

Rechtsmedizin 2019 · 29:287–294
<https://doi.org/10.1007/s00194-019-0329-z>
 Online publiziert: 12. Juni 2019
 © Der/die Autor(en) 2019



J. Lorenzen¹ · E. Schenzer-Hoffmann¹ · C. Braun² · M. Lorenzen¹ · S. Anders² · G. Adam¹ · K. Püschel²

¹ Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Deutschland

² Institut für Rechtsmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Deutschland

Todesursachenbestimmung mit verblindeter koronaler Ganzkörper-MRT im Vergleich zur rechtsmedizinischen Untersuchung

Hintergrund

Die postmortale Radiologie ist seit Langem ein anerkanntes Hilfsmittel der Obduktion. Sie ermöglicht die Akquisition von objektiven und den Körper nicht-verändernden Befunden. Zudem ergibt sich die Möglichkeit der Wiederaufarbeitung eines Falles auch viele Jahre nach Obduktion, Beerdigung oder gar anderer Bestattungsformen, z. B. Feuerbestattung [1]. Die Möglichkeit der überlagerungsfreien Darstellung durch die Computertomographie (CT) und der genauen Zuordnung von Pathologien im Schnittbild wurde im Jahr 2000 erstmalig unter dem Begriff der „virtopsy“ systematisch in der postmortalen Bildgebung beschrieben und untersucht [2]. Mittlerweile ist die CT in der postmortalen Bildgebung in vielen rechtsmedizinischen Instituten ein etabliertes zusätzliches diagnostisches Verfahren, teils mit integrierten CT-Scannern in den rechtsmedizinischen Abteilungen [3]. Die bisher publizierten Daten zeigen allerdings, dass die postmortale Bildgebung zwar an Bedeutung als ergänzende Methode zur Obduktion gewinnt, aber trotz extensiver Untersuchungsprotokolle mit ergänzenden Biopsien weiterhin nicht die klinisch-pathologische Autopsie ersetzen kann bzw. die Studienergebnisse dies nicht belegen können [4, 5]. So fanden Eriksson et al. 2017 in einer systematischen Literatur-

recherche zur postmortalen Bildgebung mit 2600 Publikationen nur 22 verwendbare Studien, bei denen zumindest Angaben zur Verblindung der radiologischen Untersuchung bei der Auswertung vorlagen bzw. angewendet worden waren [4].

Umfragen zur Nutzung der postmortalen CT (PMCT) und zur postmortalen Magnetresonanztomographie (PMMR) belegen dabei eine deutlich höhere Verbreitung der CT in der postmortalen Diagnostik. Als Ursachen werden überwiegend der limitierte Zugang zur Magnetresonanztomographie (MRT) und der höhere Zeitaufwand genannt [6, 7]. Diese Limitationen stehen im Gegensatz zu den exzellenten bildgebenden Möglichkeiten der MRT in der postmortalen Diagnostik, insbesondere hinsichtlich der Weichteildiagnostik und der dem CT überlegenen Herz-, Hirn- und Abdominaldiagnostik. Vorteil der MRT ist zusätzlich die Möglichkeit, mit speziellen flüssigkeitssensitiven Sequenzen mit Fettunterdrückung Pathologien in Ganzkörperansichten schnell und sensitiv als „forensisches Sentinel-Zeichen“ zu detektieren [8]. Auch in der Untersuchung des Skelettsystems hat die MRT Vorteile in der postmortalen Bildgebung. Bei Frakturen kann zwischen frischen und alten Frakturen sowie postmortalen Frakturen unterschieden werden, da die Einblutung in die Spongiosa sowie das reaktive Ödem gut darstellbar sind [9].

Mit der Einführung der Ganzkörper-MRT und neuen technischen Weiterentwicklungen auf diesem Untersuchungsgebiet seit 2004 ist zusätzlich eine Reduktion der Untersuchungszeit und auch der Schnittebenen möglich [10–12]. Ein solches angepasstes forensisches Untersuchungsprotokoll mit schneller und vollständiger Erfassung des Körpers ohne dedizierte Untersuchungen spezieller Körperregionen könnte die Limitationen der PMMR bezüglich aufwendiger Untersuchungszeiten und des eingeschränkten zeitlichen Zugangs zu MRT-Scannern reduzieren.

