

Ein Jahr COVID-19-Pandemie: Was wir Radiologen über die Bildgebung gelernt haben

One year of COVID-19 pandemic: what we Radiologists have learned about imaging

Autoren

Alexander Gross , Thomas Albrecht

Institut

Radiology and Interventional Therapy, Vivantes-Klinikum Neukölln, Berlin, Germany

Key words

COVID-19, COVID-19 pneumonia, SARS-CoV-2, CO-RADS, extrapulmonary manifestations, pneumonia

eingereicht 02.03.2021

akzeptiert 11.05.2021

online publiziert 14.10.2021

Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2022; 194: 141–151

DOI 10.1055/a-1522-3155

ISSN 1438-9029

© 2021. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Dr. Alexander Gross

Radiology and Interventional Therapy, Vivantes-Klinikum Neukölln, Rudower Straße 48, 12351 Berlin, Germany

Tel.: +49 30 130 14-2046

alexander.gross@vivantes.de

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Seit seinem Ausbruch im Dezember 2019 haben sich weltweit mehr als 151 Millionen Menschen mit Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) infiziert. Mehr als 3,1 Millionen Menschen starben an Coronavirus Disease 2019 (COVID-19), der durch das Virus ausgelösten Erkrankung. Hauptmanifestationsort ist neben den oberen Atemwegen die Lunge, wo es zu Pneumonien unterschiedlichen Schweregrades kommt. Darüber hinaus führt SARS-CoV-2 über direkte wie auch indirekte pathogenetische Mechanismen zu verschiedensten extrapulmonalen und vaskulären Manifestationen.

Methode Basierend auf einer systematischen Literaturrecherche mittels PubMed wurden Originalarbeiten, Metaanalysen, Übersichtsartikel und Fallberichte ausgewählt, die den aktuellen Wissensstand zur Bildgebung von COVID-19, insbesondere zum Erscheinungsbild pulmonaler wie extrapulmonaler Manifestationen sowie zur Indikation bildgebender Unter-

suchungen, wiedergeben. Diese Informationen wurden in der vorliegenden Übersichtsarbeit zusammengefasst und in grundlegende pathophysiologische Zusammenhänge eingeordnet.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen Typische Zeichen einer COVID-19-Pneumonie sind multifokale, meist bilaterale, rundliche bzw. polyzyklische, teilweise auch landkartenartig konfluierende Milchglasareale und/oder Konsolidierungen in vorwiegend peripherer Verteilung; in schwereren Fällen sind zusätzlich auch peribronchovaskuläre Lungenabschnitte betroffen. Weitere typische Zeichen sind ein „Crazy Paving“-Muster, seltener auch ein Halo oder Reversed Halo. Venöse Thromboembolien (u. a. Lungenarterienembolien) sind die häufigsten vaskulären Komplikationen von COVID-19, aber auch arterielle thromboembolische Ereignisse wie ischämische Schlaganfälle, Myokardinfarkte und systemische arterielle Embolien treten vermehrt auf. Die häufigsten extrapulmonalen Organmanifestationen von COVID-19 betreffen das Gehirn, das Herz, das hepatobiliäre System sowie den Gastrointestinaltrakt und sind häufig ebenfalls bildmorphologisch zu erkennen. Die größte Rolle bei der bildgebenden Diagnostik von COVID-19 spielt das Thorax-CT. Sein Wert liegt weniger in der primären Diagnosestellung als in der differenzialdiagnostischen Abgrenzung, Einschätzung des Schweregrades sowie Detektion von Begleiterkrankungen und Komplikationen.

Kernaussagen:

- Typische Zeichen einer COVID-19-Pneumonie sind multifokale, vorwiegend periphere Milchglasareale und/oder Konsolidierungen.
- Bildgebung dient der differenzialdiagnostischen Abgrenzung, Einschätzung des Schweregrades und Detektion von Komplikationen.
- Venöse Thromboembolien, insbesondere Lungenarterienembolien, sind die häufigsten vaskulären Komplikationen von COVID-19.
- Arterielle Thromboembolien wie ischämische Schlaganfälle oder Myokardinfarkte treten ebenfalls vermehrt auf.
- Extrapulmonal betrifft COVID-19 am häufigsten Gehirn, Herz, hepatobiliäres System und Gastrointestinaltrakt.

Zitierweise

- Gross A, Albrecht T. One year of COVID-19 pandemic: what we Radiologists have learned about imaging. *Fortschr Röntgenstr* 2022; 194: 141–151

ABSTRACT

Background Since its outbreak in December 2019, Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) has infected more than 151 million people worldwide. More than 3.1 million have died from Coronavirus Disease 2019 (COVID-19), the illness caused by SARS-CoV-2. The virus affects mainly the upper respiratory tract and the lungs causing pneumonias of varying severity. Moreover, via direct and indirect pathogenetic mechanisms, SARS-CoV-2 may lead to a variety of extrapulmonary as well as vascular manifestations. **Methods** Based on a systematic literature search via PubMed, original research articles, meta-analyses, reviews, and case reports representing the current scientific knowledge regarding diagnostic imaging of COVID-19 were selected. Focusing on the imaging appearance of pulmonary and extrapulmonary manifestations as well as indications for imaging, these data were summarized in the present review

article and correlated with basic pathophysiologic mechanisms.

Results and Conclusion Typical signs of COVID-19 pneumonia are multifocal, mostly bilateral, rounded, polycyclic or geographic ground-glass opacities and/or consolidations with mainly peripheral distribution. In severe cases, peribronchovascular lung zones are affected as well. Other typical signs are the “crazy paving” pattern and the halo and reversed halo (the latter two being less common). Venous thromboembolism (and pulmonary embolism in particular) is the most frequent vascular complication of COVID-19. However, arterial thromboembolic events like ischemic strokes, myocardial infarctions, and systemic arterial emboli also occur at higher rates. The most frequent extrapulmonary organ manifestations of COVID-19 affect the central nervous system, the heart, the hepatobiliary system, and the gastrointestinal tract. Usually, they can be visualized in imaging studies as well. The most important imaging modality for COVID-19 is chest CT. Its main purpose is not to make the primary diagnosis, but to differentiate COVID-19 from other (pulmonary) pathologies, to estimate disease severity, and to detect concomitant diseases and complications.

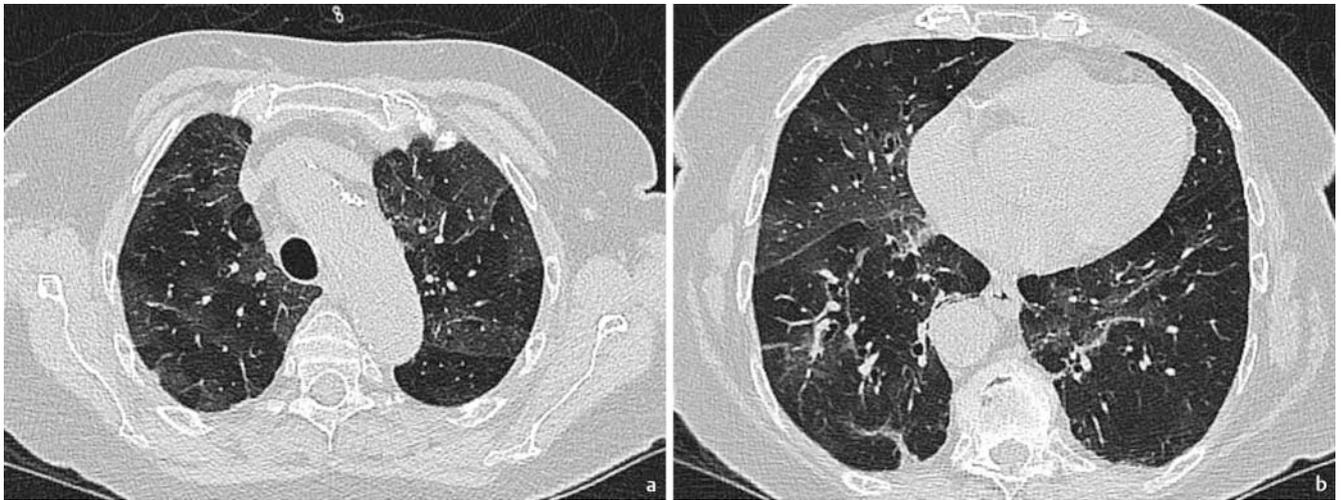
Einleitung

Mehr als ein Jahr nach dem Auftreten des ersten Falls in Deutschland am 28.01.2020 ist COVID-19 (Coronavirus disease 2019) aktueller denn je: Seit dem Ausbruch der Erkrankung in Wuhan (Provinz Hubei, China) im Dezember 2019 haben sich (Stand 02.05.2021) weltweit insgesamt über 151 Millionen Menschen nachweislich mit SARS-CoV-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2), dem Erreger von COVID-19, infiziert. Über 3,1 Millionen Menschen starben an oder mit der Erkrankung [1]. In Deutschland wurden bisher (Stand 02.05.2021) mehr als 3,4 Millionen Infektionen und über 83 000 Todesfälle erfasst; 88 % der Verstorbenen waren über 70 Jahre alt [2]. Parallel dazu erschienen über 129 000 Fachartikel zu unterschiedlichsten – auch radiologischen – Aspekten der Erkrankung (PubMed-Suche nach „COVID-19“ vom 02.05.2021). Neben den dominierenden pulmonalen Veränderungen rücken dabei zunehmend auch systemische Komplikationen und Manifestationen in verschiedenen weiteren Organsystemen ins Interesse der Wissenschaft.

