

Nephrologe 2021 · 16:20–25  
<https://doi.org/10.1007/s11560-020-00471-1>  
 Angenommen: 19. November 2020  
 Online publiziert: 22. Dezember 2020  
 © Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

## Redaktion

C. Erley, Berlin  
 J. Floege, Aachen  
 W. Kleophas, Hamburg



Jan-Hendrik B. Hardenberg · Helena Stockmann · Kai-Uwe Eckardt · Kai M. Schmidt-Ott

Medizinische Klinik m. S. Nephrologie und Internistische Intensivmedizin, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Deutschland

## COVID-19 und akute Nierenschädigung im Intensivbereich

**Die durch SARS-CoV-2 („severe acute respiratory syndrome coronavirus 2“) verursachte Pandemie hat sich zu einer der größten globalen Herausforderungen unserer Zeit entwickelt. Während die initiale Berichterstattung aus China auf die pulmonalen Manifestationen der COVID-19 („coronavirus disease 2019“) Erkrankung fokussiert war, zeigten die Erfahrungen aus der Lombardei und aus New York schnell, dass es zu einem Befall mehrerer Organe kommt und die Niere das zweithäufigst betroffene Organ darstellt. Die große Zahl von intensivpflichtigen COVID-19-Patient\*innen mit dialysepflichtigem Nierenversagen stellt die Nephrologie vor große Herausforderungen.**

### Häufigkeit von AKI bei COVID-19 im Intensivbereich

Die akute Nierenschädigung („acute kidney injury“, AKI) ist eine häufige und folgenschwere Komplikation bei intensivpflichtigen COVID-19-Patient\*innen. Bei 60–90 % dieser Patient\*innen kommt es zum AKI, bei 20–37 % sogar zu einem nierenersatztherapiepflichtigen AKI (Tab. 1; [13, 17, 34]).

**Merke.** 1/3 der invasiv beatmeten COVID-19-Patient\*innen entwickelt ein dialysepflichtiges Nierenversagen

Die größte Studie zu intensivpflichtigen COVID-19-Patient\*innen stammt aus Großbritannien und basiert auf den Daten des ICNARC(Intensiv Care

National Audit and Research Center)-Registers [27]. Von 10.834 COVID-19-Patient\*innen auf insgesamt 289 Intensivstationen erhielten 26,7 % ein Nierenersatzverfahren für im Median 9 (5–18) Tage. In Deutschland zeigen die Daten einer Studie auf der Basis von administrativen Daten von AOK(Allgemeine Ortskrankenkasse)-Patient\*innen [20], dass während des Untersuchungszeitraums 30,7 % der 1318 invasiv beatmeten Patient\*innen ein Nierenersatzverfahren benötigten. Basierend auf Inzidenz-, Hospitalisierungs- und Intensivpflichtigkeitsdaten im Rahmen der Pandemie ist zu vermuten, dass etwa 0,1–0,2 % der mit SARS-CoV-2-infizierten ein Nierenersatzverfahren benötigen.

Aktuell ist unklar, ob die COVID-19-Pneumonie häufiger mit einer Nierenbeteiligung einhergeht als andere virale Pneumonien. Kohortenstudien aus der H1N1-Epidemie (Schweinegrippe) in 2009 zeigen zwar niedrigere Raten von dialysepflichtigem AKI (7–17 %; [4, 21]), allerdings betrug das durchschnittliche Alter der hospitalisierten Patient\*innen hier auch nur 48 Jahre bzw. 43 Jahre. Dieser Umstand unterscheidet die damalige Pandemie von der heutigen, denn anders als bei COVID-19 waren Menschen höheren Alters (>60 Jahre) bei der H1N1-Pandemie seltener betroffen [38].