Ziel dieser prospektiven Studie war es daher, mit einem in der klinischen Routine anwendbaren Untersuchungsprotokoll die Wertigkeit einer vereinfachten verblindeten PMMR ohne Kenntnis der Anamnese und der Umstände des Todes im Vergleich zur rechtsmedizinischen Untersuchung und den bisherigen Ergebnissen der postmortalen Bildgebung zu evaluieren.

Studiendesign und Untersuchungsmethoden

Studienkollektiv

Untersucht wurden insgesamt 30 Fälle, bei denen eine unklare Todesursache vorlag und eine rechtsmedizinische Autopsie vorgesehen war. Insgesamt 26 Verstor-

bene wurden außerhalb eines Krankenhauses oder einer Pflegeeinrichtung tot aufgefunden; vier Verstorbene kamen aus einem Krankenhaus oder einer Pflegeeinrichtung. Bei diesen 4 Fällen lag zusätzlich die Krankenakte bei der rechtsmedizinischen Autopsie vor. Bei den übrigen 26 Fällen lagen die Informationen zur Auffindesituation der Leiche und bei 24 dieser Verstorbenen zusätzlich die Krankenanamnese durch Angehörige vor.

Eingeschlossen wurde dabei jeder Verstorbene, bei dem die Einverständniserklärung der Verwandten zur Obduktion vorlag (rechtsmedizinische Sektion nach dem Hamburger Sektionsgesetz) oder eine richterlich angeordnete Obduktion (8 Fälle) stattfinden sollte. Außerdem mussten die Verwandten der MRT-Untersuchung schriftlich zustimmen. Alter, Geschlecht, bekannte Vorerkrankungen, Todesort oder vermutete Todesursache spielten bei der Auswahl der Verstorbenen keine Rolle.

Weiteres Einschlusskriterium war ein bekannter Todeszeitpunkt (z. B. nach erfolgloser präklinischer Reanimation bei beobachtetem Zusammenbruch/Kreislaufstillstand) oder Fälle, bei denen aufgrund der Umstände (z. B. Auffindung binnen kurzer Zeit nach letztem Lebendkontakt) und der Leichenschaubefunde der Todeseintritt nur kurze Zeit vor dem Zeitpunkt der Leichenauffindung erfolgt sein konnte.

Die Untersuchung in der MRT und der Transport erfolgten in einem sog. Bergesack aus Kunststoffolie. Im Durchschnitt begann die MRT-Untersuchung 35 min (20–40 min), nachdem die zuvor bei 4 °C gelagerten Verstorbenen aus dem Institut für Rechtsmedizin in das auf 20 °C klimatisierte MRT der Klinik für Radiologie transportiert wurden. Damit wurde eine vergleichbare Temperatur des Körpers der untersuchten Verstorbenen bei der Untersuchung gewährleistet und ein Fortschreiten der Autolyse vor der Obduktion gering gehalten. Eine ergänzende Messung der Kerntemperatur der Leichen vor der MRT erfolgte nicht. Zwischen Todeszeitpunkt bzw. der Leichenauffindung und Obduktion lagen in der vorliegenden Arbeit nicht mehr als 24 h, damit die Verfälschung der Befunde durch autolytische Prozesse

möglichst gering gehalten werden konnte. Die MRT-Untersuchung erfolgte im Durchschnitt nach 8 h (min. 2 h, max. 12 h) nach dem Tod oder der Leichenauffindung und die Sektion durchschnittlich 8 h nach der MRT-Untersuchung (7 h bis 12 h).

Verstorbene mit einem Gewicht über 100 kg wurden aufgrund des zulässigen Gewichts für die MRT ausgeschlossen. Die Untersuchungen erfolgten in Rückenlage mit adduzierten Armen außerhalb der klinischen Untersuchungszeiten für reguläre Patienten.

