

Pathologie 2021 · 42:197–207
<https://doi.org/10.1007/s00292-021-00925-w>
 Angenommen: 28. Januar 2021
 Online publiziert: 24. Februar 2021
 © Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021

Schwerpunktherausgeber

W. Roth, Mainz
 P. Boor, Aachen



Peter Boor¹ · Philip Eichhorn² · Arndt Hartmann² · Sigurd F. Lax^{3,4} · Bruno Märkl^{5,8} · Thomas Menter⁶ · Kristijan Skok³ · Julia Slotta-Huspenina⁷ · Saskia von Stillfried¹ · Alexandar Tzankov⁶ · Gregor Weirich⁷

¹ Institut für Pathologie, Universitätsklinikum Aachen, RTWH Aachen, Aachen, Deutschland

² Institut für Pathologie, Universitätsklinikum Erlangen, Erlangen, Deutschland

³ Institut für Pathologie, Landeskrankenhaus Graz II, Akademisches Lehrkrankenhaus der Medizinischen Universität Graz, Graz, Österreich

⁴ Medizinische Fakultät, Johannes-Kepler-Universität Linz, Linz, Österreich

⁵ Allgemeine und Spezielle Pathologie, Medizinische Fakultät, Universität Augsburg, Augsburg, Deutschland

⁶ Institut für Medizinische Genetik und Pathologie, Universitätsspital Basel, Universität Basel, Basel, Schweiz

⁷ Institut für Pathologie und pathologische Anatomie, Technische Universität München, München, Deutschland

⁸ Institut für Pathologie und Molekulare Diagnostik, Universitätsklinikum Augsburg, Augsburg, Deutschland

Praktische Aspekte von COVID-19-Obduktionen

Zusatzmaterial online

Zusätzliche Informationen sind in der Online-Version dieses Artikels (<https://doi.org/10.1007/s00292-021-00925-w>) enthalten.

Die COVID-19-Pandemie stellt die globalisierte Gesellschaft vor eine bislang ungekannte Herausforderung. Gesellschaftliche und medizinische Fragen können nur durch möglichst exakte Kenntnisse der Biologie des Virus und der Auswirkungen auf den befallenen Organismus beantwortet werden. Der Nutzen autoptisch gewonnener Erkenntnisse, der zu Beginn der Pandemie nicht richtig eingeschätzt wurde, steht jetzt allerdings außer Frage. Im deutschsprachigen Raum wurden an mehreren Zentren sehr früh systematische autoptische Untersuchungen von an COVID-19 Verstorbenen durchgeführt, deren

Die Reihung der Autoren erfolgt in alphabetischer Reihenfolge.

Die Autoren P. Eichhorn, S. F. Lax, T. Menter, J. Slotta-Huspenina, S. von Stillfried und A. Tzankov haben federführend und in gleicher Weise zu diesem Artikel beigetragen.

Ergebnisse von außerordentlich hohem wissenschaftlichem Wert sind.

Obduktionen als Möglichkeit, neue Erkrankungen besser zu verstehen

Obduktionen bieten die einzigartige Möglichkeit, die unterschiedlichen Verlaufsformen einer Erkrankung, aber auch wenig bekannte und neuartige Krankheiten genau zu untersuchen. Dabei können Organveränderungen studiert und Rückschlüsse auf Pathomechanismen gezogen werden. Im Falle von COVID-19 waren es vor allem Institute aus dem deutschsprachigen Raum, die in Europa die ersten systematischen Obduktionen von an COVID-19-Erkrankten durchführten [1–3] und deren Ergebnisse rasch publizierten. Zu diesem Zeitpunkt gab es keine publizierten Ergebnisse systematisch aufgearbeiteter Obduktionsserien, nur einzelne Fälle und Operationspräparate von Lungen sowie bioptische Studien an Verstorbenen [4–6]. Auf Basis der Obduktionen entstanden außerdem innovative grundlagenorientierte wissenschaftliche Arbeiten [7–9], die wesentliche

Erkenntnisse zur Pathophysiologie von COVID-19 erbracht haben, beispielsweise, dass ein diffuser alveolärer Schaden (DAD) beider Lungen im Vordergrund der Organschädigung steht, der offenbar unabhängig von der Durchführung einer invasiven Beatmung auftritt, und häufig mit thrombotischen Verschlüssen von Pulmonalarterienästen auf segmentaler und subsegmentaler Ebene [1, 2, 10] und einer Endotheliitis einhergeht [8]. Die Schädigung anderer Organe ist möglicherweise als Folge eines protrahierten Schockgeschehens mit nachfolgendem Multiorganversagen zu betrachten und kann mitunter auch nur in geringem Ausmaß vorhanden sein. Dazu zählen die ischämische Tubulusschädigung der Nieren [1, 11–13], fokale Pankreatitiden [1] und eine fokale ischämische Koloopathie [14]. Ergebnisse von Analysen des zentralen Nervensystems (ZNS) sind widersprüchlich und liefern bislang keine ausreichenden Beweise für eine direkte Schädigung des Gehirns durch SARS-CoV-2 mit Ausnahme einer Einbeziehung in systemische Gerinnungsprozesse [15–19].

In Deutschland wurde früh anlässlich der ersten Infektionswelle das Deutsche Register für COVID-19-Obduktionen

Tab. 1 Darstellung der vom Robert Koch-Institut (RKI) empfohlenen und in den Zentren durchgeführten Schutzmaßnahmen – technische Kennzahlen, persönliche Schutzausstattung und obduktionstechnische Aspekte

	Empfehlung RKI	Empfehlung Aachen	Augsburg	Erlangen	TU München	Graz	Basel
Anzahl der Mitarbeiter pro Obduktion (Ärzte [Ä]/Sekt.-Assistenten [PA])	–	1 A/2 PA	4 Ä	2 Ä/1 PA	2 Ä/1 PA	2 Ä/1 PA	2 Ä/0–1 PA
<i>Persönliche Schutzausrüstung und -Sektionsraumausstattung</i>							
Sektionssaal mit Unterdruckverhältnissen	–	X	X	X	X	X	X
Luftwechselraten (pro Stunde)	–	≥12fach	13fach	≥12fach	≥12fach	20fach	9fach
N95-Maske/FFP2/3-Maske ^a	X	X	X	X	X	X	X
Augenschutz	X	X	X	X	X	X	X
Kopfhaube	–	X	X	X	X	X	X
Mantel	X	X	X	X	X	X	Gefahrgutanzug
Handschuhe	X (mindestens ein Paar)	X (doppelt)	X (doppelt)	X (doppelt)	X (doppelt)	X (doppelt)	X (doppelt)
Schnittfeste Handschuhe aus synthetischem Netzgewebe/Kevlar	–	X	X	–	–	X	–
Wasserdichte Schürze	X	X	X	X	X	X	X
Gummischuhe/-stiefel	X	X	X	X	X	X	X
Unter PPE: OP-Hemden, Hosen	–	X	X	X	X	X	X
Obduktion im Bodybag	–	X	X	X	X	^b	–
Gewebefixationszeiten in Formalin (in Stunden)	–	336–504	96	48	72	24 ^c /72 ^c	72
Sonstiges	–	2-stufiges Verfahren, Organpräparation nach Formalinfixation (siehe Zusatzmaterial online, „Verfahrensanleitung COVID-19-Obduktionen der Uniklinik RWTH Aachen“)	Knorpelzange für Thorax IQ-Air Healthpro 250 NE Raumluftreiniger (IQAir, Gollach, Schweiz)	–	Handbohrer für Schädeltrepanation	Säge mit Absaugung für Schädel, Knorpelzange für Thorax Lungenpräparation nach Formalinfixierung	Handsäge für Schädel 2 h vor der Autopsie: 4% phosphatgepuffertes Formalin, instilliert in Mund, Nase, Pharynx

RKI Robert-Koch-Institut, TUM Technische Universität München, FFP „filtering facepiece“, PPE „personal protective equipment“

^aLt. RKI sind FFP2-Masken als Mindestausrüstung definiert

^bBodybag zum Transport des Leichnams

^cFixierungszeiten in Abhängigkeit der Präparatgröße

(DeRegCOVID, www.DeRegCOVID.ukaachen.de) in enger Zusammenarbeit der Deutschen Gesellschaft für Pathologie (DGP) und des Berufsverbandes der Deutschen Pathologen e.V. (BDP) ins Leben gerufen (offizieller Start am 15.04.2020) [20]. Im Rahmen des Registers wurde eine Verfahrensempfehlung ausgearbeitet, die das Vorgehen am

Universitätsklinikum Aachen abbildet (Tab. 1) und mit höchster Priorität die Sicherheit der Mitarbeiter gewährleistet (Zusatzmaterial online, „Verfahrensanleitung COVID-19-Obduktionen der Uniklinik RWTH Aachen“). Diese wurde durch BDP und DGP als Beispiel bzw. Hilfestellung allen Mitgliedern zur Verfügung gestellt und ist insbeson-

dere für Zentren gedacht, die keine ausgedehnte Erfahrung mit hochinfektiösen Obduktionen haben. Dabei sollten immer alle Prozesse an die lokalen Gegebenheiten angepasst und durch die entsprechenden Stellen geprüft werden, z. B. die hausinterne Krankenhaushygiene, institutsinterne QM-Richtlinien und zentrale Richtlinien für Biologische Si-

Praktische Aspekte von COVID-19-Obduktionen

Zusammenfassung

Hintergrund. Die COVID-19-Pandemie stellt die medizinische Fachwelt vor eine bislang ungekannte Herausforderung. Obduktionen sind für die Erforschung dieser neuen Krankheit wesentlich, ihre sichere Durchführbarkeit wurde aber anfangs infrage gestellt.