Die bereits zitierte britische ICNARC-Studie berichtete neben den Outcomes der COVID-19-Kohorte auch die Outcomes einer Vergleichskohorte von viralen Non-COVID-19-Pneumonien ( $n=5782$ ), die zwischen Januar 2017 und Dezember 2019 auf britischen In-

tensivstationen behandelt wurden [27]. Von diesen Patient\*innen erhielten 17 % Dialyse, verglichen mit 27 % in der COVID-19-Kohorte. Allerdings unterschieden diese Gruppen sich in einigen Schlüsselmerkmalen, z. B. wurden nur 50 % der Patient\*innen in der Non-COVID-19-Kohorte gegenüber 72 % der COVID-19-Patient\*innen invasiv beatmet. Tatsächlich geht ein ARDS („acute respiratory distress syndrome“) jedweder Ätiologie mit einem Dialyserisiko von ungefähr 20 % einher, sodass die oben genannten Häufigkeit von dialysepflichtigem Nierenversagen bei COVID-19 nicht in hohem Maße von dieser Inzidenz abzuweichen scheint [24, 36]. Einschränkend ist aber festzuhalten, dass robust adjustierte Vergleiche der Dialyseinzidenz bei COVID-19-ARDS und Non-COVID-19-ARDS aktuell nicht verfügbar sind.

### Risikofaktoren und Prädiktoren für schweres AKI

Dialysepflichtiges Nierenversagen tritt nahezu ausschließlich bei invasiv beatmeten Patient\*innen und in engem zeitlichen Zusammenhang mit der Intubation auf. In einer amerikanischen Kohortenstudie mit 3099 Intensivpatient\*innen und einer Dialysequote von 21 % erhielten nur 3 nicht-invasiv beatmete Patient\*innen ein Nierenersatzverfahren [17]. Dabei ging die maschinelle Beatmung der Dialysepflichtigkeit in über 99 % der Fälle voraus. Auch in der AOK-Studie aus Deutschland wurden nur 1,37 % der nicht-invasiv beatmeten Patient\*innen

Hier steht eine Anzeige.



**Tab. 1** Inzidenz von akuter Nierenschädigung („acute kidney injury“, AKI) und Notwendigkeit zur Nierenersatztherapie bei COVID-19 („coronavirus disease 2019“)-Patient\*innen auf Intensivstationen

Patient*innenkollektiv	Autor*in	Anzahl Intensivpatient*innen	Anteil AKI (%)	Anteil nierenersatztherapiepflichtiges AKI (%)
289 Intensivstationen (ICNARC-Register), Großbritannien	Richards-Belle et al., <i>Intensive Care Medicine</i>	10.834	Nicht berichtet	26,7
Versicherte in der AOK, 920 Krankenhäuser	Karagiannidis et al., <i>Lancet</i>	1727 <sup>a</sup>	Nicht berichtet	30,7 <sup>a</sup>
67 Intensivstationen, USA	Gupta et al., <i>JASN</i>	3099	55,4	21
Northwell Health, New York	Hirsch et al., <i>Kidney International</i>	1395	76	26 <sup>a</sup>
Mount Sinai Health System, New York	Chan et al., <i>JASN</i>	976	76	32
Montefiore Health System, New York	Fisher et al., <i>JASN</i>	438	87,2	37,4

<sup>a</sup>Anteil bezieht sich hier auf die beatmeten Patient\*innen, der Anteil an den Intensivpflichtigen wurde nicht berichtet

ICNARC Intensive Care National Audit and Research Centre, AOK Allgemeine Ortskrankenkasse, JASN Journal of the American Society of Nephrology

**Tab. 2** Potenzielle Risikofaktoren für COVID-19 („coronavirus disease 2019“)-assoziiertes akutes Nierenversagen („acute kidney injury“, AKI). (Modifiziert nach [23])

Demografische Risikofaktoren	Risikofaktoren zum Zeitpunkt der Krankenhausaufnahme	Risikofaktoren während des Krankenhausaufenthalts
Hohes Alter	COVID-19-Erkrankungsschwere	Nephrotoxine (Medikamente, Kontrastmittel)
Ethnizität	Respiratorische Situation	Vasopressorbedarf
Diabetes mellitus	Extrapulmonale Organmanifestationen (z. B. Diarrhö)	Mechanische Beatmung
Hypertonie	Leukozytose/Lymphopenie	Hoher positiver endexpiratorischer Druck
Kardiovaskuläre Erkrankungen	Inflammation (Ferritin, CRP, D-Dimere)	Volumenüberladung
Herzinsuffizienz	Hypovolämie/Dehydratation	Volumendefizit
Adipositas	Rhabdomyolyse	
Chronische Nierenerkrankung	Medikamentenexposition (z. B. NSAID)	
Genetische Risikofaktoren (z. B. APOL1-Genotyp; ACE2-Polymorphismen)		
Immunsuppression		
Raucheranamnese		