Magnetresonanztomographie und Autopsie

Die Untersuchung erfolgte mit einem 1,5 Tesla (T) MRT (Achieva, Fa. Philips Medical System, Best, Niederlande) mit Ganzkörperoberflächenspulen („multiple-phased array“) und bis zu 32 Radiofrequenzkanälen mit der Möglichkeit von hochauflösenden MRT-Ganzkörperprotokollen. Es wurden 4 Stationen (Kopf-Hals, Thorax, Abdomen und Becken, einschließlich proximaler Oberschenkel) in koronaler Schichtung von 4 mm Schichtdicke und 4 mm Schichtabstand (Matrix: 512 × 512 mm) untersucht. Zunächst erfolgte eine T1-gewichtete „Fast-field-echo“(FFE)-Sequenz (Repetitionszeit [TR]: 91 ms, Echozeit [TE]: 3 ms, „inversion time“: 33 ms) und anschließend eine T2-gewichtete „Short-tau-inversion-recovery“(STIR)-Sequenz (TR: 12 ms, TE: 70 ms, inversion time: 190 ms). Eine T2-gewichtete „Turbo-spin-echo“-Sequenz (TSE; TR: 8370 ms, TE 90 ms) erfolgte zuletzt.

Die Untersuchungszeit betrug durchschnittlich 56 min (30–90 min), je nach Volumen und Größe des Probanden.

Die Bilder wurden von 2 Fachärzten (7 und 13 Jahre Berufserfahrung) für Radiologie im Konsensus befundet. Beide hatten keine Erfahrung in postmortaler MRT. Die Befundung erfolgte verblindet ohne jegliches Wissen bezüglich Alter, Geschlecht, Umstände des Todes, Ergebnissen der äußeren Leichenschau, Vorerkrankungen oder vermuteter Todesursache. Die Befundung erfolgte getrennt nach T1- und T2-Wichtung und in Kombination beider Wichtungen anhand ei-

nes standardisierten Befundungsprotokolls und wurde schriftlich fixiert. Im Befundungsprotokoll wurden die Befunde von Kopf, Thorax, Abdomen und Becken mit den Hauptdiagnosen und Nebendiagnosen erfasst. Dokumentiert wurden hierbei Angaben zu den einzelnen Organen, angelehnt an die in rechtsmedizinischen Sektionsprotokollen übliche deskriptive Diagnostik. In diesen detaillierten Dokumentationsprotokollen wurden z. B. Angaben zu Herzgröße, Wanddicke des Myokards, Größe der Herzkammern und Signalauffälligkeiten des Myokards dokumentiert. Auch Nebendiagnosen wie z. B. Nierenzysten, Lungenstauung, Prostatavergrößerung wurden anhand des Protokolls erfasst. Die Todesursache wurde anhand der erhobenen diagnostischen Befunde von beiden Radiologen abschließend im Konsensus deduktiv festgelegt.

Die Sektion erfolgte innerhalb von 24 h durch 2 Ärzte des Instituts für Rechtsmedizin (wenigstens einer mit Facharztanerkennung) mit einer Berufserfahrung von wenigstens 4 Jahren. Die Obduktion erfolgte zunächst ohne Kenntnis der MRT-Befunde, aber mit Kenntnis der Krankenanamnese des Verstorbenen und der Umstände des Todes. Die Ergebnisse der MRT wurden den Obduzenten nach Abschluss der Obduktion mitgeteilt, um einen Informationsverlust bei etwaigen auffälligen Befunden in der Bildgebung zu vermeiden. Zusätzlich erfolgten in allen Fällen ergänzende histopathologische Zusatzuntersuchungen z. B. des Herzens, angepasst an die Ergebnisse der Autopsie bzw. der Anamnese des Verstorbenen. In einem Fall wurde ergänzend eine Bestimmung der Blutalkoholkonzentration bei Verdacht auf Alkoholintoxikation durchgeführt. Die Ergebnisse der Obduktion wurden abschließend unter Kenntnis der MRT-Befunde durch einen rechtsmedizinischen Oberarzt überprüft.

Datenanalyse

Der Vergleich der Ergebnisse der PMMR und der Sektion erfolgte unabhängig durch eine Medizindoktorandin (E.S.-H.) anhand des schriftlich fixierten Befundungsprotokolls. Die Befunde der

J. Lorenzen · E. Schenzer-Hoffmann · C. Braun · M. Lorenzen · S. Anders · G. Adam · K. Püschel

Todesursachenbestimmung mit verblindeter koronaler Ganzkörper-MRT im Vergleich zur rechtsmedizinischen Untersuchung

Zusammenfassung

Ziel der Arbeit. Wertigkeit eines vereinfachten koronalen Ganzkörper-Magnetresonanztomographie(MRT)-Protokolls bei der Bestimmung der Todesursache.