Fragestellung. Unter welchen rechtlichen Rahmenbedingungen und unter welchen Schutzmaßnahmen können COVID-19-Obduktionen durchgeführt werden?

Material und Methoden. Das obduktionstechnische Vorgehen in 5 Zentren in Deutschland, Österreich und der Schweiz wird unter Berücksichtigung der jeweiligen rechtlichen Grundlagen und der ergriffenen Schutzmaßnahmen dargestellt.

Ergebnisse. In allen Institutionen konnten die Obduktionen in technisch geeigneten

Räumen sicher durchgeführt werden. Die persönliche Schutzausrüstung umfasste Augenschutz, Mund-Nasen-Masken (mindestens FFP2), Kopfhauben, Funktionskleidung, Mäntel, Schürzen und 2 Paar Handschuhe. In 4 Instituten wurden die Leichen nach unterschiedlichen Techniken eröffnet. In einem Institut wurde ein minimal-invasives Verfahren, die postmortale ultraschallunterstützte Gewebeentnahme im Rahmen des „postmortal imaging and biopsy programs“, durchgeführt. Letztere gibt zwar keine makroskopischen Einblicke in die inneren Organe, ermöglicht aber eine standardisierte bioptische Gewinnung von Gewebe für Diagnostik und Forschung. Aus den Obduktionen resultierten mehrere Arbeiten in hochrangigen Journalen, die profunde Einblicke in die Organveränderungen

ermöglichten und wesentliche Schlüsse auf die Pathomechanismen zuließen. Virus-RNA konnte häufig in COVID-19-Verstorbenen nachgewiesen werden. Vereinzelt gelang auch die Anzüchtung der Viren. Die Frage nach der postmortalen Infektiosität bleibt aber unklar und bei Ct-Werten über 30 umstritten.

Fazit. Unter Beachtung geeigneter Schutzmaßnahmen sind Obduktionen von COVID-19-Verstorbenen sicher durchführbar und für die medizinische Forschung hoch relevant.

Schlüsselwörter

Biomedizinische Forschung · Referenzstandards · Sicherheitsmanagement · SARS-CoV-2 · Ultrasonographie

Practical aspects of COVID-19 autopsies

Abstract

Background. The COVID-19 pandemic represents a so far unknown challenge for the medical community. Autopsies are important for studying this disease, but their safety was challenged at the beginning of the pandemic.

Objectives. To determine whether COVID-19 autopsies can be performed under existing legal conditions and which safety standards are required.

Materials and methods. The autopsy procedure undertaken in five institutions in Germany, Austria, and Switzerland is detailed with respect to legal and safety standards.

Results. In all institutions the autopsies were performed in technically feasible rooms. The

personal equipment consisted of functional clothing including a disposable gown and apron, a surgical cap, eye protection, FFP-3 masks, and two pairs of gloves. In four institutions, complete autopsies were performed; in one institution the ultrasound-guided biopsy within the postmortal imaging and biopsy program. The latter does not allow the appreciation of gross organ pathology; however, it is able to retrieve standardized biopsies for diagnostic and research purposes. Several scientific articles in highly ranked journals resulted from these autopsies and allowed deep insights into organ damage and conclusions to better understand the

pathomechanisms. Viral RNA was frequently detectable in the COVID-19 deceased, but the issue of infectivity remains unresolved and it is questionable if Ct values are greater than 30.

Conclusions. With appropriate safeguards, autopsies of people who have died from COVID-19 can be performed safely and are highly relevant to medical research.

Keywords

Biomedical research · Reference standards · Safety management · SARS-CoV-2 · Ultrasonography

cherheit (nach gesetzlichen Vorgaben für biologische Sicherheit gemäß Biostoffverordnung und gemäß den geltenden Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe [TRBA 250 – Biologische Arbeitsstoffe im Gesundheitswesen und in der Wohlfahrtspflege]). Im Rahmen des DeRegCOVID hat die Registerzentrale in Aachen bislang gute Rückmeldungen zu dieser Empfehlung erhalten und konnte zusätzlich einige Zentren in Fragen der Arbeitssicherheit unterstützen (E-Mail: Covid.Pathologie@ukaachen.de).

Im Rahmen des Deutschen Forschungsnetzwerks für Autopsien bei Pandemien (DEFEAT PANDEMICS) werden aktuell die Verfahrensempfehlungen weiter ausgearbeitet und durch das DeRegCOVID zur Verfügung gestellt. Aktuell bereits veröffentlichte Empfehlungen sind in **Tab. 2** zusammengefasst.

Gesetzliche Grundlagen der Obduktion und Corona-Regelungen

Deutschland

In Deutschland ist die Regelung des Leichenschau- und Obduktionswesens Ländersache, sodass es keine bundesweite einheitliche Regelung gibt. Bundesrechtlich sind nur strafprozessuale, seuchengesetzliche und sozialversicherungsrechtliche Sektionen sowie in einem Teil

Tab. 2 Bisher veröffentlichte Empfehlungen für die Durchführung von COVID-19-Obduktionen

Institution/Autor	Titel	Land	Link
Berufsverband der Deutschen Pathologen	Vorsichtsmaßnahmen zur Durchführung von Autopsien in SARS-, HIV-, Hepatitis-C- und Covid 19-Fällen	DE	https://www.pathologie.de/aktuelles/corona/corona-detailansicht/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=1690&cHash=f7bb15ed3ab6d1ee006bcfd87283316
Boor et al., Aachen	Obduktion bei bestätigtem COVID-19-Todesfall	DE	Zusatzmaterial online, „Verfahrensanleitung COVID-19-Obduktionen der Uniklinik RWTH Aachen“
Deutsche Gesellschaft für Neuropathologie und Neuroanatomie e. V.	Hinweise zur Prävention einer SARS-CoV-2-verursachten Coronavirus-Krankheit 2019 (COVID-19) in medizinischen Untersuchungsstellen und Laboren	DE	https://www.dgmn.de/images/documents/DGNN-Hinweise_zur_Praevention_COV19.pdf
Deutsche Gesellschaft für Neuropathologie und Neuroanatomie e. V.	CNS-COVID19: Deutschlandweite Phänotypisierungs-Plattform zur ZNS/PNS-Beteiligung von SARS-CoV-2	DE	https://jlubox.uni-giessen.de/dl/fiAS1d59XB9qD1B8PvdFYwJj/CNS-COVID19-Register_und_Asservierungsliste.pdf?inline
German Biobanking Node	Arbeiten mit SARS-CoV-2-Proben	DE	https://www.bbMRI.de/covid-19/arbeiten-mit-sars-cov-2-proben/
Österreichische Gesellschaft für Pathologie/IAP Austria	Obduktionen und COVID; Umgang mit an COVID-19 Verstorbenen	AT	https://oegpath.at/?s=COVID
Schweizerische Gesellschaft für Rechtsmedizin	Empfehlungen im Umgang mit SARS-CoV-2 für die Untersuchung von Verstorbenen (Legalinspektion, postmortale Bildgebung und Autopsie) sowie für klinische Untersuchungen	CH	https://www.sgrm.ch/inhalte/Forensische-Medizin/Empfehlungen_SGRM_SARS-CoV_25maerz2020.pdf
Schweizerische Unfallversicherungsanstalt	Verhütung von Berufskrankheiten in pathologisch-anatomischen Instituten und histologischen Laboratorien	CH	http://www.sohf.ch/Themes/Labo/2869_25_D.pdf
Royal College of Pathologists	New briefing on COVID-19 – Autopsy practice relating to possible cases of COVID-19	UK	https://www.rcpath.org/uploads/assets/d5e28baf-5789-4b0f-acecfe370eee6223/fe8fa85a-f004-4a0c-81ee4b2b9cd12cbf/Briefing-on-COVID-19-autopsy-Feb-2020.pdf
WHO	WHO (2020) Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions	International	https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions

der Länder Sektionen bei Feuerbestattung geregelt. COVID-19-Obduktionen waren bislang überwiegend klinische Sektionen, für die ein Einverständnis des Verstorbenen zu Lebzeiten oder der Angehörigen erforderlich ist. An einigen Orten – allen voran in Hamburg – wurden durch die Gesundheitsämter in Rahmen des Infektionsschutzgesetzes (IfSG) angeordnete Sektionen durchgeführt. Die gesetzlichen Grundlagen der Länder wurden und werden zumindest teilweise als unzureichend betrachtet [21, 22].