APOL1 Apolipoprotein L1, ACE2 „angiotensin-converting enzyme 2“, CRP C-reaktives Protein, NSAID „non-steroidal antiinflammatory drugs“

gegenüber 30,7% der invasiv beatmeten mit einem Dialyseverfahren behandelt [20]. Die Critical-illness-Hypothese wird durch eine wachsende Zahl von histopathologischen Untersuchungen an Nierengewebe von AKI-Patient\*innen unterstützt [29, 30, 33]. Der mit Abstand häufigste histologische Befund in Nieren von COVID-19-Patient\*innen ist eine akute Tubulusnekrose im Bereich des proximalen Tubulus. In einigen Fällen wurden zusätzlich Zeichen der thrombotischen Mikroangiopathie gefunden. Einen seltenen Befund stellen glomeruläre Läsionen i.S. einer „collapsing glomerulopathy“ dar.

**Merke.** Bei COVID-19-Patient\*innen ist das Auftreten von dialysepflichtigem Nierenversagen zeitlich eng mit dem Beginn der invasiven Beatmung assoziiert

Eine Vielzahl von Risikofaktoren für COVID-19-assoziiertes AKI (Tab. 2) überlappt mit den Risikofaktoren für schwere Krankheitsverläufe [13, 17, 19]. Eine mögliche Rolle eines direkten renalen Tropismus von SARS-CoV-2 bei der Entwicklung von schwerem AKI wird dadurch gestützt, dass ein positiver SARS-CoV-2-Nachweis im Nierengewebe von verstorbenen COVID-19-Patient\*innen mit kürzeren (und damit schwereren) Krankheitsverläufen berichtet wurde [8, 23].

### Verlauf von COVID-19-assoziiertem Nierenversagen bei Intensivpatient\*innen

Ähnlich wie andere kritische Erkrankungen [35], weist auch COVID-19 eine stark erhöhte Krankenhausmortalität

auf, sobald ein AKI vorliegt. 33–50% der COVID-19-Patient\*innen mit AKI gegenüber 7–8% der Patient\*innen ohne AKI sterben während des Krankenhausaufenthalts [10, 13]. Die Mortalität steigt stadienabhängig und ist erwartungsgemäß mit 57–73% am höchsten bei Patient\*innen, die Nierenersatztherapie erhalten [17, 18, 20, 34]. Zum Vergleich: Die Krankenhausmortalität unter den AOK-Patient\*innen, welche invasiv beatmet wurden, jedoch kein Nierenersatzverfahren benötigten, betrug 44,8% [20].

**Merke.** Die Mehrzahl der COVID-19-Patient\*innen mit dialysepflichtigem Nierenversagen stirbt während des Krankenhausaufenthalts

Wenn Patient\*innen die Akutphase von COVID-19 überleben, ist eine Erholung der Nierenfunktion wahrscheinlich. Bei zwei Dritteln der Patient\*innen zeigt sich sogar eine vollständige Rückbildung des AKI zum Zeitpunkt der Entlassung [10]. Auch nach der Entlassung scheint eine weitere Erholung der Nierenfunktion häufig zu sein. So berichteten Chan et al., dass nach einem medianen Follow-up von 21 Tagen nach Entlassung weitere 36% eine volle Erholung ihrer Nierenfunktion erreichten. Ein ähnliches Bild zeigte sich bei den Überlebenden mit dialysepflichtigem AKI. In 2 Studien konnten mehr als zwei Drittel der Patient\*innen das Akutkrankenhaus ohne Dialyse verlassen [17, 34].

**Merke.** Bei zwei Dritteln der Patient\*innen zeigt sich sogar eine voll-

ständige Rückbildung des AKI zum Zeitpunkt der Entlassung

Robuste Nachbeobachtungen der Patient\*innen, die bei Entlassung weiter dialysepflichtig waren, fehlen bisher ebenso wie Untersuchungen zum Langzeitverlauf der Nierenfunktion bei weitgehender Erholung.

