpneumonie als unscharf berandete Konsolidierung mit umgebendem Milchglas mit dem Unterschied jedoch, dass sie fleckförmig in peribronchialer Lokalisation über die Lappen verteilt sind. Die Entzündungskompo-

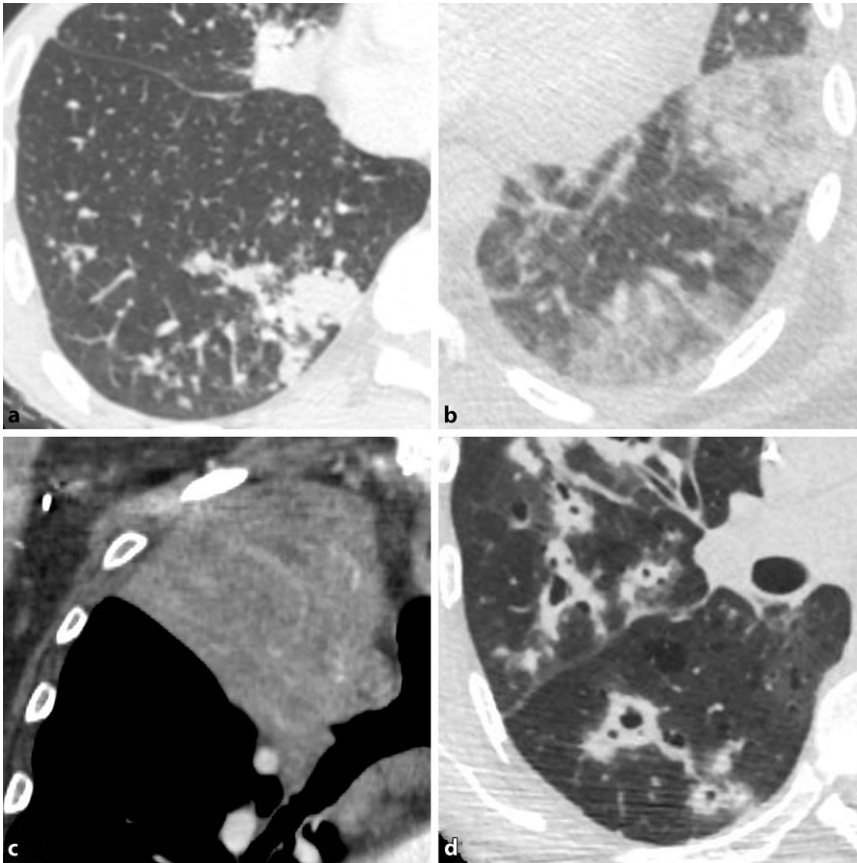


Abb. 3 ▲ Im speziellen klinischen Kontext gibt es charakteristische radiologische Befunde, z. B. sind bei der Aspirationspneumonie (a) die Infiltrate häufig fleckförmig nodulär mit Tree-in-bud-Muster und teilverlegten Bronchien in den abhängigen Lungenpartien, bei der Postinfarktpneumonie (b) sind die Infiltrate meist subpleural und keilförmig konfiguriert, und die Lungenembolie ist mitunter direkt nachweisbar, bei der Retentionspneumonie (c) sind der obstruierende Fremdkörper und Tumor in vielen Fällen direkt nachweisbar, indirekte Zeichen sind eine begleitende Volumenminderung des Lappens und im Röntgenbild die längerfristige Persistenz oder das wiederholte Auftreten eines Infiltrates in gleicher Lokalisation und septische Streuherde (d) mit herdförmigen und häufig kavitierenden Infiltraten mit nachweisbarem Gefäßbezug

nente in der Bronchialwand ist meist nur schlecht sichtbar, mitunter kann die Bronchialwand in der CT verdickt erscheinen und Mukus in den Bronchien nachweisbar sein („mucus plugging“).

Die *interstitielle Pneumonie* (Abb. 1c, f) spielt sich im Gegensatz zu den vorangegangenen Pneumonieformen nicht im Alveolarraum, sondern primär im Lungeninterstitium ab. Die Erreger sind meist Viren oder Mykoplasmen, bei immunsupprimierten Patienten auch *Pneumocystis jirovecii*. Das Röntgenbild ist häufig unauffällig oder zeigt nur geringe Veränderungen. Erst im Fall einer schweren Pneumonie zeigen sich die typischen Veränderungen mit einer streifigen und retikulären Zeichnungsvermehrung, die bilateral und symmetrisch über beide

Lungen verteilt ist. In der CT sind die Veränderungen bereits früher und auch bei milder Ausprägung zu erkennen. Das entzündlich verdickte Interstitium lässt sich in der überlagerungsfreien Darstellung wesentlich besser auflösen und wird als lineare und retikuläre Transparenzminderungen sichtbar. Sind die Retikulationen sehr fein und liegen unterhalb des Auflösungsvermögens der CT, können die Veränderungen mitunter auch flächhaft milchglasartig imponieren.