Zu Beginn der Pandemie in Deutschland erging vom Robert Koch-Institut die Empfehlung, Obduktionen von COVID-19-Fällen zu vermeiden. Mittlerweile wurde diese Empfehlung, offensichtlich nicht zuletzt aufgrund einer Intervention des Bundesverbandes Deutscher Pathologen und der Deutschen Gesellschaft

für Pathologie, wieder zurückgenommen. Bei der äußeren Leichenschau von an COVID-19 Verstorbenen sollten laut Robert Koch-Institut mindestens die Regelungen der Schutzstufe 3 nach der Biostoffverordnung eingehalten werden, insbesondere falls postmortale Maßnahmen, wie beispielsweise Leicheneröffnungen, durchgeführt werden. Für den Transport von Leichen werden keine besonderen Maßnahmen empfohlen. Tatsächlich geregelt wird dies allerdings wieder auf Länderebene, beispielsweise muss laut dem Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit in Bayern davon ausgegangen werden, dass jeder Verstorbene Träger von Krankheitserregern ist und damit potenziell infektiös sein kann. Aus diesem Grund ist beim Umgang mit einem Verstorbenen stets die nach § 6 Bestattungsverordnung (BestV) vorgegebene Schutzkleidung erforder-

lich. Aus Vorsichtsgründen sollte in der Todesbescheinigung die Kennzeichnung als „infektiöse Leiche“ erfolgen. Dies zieht die nach § 7 BestV erforderlichen Maßnahmen nach sich. Letztere beinhalten den Transport der Leichen in sog. Bodybags. Der Leichentransport in einem von außen desinfizierten Bodybag, Tragen von Schutzkleidung und Angabe der möglichen, von dem oder der Verstorbenen ausgehenden Infektionsgefahr auf dem Totenschein sind in Nordrhein-Westfalen (NRW) gleichermaßen vorgeschrieben. Der Sarg ist mit der Angabe „infektiös“ oder „infektiöser Leichnam“ zu kennzeichnen. Das Aufbahnen des Leichnams und Abschiednahme am offenen Sarg sind nicht gestattet (Tab. 2).

Mittlerweile liegt auch eine Empfehlung zur Durchführung von Autopsien in SARS-CoV-2 verursachten Infektionsfällen vor [23].

Gemäß dem Zweiten Gesetz zum Schutz der Bevölkerung bei einer epidemischen Lage von nationaler Tragweite vom 19.05.2020 (Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020 Teil I Nr. 23, ausgegeben zu Bonn am 22. Mai 2020) besteht für COVID-19 eine Arztmeldepflicht nach § 6 IfSG sowie für den direkten und indirekten Nachweis von SARS-CoV und SARS-CoV-2 eine Labormeldepflicht nach § 7 IfSG, soweit die Nachweise auf eine akute Infektion hinweisen.

Österreich

In Österreich sind Leichenschau und Obduktionen auf Ebene der Bundesländer gesetzlich geregelt (Leichenbestattungs- bzw. Bestattungsgesetze), auf Bundesebene die klinische Obduktion (§ 25 Krankenanstalten- und Kuranstaltengesetz [KAKuG]: <https://www.ris.bka.gv.at>; Gesetzesnummer 10010285) sowie die Leichenbeschau und gerichtliche Obduktion im Rahmen der Strafprozessordnung. Im Gegensatz zu den anderen deutschsprachigen Ländern erfordert eine Obduktion in Österreich nur in Ausnahmefällen eine Zustimmung der Angehörigen. In öffentlichen Krankenhäusern besteht bei unklarer Todesursache zur Wahrung öffentlicher oder wissenschaftlicher Interessen, insbesondere wegen diagnostischer Unklarheit des Falles oder wegen eines vorgenommenen operativen Eingriffes, eine Obduktionspflicht. Außerdem müssen Obduktionen durchgeführt werden, wenn sie sanitätspolizeilich oder strafprozessual angeordnet wurden. Diese gesetzliche Bestimmung wird in die jeweilige Landesgesetzgebung übernommen (KAKuG der einzelnen Bundesländer), daher könnten grundsätzlich alle an COVID-19 Verstorbenen auf Basis der gesetzlichen Grundlagen ohne Zustimmung von Angehörigen obduziert werden. Für die Durchführung der Obduktionen sind in den Krankenanstalten Institute für Pathologie zuständig, außerhalb der Krankenanstalten ebenfalls Pathologieinstitute (sanitätspolizeiliche Obduktionen) sowie Institute für Gerichtsmedizin (zum Teil sanitätspolizeiliche Obduktionen sowie gerichtliche Obduktionen). Obduktionen sind ferner

in den jeweiligen Landesgesetzen über das Bestattungswesen (Leichenbestattungs- bzw. Bestattungsgesetze) geregelt, wobei dies detaillierter ausformuliert ist als in den KAKuG. Für die Durchführung von Obduktionen sind laut Ärztesgesetz Fachärztinnen/Fachärzte für Pathologie oder Gerichtsmedizin zuständig.

Zu Beginn der Coronapandemie gab es von Seiten des Bundesministeriums für Soziales und Gesundheit weder eine Empfehlung für die Durchführung von Obduktionen an COVID-19-Verstorbenen noch eine Ablehnung. Die Österreichische Gesellschaft für Pathologie (ÖGPath/IAP Austria) hat als zuständige Fachgesellschaft auf ihrer Homepage (<https://oegpath.at>) auf die gesetzlichen Grundlagen und damit auf die Möglichkeit zur Obduktion hingewiesen. Die ersten Obduktionen fanden Mitte März in Wien (sanitätspolizeiliche Obduktion einer Verstorbenen in Heimquarantäne) und am LKH Graz II statt. Die Obduktionsfrequenz war regional sehr unterschiedlich und reichte von weniger als 1 % bis zu 35 % (Steiermark).

Schweiz

In der Schweiz obliegt das Obduktionswesen der kantonalen Gesundheitsgesetzgebung, stützt sich allerdings auf die Bundesgerichtsentscheide 97 I 221, 118 IV 319, 127 I 115, 129 I 173 (siehe https://www.bger.ch/ext/eurospider/live/de/php/clir/http/index_atf.php?lang=de) über die Rechte der Toten. In Basel-Stadt wird die klinische Obduktion durch das Gesundheitsgesetz (GesG, 300.100) IV.6.§20 (siehe https://www.gesetzessammlung.bs.ch/app/de/texts_of_law/300.100/versions/5117) geregelt und sieht die aktive Zustimmung (zu Lebzeiten) der verstorbenen Person bzw. der nächsten Angehörigen vor. Im Einklang mit dem Bundesgesetz über die Bekämpfung übertragbarer Krankheiten des Menschen, dem Epidemienengesetz (EpG) (siehe <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20071012/index.html>), Artikel 11 und Artikel 36 sieht das kantonale GesG § 20 im Punkt 3 vor, dass im Interesse der öffentlichen Gesundheit die Kantonsärztin oder der

Kantonsarzt auch gegen den Willen der entscheidungsbefugten Personen eine Obduktion anordnen kann. Ferner regelt das EpG über Artikel 25 die Sorgfaltspflicht beim Umgang mit Krankheitserregern alle erforderlichen Maßnahmen zu treffen, damit keine Menschen zu Schaden kommen können. Die Forschung an Verstorbenen wird schließlich über das Bundesgesetz über die Forschung am Menschen/ Humanforschungsgesetz (HFG) Kapitel 5 (siehe <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20061313/index.html#id-5>) geregelt und sieht eine aktive Zustimmung (zu Lebzeiten) der verstorbenen Person bzw. der nächsten Angehörigen vor und erlaubt, dass geringfügige Körpersubstanzmengen auch ohne Einwilligung zu Forschungszwecken anonymisiert asserviert werden, sofern keine dokumentierte Ablehnung der verstorbenen Person vorliegt.

Im Rahmen der COVID-19-Pandemie kam es in der Schweiz zu keiner Anwendung der in den kantonalen GesG vorgesehenen Passus, auch gegen den Willen der entscheidungsbefugten Personen Obduktionen anzuordnen. Autopsien wurden nach den üblichen gesetzlichen Rahmenbedingungen durchgeführt. Kantone bzw. Spitäler, welche aufgrund der Ausstattung ihrer Autopsieeinrichtungen den Anforderungen der EpG Artikel 25 nicht entsprechen konnten, sahen von Autopsien voll ab. So wurden z.B. im Kanton Tessin, welcher die höchste Mortalitätsrate im Rahmen der ersten Welle aufwies, keine Autopsien durchgeführt, während sie im Kanton Basel-Stadt bei 25 % und im Kanton Basel-Landschaft bei 35 % liegen.