## Nierenersatzverfahren bei COVID-assoziiertem AKI

Es gibt keine Evidenz dafür, dass ein COVID-19-assoziiertes AKI anders behandelt werden sollte als ein AKI anderer Genese [23]. Bezüglich Indikationsstellung, Auswahl der Modalität und Dialyседosis sei hier auf etablierte Leitlinien verwiesen (Kidney Disease: Improving Global Outcomes [KDIGO]).

Auch bei COVID-19-assoziiertem AKI gelten die etablierten Indikationen für eine Nierenersatztherapie (medikamentös nicht therapierbare Hyperkaliämie, Volumenüberladung, metabolische Azidose, Urämie). Kürzlich konnte die STARRT-AKI-Studie an 3019 (Non-COVID-19-)Patient\*innen keinen Nutzen für eine frühe Einleitung einer Nierenersatztherapie bei AKI im Stadium 2 oder 3 zeigen [5]. Damit liegen nun 3 randomisierte multizentrische Studien (AKIKI, IDEAL ICU, STARRT AKI) vor, die übereinstimmend keinen Benefit von frühem Dialysebeginn zeigen konnten [5, 6, 15]. Im Gegenteil: In der AKIKI- und in der STARRT-AKI-Studie ergaben sich Hinweise für schädliche Effekte eines zu frühen Dialysebeginns (mehr Infektionen, mehr Dialyseabhängigkeit nach 90 Tagen). Auch für Patient\*innen mit ARDS fanden sich in einer Post-hoc-Analyse keine Vorteile einer frühzeitigen Einleitung einer Nierenersatztherapie [16]. Somit empfiehlt es sich, die Entscheidung zur Einleitung einer Nierenersatztherapie bei COVID-19-Patient\*innen von objektiven Indikationskriterien (z. B. refraktäre Volumenüberladung oder Hyperkaliämie) abhängig zu machen.

**Merke.** Auch bei ARDS besteht keine Evidenz für einen frühen Dialysebeginn

Nephrologe 2021 · 16:20–25 <https://doi.org/10.1007/s11560-020-00471-1>  
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

J.-H. B. Hardenberg · H. Stockmann · K.-U. Eckardt · K. M. Schmidt-Ott

## COVID-19 und akute Nierenschädigung im Intensivbereich

### Zusammenfassung

Die akute Nierenschädigung („acute kidney injury“, AKI) ist eine häufige und schwere Komplikation bei COVID-19 („coronavirus disease 2019“)-Patient\*innen auf der Intensivstation. Dabei zeigt sich eine enge Assoziation zwischen der Schwere des Krankheitsverlaufs von COVID-19 und dem Auftreten von Nierenversagen. Den Hauptrisikofaktor für ein nierenersatztherapiepflichtiges Nierenversagen stellt die Notwendigkeit einer invasiven Beatmung dar, wobei der Beginn des Nierenversagens häufig eng mit dem Intubationszeitpunkt assoziiert ist. Zusätzlich stellen Risikofaktoren für schwere COVID-19-Verläufe gleichzeitig Risikofaktoren für ein schweres Nierenversagen dar. AKI bei COVID-19 weist eine hohe Mortalität auf und führt bei einem Teil der Patient\*innen zu anhaltender Niereninsuffizienz. Allerdings kommt es bei einem recht großen Teil der dialysepflichtigen Überlebenden zu einer

Erholung der Nierenfunktion. Im Hinblick auf Vermeidung und Therapie des COVID-19-assoziierten Nierenversagens gelten bislang dieselben Empfehlungen wie für AKI anderer Ursachen (Kidney Disease: Improving Global Outcomes, KDIGO-Bundles). Bei hohem Patient\*innenaufkommen und entsprechend ausgelasteten Ressourcen kann die Durchführung von extrakorporalen Nierenersatzverfahren im Kontext einer krankheitsassoziierten Hyperkoagulabilität kritisch werden. Zur Vermeidung von Triage-Situationen wurde in einzelnen Zentren die akute Peritonealdialyse als Alternative zu den extrakorporalen Verfahren eingesetzt.