Neben der Form der Pneumonie können noch weitere radiologische Befunde, wie beispielsweise Einschmelzungen, Pneumatozelen oder eine sich vorwölbende Fissur, auf einen spezifischen Erreger oder Erregerkreis hindeuten. Selbstverständlich kann das radiologische Bild nicht

den Erreger sicher identifizieren und damit die mikrobiologische Diagnostik ersetzen, dennoch ergeben sich manchmal morphologische Hinweise, die im klinischen Gesamtkontext hilfreich sein können.

Sonderformen der Pneumonie

Neben diesen 3 Formen der Pneumonie gibt es noch Sonderformen, die bei spezifischen Erregern (Abb. 2) oder in einem bestimmten klinischen Kontext (Abb. 3) vorkommen. Solche Veränderungen sollte der Radiologe erkennen und in seinem Befund adressieren, um dem Kliniker die weitere Differenzialdiagnostik zu erleichtern.

Charakteristische Befunde gibt es beispielsweise bei dem Aspergillom, die nichtinvasive Form der *Aspergillus*-Infektion. Bei dieser bildet sich in einer (präformierten) Höhle und in vorgeschädigtem Lungengewebe ein Pilzball aus, der charakteristischerweise von Luft umgeben wird und in der Höhle motil ist (Abb. 2a; [7]). Bei der invasiven Mykose bei immunsupprimierten Patienten treten herdförmige Infiltrate in den Lungen auf, die typischerweise von Milchglas (Halo, Hämorrhagie bei angioinvasivem Wachstum) umgeben sind und kavitiieren können (Luftsichelzeichen) (Abb. 2b; [5, 19, 32]).

Die Tuberkuloseinfektion kann je nach Manifestationsform (primär, postprimär, miliar) sehr unterschiedlich zur Darstellung kommen. Die postprimäre Tuberkulose (Abb. 2c) ist meist in den Oberlappen lokalisiert und bildet Kavernen aus. Die Frage an den Radiologen ist häufig, ob die Infektion eher aktiv oder inaktiv ist bzw. ob Anschluss zum Tracheobronchialsystem besteht. Die Unterscheidung kann mitunter nicht einfach sein, prinzipiell kommen bei aktiven Infektionen meist Konsolidierungen, Milchglastrübungen, dick berandete Kavitationen und ein Tree-in-bud-Muster als Hinweis für eine bronchiolitische Komponente und eine endobronchiale Aussaat vor. Bei der inaktiven Form gilt als einziges relativ sicheres Kriterium die Befundkonstanz über mehr als 6 Monate, alternativ kann eine Positronenemissionstomographie (PET) bei der Abschätzung der Aktivität helfen [3, 9, 29].