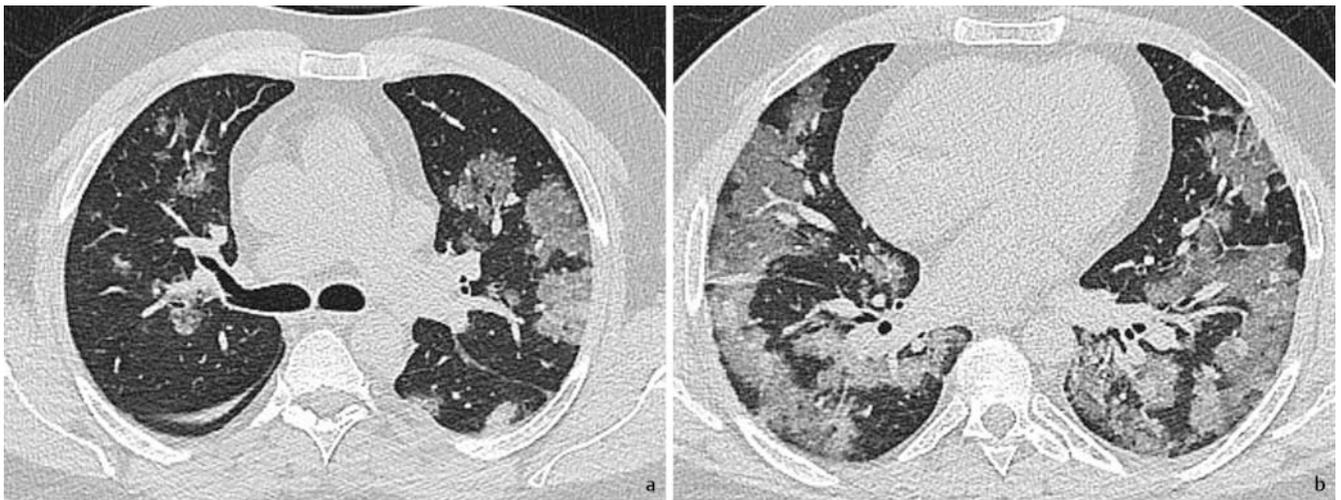
Pathophysiologie und Klinik

SARS-CoV-2 ist ein behülltes einzelsträngiges (Positivstrang-) RNA-Virus, das in erster Linie aerogen durch das Einatmen virushaltiger Partikel, die u. a. beim Atmen, Husten und Sprechen entstehen, in geringerem Maße auch durch direkten Kontakt, übertragen wird [3, 4]. Die häufigsten Symptome sind Fieber (80,4 %), Husten (63,1 %), Abgeschlagenheit (46 %), Auswurf (41,8 %), Appetitlosigkeit (38,8 %), Engegefühl in der Brust (35,7 %), Kurzatmigkeit (35 %), Dyspnoe (33,9 %) und Muskelschmerzen (33 %) [5]. Auch Störungen des Geruchs- und

Geschmackssinns wurden häufig beschrieben [6]. Das Hauptzielorgan des Virus ist neben den oberen Atemwegen die Lunge, wo es bei etwa 2–3 % der Infizierten eine Pneumonie mit der Notwendigkeit einer stationären Behandlung auslöst [7, 8]. Dieser Organotropismus ist u. a. durch die hohe Expression des Angiotensin-Converting Enzyme 2 (ACE2) -Rezeptors auf Alveolarepithelzellen zu erklären: Unter Beteiligung der zellulären Serin-Protease TMPRSS und anderer Proteasen bindet SARS-CoV-2 mithilfe seines Spike-Proteins an den ACE2-Rezeptor und wird daraufhin in die Wirtszellen eingeschleust [9]. Neben den Lungen sind weitere Organsysteme in unterschiedlicher Häufigkeit und Schwere betroffen, unter anderem das Gefäßsystem, das Herz, das Nervensystem, der Gastrointestinaltrakt, das hepatobiliäre System und die Nieren [9]. Zum Teil sind diese Krankheitsmanifestationen direkter viraler Toxizität zuzuschreiben: Virale RNA wurde in den genannten Organen ebenso nachgewiesen wie eine Koexpression von ACE2 und TMPRSS2 [9]. Eine Schädigung von Endothelzellen mit resultierender Inflammation und Entstehung eines prothrombotischen Milieus scheint ein weiterer wichtiger Baustein in der Pathogenese von COVID-19 zu sein: Die Expression von ACE2 wurde in arteriellen und venösen Endothelzellen zahlreicher Organe nachgewiesen, und histopathologische Studien zeigten Mikrothromben in kleinen Gefäßen, u. a. der Lunge [9, 10]. Eine Dysregulation der Immunantwort mit überschießender Zytokin-freisetzung („Zytokinsturm“) ist ein weiteres pathophysiologisches Charakteristikum einer schweren COVID-19-Erkrankung [9]. Nicht zuletzt spielt auch eine Störung des Renin-Angiotensin-Aldosteron-Systems eine pathogenetische Rolle [9]. Der Anteil dieser einzelnen Mechanismen an der gesamten Pathophysiologie von COVID-19 ist noch nicht ausreichend geklärt. Bei schweren Verläufen kommen zudem allgemeine pathophysiologische



► **Abb. 1** COVID-19-Pneumonie in geringer Ausprägung. 83-jährige Patientin, ca. 24 Stunden nach Symptombeginn: trockener Husten, Schwäche, Zittern. Periphere Sauerstoffsättigung unter Raumluft 87 %, Atemfrequenz 15/min. SARS-CoV-2-RT-PCR aus Nasenabstrich vom selben Tag positiv. Das CT zeigt eine dezente, fleckige bzw. landkartenartige, periphere und perifissurale Milchglasstrübung beidseits in allen Lappen – typisches Bild einer COVID-19-Pneumonie in geringer Ausprägung.



► **Abb. 2** COVID-19-Pneumonie in mäßiger Ausprägung. 36-jähriger Patient mit nachgewiesener SARS-CoV-2-Infektion, 5 Tage nach Symptombeginn: progredienter Husten und intermittierendes Fieber. Periphere Sauerstoffsättigung unter Raumluft 94 %, Atemfrequenz 22/min. Das CT zeigt ausgedehnte, multifokale, bilaterale, rundliche bis landkartenartig konfluierende Milchglasareale, betont in den basalen Lungenabschnitten. Ein schmaler, unmittelbar subpleuraler Saum ist in den Unterlappen beidseits ausgespart.

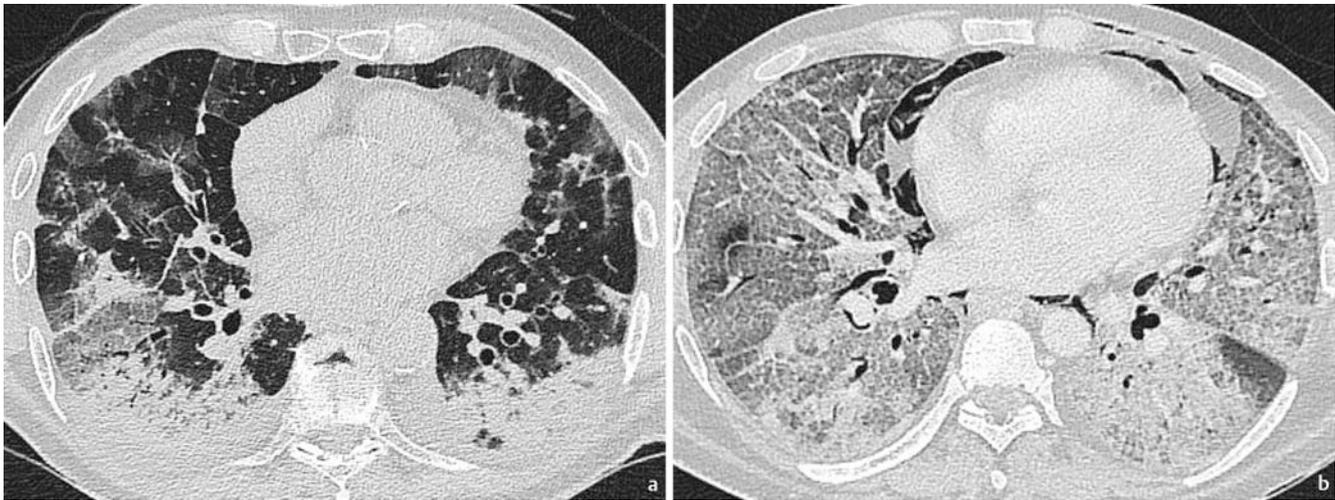
Prozesse eines systemischen Infektions- und Entzündungsgeschehens einschließlich Veränderungen des Gerinnungssystems hinzu [9].