Material und Methoden. Insgesamt wurden 30 Verstorbene mit der postmortalen Ganzkörper-MRT untersucht. Die Radiologen erhielten keine Informationen über die medizinische Vorgeschichte oder über die Umstände des Todes. Die Untersuchung erfolgte mit einem koronalen Ganzkörperprotokoll ohne ergänzende transversale Schnittführung an einem 1,5 Tesla-Magnetresonanztomographen. Die verblindeten Ergebnisse der Bildgebung wurden mit dem Ergebnis der rechtsmedizinischen Untersuchung (Anamnese, Autopsie, Histopathologie) als Referenzstandard korreliert.

Ergebnisse. Das mittlere Alter zum Zeitpunkt des Todes betrug 54 Jahre (ein Jahr bis 86 Jahre). Die häufigste Todesursache war eine kardiale Erkrankung in 15 Fällen, gefolgt von der Diagnose einer Lungenentzündung (3 Fälle). In 3 Fällen blieb die Todesursache nach MRT und Autopsie ungeklärt. Eine kardiale Todesursache wurde mit der MRT in 14 von 15 Fällen korrekt diagnostiziert und eine nichtkardiale Todesursache in 11 von 15 Fällen. Die Gesamtsensitivität der MRT betrug 83 % bei einer Spezifität von 98 %. Bei exakter Differenzierung zwischen akutem Myokardinfarkt und anderen kardialen Todesursachen reduzierte sich die Sensitivität der MRT auf 60 % (Spezifität 97 %).

Schlussfolgerung. Trotz des vereinfachten koronalen Untersuchungsprotokolls sind

Übereinstimmungen mit der konventionellen Autopsie erreichbar, wie sie bisher nur für aufwendigere Protokolle mit minimalinvasiven Methoden und Kombinationen aus Computertomographie (CT) und MRT beschrieben worden sind. Daher scheint eine vereinfachte MRT-Untersuchung wie in dieser Studie geeignet, um in die klinische Routine der postmortalen Diagnostik implementiert zu werden.

Schlüsselwörter

Magnetresonanztomographie · Postmortale Bildgebung · Virtuelle Autopsie · Autopsie · Todesursache

Determination of cause of death with blinded coronal whole-body MRI compared to forensic examination

Abstract

Objective. Value of a simplified coronal whole-body magnetic resonance imaging (MRI) protocol in determining cause of death.

Material and methods. A total of 30 cases were evaluated by post-mortem whole-body MRI. The radiologists did not receive any information concerning the medical history of the deceased or the circumstances of death. The study was carried out with a coronal whole-body protocol, without complementary axial sequences. The MRI was performed on a 1.5 Tesla magnetic resonance system. The blinded imaging outcomes were correlated with those of forensic examination (medical history, autopsy, histopathology) as the reference standard.

Results. The mean age at the time of death was 54 years (range 1–86 years). The most common cause of death was cardiac disease in 15 cases, followed by the diagnosis of pneumonia (3 cases). In 3 cases, the cause of death after MRI and autopsy remained unclear. A cardiac cause of death was correctly diagnosed with MRI in 14 of the 15 cases and a non-cardiac cause of death in 11 of the 15 cases. The overall sensitivity of MRI was 83% with a specificity of 98%. With exact differentiation between acute myocardial infarction and other cardiac causes of death, the sensitivity of MRI decreased to 60% (specificity 97%).

Conclusion. Despite the simplified coronal examination protocol, matches with the conventional autopsy are achievable, as previously described only for more elaborate protocols with minimally invasive methods and combinations of computed tomography (CT) and MRI. Therefore, a simplified MRI examination as used in this study seems to be feasible in the clinical routine of post-mortem diagnostics.