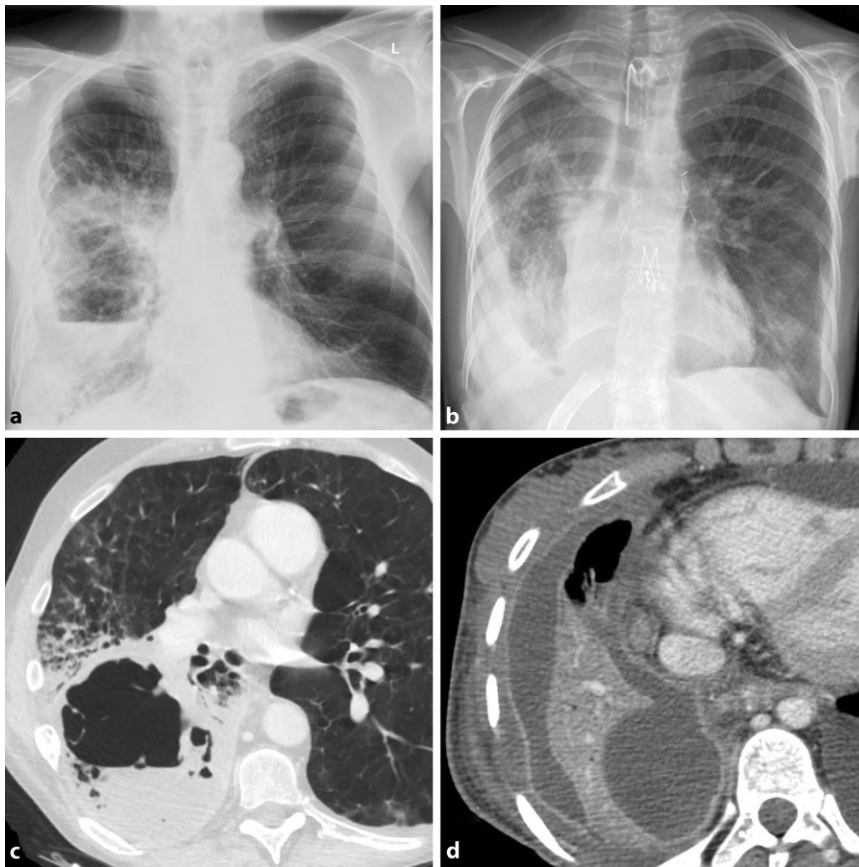


Abb. 4 ▲ **Komplikationen.** Typische Komplikationen bei Pneumonie sind der pulmonale Abszess und das Pleuraempyem. Bei pulmonalem Abszess entsteht innerhalb des Lungenparenchyms eine Einschmelzung. Im Röntgenbild (a) kann, muss aber nicht, ein Luft-Flüssigkeits-Spiegel sichtbar sein. In der Computertomographie (CT; c) zeigt sich innerhalb des Lungenparenchyms eine flüssigkeitsgefüllte Abszesshöhle mit dicker kontrastmittelauffängeriger Wand und möglichen Lufteinschlüssen. Das Pleuraempyem imponiert im Röntgenbild (b) als lobulierter oder abgekapselter Erguss, der zusätzlich Lufteinschlüsse aufweisen kann. In der CT (d) zeigen sich zusätzlich ein empyemtypisches pleurales Kontrastmittelenhancement und eine pleurale Verdickung

Bei der pulmonalen nichttuberkulösen Mykobakteriose (Abb. 2d) zeigen sich ebenfalls Konsolidierungen und Kavernen, die aber häufig diffuser über die Lungen verteilt sind und zusätzlich noduläre Veränderungen und Bronchiektasen aufweisen. Meist persistieren die Veränderungen lange und insbesondere die nodulären Veränderungen auch nach erfolgreicher Beendigung der Therapie, wenn der Erreger mikrobiologisch bereits nicht mehr nachweisbar ist.

Charakteristische radiologische Befunde im speziellen klinischen Kontext gibt es beispielsweise bei der Aspirationspneumonie, der Postinfarktpneumonie, der Retentionspneumonie und septischen Streuherden. Die Aspirationspneumonie (Abb. 3a) tritt in der Regel bei Patienten mit Schluckstörungen z.B. im Rahmen

einer neurologischen Grunderkrankung oder bei Reflux auf. Die Erreger kommen meist physiologisch in der Mundhöhle vor [13]. Da diese meist durch das Tracheobronchialsystem in die Lunge gelangen und sich von dort auf das umgebende Lungenparenchym ausbreiten, sind die Veränderungen meist in den abhängigen Lungenpartien und betont subpleural und peribronchial. Nach stattgehabter Lungenarterienembolie können in den minderperfundierten Lungenregionen pneumonische Infiltrate im Sinne einer Postinfarktpneumonie auftreten (Abb. 3b). Diese sind subpleural entsprechend der Gefäßversorgung keilförmig lokalisiert. Die Retentionspneumonie (Abb. 3c) wird durch eine bronchiale Obstruktion verursacht, häufig ein stenosierender Tumor oder ein aspirierter

Fremdkörper. Wenn ein solches Ereignis erinnerlich ist, ist die Diagnose meist einfach, ansonsten sollten persistierende oder rezidivierende Infektion in derselben Region zu der Verdachtsdiagnose führen und weitere Diagnostik veranlassen [13]. Septische Embolien (Abb. 3d) sind Ausdruck eines generalisierten Infektionsgeschehens bei schwerkranken, septischen Patienten. Erreger gelangen über die Blutstrombahn in die Lunge und verursachen infektiöse Embolien. Von diesen ausgehend, bilden sich herdförmige Infiltrate um die Gefäße aus, die häufig kavieren [8].

Komplikationen

Der Lungenabszess und das Pleuraempyem sind die häufigsten Komplikationen der Pneumonie. Beide können mitunter, aber nicht immer, bereits im Röntgenbild sichtbar sein, sodass bei klinisch bestehendem Verdacht die Indikation für eine CT großzügig gestellt werden sollte.