Pulmonale Manifestationen

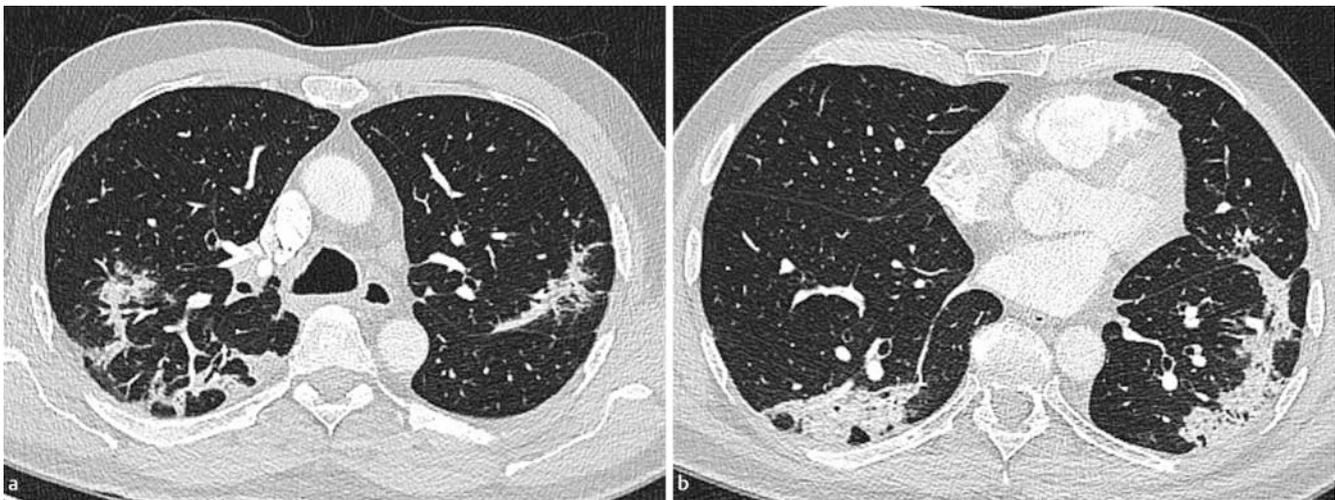
COVID-19-Pneumonie im CT

Typische Zeichen einer COVID-19-Pneumonie sind rundliche bzw. polyzyklische, teilweise auch landkartenartig konfluierende Milchglasareale und/oder Konsolidierungen in peripherer (subpleuraler und perifissuraler) bzw. peripherer und peribronchovaskulärer Verteilung. Ein schmaler, unmittelbar subpleuraler Streifen kann

ausgespart bleiben (► **Abb. 1–4**) [11–13]. Das Verhältnis zwischen Milchglas und Konsolidierungen ist variabel und reicht von Ausprägungen mit ausschließlich Milchglas bis hin zu ausschließlich Konsolidierungen [11–13]. Zu Beginn der Pneumonie dominiert meist das Milchglas, mit Fortschreiten der Erkrankung nehmen die konsolidierten Anteile zu [14–18]. Bei länger bestehender Pneumonie nehmen die Konsolidierungen oft streifige bis irreguläre Formen an (► **Abb. 4**). In der Rückbildungsphase überwiegen zunehmend wieder Milchglasareale [14–18]. In der Regel manifestiert sich die COVID-19-Pneumonie multifokal, meist sind sämtliche Lappen beidseits betroffen. Häufig – aber nicht zwingend – ist eine Häufung der Veränderungen in den dorsalen und basalen Lungenabschnitten zu beobachten [11–13]. Weitere,



► **Abb. 3** COVID-19-Pneumonien in schwerer Ausprägung. **a** Intensivpflichtiger 80-jähriger Patient unter High-Flow-Sauerstofftherapie, 13 Tage nach Symptombeginn. Kombination von multifokalen, bilateralen, peripheren Milchglastrübungen mit angedeutetem Crazy Paving und Konsolidierungen, betont dorsobasal in den Unterlappen beidseits. Nebenbefundlich Bronchiektasen in den Unterlappen beidseits, minimaler Pleuraerguss links. **b** Intensivpflichtiger 33-jähriger Patient unter High-Flow-Sauerstofftherapie, 10 Tage nach Symptombeginn. Periphere Sauerstoffsättigung unter 10 l O₂/min 83 %, Atemfrequenz 28/min. Ausgedehnte flächige, periphere und zentrale Lungenanteile umfassende Milchglasareale mit Crazy Paving in allen Lappen beidseits, betont basal. In den Unterlappen beidseits zudem mäßige Konsolidierungen. Mediastinalemphysem.



► **Abb. 4** Abgelaufene COVID-19-Pneumonie. 65-jähriger Patient, 3 Wochen nach Abklingen einer ambulant behandelten, mittelschweren COVID-19-Pneumonie. Multifokale, teils strangartige, bogig verlaufende, teils fleckige Konsolidierungen beidseits, betont in den dorsalen Lungenabschnitten.

weniger häufige, aber dafür sehr typische Veränderungen sind retikuläre Verdichtungen, die in Kombination mit Milchglaszeichnung zu einem „Crazy Paving“-Muster führen (► **Abb. 3**); außerdem finden sich Halo- und umgekehrtes Halo-Zeichen („reversed halo“ – Milchglas umgeben von ringförmiger Konsolidierung) sowie eine dezente Erweiterung der Gefäße in den betroffenen Lungenarealen [11–13, 19]. Vereinzelt wurden auch das „ring of fire sign“ (periphere ringförmige Verschattung, bestehend aus Konsolidierung und Milchglas, um normal transparentes Lungparenchym) und das „target sign“ (ringförmige Konsolidierung um regelrecht transparentes Lungparenchym mit zentraler punktförmiger Verschattung, an eine Schießscheibe erinnernd) als spezifische bildgebende Befunde beschrieben [20–22].

Untypisch für eine COVID-19-Pneumonie sind singuläre Läsionen, eine ausschließlich peribronchovaskuläre Verteilung der Veränderungen sowie das Auftreten von Rundherden oder Kavitäten [11–13]. Pleuraergüsse und eine begleitende Lymphadenopathie sind selten; bei prothrahierten, schweren Verläufen treten sie etwas häufiger auf und weisen unter Umständen auf eine mögliche Begleitpathologie oder Komplikation (siehe unten) hin [11–13].

Die Schwere der Erkrankung korreliert in gewissem Maß mit der Ausdehnung der pulmonalen Veränderungen im CT [23]. In 10,6 % der symptomatischen COVID-19-Patienten ist das CT-Thorax jedoch unauffällig, insbesondere in den ersten Tagen der Erkrankung [11, 15]. Andererseits ließen sich in 54 % asympto-

matischer, SARS-CoV-2-positiver Patienten typische Lungenv Veränderungen im CT nachweisen [24].

Pulmonale Begleitpathologien wie ein Lungenemphysem, interstitielle Lungenerkrankungen, fibrotische Veränderungen oder ein stauungsbedingtes Lungenödem erschweren die Detektion COVID-19-typischer Veränderungen ebenso wie die differenzialdiagnostische Abgrenzung gegenüber anderen (z. B. bakteriellen oder viralen) Formen der Pneumonie [11, 25, 26]. Auch Komplikationen einer COVID-19-Pneumonie wie eine bakterielle Superinfektion (bei 10 % der hospitalisierten Patienten), ein Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS), Lungeninfarkte (infolge einer Lungenarterienembolie, siehe unten) oder eine kardiale Dekompensation infolge COVID-19 sind teilweise nur schwer von unmittelbar durch SARS-CoV-2 verursachten pulmonalen Veränderungen zu unterscheiden [11, 25, 26].

COVID-19-Pneumonie im Röntgen-Thorax

Die beschriebenen CT-morphologischen Veränderungen lassen sich entsprechend auch im Röntgen-Thorax abgrenzen [12, 27]. Die Sensitivität ist in frühen Krankheitsstadien geringer (in den ersten 2 Tagen nach Symptombeginn um 55 %) als die des CTs (88 %, im Durchschnitt an Tag 4 nach Symptombeginn durchgeführt), verbessert sich aber bei Voranschreiten der Erkrankung auf bis zu 79 % (mehr als 11 Tage nach Symptombeginn) bei gleichzeitig sinkender Spezifität (von 83 % auf 70 %; $p = 0,02$). Auch die Wiederholung des Röntgen-Thorax steigert seine Sensitivität von 73 % auf 83 %, reduziert aber die Spezifität von 80 % auf 73 % [28, 29]. Das Auftreten multifokaler (bilateraler), vorwiegend peripher lokalisierter Infiltrate sollte in jedem Fall an eine COVID-19-Pneumonie denken lassen und eine entsprechende Abklärung anstoßen, während Pleuraergüsse, Kavitäten oder ein Pneumothorax eine COVID-19-Pneumonie weniger wahrscheinlich machen. Treten die zuletzt genannten Veränderungen bei Patienten mit gesicherter COVID-19-Pneumonie auf, weisen sie auf Komplikationen hin [30–32].

COVID-19-Pneumonie im thorakalen Ultraschall

Der Ultraschall spielt vorwiegend eine Rolle bei der Untersuchung intensivpflichtiger Patienten am Patientenbett [12, 33, 34]. Über B-Linien-Artefakte, irreguläre Pleuraverdickungen und subpleurale Konsolidierungen kann auf Vorhandensein und Ausdehnung einer Pneumonie rückgeschlossen werden [33, 35]. B-Linien-Artefakte sind vertikal zur Lungenoberfläche orientierte, sich dynamisch mit den Lungenbewegungen verändernde, echoriche Artefakte, die von der Pleura oder den konsolidierten Lungenanteilen ausgehen und an „Lichtstrahlen“ oder „Kometenschweife“ erinnern [35, 36]. Sie korrespondieren mit der Ansammlung von Flüssigkeit im Lungeninterstitium und den Alveolen und sind daher geeignet, auch frühe Formen einer COVID-19-Pneumonie nachzuweisen [33, 35]. Die Spezifität dieser Zeichen ist jedoch eingeschränkt [34, 37].