Obduktionstechnisches Vorgehen der verschiedenen Zentren

Augsburg

Die technischen Voraussetzungen für einen sicheren Sektionsbetrieb waren in Augsburg gegeben. Der Luftwechsel im Sektionsraum betrug 13/h. Zusätzlich wurde ein Luftreinigungsgerät mit Virenfilter betrieben (s. [Tab. 1](#)). Alle Obduktionen erfolgten durch ein Team

von 4 Ärzten (2 Pathologen, 2 Internisten). Auf den Einsatz von Präparations- und Weiterbildungsassistenten wurde verzichtet, da es zunächst zwar theoretisch begründete Einschätzungen zur Infektionsgefahr im Sektionssaal gab, jedoch keine belastbaren Daten. Im Gegensatz zur allgemeinen Empfehlung, mit möglichst wenig Personal zu arbeiten, glauben wir hier einen Vorteil durch die Aufgabenteilung zu erreichen. Alle präparatorischen Aufgaben führten 2 Kollegen durch. Ein Kollege arbeitete als Dokumentar und Springer, der vierte kümmerte sich um die optimale Organ- und Gewebeatservierung. Die persönliche Schutzausstattung ist der **Tab. 1** zu entnehmen. Die Sektionen erfolgten im Bodybag, in dem der Leichnam von der Station in die Prosektur verbracht wurde. Die Eröffnung des Thorax erfolgte mittels einer Knorpelschere, die des Schädels allerdings mit einer oszillierenden Säge. Der Einsatz einer oszillierenden Säge ohne Absaugeinrichtung blieb für die Obduzenten zwar folgenlos, wird jedoch nicht empfohlen. Ein besonderes Augenmerk richtete sich auf eine optimale Fixierung des entnommenen Gewebes mit ausreichendem Verhältnis von Gewebe zu Formalin (mind. 1:3). Die Fixierung des Lungengewebes wurde durch Injektion von ca. 300 ml Formalin pro Lungenflügel mittels 50-ml-Perfusorspritzen und dicklumiger Injektionsnadel ins Parenchym unterstützt. Diese Technik hat sich in Augsburg auch bereits bei Lungenoperationspräparaten bewährt und führt hier zu besseren Ergebnissen als die bronchiale Instillation. Die minimale Fixationszeit betrug mindestens 96 h. Die Gehirnobduktion erfolgte durch die neuropathologischen Kollegen der Technischen Universität München gemäß den Vorgaben der Deutschen Gesellschaft für Neuropathologie und Neuroanatomie (s. **Tab. 2**). Abstriche erfolgten aus dem Rachenraum, der Trachea und der Bronchien, in einzelnen Fällen auch der Bindehaut. Soweit möglich wurden auch Körperflüssigkeiten (Ergüsse, Liquor, Augenkammerwasser) asserviert. Im Verlauf wurden auch routinemäßig Gewebeproben kryoasserviert.

Nach Abschluss der Obduktion erfolgte ein Verschluss des Bodybags und eine Desinfektion der Hülle. Einmalschutzkleidung wurde in entsprechende Abwurfbehälter gegeben. Desinfektion und Abfallbeseitigung erfolgten durch geschultes Personal.

Alle 4 mit den Obduktionen betrauten Ärzte blieben gesund, was durch zweimalig durchgeführte Abstrichuntersuchungen und jeweils eine Antigenbestimmung bestätigt wurde.

Erlangen

Am Uniklinikum Erlangen wurde bislang (Stand 16.10.2020) bei 13 Verstorbenen eine COVID-19-Infektion nachgewiesen und in 4 Fällen eine Obduktion durchgeführt.

Alle Obduktionen wurden in einem separaten, für Risikosektionen vorgehaltenen Sektionsraum sowie mit adäquater persönlicher Schutzausrüstung der beteiligten Personen (s. **Tab. 1**) durchgeführt. Gemäß der zum Zeitpunkt der Obduktion geltenden Empfehlungen (die Obduktionen wurden zwischen April und Mai 2020 durchgeführt) wurde die Anzahl der beteiligten Personen so gering wie möglich gehalten. Die organpräparatorischen Arbeiten, die Asservierung und die initiale Dokumentation wurden durch einen erfahrenen Arzt in Weiterbildung, unterstützt durch einen medizinischen Präparator, durchgeführt. Die Dokumentation erfolgte dabei zunächst auf „kontaminierten“ Protokollbögen und wurde nach Abschluss der Obduktion auf neue, nicht kontaminierte Protokollbögen übertragen. Die Supervision oblag dem Prosektor (Facharzt). Die Obduktion erfolgte identisch wie in Augsburg.

Nach Abschluss der Obduktion erfolgte eine Desinfektion des Bodybags sowie anschließend die Verbringung in einen zweiten, frischen Bodybag, um einen maximalen Infektionsschutz zu erhalten. Die Einmalschutzkleidung wurde in entsprechende Abwurfbehälter gegeben. Reinigung und Desinfektion der wiederverwendbaren Schutzausrüstung, des Sektionssaales sowie Abfallentsorgung erfolgten durch geschultes Personal.

Die nativen Gewebeproben wurden kryoasserviert in, je nach Organgröße, großzügiger Menge in einem Kunststoffbehälter mit Schraubverschluss in einem gesonderten und gekennzeichneten Tiefkühlschrank (-80°C). SARS-CoV-2 wurde durch den Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe (ABAS) in die Risikogruppe 3 und in die Schutzstufe 2 eingeordnet. Unter Einhaltung der entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen sind ungerichtete Tätigkeiten (u. a. Probenlagerung) als unkritisch anzusehen [24].

Die histologischen Proben wurden bei Raumtemperatur für mindestens 48 h in 4%igem, gepuffertem Formalin fixiert.

TU München

Am Institut für Pathologie der Technischen Universität München (TUM) wurde zusammen mit der Ultraschallabteilung und Gewebebank (MTBIO) des Klinikums rechts der Isar ein durch postmortale Ultraschallbildgebung unterstütztes standardisiertes Verfahren für die Gewebegewinnung und -asservierung letaler COVID-19-Fälle etabliert, das „postmortal imaging and biopsy program“. Dieses berücksichtigt den Infektionsschutz für Mitarbeiter und die Qualitätssicherung postmortal entnommener Organproben und beantwortet diagnostische Fragen zur Pathobiologie und Gewebeschädigung von COVID-19. Das Verfahren und die Verwendung der Proben für die COVID-19-Forschung wurden von der Ethikkommission der TU München genehmigt.

Im Rahmen der Gelbfieberepidemie 2018 in Brasilien wurde ein minimal-invasives Verfahren, die sog. Minimal-invasive Autopsie (MIA) in einer etwas einfacheren Technik bereits erfolgreich angewendet [25], wobei Todesursachen mittels MIA mit vergleichbarer hoher Sicherheit wie mittels konventioneller Autopsie ermittelt werden konnten. Über erste positive Erfahrungen der minimal-invasiven Autopsie im Rahmen der COVID-19-Pandemie wurde bereits berichtet [26, 27]. Einer der Vorteile der minimal-invasiven Verfahren ist die fehlende Aerosolbildung, sodass unter Einhaltung der spezifischen Sicherheitsvorkehrungen (siehe **Tab. 1**)

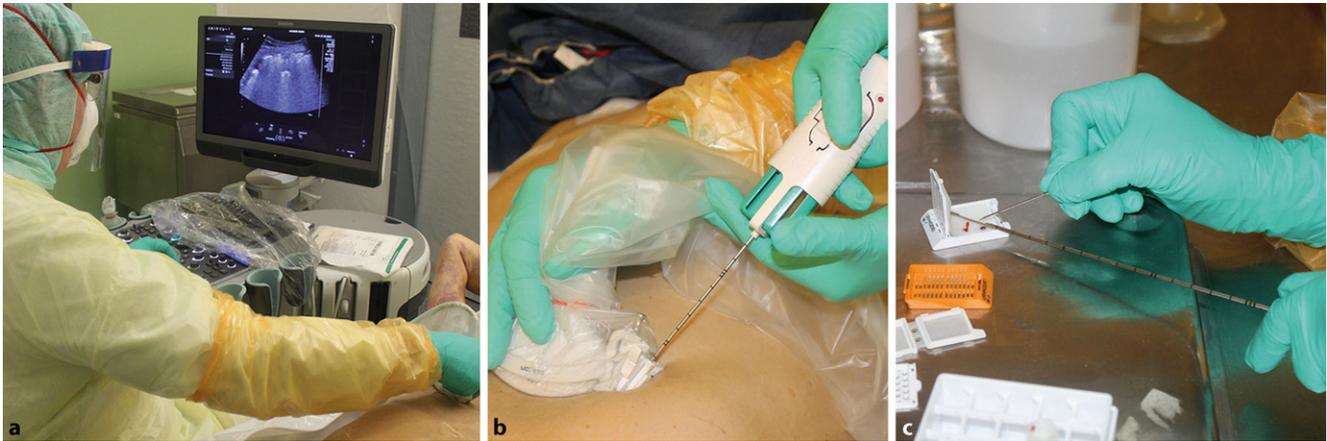


Abb. 1 ▲ Minimal-invasive, ultraschallgesteuerte Autopsie (MIA-US). **a** Postmortale Sonografie. **b** Sonografisch gesteuerte Punktion unter Verwendung eines Schallkopfs mit Punktionsaufsatz. **c** Überführung der Stanzzyylinder in Gewebekassetten zur weiteren Verarbeitung