### Schlüsselwörter

Coronavirus · Akutes Nierenversagen · Invasive Beatmung · Intensivmedizin · Nierenersatzverfahren

## COVID-19 and acute kidney injury in the intensive care unit

### Abstract

Acute kidney injury (AKI) is a frequent and severe complication in coronavirus disease 2019 (COVID-19) patients in the intensive care unit. The development of COVID-19 associated AKI is closely linked to the severity of the disease course. The main risk factor for kidney failure requiring kidney replacement therapy is the necessity for invasive ventilation, whereby the onset of renal failure is often closely associated with the timing of intubation. Additionally, the risk factors for a severe course of COVID-19 have been shown to also be risk factors for renal failure. AKI in COVID-19 shows a high mortality and in some patients leads to chronic kidney disease; however, full recovery of kidney function in survivors who need dialysis is not uncommon. With respect to prevention and

treatment of renal failure associated with COVID-19, the same recommendations as for AKI from other causes are valid (Kidney Disease: Improving Global Outcomes, KDIGO bundles). Due to the large numbers of patients in the setting of overwhelmed resources, the availability of extracorporeal renal replacement procedures can become critical, especially since hypercoagulation is frequent in COVID-19. In order to avoid triage situations, in some centers acute peritoneal dialysis was used as an alternative to extracorporeal procedures.

### Keywords

Coronavirus · Acute kidney injury · Mechanical ventilation · Intensive care medicine · Kidney replacement therapy

## Extrakorporale und systemische Antikoagulation bei COVID-19

Schwere Verläufe von COVID-19 führen zu einer systemischen Hyperkoagulabilität mit deutlich erhöhtem Thromboseisiko [22]. Verkürzte Filterlebensdauer durch vermehrtes Filter-Clotting wurden für Heparindialysen bei COVID-19-

Patient\*innen berichtet [12]. Eine prophylaktische Antikoagulation wird bei allen hospitalisierten Patient\*innen mit COVID-19 empfohlen [22]. Ein möglicher Benefit von höheren (intermediären) Heparindosen bei kritisch kranken Patient\*innen wird in laufenden Studien untersucht.

Falls eine Heparinantikoagulation eingesetzt wird, sollte beachtet werden, dass schwere COVID-19-Verläufe häufig mit spontanen Verlängerungen der partiellen Thromboplastinzeit (PTT) einhergehen, sodass die Gabe von unfraktioniertem Heparin (UFH) mittels Anti-Faktor-Xa-Assay überwacht werden sollte. Darüber hinaus scheint das Phänomen der Heparinresistenz ein verbreitetes Problem bei COVID-19 zu sein [7, 37]. Aus diesen Gründen empfehlen publizierte Guidelines die Verwendung von niedermolekularem Heparin [22].

**Merke.** Die PTT ist bei COVID-19 häufig verlängert und zur Antikoagulationssteuerung nicht geeignet

Die Frage der optimalen extrakorporalen Antikoagulationsstrategie bei Nierenersatzverfahren bei COVID-19 ist derzeit nicht abschließend beantwortet. Kürzlich wurden in der RICH-Studie an 596 (Non-COVID-19-)Intensivpatient\*innen die Effekte einer extrakorporalen Zitratantikoagulation mit denen der Heparinantikoagulation verglichen [39]. Dabei wurden deutlich verlängerte Filterüberlebenszeiten unter Zitratantikoagulation berichtet, ohne dass sich Effekte auf die Mortalität nachweisen ließen. In der Zitratgruppe zeigten sich außerdem signifikant weniger Blutungskomplikationen (-11,8%), aber mehr Infektionen (12,6%).

**Merke.** Zitratantikoagulation reduziert über längere Filterüberlebenszeiten Arbeitsaufwand, Materialverbrauch und Kontakt mit potenziell infektiösen Patient\*innen

Insgesamt ist zu schlussfolgern, dass derzeit für COVID-19 spezifische Studiendaten und Empfehlungen zu systemischen und extrakorporalen Antikoagulationsstrategien fehlen. Auf unseren Intensivstationen praktizieren wir derzeit ein individualisiertes Vorgehen, wobei zumeist eine extrakorporale Zitratantikoagulation mit einer an den Krankheitsverlauf adaptierten systemischen Antikoagulation kombiniert wird. Nicht zuletzt ist dieses Verfahren im Hinblick sowohl auf Verbrauchsmaterial als auch auf den Personaleinsatz ressourcenschonender.