Indikationen zur thorakalen Bildgebung

Die Indikationen zur thorakalen Bildgebung (Röntgen oder CT-Thorax) bei COVID-19 sind nach wie vor Gegenstand wissenschaftlicher Diskussion. Der Strahlenexposition der Patienten,

dem Risiko einer Erregerübertragung auf medizinisches Personal und andere Patienten im Rahmen der Untersuchung sowie der Bindung von personellen, räumlichen, diagnostischen und materiellen Ressourcen (z. B. persönliche Schutzausrüstung) steht ein medizinischer Erkenntnisgewinn mit potenzieller therapeutischer Konsequenz gegenüber [38]. Dieser Erkenntnisgewinn besteht aus mehreren Aspekten:

1. Diagnosestellung: Frühe Veröffentlichungen zur diagnostischen Leistungsfähigkeit des Thorax-CTs zeigen eine gepoolte Sensitivität von 94,6 % (95 %-KI 91,9–96,4 %) und eine gepoolte Spezifität von 46,0 % (95 %-KI 31,9–60,7 %) bei der Detektion von COVID-19. Spätere Arbeiten mit bis zu 4824 Patienten erreichen – meist unter Verwendung strukturierter Befundung (siehe unten) – höhere Spezifitäten zwischen 73 und 94 % bei annähernd gleicher Sensitivität (zwischen 86 und 90 %), bezogen auf Ergebnisse der Reverse-Transkriptase-Polymerase-Kettenreaktion (RT-PCR) als diagnostischen Referenzstandard [13, 39–43]. Bei Verwendung eines aus RT-PCR-Ergebnissen und klinischer Einschätzung zusammengesetzten Referenzstandards lag die Sensitivität des Thorax-CTs bei 94,7 % und die Spezifität bei 91,4 % [44]. Ein suggestives Bild im CT führt nicht selten zur erneuten RT-PCR-Testung initial (falsch) SARS-CoV-2-negativer Patienten, die sich dann als positiv herausstellen [39, 43, 45, 46]. Ein sicherer Ausschluss von COVID-19 gelingt – insbesondere bei asymptomatischen Patienten – im Thorax-CT nicht, was seinen Einsatz als Screening-Untersuchung ungeeignet erscheinen lässt [11, 41, 47].
2. Abgrenzung gegenüber Alternativdiagnosen und Erkennen begleitender Pathologien: Thorakale Bildgebung ermöglicht ein rasches Erkennen zusätzlich oder alternativ vorliegender pulmonaler Pathologien wie bakterieller Pneumonien, dekompensierter Herzinsuffizienz, Lungenarterienembolien oder Tuberkulose – Erkrankungen, die eine spezifische Therapie erfordern und deren rasche Diagnose (vor dem Vorliegen eines negativen RT-PCR-Ergebnisses) daher nicht nur die Besserung der Patienten beschleunigt, sondern auch ihre Aufenthaltsdauer in Rettungsstelle, Krankenhaus und Intensivstation verkürzt [38, 39].
3. Detektion von Komplikationen: Thorakale Bildgebung – insbesondere die CT – ermöglicht die Detektion pulmonaler Komplikationen (bakterielle Superinfektion, ARDS, Lungeninfarkt, kardiale Dekompensation, siehe oben) wie auch vaskulärer und extrapulmonaler Manifestationen von COVID-19, allen voran von Lungenarterienembolien (siehe unten) [25, 38].
4. Einschätzung des Schweregrades, Grundlage für Verlaufsuntersuchungen und prognostische Aussage: Bildgebende Informationen zu pulmonalen Vor- bzw. Begleiterkrankungen sowie zur Ausdehnung COVID-19-assoziiertes pulmonaler Veränderungen sind bei der Abschätzung des Schweregrades von COVID-19 hilfreich, erleichtern die Beurteilung von Verlaufsuntersuchungen und können mit zur prognostischen Einordnung herangezogen werden [25, 38, 48]. Standardisierte Scores ermöglichen die Objektivierung des bildmorphologischen Schweregrades, haben sich in der Praxis aber bisher nicht durchgesetzt [23, 48, 49]. Die Anwendung automatisierter Prädiktionsalgorithmen zu Diagnose und Prognose von

COVID-19 wird aktuell in der klinischen Routine nicht empfohlen [23, 49, 50].

Nationale und internationale Fachgesellschaften einschließlich der AG Thoraxdiagnostik der Deutschen Röntgengesellschaft sowie der Fleischner Society empfehlen thorakale Bildgebung weder als Screening-Test für asymptomatische Personen noch als Routinediagnostik für Patienten mit geringen COVID-19-typischen Symptomen (außer bei erhöhtem Risiko für ein rasches Voranschreiten der Erkrankung): Hier ist bei ausreichender und schneller Verfügbarkeit eindeutig der RT-PCR der Vorzug zu geben [34, 38, 51–53]. Allerdings war diese in verschiedenen Phasen der Pandemie nicht immer und überall gegeben – bis zum Vorliegen eines Ergebnisses vergingen nicht selten mehrere Tage. Ein typisches CT ermöglicht in solchen Situationen eine quasi sofortige vorläufige Diagnose und den Ausschluss anderer Differenzialdiagnosen mit entsprechenden Implikationen u. a. für die Isolierung der Patienten [38, 53].

Empfohlen wird eine thorakale Bildgebung bei mäßig bis schwer betroffenen Patienten mit COVID-19-typischen Symptomen (unabhängig vom Vorliegen eines RT-PCR- Testergebnisses), bei einer Verschlechterung der respiratorischen Situation SARS-CoV-2-positiver Patienten sowie bei Diskrepanz zwischen negativem RT-PCR-Test und hochgradigem klinischem Verdacht auf COVID-19 [38, 51–53].

Während sich die genannten Empfehlungen der nationalen Fachgesellschaften in erster Linie auf die Verwendung der Thorax-CT beziehen, lassen die Konsensuserklärung der Fleischner Society und die Empfehlungen der WHO offen, welche Modalität für die Thoraxbildgebung gewählt wird [34, 38, 51–53]. Die CT verfügt – insbesondere in frühen Krankheitsphasen – über eine höhere Sensitivität bei der Erkennung charakteristischer pulmonaler Veränderungen, sie ist zudem bei der Detektion von Alternativdiagnosen und Komplikationen überlegen. Durch die frühere und präzisere Diagnosefindung lässt sich potenziell die Aufenthaltsdauer der Patienten in den entsprechenden Funktionsbereichen, in der Rettungsstelle und in der Klinik verkürzen und somit auch das Risiko einer Erregerübertragung reduzieren [38]. Der Röntgen-Thorax ist hingegen in den meisten Fällen schneller verfügbar und mit einer geringeren Strahlenexposition verbunden; bei Verwendung mobiler Röntgengeräte lassen sich zudem Patiententransporte vermeiden und entsprechend das Infektionsrisiko senken [38]. Bei wiederholten Untersuchungen und fortgeschrittenen Krankheitsstadien nähert sich die Sensitivität des Röntgen-Thorax der der CT (siehe oben) [28, 29]. Letztlich hängt die Entscheidung zwischen Röntgen und CT als primärer Bildgebung für COVID-19-Patienten auch von der lokalen Situation und Expertise, individuellen patientenbezogenen Faktoren sowie der epidemiologischen Situation ab [38, 54, 55]. In der Erfahrung der Autoren hat sich bei entsprechender Indikation der frühe Einsatz des Thorax-CTs bewährt.

CT-Untersuchungstechnik

Thorax-CT-Untersuchungen zur Abklärung von COVID-19 sollten nativ und in Niedrigdosis-Technik durchgeführt werden – es sei

denn, die Frage nach Differenzialdiagnosen (z. B. einer Lungenarterienembolie) erfordert eine Kontrastmittelgabe [51, 53].

Strukturierte Befundung

Strukturierte Befundung ermöglicht eine einfache, prägnante Befundkommunikation, die zu einer klaren Diagnosestellung beiträgt und somit die Therapieplanung erleichtert [56, 57].

Zur Befundung von Thorax-CTs mit der Frage nach COVID-19 schlägt die Radiological Society of North America (RSNA) ein 4-Kategorien-System (typisch – indifferent – untypisch – keine Pneumonie) vor, dem sich die Deutsche Röntgengesellschaft (DRG) in ähnlicher Form angeschlossen hat [51, 58]. Das System zeigte in 2 Studien eine mäßige bis erhebliche Übereinstimmung zwischen verschiedenen Befundern, allerdings wurde ein nicht unerheblicher Anteil SARS-CoV-2-positiver Patienten in die Kategorien „atypisch“ und „keine Pneumonie“ eingeordnet [59, 60].

Eine Alternative stellt das von der Niederländischen Röntgengesellschaft (Nederlandse Vereniging voor Radiologie) entwickelte CO-RADS (COVID-19 Reporting and Data System) dar. Auf einer 5-Punkte-Skala, die sich an bestehenden „RADS“ wie BI-RADS orientiert, drückt es die Wahrscheinlichkeit einer COVID-19-Pneumonie auf einer Skala von 1 (sehr unwahrscheinlich) bis 5 (sehr wahrscheinlich) aus. Die CO-RADS-Kategorie 6 steht für eine bereits mittels RT-PCR gesicherte SARS-CoV-2-Infektion, die CO-RADS-Kategorie 0 für unvollständige oder qualitativ insuffiziente Bildinformationen [13, 61]. Verschiedene Gruppen erreichten bei der Diagnose von COVID-19 unter Anwendung von CO-RADS eine Sensitivität zwischen 86 und 95 % und eine Spezifität zwischen 73 und 94 % [13, 39–41, 44].

Nach den Erfahrungen der Autoren ist CO-RADS in der klinischen Routine ausgesprochen nützlich, da es eine klare und intuitiv verständliche Skala mit ansteigender Wahrscheinlichkeit für eine COVID-19-Pneumonie benutzt und sich bei den zuweisenden Kolleginnen und Kollegen einer hohen Akzeptanz erfreut.

Extrapulmonale Manifestationen

Vaskulär (thromboembolisch)

Patienten mit COVID-19 haben ein erhöhtes Risiko thromboembolischer Komplikation wie tiefe Venenthrombosen (TVT) und Lungenarterienembolien (LAE), aber auch arterielle Ereignisse wie ischämische Schlaganfälle, Myokardinfarkte und systemische arterielle Embolien [9, 12, 62].