Bei einem Lungenabszess (Abb. 4a, c) kommt es zu einer entzündlichen Einschmelzung innerhalb des Lungenparenchyms. Häufig ist er durch Staphylokokken, *Pseudomonas* oder Nocardien verursacht. Im Röntgenbild ist der Abszess meist nur dann zu sehen, wenn ein Luft-Flüssigkeits-Spiegel vorhanden ist, eine nur flüssigkeitsgefüllte Abszesshöhle ist projektiographisch gegenüber dem Infiltrat oft nicht abzugrenzen. Die CT zeigt die Einschmelzung überlagerungsfrei und meist innerhalb eines Infiltrates. Die Abszesshöhle weist flüssigkeitsäquivalente Dichtewerte mit oder ohne Lufteinschlüsse und eine dicke kontrastmittelauffängerige Wand auf [13].

Bei einem Pleuraempyem (Abb. 4b, d) ist der Pleuraraum von der Entzündung mit betroffen durch Ausbreitung über die viszerale Pleura oder Superinfektion eines Ergusses z.B. postoperativ. Im Gegensatz zum Pleuraerguss ist das Empyem häufig lobuliert oder abgekapselt und weist manchmal auch Lufteinschlüsse auf, die bereits im Röntgenbild hinweisend sind. Das empyemtypische pleurale Kontrastmittelenhancement und die pleurale Verdickung kommen jedoch nur in der CT in der venösen Kontrastmittelpase zur Darstellung.

Hier steht eine Anzeige.



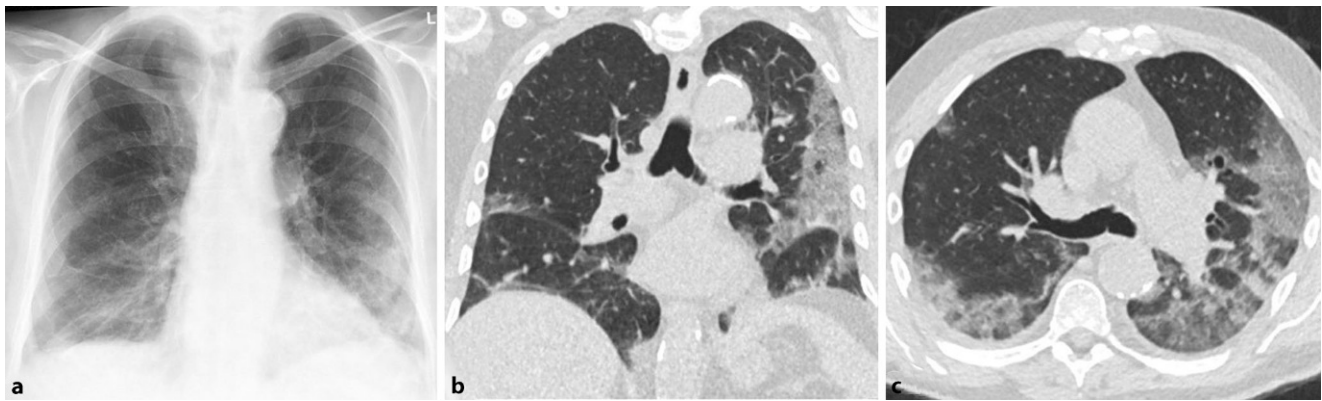


Abb. 5 ▲ Röntgenbild (a) und CT (b, c) mit typischen Veränderungen bei COVID-19-Pneumonie. Im Röntgenbild zeigen sich flauere Transparenzminderungen beidseits basal und peripher betont. In der CT lassen sich korrelierend insbesondere subpleural Milchglasinfiltrate und Konsolidierungen nachweisen, die zum Teil eine auffällig scharfe Berandung zum angrenzenden Lungenparenchym aufweisen

Patienten mit zugrunde liegenden Erkrankungen

Bestimmte Vorerkrankungen können zu pulmonalen Infektionen prädisponieren. Dazu gehören solche, die mit einem eingeschränkten Immunsystem oder strukturellen Lungenveränderungen einhergehen. Solche Patienten haben häufig seltene Erreger oder ungewöhnliche Manifestationen, die bei der Diagnostik besonders berücksichtigt werden müssen. Daher sind die Kenntnis der Vorerkrankungen und insbesondere auch eine bestehende Immunsuppression eine wichtige Information für den Radiologen und sollten neben der Fragestellung auf der Röntgenanmeldung vermerkt werden.