## Akute Peritonealdialyse als Alternative zur Hämodialyse bei Nierenversagen in Krisenzeiten

In der ersten Welle der Pandemie kam es in mehreren Krankenhäusern in New York und London durch die überwältigende Zahl von nierenersatztherapiepflichtigen Patient\*innen zu einer Knappheit von Hämodialyse(HD)-Geräten. Zum kurzfristigen Ausbau der Dialysekapazitäten und zu Vermeidung von Triage-Situationen wurden unter hohem Zeitdruck alternative Konzepte entwickelt. Dazu gehörte die Etablierung von Akut-Peritonealdialyse(PD)-Programmen [9, 11, 31]. Die Akut-PD bei AKI stellt für Nephrologen in Industrieländern zwar Neuland dar, ist aber eine in Entwicklungsländern lange etablierte Methode [26, 28]. Eine Reihe von klinischen Studien zeigt, dass Akut-PD auch bei beatmeten Intensivpatient\*innen komplikationsarm durchgeführt werden kann [2, 14, 25]. Dabei ist die metabolische Kontrolle offenbar der HD gleichwertig.

**Merke.** Akut-PD stellt eine Alternative zur HD bei ausgewählten Intensivpatient\*innen mit AKI dar

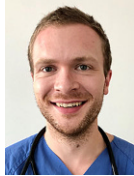
Die Katheteranlage zur Akut-PD erfolgt mittels Minilaparoskopie (bevorzugt bei intubierten Patient\*innen) durch Chirurg\*innen, Radiolog\*innen oder interventionell ausgebildete Nephrolog\*innen unter Durchleuchtung, entweder direkt auf der Intensivstation oder auch im Operationssaal [1, 3]. Die Nutzung des Katheters erfolgt innerhalb der ersten 24 Stunden zunächst mit reduzierten Füllvolumina (1–1,5l). Eine ausführliche Beschreibung des Protokolls sowie eine Diskussion der Herausforderungen von Akut-PD und potenzielle Lösungen im Rahmen der Pandemie bieten Srivastava et al. [31] und Sourial et al. [32]. Dabei wurden die Erfahrungen aus New York und London insgesamt als positiv bewertet. Interessanterweise scheinen Leckagen trotz der sofortigen Katheternutzung nach Anlage selten zu sein. In der Kohorte des Mount Sinai Hospital ( $n=21$ ) kam es nur bei einem/einer Patient\*in in den ersten 24h zu einer Leckage, die nach Reduktion der

Füllvolumina spontan sistierte [11]. Ein Problem bei der Anwendung von Akut-PD stellt die Bauchlagerung dar. Das intraperitoneale Volumen führt zu einer Erhöhung des intraabdominellen Drucks und kann darüber die Beatmung erschweren. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Akut-PD bei ausgewählten Patient\*innen eine gangbare Möglichkeit darstellt, um in einer Krisensituation die Dialysekapazitäten zu erweitern.

## Fazit für die Praxis

- Die akute Nierenschädigung (AKI) tritt bei über zwei Dritteln der intensivpflichtigen COVID-19 („coronavirus disease 2019“)-Patient\*innen auf, und 20–30 % bedürfen einer Nierenersatztherapie.
- Die renale Prognose von Überlebenden ist gut; zwei Drittel von ihnen können vor Entlassung von der Dialyse entwöhnt werden. Auch vollständige Rückbildungen des AKI sind häufig.
- Bei COVID-19-assoziiertem AKI gelten die etablierten Indikationen für die Dialyseeinleitung. Ein früher Dialysebeginn bietet vermutlich auch bei ARDS („acute respiratory distress syndrome“) keinen Benefit.
- COVID-19 führt zu einer Hyperkoagulabilität, die mit häufigem „clotting“ von extrakorporalen Systemen einhergeht. Eine suffiziente Antikoagulation ist sicherzustellen. Zitratdialyse verlängert das Filterüberleben und kann zu einer Reduktion von Materialverbrauch und Arbeitsaufwand beitragen.
- Akut-PD (Peritonealdialyse) ist rasch implementierbar und stellt eine Möglichkeit dar, um in Krisenzeiten Dialyseressourcen zu erweitern. Akut-PD ist bei ausgewählten Patient\*innen der Hämodialyse gleichwertig.