Daten zur Häufigkeit von TVT und LAE sind relativ heterogen und teilweise widersprüchlich hinsichtlich der Frage, ob intensivpflichtige Patienten vermehrt betroffen sind [62]. Eine aktuelle Metaanalyse zeigt in 16 507 Patienten mit COVID-19 eine Prävalenz venöser Thromboembolien von 14,7 % (95 %-KI 12,1–17,6 %); LAE traten in 7,8 % (95 %-KI 6,2–9,4 %) und TVT in 11,2 % (95 %-KI 8,4–14,3 %) der Patienten auf [62]. Venöse Thromboembolien waren signifikant häufiger bei intensivpflichtigen im Vergleich zu nichtintensivpflichtigen Patienten (23,2 %, 95 %-KI 17,5–29,6 % versus 9,0 %, 95 %-KI 6,9–11,4 %; $p < 0,0001$) und bei Studien mit systematischem Screening im Vergleich zu Studien, in denen nur

symptomatische Patienten untersucht wurden (25,2 % versus 12,7 %; $p = 0,04$) [62].

Ischämische Schlaganfälle treten aktuellen Metaanalysen zufolge bei 1,1–1,6 % der SARS-CoV-2-positiven Patienten auf, das Risiko ist gegenüber nichtinfizierten Vergleichspatienten erhöht [62, 63]. In den meisten Fällen wurden diese Schlaganfälle als kryptogen klassifiziert – wobei einschränkend hinzugefügt werden muss, dass häufig keine vollständige diagnostische Aufarbeitung erfolgt war [63, 64]. Insbesondere die Möglichkeit paradoxer Embolien infolge eines persistierenden Foramen ovale wurde häufig nicht ausreichend geklärt, ist aber vor dem Hintergrund der bei COVID-19 vermehrten venösen Thromboembolien von besonderem Interesse [65]. Neben der überschießenden Gerinnung sind u. a. auch vaskulitische Prozesse und eine SARS-CoV-2-induzierte Kardiomyopathie an der Pathogenese COVID-19-assoziiertes ischämischer Schlaganfälle beteiligt [66].

Akute Myokardinfarkte bzw. ein akutes Koronarsyndrom treten einer aktuellen Metaanalyse zufolge bei 1,1 % der Patienten mit COVID-19 auf [62]. Das Risiko scheint während der Erkrankung erhöht [67]. Ein (zumindest partieller) spezifischer pathogenetischer Zusammenhang mit der SARS-CoV-2-Infektion ist aufgrund von Erfahrungen mit anderen Viruserkrankungen wie SARS und Influenza sowie aufgrund der systemischen prothrombotischen und hyperinflammatorischen Veränderungen zu vermuten [67, 68].

Zu akuten mesenterialen Ischämien bei COVID-19 liegt eine Reihe von Fallberichten vor [69]. In einer Studie mit 412 SARS-CoV-2-positiven Patienten zeigten 31 % der durchgeführten CTs Darmwandveränderungen (meist im Sinne einer Darmwandverdickung) und 20 % der CTs intensivpflichtiger Patienten eine Pneumatis intestinalis bzw. Gaseinschlüsse im portalvenösen System [70]. Obwohl bei keinem dieser Patienten ein arterieller Gefäßverschluss bildgebend nachgewiesen werden konnte, bestätigte sich intraoperativ bzw. histologisch eine ischämische Ursache in der Mehrzahl der Fälle – möglicherweise sind hier Verschlüsse kleiner Gefäße, eine nichtokklusive Ischämie und zusätzliche direkt virus-toxische Effekte pathophysiologisch beteiligt [70]. In einer weiteren Arbeit mit 141 SARS-CoV-2-positiven Patienten wiesen 80 (57 %) Auffälligkeiten im Abdomen-CT auf, davon 14 (18 % der auffälligen CTs) Organinfarkte und Gefäßverschlüsse, aber keine eindeutigen Fälle mesenterialer Ischämie [71].

Mehrere Veröffentlichungen berichten von akuter Extremitätenischämie bei Patienten mit laborchemisch gesicherter COVID-19-Erkrankung [72]. Auffällig ist, dass viele dieser Patienten zuvor nicht an einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit litten und die Extremitätenischämie trotz Thromboseprophylaxe auftrat [72]. Einzelne Autoren berichten zudem von einer höheren Inzidenz bzw. schwereren Ausprägung akuter Extremitätenischämien während der COVID-19-Pandemie im Vergleich zum entsprechenden Zeitraum im Vorjahr [73, 74].

Extrapulmonale Organmanifestationen

SARS-CoV-2 kann verschiedenste weitere Organe befallen und dort zu – bildgebend meist unspezifischen – Veränderungen führen. Zwischen 34 und 56 % der Patienten mit akuter oder subakuter COVID-19-Erkrankung, die eine zerebrale Bildgebung erhielten, zeigten darin Auffälligkeiten [75, 76]. Am häufigsten waren

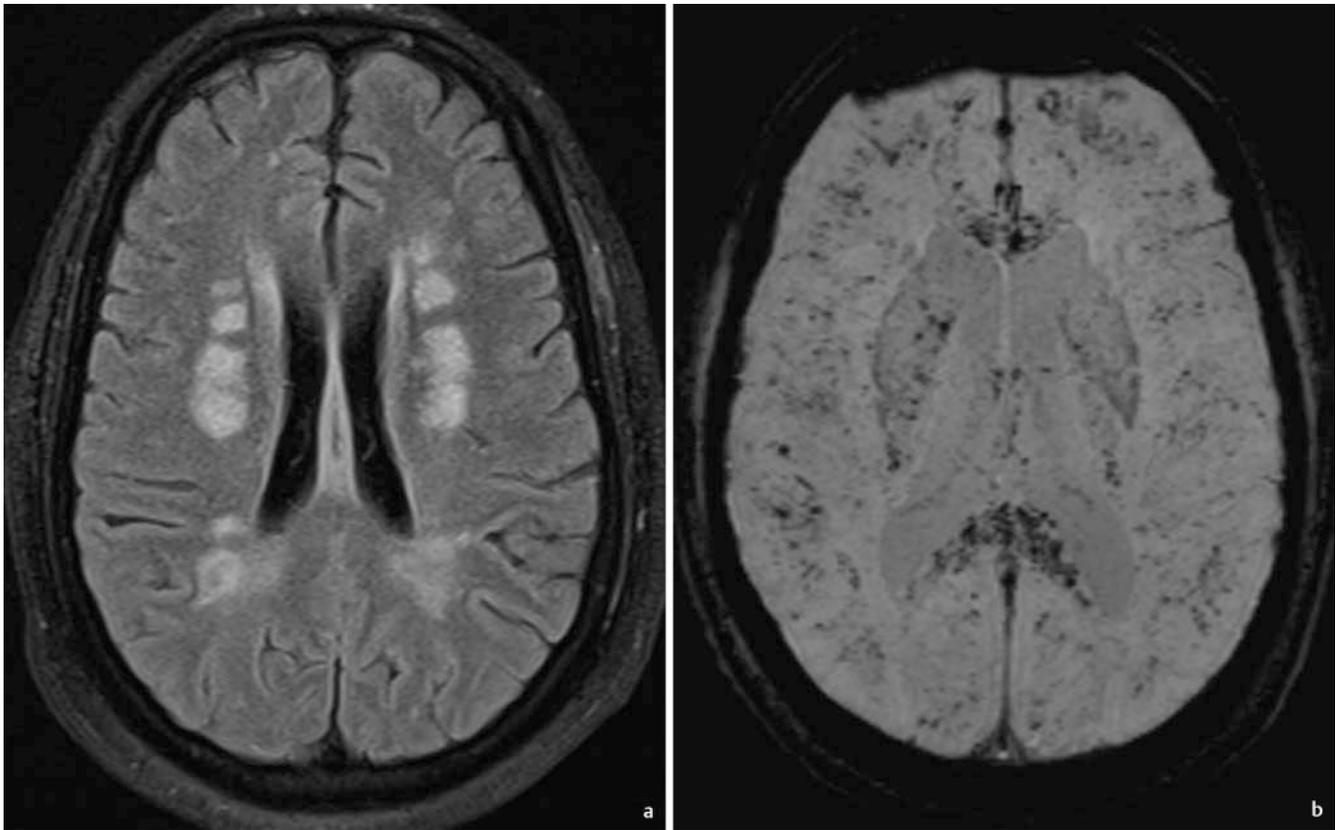
ischämische Schlaganfälle (siehe oben) [76, 77]. Weitere häufige Bildbefunde waren 1) Signalveränderungen im medialen Temporalappen als Ausdruck einer Enzephalitis, 2) multifokale, nicht-konfluierende, in Fluid-Attenuated Inversion Recovery- (FLAIR-) und diffusionsgewichteten Sequenzen hyperintense Marklagerläsionen mit variabler Kontrastmittelanreicherung und möglichen assoziierten Hämorrhagien (ähnlich einer akuten disseminierten Enzephalomyelitis, ► **Abb. 5a** sowie 3) ausgedehnte umschriebene Mikrohämorrhagien im Marklager (► **Abb. 5b**) [78]. Auch flächig-konfluierende FLAIR-Signalanhebungen des Marklagers ohne assoziierte Hämorrhagien sowie eine leptomeningeale Kontrastmittelanreicherung wurden beschrieben [75, 76, 78].