Keywords

MRI · Post-mortem imaging · Virtual autopsy · Autopsy · Cause of death

Sektion als Goldstandard wurden dabei mit den Befunden der MRT-Untersuchung hinsichtlich der Todesursache verglichen und statistisch ausgewertet. Es wurden die Sensitivität, die Spezifität und die 95 %-Konfidenzintervalle berechnet. Bei der statistischen Datenanalyse wurde folgende Theoretik angewandt: Wenn bei einem von 30 Fällen eine Krankheit korrekt diagnostiziert wurde, waren 29 Fälle korrekt negativ. Damit ergibt sich in der Gesamtsumme

eine höhere Anzahl korrekt negativer Fälle, als es Anzahl der Probanden gab. Bei beispielsweise 30 Hauptdiagnosen und keiner falsch-positiven Diagnose ergäben sich somit $30 \cdot 29 = 870$ richtig-negativ diagnostizierte Probanden bei 30 richtig-positiven Probanden.

Ergebnisse

Von den 30 untersuchten Verstorbenen (3 Kinder/27 Erwachsene) waren 11 weib-

lich, mit einem Altersdurchschnitt von 53 Jahren (13 Monate bis 78 Jahre) und 19 männlich (Altersdurchschnitt 57 Jahre, 18 bis 86 Jahre).

Am häufigsten fand sich bei 15/30 Verstorbenen eine kardiale Todesursache (Herzinfarkt [$n = 6$], kardiale Dekompensation bei ischämischer Kardiomyopathie [$n = 2$], kardiale Dekompensation bei biventrikulärer Hypertrophie [$n = 3$], kardiale Dekompensation bei Rechtsherzhypertrophie und Dilatation [$n = 3$],

Tab. 1 Sensitivität und Spezifität der verblindeten postmortalen Magnetresonanztomographie im Vergleich zur rechtsmedizinisch diagnostizierten Todesursache

Todesursache	RP	FN	FP	RN	Sensitivität (%)	Spezifität (%)
Kardiale Todesursache	14	1	1	14	93	93
Unklare Todesursache	3	0	1	26	100	96
Lungenembolie	1	0	2	27	100	93
Pneumonie	2	1	1	26	67	96
Strangulation	2	0	0	28	100	100
Alkoholvergiftung, Mediastinitis, Ulcus-duodeni-Blutung, Perikardtamponade, Ertrinken, Leberversagen	3	3	0	204	50	100
Nichtkardiale Todesursachen	11	4	4	311	73	99
Todesursachen, gesamt	25	5	5	325	83 (KI: 0,65–0,94)	98 (KI: 0,96–1,00)

Die kardialen Todesursachen wurden organbezogen zusammengefasst

RP richtig-positiv, FN falsch-negativ, FP falsch-positiv, RN richtig-negativ, KI 95%-Konfidenzintervall

Tab. 2 Ergebnisse der postmortalen Magnetresonanztomographie bei differenzierter Herzto-desursachenbestimmung

Todesursachen	RP	FN	FP	RN	Sensitivität	Spezifität
Herzversagen/kardiale Dekompensation	5	4	5	16	5/9 56%	16/21 76%
Herzinfarkt	2	4	3	21	2/6 33%	21/24 88%
Todesursache: herzdifferenziert	7	8	8	37	7/15 47%	37/45 82%
Todesursachen, gesamt: herzdifferenziert	18	12	12	348	18/30 60% (KI: 0,40–0,77)	348/360 97% (KI: 0,94–0,98)

RP richtig-positiv, FN falsch-negativ, FP falsch-positiv, RN richtig-negativ, KI 95%-Konfidenzintervall

kardiale Dekompensation bei Linksherzhypertrophie [$n = 1$]), gefolgt von 3 Fällen mit einer Pneumonie. Bei weiteren 3 Verstorbenen (darunter 2 Kinder) fand sich bei der Autopsie keine eindeutige Todesursache. Bei den beiden Kindern wurde per exclusionem und unter Berücksichtigung der Fallumstände rechtsmedizinischerseits ein plötzlicher Kindstod angenommen. Zwei Personen starben durch Strangulation. Jeweils in einem Fall lagen eine Mediastinitis, Lungenembolie, Perikardtamponade nach Messerstich, Ertrinken, Alkoholintoxikation, Leberversagen bei Lebermetastasierung und eine Ulcus-duodeni-Blutung vor (Tab. 1 und 2).