bereits kurz nach Eintritt des Todes Gewebe für Untersuchungen auf zellulärer und subzellulärer Ebene sicher gewonnen werden kann. Um schnellstmöglich und treffsicher postmortales Gewebe zu asservieren, werden Organe bzw. Zielläsionen mit einem High-End-Ultraschallgerät identifiziert und mittels Punktionsaufsatz und Einmalbiopsiegerät unter Sichtkontrolle zielgenau punktiert (▣ **Abb. 1**). Für die Durchführung des Verfahrens wurde am Institut für Pathologie ein Punktionsraum im Sektionsbereich eingerichtet und mit IT-Anbindung an das Klinikinformationssystem ausgerüstet. Das Team besteht aus einem fachärztlichen Internisten/einer fachärztlichen Internistin mit besonderer Ultraschallqualifikation (DEGUM III), einem Facharzt/einer Fachärztin für Pathologie und einem Mitarbeiter/einer Mitarbeiterin zur technischen Unterstützung des Probenmanagements. Bei Ableben eines COVID-19-Erkrankten am Klinikum rechts der Isar werden die Angehörigen des Verstorbenen informiert. Nach Einwilligung der Angehörigen wird unter Einhaltung der empfohlenen Infektionsschutzmaßnahmen (analog zur konventionellen Autopsie) das Verfahren im geöffneten Bodybag im Punktionsraum der Pathologie durchgeführt. Nach äußerer Leichenschau durch den Pathologen erfolgt nach standardisiertem Protokoll die Ultraschalluntersuchung der inneren Organe und die transkutane Punktion diver-

ser Organe bzw. Zielläsionen (Trachea, Lunge, Herz, Leber, Pankreas, Nieren, Milz, Aorta, Lymphknoten u. a.). Mittels gezielter Schädeltrepanation wird weiterhin Hirngewebe und eine Knochenmarksprobe am vorderen Beckenkamm gewonnen. Die Ultraschalluntersuchung und die Punktionen werden in Rückenlage des Leichnams ohne Umlagerung durchgeführt, sodass eine mögliche umlagerungsbedingte Aerosolbildung verhindert wird. Je Organ bzw. Zielläsion werden mindestens 3 Proben gewonnen und in 4% gepuffertem Formalin (optimale Morphologie) bzw. dem formalinfreien PAXgene Tissue FIX (Qiagen N.V., Venlo, Niederlande; optimale Erhaltung von Morphologie und Molekülen) für 72 h fixiert (▣ **Abb. 1**). Zudem wird eine Probe je Organ/Zielläsion bei -80°C eingefroren und in einer gesonderten und gekennzeichneten Tiefkühltruhe gelagert, sodass das gesamte Spektrum der Methoden der State-of-the-Art-Pathologie für die postmortale Diagnostik COVID-19-Verstorbener sowie zur funktionellen Infektionsforschung zur Anwendung kommen kann.

Nach Abschluss der Obduktion erfolgt ein Verschluss und Desinfektion des Bodybags. Einmalschutzkleidung wird in entsprechende Abwurfbehälter entsorgt. Die Desinfektion und Abfallbeseitigung erfolgten durch geschultes Personal.

Graz

Zum Zeitpunkt der ersten Obduktionen Mitte März gab es kaum verfügbare Standards, außer jene der CDC (Centers for Disease Control and Prevention) in den USA und des Royal College of Pathologists des Vereinigten Königreichs [28, 29]. Daher wurden rasch eigene Standards entwickelt und konsequent ausgeführt [30]. Bis zum 31.12.2020 wurden am Institut für Pathologie des LKH Graz II 104 COVID-19-Obduktionen nach identem Standard durchgeführt.

Im LKH Graz II besteht ein Obduktionsraum mit speziellem Belüftungssystem mit getrennter Abluft zur Verfügung (Zuluft von 2120 m^3 , Abluft von 2180 m^3 , Luftwechsel ca. 20fach/h), der als Airborne Infection Isolation Room (AIIR) klassifiziert ist. Alle Obduktionen wurden von einem 3-köpfigen Team (2 Pathologen und ein Obduktionsassistent) durchgeführt, die ersten 30 Obduktionen von demselben Ärztetandem. Die Sicherheitsmaßnahmen wurden vorab mit dem verantwortlichen Krankenhaushygieniker abgestimmt. Die Schutzmaßnahmen, insbesondere die Schutzkleidung, entsprach den Maßnahmen auf den COVID-19-Stationen, wobei das Pathologieteam an der hausinternen Schulung teilnahm (siehe ▣ **Tab. 1**). Die Schutzkleidung bestand aus Funktionskleidung (Hose und Shirt), darüber ein OP-Mantel, eine Plastikschräge, 2 Paar Latexhandschuhe (bzw. ein schnittfester



Abb. 2 ◀ Obduzent in Schutzausrüstung im Sektionsaal am Institut für Medizinische Genetik und Pathologie in Basel

Handschuh im Bereich der nichtmeserführenden Hand), Plastikgamaschen für die Arme, eine OP-Haube sowie eine FFP3-Maske. Für den Schutz der Augen wurde anfangs eine Schutzbrille verwendet, im Laufe der Zeit auf einen Schutzschild gewechselt, welches den gesamten Gesichtsbereich abdeckt und lokal produziert wird. Der OP-Mantel ist flüssigkeitsabweisend und durch die Reinigung in der Krankenhauswäscherei gut zu recyceln. Außerdem ist das Entkleiden sicherer als bei Plastikoverall.

Einer der beiden Pathologen verblieb im sauberen Bereich und führte die Dokumentation durch, entnahm Abstriche und überwachte das hygienekonforme Verhalten des Obduzenten und des Obduktionsassistenten. Unter den Schutzmaßnahmen wurde speziell darauf geachtet, die Entstehung von Aerosolen zu vermeiden, insbesondere durch die Vermeidung von Wasserdampf. Daher wurde trocken obduziert, das Spülen mit Wasser vermieden und zur Reinigung

ausschließlich eine Desinfektionslösung aus dem Desinfektionsspender verwendet. Vor der Obduktion wurde ein Abstrich aus dem Oropharynx entnommen, während der Obduktion getrennte Abstriche aus dem rechts- und linksseitigen Bronchialsystem sowie zum Teil aus anderen Organen. Die Obduktionstechnik wurde vor der ersten Obduktion festgelegt und bei allen Obduktionen angewandt. Für die Eröffnung des Gehirnschädels wurde eine elektrische Säge mit Absaugvorrichtung herangezogen. Das Gehirn wurde in toto entnommen und in Formalin fixiert, zuvor Hirnstamm und Kleinhirn abgetrennt und das Großhirn durch einen Frontalschnitt durch die Corpora mamillaria in 2 Teile getrennt. Bei 10 Obduktionen in der ersten Serie wurde aus Sicherheitsgründen auf die Gehirnentnahme verzichtet, in der Folge aber konsequent durchgeführt. Der Thorax wurde mit einer Knorpelzange eröffnet, Halsorgane und Thoraxsitus wurden en bloc entnommen. Die Lungen

wurde in toto in Formalin fixiert und in fixiertem Zustand vom Apex zur Basis zur Entnahme von Proben für die histologische Untersuchung lamelliert. Die Abdominalorgane wurden in situ seziiert und nach Präparation abgesetzt und abgewogen. Die tiefen Beinvenen wurden von dorsal nach Umdrehen der wieder verschlossenen Leiche präpariert. Aus allen Organen wurden Proben zur histologischen Untersuchung entnommen und außerdem Proben aus mehreren Organen eingefroren. Nach der Obduktion wurden die Verstorbenen in einem verschlossenen Bodybag untergebracht. Ausrüstung und Obduktionsraum wurden gemäß Hygieneplan mit Desinfektionslösungen gereinigt und das Werkzeug in einer speziellen Spülmaschine gewaschen. Alle an den Obduktionen beteiligten Personen (insgesamt 6 Ärzte und 2 Obduktionsassistenten) blieben gesund.

Basel

In der Schweiz gibt es keine Empfehlungen für die Untersuchung von Verstorbenen mit SARS-CoV-2-Infektion bzw. COVID-19-Autopsien, weder von Seiten der Swiss National COVID-19 Science Task Force noch der Schweizerische Gesellschaft für Pathologie. Einzig die Schweizerische Gesellschaft für Rechtsmedizin empfiehlt eine FFP2-Maske für Autopsien, Schutzhandschuhe, ggf. schnittfeste Handschuhe, Schutzbrille oder Gesichtsschutz, wasserabweisende Überschürze (▣ **Abb. 2**; ▣ **Tab. 1**), nach der Untersuchung gründliche Desinfektion aller Instrumente und Geräte sowie der Hände mit Standarddesinfektionsmittel und Entsorgung der Einwegmaterialien in einem separaten Sack [31].