Myokardiale Manifestationen tragen zu schweren Verläufen von COVID-19 und zur Mortalität der Erkrankung bei, insbesondere bei Patienten mit kardialen Vorerkrankungen [9, 79, 80]. Neben ischämischen (siehe oben) scheinen inflammatorische Prozesse dabei eine entscheidende Rolle zu spielen [9, 68, 81]. In einer 26 Studien mit insgesamt 11 685 Patienten umfassenden Metaanalyse lag die gewichtete gepoolte Prävalenz einer myokardialen Schädigung bei 20 % (95 %-KI 17–23 %), in den einzelnen Studien schwankte die Prävalenz zwischen 5 und 38 % [82]. Mehrere Fallberichte zeigen eine akute Myokarditis in Patienten mit aktiver COVID-19-Erkrankung [82]. Bei stationär behandelten COVID-19-Patienten mit nicht anderweitig erklärbarer Troponinerhöhung ließen sich in 69 % der Fälle einen Monat nach Entlassung myokardiale Schäden in der kardialen Magnetresonanztomografie nachweisen [83]. In einer weiteren Arbeit zeigten sogar unselektierte Patienten, die sich von COVID-19 erholt hatten, etwa 70 Tage nach Genesung in der Magnetresonanzbildgebung noch Zeichen einer kardialen Beteiligung (78 %) oder einer aktiven myokardialen Entzündung (60 %) – unabhängig von Vorerkrankungen, Schwere des Krankheitsverlaufs und zeitlichem Abstand zur initialen Diagnosestellung [84].

Die Leber ist neben der Lunge das am häufigsten von COVID-19 betroffene Organ [85]. Die bildgebend sichtbaren Veränderungen sind aber meist nur subtil und unspezifisch, unter anderem weisen ein periportales Ödem und Heterogenität des Leberparenchyms auf eine SARS-CoV-2-induzierte Hepatitis hin [70, 71, 85]. Eine distendierte, mit Sludge gefüllte Gallenblase und erweiterte intrahepatische Gallenwege werden ebenfalls häufig beobachtet und deuten auf eine Gallenabflussstörung ohne mechanisches Abflusshindernis hin. Eine Cholezystitis kann die Folge sein [70, 71, 85]. Eine Steatosis hepatis gilt als unabhängiger Risikofaktor für einen schweren Verlauf von COVID-19 [85].

Eine Beteiligung des Gastrointestinaltrakts äußert sich in Form einer meist hypodensen Darmwandverdickung, die – sofern nicht ischämischen Ursprungs (siehe oben) – Ausdruck einer viralen Gastroenteritis ist [70, 85]. Sie ist üblicherweise auf ein submuköses Ödem zurückzuführen und teilweise begleitet von einer Mehranreicherung der Mukosa, einer mäßigen Distension und Flüssigkeitsfüllung der betroffenen Darmschlingen sowie entzündlichen Veränderungen im umgebenden Fettgewebe [70, 85].

Des Weiteren wurden – neben den bereits erwähnten Organinfarkten (siehe oben) – COVID-19-assoziierte Veränderungen des Pankreas (Bild einer Pankreatitis), der Nieren (Heterogenität, Verlust der kortikomedullären Differenzierung) und ableitenden Harnwege (diffuse Irregularität und Wandverdickung der Harnbla-



► **Abb. 5** Zerebrale Manifestationen von COVID-19. **a** Transversale FLAIR (Fluid Attenuated Inversion Recovery). Fleckige, nicht konfluierende Signalanhebungen des Marklagers als Korrelat entzündlich-demyelinisierender Läsionen (ähnlich einer akuten disseminierten Enzephalomyelitis, ADEM). **b** Transversale SWI (Susceptibility-Weighted Imaging). Ausgeprägte disseminierte Mikrohäorrhagien in der weißen Substanz einschließlich Corpus callosum. Beide Abbildungen (**a, b**) mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. H. Rolf Jäger, Neuroradiological Academic Unit, UCLQueen Square Institute of Neurology, London, UK.

se als Ausdruck einer interstitiellen oder hämorrhagischen Zystitis), der Milz (Splenomegalie), des muskuloskelettalen Systems, der Augen und der Haut beschrieben [85]. Eine detaillierte Darstellung dieser Veränderungen übersteigt den Rahmen dieses Übersichtsartikels; es sei an dieser Stelle auf entsprechende Spezialliteratur verwiesen.

COVID-19 bei Kindern

Kinder erkranken deutlich seltener an COVID-19 und weisen im Allgemeinen einen leichteren Krankheitsverlauf im Vergleich zu Erwachsenen auf [85, 86]. Dennoch wird etwa ein Drittel der hospitalisierten Kinder mit COVID-19 intensivpflichtig und vereinzelte Fälle verlaufen letal, insbesondere bei Kindern mit Vorerkrankungen [85, 86]. Zudem tritt bei Kindern in seltenen Fällen nach der akuten COVID-19-Erkrankung das sogenannte pädiatrische multisystemische Inflammationssyndrom (PIMS) auf – eine vermutlich autoimmunologisch vermittelte überschießende Entzündungsreaktion mit Parallelen zu einer atypischen Kawasaki-Erkrankung [85, 87]. Eine detaillierte Darstellung der pädiatrischen Aspekte von COVID-19 ist nicht Ziel dieser Arbeit; auch hier sei auf Spezialliteratur verwiesen.

Langzeitfolgen von COVID-19 („Long COVID“)

Zu den Langzeitfolgen von COVID-19 liegen bisher erst sehr wenig Daten vor. Etwa die Hälfte von 353 wegen COVID-19 hospitalisierten Patienten zeigte 6 Monate nach Entlassung noch Auffälligkeiten im Thorax-CT, meist Milchglastrübungen gefolgt von irregulären linearen Verdichtungen [88]. Eine andere Veröffentlichung beschreibt Fibrose-artige Veränderungen in 35% und residuelle Milchglastrübungen bzw. interstitielle Verdickungen in 27% von 114 Patienten 6 Monate nach schwerer COVID-19-Pneumonie [89]. Weitere Studien mit höheren Patientenzahlen und längeren Beobachtungszeiträumen werden nötig sein, um mögliche Spätfolgen von COVID-19 besser einschätzen zu können.

Risiko von COVID-19 für radiologisches Personal

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter radiologischer Einrichtungen haben ein erhöhtes Risiko, sich mit SARS-CoV-2 zu infizieren – ähnlich dem von Beschäftigten auf Intensiv- oder dedizierten COVID-19-Stationen [90]. Genauere Erläuterungen dieser Risiken und möglicher Schutzmaßnahmen müssen aufgrund des

begrenzten Rahmens dieser Übersichtsarbeit ebenfalls entsprechender Spezialliteratur vorbehalten bleiben.