Insgesamt ergab die rechtsmedizinische Autopsie in 4/30 Fällen eine nichtnatürliche Todesursache (Ertrinken, Strangulation (2), tödlicher Messerstich). Bei

14/15 Verstorbenen wurde eine kardiale Todesursache mit der MRT diagnostiziert (Abb. 1; Tab. 1). Bei der singulären Betrachtung des Organs Herz als Todesursache ohne weitere Differenzierung der kardialen Pathologie wies die postmortale MRT eine hohe Sensitivität und Spezifität von jeweils 93% auf. Bei den nichtkardialen Todesursachen erreichte die PMMR eine Übereinstimmung bei 11/15 Fällen mit der Autopsie, entsprechend einer Sensitivität von 73% sowie einer Spezifität von 99% (Tab. 1). Diese Fälle umfassten die Pneumonie (Abb. 2), Strangulation, Lungenembolie (Abb. 3), Mediastinitis (Abb. 4), tödliche Messerstichverletzung (Abb. 5a, b), das Ertrinken sowie die 3 Fälle einer unklaren Todesursache.

Insgesamt wies die PMMR im Abgleich mit der Sektion bei 25/30 Verstorbenen die Todesursache korrekt nach. Dies entsprach einer Sensitivität von 83% und einer Spezifität von 98%. Nicht erkannt wurde mit der PMMR die Todesursache in 5 Fällen: Eine Pneumonie wurde nicht erkannt und fälschlicherweise den unklaren Todesursachen zugeordnet. Bei einem Verstorbenen mit der Diagnose einer kardialen Dekompensation wurde in der PMMR die Diagnose einer Lungenembolie gestellt. Beim Leberversagen durch eine diffuse Lebermetastasierung wurde die Metastasierung in der PMMR richtig erkannt; allerdings wurde als Todesursache radiologisch eine Bronchopneumonie diagnostiziert, die sich in der Autopsie nur als Lungenödem verifizieren ließ. Zusätzlich konnten die Alkoholvergiftung und die Ulcus-duodeni-Blutung in der MRT nicht diagnostiziert werden. Die beiden Fälle eines plötzlichen Kindstodes wurden in der PMMR korrekt den unklaren Todesursachen zugeordnet.

Bei exakter Differenzierung der kardialen Todesursachen mit Aufteilung in die Gruppen kardiale Dekompensation und Myokardinfarkt verschlechtert sich die Aussagekraft der MRT, und die Sensitivität reduzierte sich auf 47% bzw. die Spezifität auf 82% (Tab. 2). So wurden von 6 Herzinfarkten nur 2 mit der MRT korrekt diagnostiziert; die übrigen 4 Fälle wurden in der MRT-Befundung in die Gruppe kardiale Dekompensation eingeordnet. Allerdings waren die 4 weiteren Myokardinfarkte auch nicht makroskopisch im Rahmen der Autopsie diagnostiziert worden, sondern erst mithilfe ergänzender histologischer Diagnostik. Bei den 2 korrekt diagnostizierten Herzinfarkten handelte es sich um akute erstmalige ausgedehnte Infarkte, wohingegen bei den 3 weiteren Infarkten schon Vernarbungen durch rezidivierende Infarkte in der Vorgeschichte autopsisch und histologisch vorlagen. Bei 3 weiteren Verstorbenen wurde ein Herzinfarkt in der PMMR falsch-positiv diagnostiziert. Diese Diagnose wurde zunächst auch in der Autopsie vermutet, konnte jedoch histologisch nicht bestätigt werden. Aufgrund der Herzdilatation und der Verdickung der Wandmus-