Abgesteckt durch die o. g. Rahmenbedingungen und bei Verfügbarkeit eines Autopsiebereiches mit adäquater technischer Lüftung mit einem – wie von der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt empfohlen [32] – mindestens 6fachem (im Fall Basel 9fachem) Luftwechsel pro Stunde und unter Einbezug der Erfahrung mit Autopsien bei HIV-, HCV- oder HBV-infizierten Individuen wurde im Basel am 16.03.2020 die erste Autopsie eines COVID-19-Verstorbenen

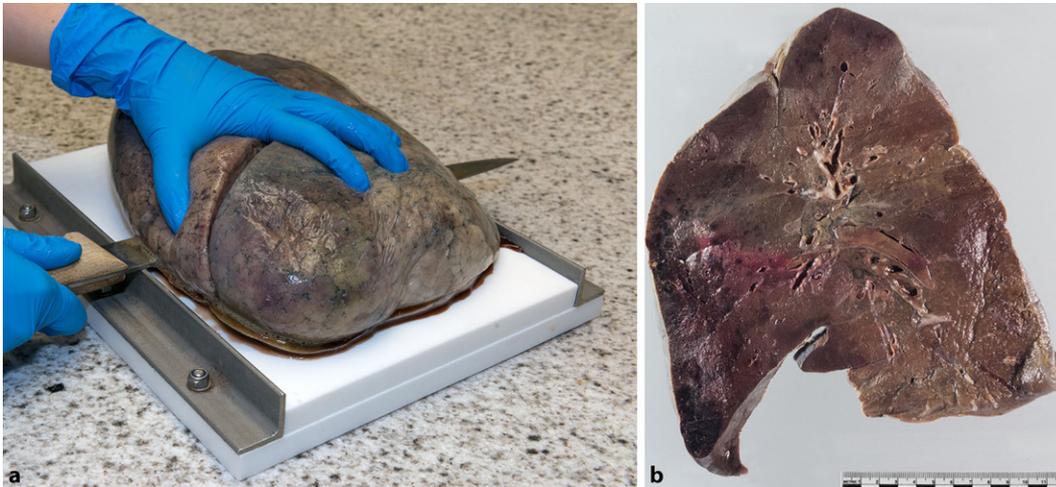


Abb. 3 ◀ Aufarbeitung eines fixierten Lungenflügels (Institut für Medizinische Genetik und Pathologie in Basel) mithilfe des sog. Lungenbretts (a) und parasagittalen, 10 mm dicken Scheiben (b)

mit zum Zeitpunkt des Todes vorhandener (hoher) Viruslast durchgeführt. Zu dieser Zeit waren die Richtlinien des Royal College of Pathologists [33] noch nicht publiziert (Erscheinungsdatum 20.03.2020), sondern nur auf der Internetseite der Gesellschaft zu finden [28]. Aus allen diesen Gründen war eigenverantwortliche Konzeptarbeit erforderlich. Unter der begründeten Annahme einer Tröpfchen- bzw. Schmierinfektion durch SARS-CoV-2 [34] und der potenziellen Infektiosität der nasalen und oralen Partie der Leichname, welche sich später als doch relevant erwiesen hat [14, 35, 36], haben wir in Basel beschlossen 1) ca. 2 h vor der Autopsie 4%iges gepuffertes Formalin (100–200 ml) mittels Pipetten in die Nase und in dem Mund der Leichname zu instillieren, ferner – zur weiteren Reduktion der Infektiosität – 2) das Hantieren an der Leiche bzw. mit Organen in die Hände von 2 Fachärzten zu geben (MT und AT; beide während der ganzen Zeit der Pandemie bis zum heutigen Tag gesund), 3) bei Ausfall der Präparatoren (was auch eingetroffen ist) eine In-corpore-Autopsietechnik, analog derer, die in einigen Instituten für Rechtsmedizin benutzt wird, anzuwenden [2], 4) Hirnautopsien nur bei Patienten jünger als 75 oder mit neurologischer Symptomatik durchzuführen, 5) das Neurokranium ausschließlich mit der Handsäge zu eröffnen und 6) das Trachea-Lungen-Organpaket mit kaltem (bessere Penetration) 4%igem gepuffertem Formalin (2–4 l) zu infundieren, anschließend mit der Kocherklemme zu blockieren und

eingetaucht in Formalin für 72 h fixieren zu lassen. Die Trachea wurde anschließend gewöhnlich präpariert und untersucht, während die Lungen mithilfe des sog. Lungenbretts (Abb. 3a) in 10 mm dicken parasagittalen Schnitten (beste Ebene zur Erhaltung des Zusammenhangs der Lappen) aufgearbeitet wurden (Abb. 3b). Es wurde systematisch und reichlich (62 Standardkassetten) Gewebe zur Klärung der Todesursache und Virusausbreitung asserviert. Die Qualität der Asservate ermöglichte es uns und auch in Zusammenarbeit mit internationalen Partnern, wichtige und später unabhängig breit bestätigte Erkenntnisse über die Pathogenese von COVID-19 als generalisiertes, dennoch pulmonozentrisches mikroangiopathisches/endotheliales Dysfunktionssyndrom mit schwerer thrombotischer Diathese zu gewinnen [2, 7, 18, 37, 38].

Zusammenfassung und Diskussion

Bereits anhand einer geringen Fallzahl konnten von unseren Teams hochkarätige wissenschaftliche Arbeiten veröffentlicht und somit wesentliche Beiträge zu einem besseren Verständnis der Erkrankung geliefert werden. Dies unterstreicht die Notwendigkeit von Obduktionen in der Situation einer neu aufgetretenen Krankheit, im speziellen Fall einer Infektionserkrankung. Anzahl und Umfang der Obduktionen sowie auch die Schutzmaßnahmen unterscheiden sich zwischen den Zentren, außerdem sind

die gesetzlichen Grundlagen in den 3 Ländern unterschiedlich. Basel kann ein Modell der minimalen Personalexposition darstellen, während die TU München das Spektrum technischer Möglichkeiten autoptischer Verfahren erweitert, um mittels postmortaler Ultraschallbildgebung und Punktion sicher und standardisiert Gewebeproben für postmortale Diagnostik und Forschung zu gewinnen.

Von verschiedenen wissenschaftlichen Organisationen und Berufsverbänden liegen Empfehlungen für die Obduktionen bei COVID-19 vor, die maßgeblich die Handlungsfähigkeit der mit Autopsien betrauten Fächer unterstützten. Eine einheitliche, detaillierte und verbindliche Empfehlung fehlt allerdings bislang. Für Deutschland wird eine solche derzeit im Rahmen des vom Bundesministerium für Forschung und Bildung geförderten Deutschen Forschungsnetzwerks für Autopsien in Pandemien (DEFEAT PANDEMICS; siehe Artikel in dieser Sonderausgabe) erarbeitet.

Die Frage nach der Infektionsgefahr im Rahmen der COVID-19-Obduktionen konnte bisher nicht umfassend beantwortet werden. Einzelne Untersuchungen haben gezeigt, dass Virus-RNA bei Verstorbenen zwar nachweisbar ist [11], die meist hohen Ct-Werte (über 30) eine Infektiosität jedoch infrage stellen. Am Institut in Augsburg wurde in 50 konstitutiven postmortalen Analysen aus Rachen und Atemwegen im Mittel ein Ct-Wert von 23 ± 6 ermittelt (unpubl.

Daten). Eine Anzucht von Viren aus Abstrichen von Verstorbenen ist in einzelnen Fällen gut dokumentiert [35, 39]. Es liegen hier allerdings keine gleichzeitigen quantitativen Informationen über die Virus-RNA in Form von Ct-Werten vor [36]. Ganz wesentlich ist die Vermeidung der Aerosolbildung durch eine mögliche trockene Obduktionstechnik sowie der Schutz durch adäquate Atemschutzmasken (idealerweise FFP3). In diesem Rahmen ist wichtig festzuhalten, dass es bisher keine Berichte von sicher im Obduktionssaal erworbenen Infektionen an SARS-CoV-2 gibt. Unsere Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen blieben gesund und frei von einer Infektion. Eine Zurückhaltung gegenüber Obduktionen basiert damit auf keiner rationalen Grundlage.