Immunsupprimierte Patienten haben häufiger Infektionen mit *Pneumocystis jirovecii* oder respiratorischen Viren mit dem Bild einer interstitiellen Pneumonie oder eine invasive Pilzinfektion mit pulmonalen Herdbefunden. In beiden Fällen sind Veränderungen im Röntgenbild trotz klinisch relevanter Infektion oft nur diskret oder gar nicht sichtbar, Studien zeigten eine Sensitivität im Röntgenbild von nur ca. 10% [11, 20]. Daher sollte bei immunsupprimierten Patienten die Indikation zur CT bereits sehr früh und mitunter auch ohne vorangegangenes Röntgenbild gestellt werden [23]. Radiologisch herausfordernd bei der invasiven Mykose ist die Verlaufsbeurteilung, da eine Größenzunahme nicht zwangsläufig ein Therapieversagen bedeutet, sondern auch Ausdruck einer Invasion von Abwehrzellen des sich re-

generierenden Immunsystems sein kann [12].

Patienten mit *vorgeschädigter Lunge* oder pathologisch veränderten Atemwegen haben ebenfalls häufig untypische Infektionen. Bei Patienten mit zystischer Fibrose verursachen häufig Erreger wie *Pseudomonas aeruginosa* oder *Burkholderia-cepacia*-Komplex (BCC)-Infektionen. Bei Patienten mit Bronchiektasen, sind Erreger wie nichttuberkulöse Mykobakterien (NTM), *Pseudomonas aeruginosa* oder eine chronisch pulmonale *Aspergillus*-Infektion häufiger als bei Lungengesunden. Die besondere Herausforderung an den Radiologen in dieser Situation ist es, Veränderungen im Rahmen der Grunderkrankung von denen im Rahmen einer zusätzlichen Infektion durch die genannten Erreger zu unterscheiden. Das Spektrum der radiologischen Zeichen überschneidet sich dabei erheblich: So können z. B. „mucus plugging“, Bronchialwandverdickungen und bronchiolitische Veränderungen sowohl assoziiert mit Bronchiektasen als auch bei einer zusätzlichen NTM-Infektion vorkommen. Eine sichere Trennung ist bildmorphologisch häufig nicht möglich. Weitere radiologische Veränderungen, wie z. B. Kavernen und noduläre Veränderungen, der zeitliche Verlauf und die interdisziplinäre Diskussion zwischen Pneumologen, Radiologen und Mikrobiologen, können hierbei hilfreich sein [17, 22]. Patienten mit COPD (chronisch obstruktive Lungenerkrankung) und Asthma haben neben den strukturellen Veränderungen als zusätz-

lichen prädisponierenden Faktor häufig eine Immunsuppression durch die Gabe von Kortison. Akute Exazerbationen treten häufig während der kalten Jahreszeit auf und sind in den meisten Fällen Infektgetriggert, bei Asthma spielen zusätzlich eine allergische Komponente und bronchoobstruktive Medikamente wie Betablocker und nichtsteroidale Antirheumatika eine Rolle, die Ursache ist jedoch nicht immer sicher zu eruieren. Die häufigsten Erreger bei Infektexazerbation sind Influenzaviren, RSV („respiratory syncytial virus“), Rhinoviren, Coronaviren, Adenoviren, *Haemophilus influenzae* und *Streptococcus pneumoniae*. Die Diagnose erfolgt meist klinisch. In der Bildgebung zeigen sich meist unspezifische Veränderungen mit flauen bilateralen Transparenzminderungen im Röntgenbild und diffusen, multifokalen Milchglastrübungen und Konsolidierungen in der CT. Dennoch hat die Radiologie ihren Stellenwert bei der Exazerbation, insbesondere um andere Ursachen der akut einsetzenden Atemnot, wie beispielsweise einen Pneumothorax und eine Lungenembolie, auszuschließen.

COVID-19

Ende Dezember 2019 wurde erstmals „severe acute respiratory syndrome coronavirus 2“ (SARS-CoV-2) in Wuhan (China) nachgewiesen, Ende Januar 2020 trat der erste bestätigte Fall auch in Deutschland auf. Inzwischen hat sich die Infektion pandemisch ausgebreitet. Auch wenn Manifestationen an vielen Organen beschrie-