## Korrespondenzadresse



**Dr. med. Jan-Hendrik B. Hardenberg**  
Medizinische Klinik  
m. S. Nephrologie  
und Internistische  
Intensivmedizin, Charité –  
Universitätsmedizin Berlin  
Charitéplatz 1, 10117 Berlin,  
Deutschland  
Jan.Hardenberg@charite.de

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** J.-H.B. Hardenberg, H. Stockmann, K.-U. Eckardt und K.M. Schmidt-Ott 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. Abdel-Aal AK, Dybbro P, Hathaway P et al (2014) Best practices consensus protocol for peritoneal dialysis catheter placement by interventional radiologists. *Perit Dial Int* 34(5):481–493
2. Al-Hwiesh A, Abdul-Rahman I, Finkelstein F et al (2018) Acute kidney injury in critically ill patients: a prospective randomized study of tidal peritoneal dialysis versus continuous renal replacement therapy. *Ther Apher Dial* 22(4):371–379
3. Al-Hwiesh AK (2014) Percutaneous peritoneal dialysis catheter insertion by a nephrologist: a new, simple, and safe technique. *Perit Dial Int* 34(2):204–211
4. Bagshaw SM, Sood MM, Long J et al (2013) Acute kidney injury among critically ill patients with pandemic H1N1 influenza A in Canada: cohort study. *BMC Nephrol* 14:123
5. Bagshaw SM, Wald R, Adhikari NKJ et al (2020) Timing of initiation of renal-replacement therapy in acute kidney injury. *N Engl J Med* 383(3):240–251
6. Barbar SD, Clere-Jehl R, Bourredjem A et al (2018) Timing of renal-replacement therapy in patients with acute kidney injury and sepsis. *N Engl J Med* 379(15):1431–1442
7. Beun R, Kusadasi N, Sikma M et al (2020) Thromboembolic events and apparent heparin resistance in patients infected with SARS-CoV-2. *Int J Lab Hematol* 42(Suppl 1):19–20
8. Braun F, Lütgehetmann M, Pfeffler S et al (2020) SARS-CoV-2 renal tropism associates with acute kidney injury. *Lancet* 396(10251):597–598
9. Caplin NJ, Zhdanova O, Tandon M et al (2020) Acute peritoneal dialysis during the COVID-19 pandemic at Bellevue Hospital in New York city
10. Chan L, Chaudhary K, Saha A et al (2020) AKI in hospitalized patients with COVID-19. *J Am Soc Nephrol*. <https://doi.org/10.1681/ASN.2020050615>
11. El Shamy O, Patel N, Abdelbaset MH et al (2020) Acute start peritoneal dialysis during the COVID-19 pandemic: outcomes and experiences. *J Am Soc Nephrol* 31(8):1680–1682
12. Endres P, Rosovsky R, Zhao S et al (2020) Filter clotting with continuous renal replacement therapy in COVID-19. *J Thromb Thrombolysis*. <https://doi.org/10.1007/s11239-020-02301-6>
13. Fisher M, Neugarten J, Bellin E et al (2020) AKI in hospitalized patients with and without COVID-19: a comparison study. *J Am Soc Nephrol* 31(9):2145–2157
14. Gabriel DP, Caramori JT, Martim LC et al (2008) High volume peritoneal dialysis vs daily hemodialysis: a randomized, controlled trial in patients with acute kidney injury. *Kidney Int Suppl* 108:87–93
15. Gaudry S, Hajage D, Schortgen F et al (2016) Initiation strategies for renal-replacement therapy in the intensive care unit. *N Engl J Med* 375(2):122–133
16. Gaudry S, Hajage D, Schortgen F et al (2018) Timing of renal support and outcome of septic shock and acute respiratory distress syndrome. A post hoc analysis of the AKIKI randomized clinical trial. *Am J Respir Crit Care Med* 198(1):58–66
17. Gupta S, Coca SG, Chan L et al (2020) AKI treated with renal replacement therapy in critically ill patients with COVID-19. *J Am Soc Nephrol*. <https://doi.org/10.1681/ASN.2020060897>
18. Gupta S, Hayek SS, Wang W et al (2020) Factors associated with death in critically ill patients with coronavirus disease 2019 in the US. *JAMA Intern Med*. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2020.3596>
19. Hirsch JS, Ng JH, Ross DW et al (2020) Acute kidney injury in patients hospitalized with COVID-19. *Kidney Int* 98(1):209–218