Fazit für die Praxis

- Obduktionen stellen einen unverzichtbaren Teil der Erforschung von neuen Erkrankungen, wie z. B. COVID-19, dar.
- Standards einschließlich SOPs wurden von mehreren Instituten unabhängig voneinander entwickelt, vielfach reproduziert und zum Teil publiziert. Darüber hinaus sollten Standards offiziell anerkannt werden. Die minimal-invasive, ultraschallgesteuerte Autopsie (MIA-US) stellt eine innovative Ergänzung zur kompletten Obduktion dar, mit dem Nachteil, makroskopische Veränderungen nur eingeschränkt erfassen zu können.
- Dem Schutz des mit COVID-19-Obduktionen betrauten Personals durch technische Voraussetzungen (ausreichender Luftwechsel) und geeignete Schutzausrüstung gilt besonderes Augenmerk.
- Unter Beachtung der erforderlichen Schutzmaßnahmen sind COVID-19-Obduktionen sicher durchführbar.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Bruno Märkl
 Institut für Pathologie und Molekulare Diagnostik, Universitätsklinikum Augsburg
 Stenglinstr. 2, 86156 Augsburg, Deutschland
 bruno.maerkl@uka-science.de

Danksagung. Diese Arbeit wurde unterstützt durch das Deutsche Register für COVID-19 Autopsien (DeRegCOVID, www.DeRegCOVID.ukaachen.de), finanziert durch das Bundesministerium für Gesundheit (ZMV11-2520COR201) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Netzwerkes Universitätsmedizin (DEFEAT PANDEMICs, 01KX2021). Unser Dank gilt den Kollegen und Kolleginnen der einzelnen Pathologien und Neuropathologien sowie denen der klinischen Fächer, die uns in mannigfaltiger Form unterstützt haben. Aus München sei besonders PD Dr. med. vet. Katja Steiger und PD. Dr. med. Konrad Stock gedankt. Frau Dr. Jasmin Haslbauer, Herrn Ralph Schoch und Herrn Thomas Rost aus Basel sei herzlich für die unschätzbare und tatkräftige Unterstützung hinsichtlich COVID-19 Autopsien gedankt: amici certi in re incerta cernitur. Diese Arbeit ist den Teams aus Ärztinnen und Ärzten und Pflegekräften gewidmet, die täglich um das Leben der COVID-Patienten kämpfen. Daneben gilt unser besonderer Dank den Angehörigen der Verstorbenen, die in der Situation des Verlustes und der Trauer durch Ihre Einverständnisse einen unschätzbaren Beitrag zur Erforschung dieser in vieler Hinsicht bedrohlichen Erkrankung geleistet haben.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. P. Boor, P. Eichhorn, A. Hartmann, S. F. Lax, B. Märkl, T. Menter, K. Skok, J. Slotta-Huspenina, S. von Stillfried, A. Tzankov und G. Weirich 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. Lax SF, Skok K, Zechner P, Kessler HH, Kaufmann N, Koelblinger C, Vander K, Bargfrieder U, Trauner M (2020) Pulmonary Arterial Thrombosis in COVID-19 With Fatal Outcome: Results From a Prospective, Single-Center, Clinicopathologic Case Series. *Ann Intern Med* 173(5):350–361. <https://doi.org/10.7326/M20-2566>
2. Menter T, Haslbauer JD, Nienhold R, Savic S, Hopper H, Deigendesch N, Frank S, Turek D, Willi N, Pargger H, Bassetti S, Leuppi JD, Cathomas G, Tolnay M, Mertz KD, Tzankov A (2020) Postmortem examination of COVID-19 patients reveals diffuse alveolar damage with severe capillary congestion and variegated findings in lungs and other organs suggesting vascular dysfunction. *Histopathology*. <https://doi.org/10.1111/his.14134>
3. Wichmann D, Sperhake JP, Lutgehetmann M, Steurer S, Edler C, Heinemann A, Heinrich F, Mushumba H, Kniepl, Schroder AS, Burdelski C, de Heer G, Nierhaus A, Frings D, Pfefferle S, Becker H, Brederke-Wiedling H, de Weerth A, Paschen HR, Sheikhzadeh-Eggers S, Stang A, Schmiedel S, Bokemeyer C, Addo MM, Aepfelbacher M, Puschel K, Kluge S (2020) Autopsy Findings and Venous Thromboembolism in Patients With COVID-19: A Prospective Cohort Study. *Ann Intern Med* 173 (4):268–277. <https://doi.org/10.7326/M20-2003>
4. Barton LM, Duval EJ, Stroberg E, Ghosh S, Mukhopadhyay S (2020) COVID. *USA. Am J Clin*

Pathol, Oklahoma <https://doi.org/10.1093/ajcp/aqaa062> (19 Autopsies)

5. Tian S, Hu W, Niu L, Liu H, Xu H, Xiao SY (2020) Pulmonary Pathology of Early-Phase 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pneumonia in Two Patients With Lung Cancer. *J Thorac Oncol* 15(5):700–704. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2020.02.010>
6. Tian S, Xiong Y, Liu H, Niu L, Guo J, Liao M, Xiao SY (2020) Pathological study of the 2019 novel coronavirus disease (COVID-19) through postmortem core biopsies. *Mod Pathol* 33(6):1007–1014. <https://doi.org/10.1038/s41379-020-0536-x>
7. Ackermann M, Verleden SE, Kuehnel M, Haverich A, Welte T, Laenger F, Vanstapel A, Werlein C, Stark H, Tzankov A, Li WW, Li VW, Mentzer SJ, Jonigk D (2020) Pulmonary Vascular Endothelialitis, Thrombosis, and Angiogenesis in Covid-19. *N Engl J Med* 383(2):120–128. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2015432>
8. Varga Z, Flammer AJ, Steiger P, Haberecker M, Andermatt R, Zinkernagel AS, Mehra MR, Schuepbach RA, Ruschitzka F, Moch H (2020) Endothelial cell infection and endotheliitis in COVID-19. *Lancet* 395(10234):1417–1418. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30937-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30937-5)
9. Haslbauer JD, Perrina V, Matter M, Dellas A, Mihatsch MJ, Tzankov A (2020) Retrospective Postmortem SARS-CoV-2 RT-PCR of Autopsies with COVID-19-Suggestive Pathology Supports the Absence of Lethal Community Spread in Basel, Switzerland, before February 2020. *Pathobiology*. <https://doi.org/10.1159/000512563>
10. Lax SF, Skok K, Trauner M (2020) Pulmonary arterial thrombosis as an important complication of COVID-19 pulmonary disease: letter to the editor. *Virchows Arch* 477(3):467–468. <https://doi.org/10.1007/s00428-020-02896-4>
11. Su H, Yang M, Wan C, Yi LX, Tang F, Zhu HY, Yi F, Yang HC, Fogo AB, Nie X, Zhang C (2020) Renal histopathological analysis of 26 postmortem findings of patients with COVID-19 in China. *Kidney Int* 98(1):219–227. <https://doi.org/10.1016/j.kint.2020.04.003>
12. Puelles VG, Lutgehetmann M, Lindenmeyer MT, Sperhake JP, Wong MN, Allweiss L, Chilla S, Heinemann A, Wanner N, Liu S, Braun F, Lu S, Pfefferle S, Schroder AS, Edler C, Gross O, Glatzel M, Wichmann D, Wiech T, Kluge S, Puschel K, Aepfelbacher M, Huber TB (2020) Multiorgan and Renal Tropism of SARS-CoV-2. *N Engl J Med* 383(6):590–592. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2011400>
13. Amann K, Boor P, Wiech T et al. (2021) COVID-19-Auswirkungen auf die Niere. *Pathologe*. <https://doi.org/10.1007/s00292-020-00899-1>
14. Skok K, Stelzl E, Trauner M, Kessler HH, Lax SF (2020) Post-mortem viral dynamics and tropism in COVID-19 patients in correlation with organ damage. *Virchows Arch*. <https://doi.org/10.1007/s00428-020-02903-8>
15. Meinhardt J, Radke J, Dittmayer C, Mothes R, Franz J, Laue M, Schneider J, Brünink S, Hassan O, Stenzel W, Windgassen M, Rößler L, Goebel H-H, Martin H, Nitsche A, Schulz-Schaeffer WJ, Hakroush S, Winkler MS, Tampe B, Elez Kurtaj S, Horst D, Oesterhelweg L, Tsokos M, Heppner BI, Stadelmann C, Drosten C, Corman VM, Radbruch H, Heppner FL (2020) Olfactory transmucosal SARS-CoV-2 invasion as port of Central Nervous System entry in COVID-19. *Patients Prepr*. <https://doi.org/10.1101/2020.06.04.135012>
16. Matschke J, Lutgehetmann M, Hagel C, Sperhake JP, Schroder AS, Edler C, Mushumba H, Fitzek A, All-