ben sind, steht das respiratorische System meist im Vordergrund. Die Diagnose einer COVID-19-Pneumonie beruht auf der Klinik und dem Nachweis von SARS-CoV-2 in der Polymerasekettenreaktion(PCR)-Diagnostik. Daher spielt die Thoraxröntgenaufnahme oder die CT bei der Diagnosestellung bei verfügbarer PCR-Diagnostik eine untergeordnete Rolle. Wichtig ist jedoch, dass der Radiologe mit COVID-19-typischen Lungenveränderungen vertraut ist, um insbesondere bei Thorax-CTs mit einer anderen Indikation (z. B. Frage nach Lungenarterienembolie) an diese Differenzialdiagnose zu denken. Auch spielt die Bildgebung für die Prognoseabschätzung, Verlaufsbeurteilung sowie bei Komplikationen bei hospitalisierten Patienten mit mittlerer und schwerer Symptomatik eine wichtige Rolle. Die Röntgenaufnahme des Thorax hat bezüglich einer COVID-19-Pneumonie eine eingeschränkte Sensitivität, sie kann jedoch zur Verlaufsbeurteilung herangezogen werden. Bildgebung der Wahl ist die CT [30] mit einer Sensitivität von > 90% [15]. Für die Diagnose COVID-19-typischer Veränderungen und die Einschätzung des Schweregrades ist eine native CT in Niedrigdosistechnik ausreichend. Sollen häufige Komplikationen, wie z. B. eine Lungenarterienembolie oder eine bakterielle Superinfektion, detektiert werden, ist eine intravenöse Kontrastmittelgabe erforderlich ([21]; **Abb. 5**).

» Bei COVID-19 ist die CT die Methode der Wahl

CT-morphologisch imponiert die COVID-19-Pneumonie in den allermeisten Fällen als Milchglastrübungen und seltener mit Konsolidierungen. Diese treten meist bilateral und multifokal mit einer geografischen Verteilung und dominierend in subpleuraler und dorsaler Lokalisation auf. Charakteristisch ist eine zumindest anteilig scharfe Berandung zum angrenzenden Lungenparenchym. Mit zunehmender Schwere der Erkrankung nehmen sowohl das Ausmaß der Veränderungen als auch ihre Dichte (vom Milchglas hin zu einer Konsolidierung) zu. Es können auch zusätzliche interstitielle Veränderungen mit dem Bild eines „Crazy-Paving“ oder arkardeförmige Konsolidierungen mit zentralem Milchglas im Sinne eines „umgekehr-

ten Halozeichens“ auftreten. Untypisch für eine COVID-19-Pneumonie hingegen sind Noduli, ein Tree-in-bud-Muster, peribronchiale oder lobäre Infiltrate und bronchiale Pathologien [21, 30]. Nach 1 bis 2 Wochen bilden sich die Veränderungen in den meisten Fällen zurück, während sich bei schweren Verläufen häufig das Bild eines diffusen Alveolarschadens ausbildet sowie bakterielle Superinfektionen die Erkrankung verschlechtern [14].

Fazit für die Praxis

- Das konventionelle Röntgenbild ist Methode der Wahl bei der Diagnose einer Pneumonie, wenn auch mit begrenzter Sensitivität und Spezifität.
- Die Computertomographie (CT) kommt dann zum Einsatz, wenn die Infektion rezidivierend oder persistierend ist, Klinik und erhobene Befunde nicht konklusiv sind, Komplikationen wie Abszedierung oder Empyem vermutet werden und bei immunsupprimierten Patienten.
- Radiologisch werden 3 verschiedene Formen der Pneumonie unterschieden, mit deren Hilfe sich das Erregerspektrum etwas eingrenzen lässt: Lobärpneumonie, Bronchopneumonie und interstitielle Pneumonie.
- Darüber hinaus gibt es Sonderformen der Pneumonie bei spezifischen Erregern und im speziellen klinischen Kontext, die radiologisch häufig relativ charakteristische Veränderungen zeigen und sich bereits allein bildgebend mit einer relativen Sicherheit diagnostizieren lassen.
- Bestimmte Vorerkrankungen wie eine Immunsuppression oder strukturelle Lungenveränderungen können zu pulmonalen Infektionen mit selteneren Erregern oder Manifestationsformen prädisponieren, die bei der Diagnostik besonders berücksichtigt werden müssen.

Korrespondenzadresse



PD Dr. Sabine Dettmer

Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Medizinische Hochschule Hannover
Carl-Neuberg-Str. 1, 30629 Hannover,
Deutschland
dettmer.sabine@mh-hannover.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. S. Dettmer und J. Vogel-Clausen geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Attenberger UI, Morelli JN, Henzler T et al (2014) 3 Tesla proton MRI for the diagnosis of pneumonia/lung infiltrates in neutropenic patients with acute myeloid leukemia: initial results in comparison to HRCT. *Eur J Radiol* 83:e61–e66. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.09.002>
2. Bourcier J-E, Paquet J, Seinger M et al (2014) Performance comparison of lung ultrasound and chest x-ray for the diagnosis of pneumonia in the ED. *Am J Emerg Med* 32:115–118. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2013.10.003>
3. Burrill J, Williams CJ, Bain Getal (2007) Tuberculosis: a radiologic review. *Radiographics* 27:1255–1273. <https://doi.org/10.1148/rg.275065176>
4. Dalhoff K, Abele-Horn M, Andreas S et al (2012) Epidemiology, diagnosis and treatment of adult patients with nosocomial pneumonia. S-3 guideline of the German Society for Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, the German Society for Infectious Diseases, the German Society for Hygiene and Microbiology, the German Respiratory Society and the Paul-Ehrlich-Society for Chemotherapy. *Pneumologie* 66:707–765. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1325924>
5. De Pauw B, Walsh TJ, Donnelly JP et al (2008) Revised definitions of invasive fungal disease from the European Organization for Research and Treatment of Cancer/Invasive Fungal Infections Cooperative Group and the National Institute of Allergy and Infectious Diseases Mycoses Study Group (EORTC/MSG) Consensus Group. *Clin Infect Dis* 46:1813–1821. <https://doi.org/10.1086/588660>