20. Karagiannidis C, Mostert C, Hentschker C et al (2020) Case characteristics, resource use, and outcomes of 10 021 patients with COVID-19 admitted to 920 German hospitals: an observational study. *Lancet Respir Med* 8(9):853–862
21. Martin-Loeches I, Papiol E, Rodríguez A et al (2011) Acute kidney injury in critical ill patients affected by influenza A (H1N1) virus infection. *Crit Care* 15(1):R66
22. Moores LK, Tritschler T, Brosnahan S et al (2020) Prevention, diagnosis, and treatment of VTE in patients with coronavirus disease 2019: CHEST guideline and expert panel report. *Chest* 158(3):1143–1163
23. Nadim MK, Forni LG, Mehta RL et al (2020) COVID-19-associated acute kidney injury: consensus report of the 25th Acute Disease Quality Initiative (ADQI) Workgroup. *Nat Rev Nephrol* 16(12):747–764
24. Panitchote A, Mehkri O, Hastings A et al (2019) Factors associated with acute kidney injury in acute respiratory distress syndrome. *Ann Intensive Care* 9(1):74
25. Ponce D, Berbel MN, Abrão JMG et al (2013) A randomized clinical trial of high volume peritoneal dialysis versus extended daily hemodialysis for acute kidney injury patients. *Int Urol Nephrol* 45(3):869–878
26. Ponce D, Balbi AL, Durand JB et al (2020) Acute peritoneal dialysis in the treatment of COVID-19-related acute kidney injury. *Clin Kidney J* 13(3):269–273
27. Richards-Belle A, Orzechowska I, Gould DW et al (2020) COVID-19 in critical care: epidemiology of the first epidemic wave across England, Wales and Northern Ireland. *Intensive Care Med* 46(11):2035–2047
28. Ronco C, Zanella M, Brendolan A et al (2001) Management of severe acute renal failure in critically ill patients: an international survey in 345 centres. *Nephrol Dial Transplant* 16(2):230–237
29. Santoriello D, Khairallah P, Bomback AS et al (2020) Postmortem kidney pathology findings in patients with COVID-19. *J Am Soc Nephrol* 31(9):2158–2167
30. Sharma P, Uppal NN, Wanchoo R et al (2020) COVID-19-associated kidney injury: a case series of kidney biopsy findings. *J Am Soc Nephrol* 31(9):1948–1958
31. Sourial MY, Sourial MH, Dalsan R et al (2020) Urgent peritoneal dialysis in patients with COVID-19 and acute kidney injury: a single-center experience in a time of crisis in the United States. *Am J Kidney Dis* 76(3):401–406
32. Srivastava V, Aggarwal V, Finkelstein FO et al (2020) Peritoneal dialysis for acute kidney injury treatment in the United States: brought to you by the COVID-19 pandemic. *Kidney* 1(5):410–415
33. Su H, Yang M, Wan C et al (2020) Renal histopathological analysis of 26 postmortem findings of patients with COVID-19 in China. *Kidney Int* 98(1):219–227
34. Thakkar J, Chand S, Aboodi MS et al (2020) Characteristics, outcomes and 60-day hospital mortality of ICU patients with Covid-19 and acute kidney injury. *Kidney*. <https://doi.org/10.34067/KID.0004282020>
35. Uchino S, Kellum JA, Bellomo R et al (2005) Acute renal failure in critically ill patients: a multinational, multicenter study. *JAMA* 294(7):813–818
36. Wang CY, Calfee CS, Paul DW et al (2014) One-year mortality and predictors of death among hospital survivors of acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med* 40(3):388–396
37. White D, MacDonald S, Bull T et al (2020) Heparin resistance in COVID-19 patients in the intensive care unit. *J Thromb Thrombolysis* 50(2):287–291
38. Xing Z, Cardona CJ (2009) Preexisting immunity to pandemic (H1N1) 2009. *Emerg Infect Dis* 15(11):1847–1849
39. Zarbock A, Küllmar M, Kindgen-Milles D et al (2020) Effect of regional citrate anticoagulation vs systemic heparin anticoagulation during continuous kidney replacement therapy on dialysis filter life span and mortality among critically ill patients with acute kidney injury: a randomized clinical trial. *JAMA* 324(16):1629–1639