Schlussfolgerung

COVID-19 führt zu typischen Befunden in der Lunge, die sich am besten im CT darstellen lassen. Der Wert radiologischer Diagnostik liegt – bei schnell verfügbaren RT-PCR-Testergebnissen – weniger in der primären Diagnosestellung als viel mehr in der differenzialdiagnostischen Abgrenzung gegenüber anderen Erkrankungen, Einordnung unklarer Fälle mit Diskrepanzen zwischen klinischem Verdacht und RT-PCR-Testergebnis, Abschätzung des Schweregrades sowie Detektion von Begleiterkrankungen und Komplikationen. Thromboembolische Ereignisse sind die häufigsten extrapulmonalen Komplikationen von COVID-19, allen voran venöse Thromboembolien, aber auch arterielle Gefäßverschlüsse mit resultierenden Infarkten in den entsprechenden Zielorganen. Die Kenntnisse weiterer extrapulmonaler Organmanifestationen sind hilfreich für das Management insbesondere schwer kranker Patienten mit protrahiertem Verlauf und Intensivpflichtigkeit. Mögliche Langzeitfolgen von COVID-19 sind erst in geringem Ausmaß bekannt und bedürfen noch einer längeren und ausführlicheren Beobachtung.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] World Health Organization (WHO). WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. Im Internet (Stand: 02.05.2021): <https://covid19.who.int>
- [2] Robert-Koch-Institut (RKI). Aktueller Lage-/Situationsbericht des RKI zu COVID-19. Im Internet (Stand: 02.05.2021): https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Situationsberichte/Gesamt.html
- [3] Cevik M, Kuppalli K, Kindrachuk J et al. Virology, transmission, and pathogenesis of SARS-CoV-2. *BMJ* 2020; 371: m3862 doi:10.1136/bmj.m3862
- [4] van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med* 2020; 382: 1564–1567. doi:10.1056/NEJMc2004973
- [5] Zhu J, Ji P, Pang J et al. Clinical characteristics of 3062 COVID-19 patients: A meta-analysis. *J Med Virol* 2020; 92: 1902–1914. doi:10.1002/jmv.25884
- [6] Agyeman AA, Chin KL, Landersdorfer CB et al. Smell and Taste Dysfunction in Patients With COVID-19: A Systematic Review and Meta-analysis. *Mayo Clin Proc* 2020; 95: 1621–1631. doi:10.1016/j.mayocp.2020.05.030
- [7] Pfeifer M, Hamer OW. [COVID-19 pneumonia]. *Gastroenterologe* 2020; 1–11. doi:10.1007/s11377-020-00488-x
- [8] Salje H, Tran Kiem C, Lefrancq N et al. Estimating the burden of SARS-CoV-2 in France. *Science* 2020; 369: 208–211. doi:10.1126/science.abc3517
- [9] Gupta A, Madhavan MV, Sehgal K et al. Extrapulmonary manifestations of COVID-19. *Nat Med* 2020; 26: 1017–1032. doi:10.1038/s41591-020-0968-3
- [10] Ackermann M, Verleden SE, Kuehnel M et al. Pulmonary Vascular Endothelialitis, Thrombosis, and Angiogenesis in Covid-19. *N Engl J Med* 2020; 383: 120–128. doi:10.1056/NEJMoa2015432
- [11] Adams HJA, Kwee TC, Yakar D et al. Chest CT Imaging Signature of Coronavirus Disease 2019 Infection: In Pursuit of the Scientific Evidence. *Chest* 2020; 158: 1885–1895. doi:10.1016/j.chest.2020.06.025
- [12] Revzin MV, Raza S, Warshawsky R et al. Multisystem Imaging Manifestations of COVID-19, Part 1: Viral Pathogenesis and Pulmonary and Vascular System Complications. *Radiographics* 2020; 40: 1574–1599. doi:10.1148/rg.2020200149
- [13] Prokop M, van Everdingen W, van Rees Vellinga T et al. CO-RADS – A categorical CT assessment scheme for patients with suspected COVID-19: definition and evaluation. *Radiology* 2020; 201473 doi:10.1148/radiol.2020201473
- [14] Wang Y, Dong C, Hu Y et al. Temporal Changes of CT Findings in 90 Patients with COVID-19 Pneumonia: A Longitudinal Study. *Radiology* 2020; 296: E55–E64. doi:10.1148/radiol.2020200843
- [15] Ding X, Xu J, Zhou J et al. Chest CT findings of COVID-19 pneumonia by duration of symptoms. *Eur J Radiol* 2020; 127: 109009 doi:10.1016/j.ejrad.2020.109009
- [16] Bernheim A, Mei X, Huang M et al. Chest CT Findings in Coronavirus Disease-19 (COVID-19): Relationship to Duration of Infection. *Radiology* 2020; 200463 doi:10.1148/radiol.2020200463
- [17] Pan F, Ye T, Sun P et al. Time Course of Lung Changes On Chest CT During Recovery From 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pneumonia. *Radiology* 2020; 200370 doi:10.1148/radiol.2020200370
- [18] Pan Y, Guan H, Zhou S et al. Initial CT findings and temporal changes in patients with the novel coronavirus pneumonia (2019-nCoV): a study of 63 patients in Wuhan, China. *Eur Radiol* 2020; 30: 3306–3309. doi:10.1007/s00330-020-06731-x
- [19] Wormanns D, Hamer OW. [Glossary of Terms for Thoracic Imaging–German Version of the Fleischner Society Recommendations]. *Rofo* 2015; 187: 638–661. doi:10.1055/s-0035-1553216
- [20] Piyavisetpat N, Pongpirul K, Sukkasem W et al. ‘Ring of fire’ appearance in COVID-19 pneumonia. *BMJ Case Rep* 2020; 13: doi:10.1136/bcr-2020-236167
- [21] Müller CIS, Müller NL. Chest CT target sign in a couple with COVID-19 pneumonia. *Radiol Bras* 2020; 53: 252–254. doi:10.1590/0100-3984.2020.0089
- [22] Jafari R, Maghsoudi H, Saburi A. A Unique Feature of COVID-19 Infection in Chest CT; “Pulmonary Target” Appearance. *Acad Radiol* 2021; 28: 146–147. doi:10.1016/j.acra.2020.11.004
- [23] Yang R, Li X, Liu H et al. Chest CT Severity Score: An Imaging Tool for Assessing Severe COVID-19. *Radiol Cardiothorac Imaging* 2020; 2: doi:10.1148/ryct.2020200047
- [24] Inui S, Fujikawa A, Jitsu M et al. Chest CT Findings in Cases from the Cruise Ship “Diamond Princess” with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Radiol Cardiothorac Imaging* 2020; 2: e200110 doi:10.1148/ryct.2020200110
- [25] Kwee TC, Kwee RM. Chest CT in COVID-19: What the Radiologist Needs to Know. *Radiographics* 2020; 40: 1848–1865. doi:10.1148/rg.2020200159
- [26] Duzgun SA, Durhan G, Demirkazik FB et al. COVID-19 pneumonia: the great radiological mimicker. *Insights Imaging* 2020; 11: 118 doi:10.1186/s13244-020-00933-z
- [27] Wong HYF, Lam HYS, Fong AH-T et al. Frequency and Distribution of Chest Radiographic Findings in Patients Positive for COVID-19. *Radiology* 2020; 296: E72–E78. doi:10.1148/radiol.2020201160
- [28] Cleverley J, Piper J, Jones MM. The role of chest radiography in confirming covid-19 pneumonia. *BMJ* 2020; 370: m2426 doi:10.1136/bmj.m2426

- [29] Stephanie S, Shum T, Cleveland H et al. Determinants of Chest X-Ray Sensitivity for COVID-19: A Multi-Institutional Study in the United States. *Radiol Cardiothorac Imaging* 2020; 2: doi:10.1148/ryct.202000337
- [30] Kanne JP, Little BP, Chung JH et al. Essentials for Radiologists on COVID-19: An Update-Radiology Scientific Expert Panel. *Radiology* 2020; 296: E113–E114. doi:10.1148/radiol.202000527
- [31] Jacobi A, Chung M, Bernheim A et al. Portable chest X-ray in coronavirus disease-19 (COVID-19): A pictorial review. *Clin Imaging* 2020; 64: 35–42. doi:10.1016/j.clinimag.2020.04.001
- [32] Salehi S, Abedi A, Balakrishnan S et al. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A Systematic Review of Imaging Findings in 919 Patients. *Am J Roentgenol* 2020; 215: 87–93. doi:10.2214/Am J Roentgenol.20.23034
- [33] Soldati G, Smargiassi A, Inchingolo R et al. Is There a Role for Lung Ultrasound During the COVID-19 Pandemic? *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med* 2020; 39: 1459–1462. doi:10.1002/jum.15284
- [34] Revel M-P, Parkar AP, Prosch H et al. COVID-19 patients and the radiology department – advice from the European Society of Radiology (ESR) and the European Society of Thoracic Imaging (ESTI). *Eur Radiol* 2020. doi:10.1007/s00330-020-06865-y
- [35] Volpicelli G, Gargani L. Sonographic signs and patterns of COVID-19 pneumonia. *Ultrasound J* 2020; 12: 22 doi:10.1186/s13089-020-00171-w
- [36] Vetrugno L, Bove T, Orso D et al. Our Italian experience using lung ultrasound for identification, grading and serial follow-up of severity of lung involvement for management of patients with COVID-19. *Echocardiography* 2020; 37: 625–627. doi:10.1111/echo.14664
- [37] Vetrugno L, Bove T, Orso D et al. Lung Ultrasound and the COVID-19 “Pattern”: Not All That Glitters Today Is Gold Tomorrow. *J Ultrasound Med* 2020; 39: 2281–2282. doi:10.1002/jum.15327
- [38] Rubin GD, Ryerson CJ, Haramati LB et al. The Role of Chest Imaging in Patient Management during the COVID-19 Pandemic: A Multinational Consensus Statement from the Fleischner Society. *Chest* 2020. doi:10.1016/j.chest.2020.04.003
- [39] Gross A, Heine G, Schwarz M et al. Structured reporting of chest CT provides high sensitivity and specificity for early diagnosis of COVID-19 in a clinical routine setting. *Br J Radiol* 2021; 94: 20200574 doi:10.1259/bjr.20200574
- [40] Schalekamp S, Bleeker-Rovers CP, Beenen LFM et al. Chest CT in the Emergency Department for Diagnosis of COVID-19 Pneumonia: Dutch Experience. *Radiology* 2020. doi:10.1148/radiol.2020203465
- [41] De Smet K, De Smet D, Ryckaert T et al. Diagnostic Performance of Chest CT for SARS-CoV-2 Infection in Individuals with or without COVID-19 Symptoms. *Radiology* 2021; 298: E30–E37. doi:10.1148/radiol.2020202708
- [42] Dangis A, Gieraerts C, Bruecker YD et al. Accuracy and reproducibility of low-dose submillisievert chest CT for the diagnosis of COVID-19. *Radiol Cardiothorac Imaging* 2020; 2: e200196 doi:10.1148/ryct.202000196
- [43] Herpe G, Lederlin M, Naudin M et al. Efficacy of Chest CT for COVID-19 Pneumonia in France. *Radiology* 2020; 202568 doi:10.1148/radiol.2020202568
- [44] Schulze-Hagen M, Hübel C, Meier-Schroers M et al. Low-Dose Chest CT for the Diagnosis of COVID-19—A Systematic, Prospective Comparison With PCR. *Dtsch Arzteblatt Int* 2020; 117: 389–395. doi:10.3238/arztebl.2020.0389
- [45] Xie X, Zhong Z, Zhao W et al. Chest CT for Typical 2019-nCoV Pneumonia: Relationship to Negative RT-PCR Testing. *Radiology* 2020; 200343 doi:10.1148/radiol.202000343
- [46] Huang P, Liu T, Huang L et al. Use of Chest CT in Combination with Negative RT-PCR Assay for the 2019 Novel Coronavirus but High Clinical Suspicion. *Radiology* 2020; 295: 22–23. doi:10.1148/radiol.202000330
- [47] Raptis CA, Hammer MM, Short RG et al. Chest CT and Coronavirus Disease (COVID-19): A Critical Review of the Literature to Date. *Am J Roentgenol* 2020; 215: 839–842. doi:10.2214/Am J Roentgenol.20.23202
- [48] Feng Z, Yu Q, Yao S et al. Early prediction of disease progression in COVID-19 pneumonia patients with chest CT and clinical characteristics. *Nat Commun* 2020; 11: 4968 doi:10.1038/s41467-020-18786-x
- [49] Francone M, Iafrate F, Masci GM et al. Chest CT score in COVID-19 patients: correlation with disease severity and short-term prognosis. *Eur Radiol* 2020; 30: 6808–6817. doi:10.1007/s00330-020-07033-y
- [50] Wynants L, Van Calster B, Collins GS et al. Prediction models for diagnosis and prognosis of covid-19 infection: systematic review and critical appraisal. *BMJ* 2020; 369: m1328 doi:10.1136/bmj.m1328
- [51] Vogel-Claussen J, Ley-Zaporozhan J, Agarwal P et al. 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* 2020; 192: 633–640. doi:10.1055/a-1174-8378
- [52] American College of Radiology (ACR). ACR Recommendations for the use of Chest Radiography and Computed Tomography (CT) for Suspected COVID-19 Infection (22.03.2020). *Im Internet* (Stand: 02.05.2021): <https://www.acr.org/Advocacy-and-Economics/ACR-Position-Statements/Recommendations-for-Chest-Radiography-and-CT-for-Suspected-COVID19-Infection>
- [53] World Health Organization (WHO). Use of chest imaging in COVID-19 – A rapid advice guide (11.06.2020). *Im Internet* (Stand: 02.05.2021): <https://www.who.int/publications-detail-redirect/use-of-chest-imaging-in-covid-19>
- [54] Flor N, Dore R, Sardanelli F. On the Role of Chest Radiography and CT in the Coronavirus Disease (COVID-19) Pandemic. *Am J Roentgenol* 2020; 215: W44 doi:10.2214/Am J Roentgenol.20.23411
- [55] Cheng Z, Yan F, Yang W. Reply to “On the Role of Chest Radiography and CT in the Coronavirus Disease (COVID-19) Pandemic”. *Am J Roentgenol* 2020; 215: W45 doi:10.2214/Am J Roentgenol.20.24159
- [56] An JY, Unsrdorfer KML, Weinreb JC. BI-RADS, C-RADS, CAD-RADS, LI-RADS, Lung-RADS, NI-RADS, O-RADS, PI-RADS, TI-RADS: Reporting and Data Systems. *Radiographics* 2019; 39: 1435–1436. doi:10.1148/rg.2019190087
- [57] Schwartz LH, Panicek DM, Berk AR et al. Improving communication of diagnostic radiology findings through structured reporting. *Radiology* 2011; 260: 174–181. doi:10.1148/radiol.11101913
- [58] Simpson S, Kay FU, Abbara S et al. Radiological Society of North America Expert Consensus Statement on Reporting Chest CT Findings Related to COVID-19. Endorsed by the Society of Thoracic Radiology, the American College of Radiology, and RSNA. *Radiol Cardiothorac Imaging* 2020; 2: e200152 doi:10.1148/ryct.202000152
- [59] de Jaegere TMH, Krdzalic J, Fasen BACM et al. Radiological Society of North America Chest CT Classification System for Reporting COVID-19 Pneumonia: Interobserver Variability and Correlation with RT-PCR. *Radiol Cardiothorac Imaging* 2020; 2: doi:10.1148/ryct.202000213
- [60] Som A, Lang M, Yeung T et al. Implementation of the Radiological Society of North America Expert Consensus Guidelines on Reporting Chest CT Findings Related to COVID-19: A Multireader Performance Study. *Radiol Cardiothorac Imaging* 2020; 2: doi:10.1148/ryct.202000276
- [61] Zimmerman M. Handreiking Standaardverslag CT-thorax COVID inclusief CO-RADS en CT score (13.05.2020). *Im Internet* (Stand: 02.05.2021): <https://www.radiologen.nl/secties/netwerk-covid-19/documenten/handreiking-standaardverslag-ct-thorax-covid-inclusief-co-rads>
- [62] Tan BK, Mainbourg S, Friggeri A et al. Arterial and venous thromboembolism in COVID-19: a study-level meta-analysis. *Thorax* 2021. doi:10.1136/thoraxjnl-2020-215383