6. Ewig S, Kolditz M, Pletz M et al (2021) Behandlung von erwachsenen Patienten mit ambulant erworbener Pneumonie – update 2021. AWMF online. https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/020-020l_S3_Behandlung-von-erwachsenen-Patienten-mit-ambulant-erworbener-Pneumonie__2021-05.pdf. Zugegriffen: 21. Juni 2021
7. Franquet T (2001) Imaging of pneumonia: trends and algorithms. *Eur Respir J* 18:196–208. <https://doi.org/10.1183/09031936.01.00213501>
8. Gadkowski LB, Stout JE (2008) Cavitory pulmonary disease. *Clin Microbiol Rev* 21:305–333. <https://doi.org/10.1128/CMR.00060-07>
9. Goo JM, Im J-G (2002) CT of tuberculosis and nontuberculous mycobacterial infections. *Radiol Clin North Am* 40:73–87. [https://doi.org/10.1016/s0033-8389\(03\)00110-6](https://doi.org/10.1016/s0033-8389(03)00110-6)
10. Hagaman JT, Rouan GW, Shipley RT, Panos RJ (2009) Admission chest radiograph lacks sensitivity in the diagnosis of community-acquired pneumonia. *Am J Med Sci* 337:236–240. <https://doi.org/10.1097/MAJ.0b013e31818ad805>
11. Heussel CP, Kauczor HU, Heussel GE et al (1999) Pneumonia in febrile neutropenic patients and in bone marrow and blood stem-cell transplant recipients: use of high-resolution computed tomography. *J Clin Oncol* 17:796–805. <https://doi.org/10.1200/JCO.1999.17.3.796>
12. Heussel CP, Ullmann AJ, Kauczor HU (2000) Pilzpnemonie. *Radiologe* 40:518–529. <https://doi.org/10.1007/s001170050749>
13. Höffken G, Lorenz J, Kern W et al (2009) Epidemiology, diagnosis, antimicrobial therapy and management of community-acquired pneumonia and lower respiratory tract infections in adults. Guidelines of the Paul-Ehrlich-Society for Chemotherapy, the German Respiratory Society, the German Society for Infectiology and the Competence Network CAPNETZ Germany. *Pneumologie* 63:e1–e68. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1215037>
14. Kanne JP, Little BP, Chung JH et al (2020) Essentials for radiologists on COVID-19: an update-radiology scientific expert panel. *Radiology* 296:E113–E114. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200527>
15. Kim H, Hong H, Yoon SH (2020) Diagnostic performance of CT and reverse transcriptase polymerase chain reaction for coronavirus disease 2019: a meta-analysis. *Radiology* 296:E145–E155. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020201343>
16. Lopez AD, Murray CC (1998) The global burden of disease, 1990–2020. *Nat Med* 4:1241–1243. <https://doi.org/10.1038/3218>
17. Moore EH (1993) Atypical mycobacterial infection in the lung: CT appearance. *Radiology* 187:777–782. <https://doi.org/10.1148/radiology.187.3.8497629>
18. Nazerian P, Volpicelli G, Vanni S et al (2015) Accuracy of lung ultrasound for the diagnosis of consolidations when compared to chest computed tomography. *Am J Emerg Med* 33:620–625. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2015.01.035>
19. Nikolaou K, Bamberg F, Laghi A, Rubin GD (2019) Multislice CT
20. Oude Nijhuis CS, Gietema JA, Vellenga E et al (2003) Routine radiography does not have a role in the diagnostic evaluation of ambulatory adult febrile neutropenic cancer patients. *Eur J Cancer* 39(17):2495–2498. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2003.06.002>
21. Pfeifer M, Hamer OW (2020) COVID-19-Pneumonie. *Gastroenterologie* 15:457–470. <https://doi.org/10.1007/s11377-020-00488-x>