- weiss L, Dandri M, Dottermusch M, Heinemann A, Pfefferle S, Schwabenland M, Sumner Magruder D, Bonn S, Prinz M, Gerloff C, Puschel K, Krasemann S, Aepfelbacher M, Glatzel M (2020) Neuropathology of patients with COVID-19 in Germany: a post-mortem case series. *Lancet Neurol* 19(11):919–929. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(20\)30308-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(20)30308-2)
17. Pezzini A, Padovani A (2020) Lifting the mask on neurological manifestations of COVID-19. *Nat Rev Neurol*. <https://doi.org/10.1038/s41582-020-0398-3>
18. Deigendesch N, Sironi L, Kutza M, Wischnewski S, Fuchs V, Hench J, Frank A, Nienhold R, Mertz KD, Cuthomas G, Matter MS, Siegemund M, Tolnay M, Schirmer L, Probstel AK, Tzankov A, Frank S (2020) Correlates of critical illness-related encephalopathy predominate postmortem COVID-19 neuropathology. *Acta Neuropathol*. <https://doi.org/10.1007/s00401-020-02213-y>
19. Acker T (2021) Covid-19-Auswirkungen auf das ZNS. *Pathologie*. <https://doi.org/10.1007/s00292-021-00924-x>
20. von Stillfried S, Bulow RD, Rohrig R, Knuchel-Clarke R, Boor P, DeRegCovid (2020) Autopsy registry can facilitate COVID-19 research. *EMBO Mol Med* 12(8):e12885. <https://doi.org/10.15252/emmm.202012885>
21. Dettmeyer R, Madea B (2002) Reduktionen: Unsichere und uneinheitliche Rechtslage Dtsch Arztebl Intern 99(36):2311–2314
22. Edler C, Schröder AS, Aepfelbacher M, Fitzek A, Heinemann A, Heinrich F, Klein A, Langenwalder F, Lutgehetmann M, Meissner K, Püschel K, Schadler J, Steurer S, Mushumba H, Sperhake JP (2020) Dying with SARS-CoV-2 infection—an autopsy study of the first consecutive 80 cases in Hamburg, Germany. *Int J Legal Med* 134(4):1275–1284. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02317-w>
23. Bundesverband-deutscher-Pathologen (2020) Vorsichtsmaßnahmen zur Durchführung von Autopsien in SARS-, HIV-, Hepatitis-C- und Covid 19-Fällen. https://www.pathologie.de/aktuelles/corona/corona-detailansicht/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=1690&chash=f7bb15ed3ab6d1ee006bcfb87283316. Zugegriffen: 1. Nov. 2020
24. German-Biobank-Node (2020) Arbeiten mit SARS-CoV-2-Proben. <https://www.bbmri.de/covid-19/arbeiten-mit-sars-cov-2-proben/>. Zugegriffen: 28. Nov. 2020
25. Duarte-Neto AN, Monteiro RAA, Johnsson J, Cunha MDP, Pour SZ, Saraiva AC, Ho YL, da Silva LFF, Mauad T, Zanotto PMA, Saldiva PHN, de Oliveira IRS, Dolhnikoff M (2019) Ultrasound-guided minimally invasive autopsy as a tool for rapid post-mortem diagnosis in the 2018 Sao Paulo yellow fever epidemic: Correlation with conventional autopsy. *PLoS Negl Trop Dis* 13(7):e7625. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007625>
26. D'Onofrio V, Donders E, Vanden Abeele ME, Dubois J, Cartuyvels R, Achten R, Lammens M, Dendooven A, Driessens A, Augsburg L, Vanrusselet J, Cox J (2020) The clinical value of minimal invasive autopsy in COVID-19 patients. *PLoS ONE* 15(11):e242300. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242300>
27. Duarte-Neto AN, Monteiro RAA, da Silva LFF, Malheiros D, de Oliveira EP, Theodoro-Filho J, Pinho JRR, Gomes-Gouvêa MS, Salles APM, de Oliveira IRS, Mauad T, Saldiva PHN, Dolhnikoff M (2020) Pulmonary and systemic involvement in COVID-19 patients assessed with ultrasound-guided minimally invasive autopsy. *Histopathology* 77(2):186–197. <https://doi.org/10.1111/his.14160>
28. Osborn M, Lucas S, Stewart R, Swift B, Youd E (2020) Briefing on COVID-19: Autopsy practice relating to possible cases of COVID-19 (2019-nCoV, novel coronavirus from China 2019/2020). <https://www.rcpath.org/uploads/assets/d5e28baf-5789-4b0f-acecf370eee6223/fe8fa85a-f004-4a0c-81ee4b2b9cd12cbf/Briefing-on-COVID-19-autopsy-Feb-2020.pdf>. Zugegriffen: 1. Nov. 2020
29. Centers_for_Disease_Control_and_Prevention (2021) Collection and Submission of Postmortem Specimens from Deceased Persons with Confirmed or Suspected COVID-19. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/guidance-postmortem-specimens.html>. Zugegriffen: 10. Jan. 2021
30. Skok K, Vander K, Setaffy L, Kessler HH, Aberle S, Bargfrieder U, Trauner M, Lax SF (2020) COVID-19 autopsies: Procedure, technical aspects and cause of fatal course. Experiences from a Single-center Pathol Pract. <https://doi.org/10.1016/j.prp.2020.153305>
31. Medizin SGRF-F (2020) Empfehlungen im Umgang mit SARS-CoV-2 für die Untersuchung von Verstorbenen (Legalinspektion, postmortale Bildgebung und Autopsie) sowie für klinische Untersuchungen. https://www.sgrm.ch/inhalte/Forensische-Medizin/Empfehlungen_SGRM_SARS-CoV_25maerz2020.pdf. Accessed 1. Nov. 2020
32. Jost M, Rügger M, Gutzwiller A, Liechi B, Wolf R (2003) Verhütung von Berufskrankheiten in pathologisch-anatomischen Instituten und histologischen Laboratorien. www.sohf.ch/Themes/Labo/2869_25_D.pdf. Zugegriffen: 1. Nov. 2020
33. Hanley B, Lucas SB, Youd E, Swift B, Osborn M (2020) Autopsy in suspected COVID-19 cases. *J Clin Pathol* 73(5):239–242. <https://doi.org/10.1136/jclinpath-2020-206522>
34. WHO (2020) Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions. <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions>. Accessed 1. Nov. 2020
35. Plenzig S, Held H, Gradhand E, Kettner M, Verhoff MA, Berger A (2020) Infektiosität von COVID-19-Leichen. *Rechtsmedizin*. Berl 5:365
36. Basso C, Calabrese F, Sbaraglia M, Del Vecchio C, Carretta G, Saieva A, Donato D, Flor L, Crisanti A, Dei Tos AP (2020) Feasibility of postmortem examination in the era of COVID-19 pandemic: the experience of a Northeast Italy University Hospital. *Virchows Arch* 477(3):341–347. <https://doi.org/10.1007/s00428-020-02861-1>
37. Löffler KU, Reinhold A, Herwig-Carl MC, Tzankov A, Holz FG, Scholl HPN, Meyer P (2020) Ocular post-mortem findings in patients having died from COVID-19. *Ophthalmologie* 117(7):648–651. <https://doi.org/10.1007/s00347-020-01149-8>
38. Eckermann M, Frohn J, Reichardt M, Osterhoff M, Sprung M, Westemeier F, Tzankov A, Werlein C, Kühnel M, Jonigk D, Salditt T (2020) 3D virtual pathology of lung tissue from Covid-19 patients based on phase contrast X-ray tomography. *Elife*. <https://doi.org/10.7554/eLife.60408>
39. Borczuk AC, Salvatore SP, Seshan SV, Patel SS, Bussell JB, Mostyka M, Elsoukary S, He B, Del Vecchio C, Fortarezza F, Pezzuto F, Navalesi P, Crisanti A, Fowkes ME, Bryce CH, Calabrese F, Beasley MB (2020) COVID-19 pulmonary pathology: a multi-institutional autopsy cohort from Italy and New York City. *Mod Pathol*. <https://doi.org/10.1038/s41379-020-00661-1>

Der besondere Fall - Gestalten Sie Der Pathologe mit



Sehr geehrte Autor:innen,

wir freuen uns, wenn Sie die Zeitschrift *Der Pathologe* mitgestalten. Zeigen Sie anhand von kurzen Fallbeispielen Besonderheiten der ärztlichen Praxis, Fallstricke in der Diagnostik und ungewöhnliche Krankheitsverläufe auf. Vermitteln Sie wertvolle Hinweise zu Diagnostik und Therapie. Im Mittelpunkt steht Ihr Bildmaterial, anhand dessen die Leser:innen eine Diagnose stellen und prüfen können, ob sie richtig lagen. Der Herausgeber der Rubrik **Der besondere Fall**, Herr Prof. W. Saeger (Hamburg), begutachtet die eingereichten Arbeiten und garantiert so die erforderliche Qualität.

Checkliste zur Manuskripterstellung:

- Text bitte als Datei schicken (.doc)
- Anschrift der Korrespondenzadresse mit E-Mail sowie Portraitfoto
- Gesamtumfang: max. 10.000 Zeichen inkl. Leerzeichen
- Kurzer, prägnanter Beitragstitel (dt. und engl., ggf. erläuternder Untertitel)
- Gliederung: Anamnese, Befunde, Diagnose, Verlauf und Therapie, Diskussion
- Kurze Zwischenüberschriften
- Fazit für die Praxis (max. 500 Zeichen)
- 3–4 Abbildungen in Erstpublikation

Bitte reichen Sie Ihren Beitrag im Editorial Manager ein:

www.editorialmanager.com/dep