- [63] Katsanos AH, Palaiodimou L, Zand R et al. The Impact of SARS-CoV-2 on Stroke Epidemiology and Care: A Meta-Analysis. *Ann Neurol* 2021; 89: 380–388. doi:10.1002/ana.25967
- [64] Yaghi S, Ishida K, Torres J et al. SARS-CoV-2 and Stroke in a New York Healthcare System. *Stroke* 2020; 51: 2002–2011. doi:10.1161/STROKEAHA.120.030335
- [65] Albiero R, Seresini G. Letter by Albiero and Seresini Regarding Article, “SARS-CoV-2 and Stroke in a New York Healthcare System”. *Stroke* 2020; 51: e310–e311. doi:10.1161/STROKEAHA.120.031093
- [66] Spence JD, de Freitas GR, Pettigrew LC et al. Mechanisms of Stroke in COVID-19. *Cerebrovasc Dis* 2020; 49: 451–458. doi:10.1159/000509581
- [67] Modin D, Claggett B, Sindet-Pedersen C et al. Acute COVID-19 and the Incidence of Ischemic Stroke and Acute Myocardial Infarction. *Circulation* 2020; 142: 2080–2082. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.120.050809
- [68] Kang Y, Chen T, Mui D et al. Cardiovascular manifestations and treatment considerations in COVID-19. *Heart* 2020; 106: 1132–1141. doi:10.1136/heartjnl-2020-317056
- [69] Singh B, Kaur P. COVID-19 and acute mesenteric ischemia: A review of literature. *Hematol Transfus Cell Ther* 2020. doi:10.1016/j.htct.2020.10.959
- [70] Bhayana R, Som A, Li MD et al. Abdominal Imaging Findings in COVID-19: Preliminary Observations. *Radiology* 2020; 297: E207–E215. doi:10.1148/radiol.2020201908
- [71] Goldberg-Stein S, Fink A, Paroder V et al. Abdominopelvic CT findings in patients with novel coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Abdom Radiol (NY)* 2020; 45: 2613–2623. doi:10.1007/s00261-020-02669-2
- [72] Avila J, Long B, Holladay D et al. Thrombotic complications of COVID-19. *Am J Emerg Med* 2021; 39: 213–218. doi:10.1016/j.ajem.2020.09.065
- [73] Bellosta R, Luzzani L, Natalini G et al. Acute limb ischemia in patients with COVID-19 pneumonia. *J Vasc Surg* 2020; 72: 1864–1872. doi:10.1016/j.jvs.2020.04.483
- [74] Kashi M, Jacquin A, Dakhil B et al. Severe arterial thrombosis associated with Covid-19 infection. *Thromb Res* 2020; 192: 75–77. doi:10.1016/j.thromres.2020.05.025
- [75] Egbert AR, Cankurtaran S, Karpiak S. Brain abnormalities in COVID-19 acute/subacute phase: A rapid systematic review. *Brain Behav Immun* 2020; 89: 543–554. doi:10.1016/j.bbi.2020.07.014
- [76] Kremer S, Lersy F, Anheim M et al. Neurologic and neuroimaging findings in patients with COVID-19: A retrospective multicenter study. *Neurology* 2020; 95: e1868–e1882. doi:10.1212/WNL.00000000000010112
- [77] Jain R, Young M, Dogra S et al. COVID-19 related neuroimaging findings: A signal of thromboembolic complications and a strong prognostic marker of poor patient outcome. *J Neurol Sci* 2020; 414: 116923 doi:10.1016/j.jns.2020.116923
- [78] Kremer S, Lersy F, de Sèze J et al. Brain MRI Findings in Severe COVID-19: A Retrospective Observational Study. *Radiology* 2020; 297: E242–E251. doi:10.1148/radiol.2020202222
- [79] Shi S, Qin M, Shen B et al. Association of Cardiac Injury With Mortality in Hospitalized Patients With COVID-19 in Wuhan, China. *JAMA Cardiol* 2020; 5: 802–810. doi:10.1001/jamacardio.2020.0950
- [80] Guo T, Fan Y, Chen M et al. Cardiovascular Implications of Fatal Outcomes of Patients With Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *JAMA Cardiol* 2020; 5: 811–818. doi:10.1001/jamacardio.2020.1017
- [81] Ruan Q, Yang K, Wang W et al. Clinical predictors of mortality due to COVID-19 based on an analysis of data of 150 patients from Wuhan, China. *Intensive Care Med* 2020; 46: 846–848. doi:10.1007/s00134-020-05991-x
- [82] Bavishi C, Bonow RO, Trivedi V et al. Special Article – Acute myocardial injury in patients hospitalized with COVID-19 infection: A review. *Prog Cardiovasc Dis* 2020; 63: 682–689. doi:10.1016/j.pcad.2020.05.013
- [83] Knight DS, Kotecha T, Razvi Y et al. COVID-19: Myocardial Injury in Survivors. *Circulation* 2020; 142: 1120–1122. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.120.049252
- [84] Puntmann VO, Carerj ML, Wieters I et al. Outcomes of Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging in Patients Recently Recovered From Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *JAMA Cardiol* 2020; 5: 1265–1273. doi:10.1001/jamacardio.2020.3557
- [85] Revzin MV, Raza S, Srivastava NC et al. Multisystem Imaging Manifestations of COVID-19, Part 2: From Cardiac Complications to Pediatric Manifestations. *Radiographics* 2020; 40: 1866–1892. doi:10.1148/rg.2020200195
- [86] Kim L, Whitaker M, O'Halloran A et al. Hospitalization Rates and Characteristics of Children Aged <18 Years Hospitalized with Laboratory-Confirmed COVID-19 – COVID-NET, 14 States, March 1–July 25, 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2020; 69: 1081–1088. doi:10.15585/mmwr.mm6932e3
- [87] Riphagen S, Gomez X, Gonzalez-Martinez C et al. Hyperinflammatory shock in children during COVID-19 pandemic. *Lancet* 2020; 395: 1607–1608. doi:10.1016/S0140-6736(20)31094-1
- [88] Huang C, Huang L, Wang Y et al. 6-month consequences of COVID-19 in patients discharged from hospital: a cohort study. *Lancet* 2021; 397: 220–232. doi:10.1016/S0140-6736(20)32656-8
- [89] Han X, Fan Y, Alwalid O et al. Six-Month Follow-up Chest CT findings after Severe COVID-19 Pneumonia. *Radiology* 2021: 203153 doi:10.1148/radiol.2021203153
- [90] Finkeneller T, Lenhart S, Reinwald M et al. Risk to Radiology Staff for Occupational COVID-19 Infection in a High-Risk and a Low-Risk Region in Germany: Lessons from the “First Wave”. *Rofo* 2021. doi:10.1055/a-1393-6668