Imaging in respiratory infections

The conventional X-ray image is the method of choice for suspected pneumonia. Computed tomography (CT) is indicated for treatment refractory or recurrent infiltrates, difficult differential diagnostics, suspected complications and in immunocompromised patients. Thoracic sonography can be used as an alternative method for initial diagnostics and in the intensive care unit to monitor progress. In addition to the detection of infiltrates the radiological classification can help to limit the pathogen spectrum. Radiologically, three forms of pneumonia can principally be differentiated: lobar pneumonia, bronchopneumonia and interstitial pneumonia. Furthermore, there are special forms of pneumonia with certain pathogens, such as aspergilloma, invasive mycosis, postprimary tuberculosis and nontuberculous mycobacteriosis or in a specific clinical context, such as aspiration pneumonia, postinfarction pneumonia, retention pneumonia and septic emboli. The most frequent complications of pneumonia are lung abscesses and pleural empyema. Both can sometimes but not always be seen in the X-ray image. If clinically suspected the indications for CT should be generously applied. Certain pre-existing diseases, such as immunodeficiency or structural alterations of the lungs can predispose to pulmonary infections, frequently with unusual pathogens or manifestation forms and must be taken into account in the diagnostics.

Keywords

Chest X-ray · Computed tomography · Pneumonia · Lobar pneumonia · Bronchopneumonia

22. Primack SL, Logan PM, Hartman TE et al (1995) Pulmonary tuberculosis and Mycobacterium avium-intracellulare: a comparison of CT findings. *Radiology* 194:413–417. <https://doi.org/10.1148/radiology.194.2.7824720>
23. Ramirez JA, Musher DM, Evans SE et al (2020) Treatment of community-acquired pneumonia in immunocompromised adults: a consensus statement regarding initial strategies. *Chest* 158:1896–1911. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.05.598>
24. Reissig A, Gramegna A, Aliberti S (2012) The role of lung ultrasound in the diagnosis and follow-up of community-acquired pneumonia. *Eur J Intern Med* 23:391–397. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2012.01.003>
25. Reittner P, Ward S, Heyneman L et al (2003) Pneumonia: high-resolution CT findings in 114 patients. *Eur Radiol* 13:515–521. <https://doi.org/10.1007/s00330-002-1490-3>
26. Self WH, Courtney DM, McNaughton CD et al (2013) High discordance of chest x-ray and computed tomography for detection of pulmonary opacities in ED patients: implications for diagnosing pneumonia. *Am J Emerg Med* 31:401–405. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2012.08.041>
27. Syrjala H, Broas M, Ohtonen P et al (2017) Chest magnetic resonance imaging for pneumonia diagnosis in outpatients with lower respiratory tract infection. *Eur Respir J*. <https://doi.org/10.1183/13993003.01303-2016>
28. Tiddens HAWM, Stick SM, Wild JM et al (2015) Respiratory tract exacerbations revisited: ventilation, inflammation, perfusion, and structure (VIPS) monitoring to redefine treatment. *Pediatr Pulmonol* 50(Suppl 40):S57–S65. <https://doi.org/10.1002/ppul.23266>
29. Van Dyck P, Vanhoenacker FM, Van den Brande P, De Schepper AM (2003) Imaging of pulmonary tuberculosis. *Eur Radiol* 13:1771–1785. <https://doi.org/10.1007/s00330-002-1612-y>
30. Vogel-Claussen J, Ley-Zaporozhan J, Agarwal P et al (2020) Recommendations of the thoracic imaging section of the German radiological society for clinical application of chest imaging and structured CT reporting in the COVID-19 pandemic. *Rofo* 192:633–640. <https://doi.org/10.1055/a-1174-8378>
31. Walker CM, Abbott GF, Greene RE et al (2014) Imaging pulmonary infection: classic signs and patterns. *AJR Am J Roentgenol* 202:479–492. <https://doi.org/10.2214/AJR.13.11463>
32. Webb WR, Higgins CB (2016) Thoracic imaging: pulmonary and cardiovascular radiology, 3. Aufl. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health, Philadelphia
33. Yan C, Tan X, Wei Q et al (2015) Lung MRI of invasive fungal infection at 3 Tesla: evaluation of five different pulse sequences and comparison with multidetector computed tomography (MDCT). *Eur Radiol* 25:550–557. <https://doi.org/10.1007/s00330-014-3432-2>
34. Young M, Marrie TJ (1994) Interobserver variability in the interpretation of chest roentgenograms of patients with possible pneumonia. *Arch Intern Med* 154:2729–2732. <https://doi.org/10.1001/archinte.1994.00420230122014>

Hier steht eine Anzeige.