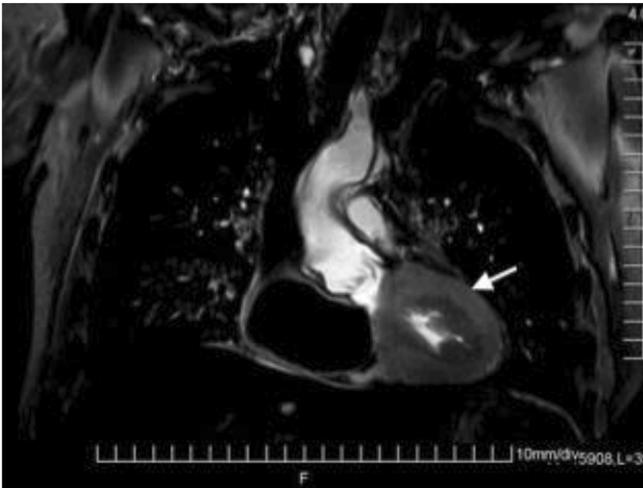


Abb. 1 ▲ Vorderwandinfarkt: homogener Signalanstieg des Myokards der Vorderwand in der T2-Short-tau-inversion-recovery-Sequenz (Pfeil)

kulatur wurden diese Fälle abschließend durch die Rechtsmedizin als kardiale Dekompensation eingestuft.

Bei der Auswertung mit dem Anspruch einer exakten Differenzierung der kardialen Todesursachen reduzierte sich die Gesamtübereinstimmung von PMMR mit dem Gesamtergebnis der rechtsmedizinischen Untersuchungen auf 18/30 Fälle (Sensitivität 60 %, Spezifität 97 %).

Diskussion

Obwohl die PMMR seit 2001 mit ihren Vorteilen in Anwenderstudien erstmals dokumentiert wurde [12, 13], haben sich nur wenige Untersuchungen mit der Bestimmung der Todesursache mittels MRT als alleiniges Schnittbildverfahren im Vergleich zur Autopsie beschäftigt. Der geringere Einsatz der PMMR wird mit der Komplexität der Untersuchung, dem höheren Zeitaufwand und dem schlechteren Zugang zu MRT-Geräten in der Klinik erklärt [6, 7]. Mit dem in dieser Studie eingesetzten Ganzkörper-MRT sind allerdings mit entsprechenden Untersuchungsprotokollen deutlich kürzere Untersuchungszeiten möglich. Die zunehmende technische Weiterentwicklung der MRT prädestiniert daher die Ganzkörper-MRT für die PMMR als Screeninguntersuchung [9, 10]. Trotz des vereinfachten Untersuchungsprotokolls liegt dabei die Sensitivität mit 83 % im guten Durchschnitt der publizier-



Abb. 2 ▲ Pneumonie (weißer Pfeil) in beiden Unterlappen mit inhomogenem Signalanstieg und diskretem Pleuraerguss re. (schwarzer Pfeil). Zystisch veränderter älterer Schlaganfall (weißer unterbrochener Pfeil) rechts in T2-Short-tau-inversion-recovery-Wichtung. Todesursache: Pneumonie

ten PMMR-Studien bei Erwachsenen [14]. Die Studie bestätigt die Wertigkeit der PMMR auch mit einer verblindeten radiologischen Diagnostik ohne das Bias der Befundung durch Kenntnis der Anamnese, wie von Eriksson kritisiert [4].

Weustink et al. beschrieben erstmals 2009 an einem Kollektiv von 30 Verstorbenen die Todesursachenbestimmung anhand eines aufwendigen Untersuchungsprotokolls mit einer Kombination aus CT und MRT sowie ergänzender Feinnadelbiopsie [15]. Hier fand sich in 77 % der Fälle eine Übereinstimmung der diagnostizierten Todesursache mit dem rechtsmedizinischen Untersuchungsergebnis. Allerdings erfolgte die Nachbefundung der postmortalen CT und MRT unter Kenntnis des Autopsiebefundes.

In der überwiegenden Anzahl der Studien in der postmortalen Bildgebung fehlen die Angaben zur Untersuchungszeit. Insbesondere in den Kombinationen aus CT und MRT und ergänzender Feinnadelbiopsie werden sehr aufwendige und resultierend wahrscheinlich zeitintensive Protokolle eingesetzt. In diesen durch

Biopsien und anteilig mit CT-Angiographien ergänzten Untersuchungen werden diagnostische Übereinstimmungen mit der Todesursache und dem Autopsiebefund zwischen 58 % und 92 % angegeben. Ohne ergänzende Biopsie zeigt die Kombination aus postmortalen MRT und CT mit durchschnittlich 70 % die höchste Übereinstimmung [5, 15–17].

Untersuchungen mit der postmortalen MRT, aber auch CT zeigen dabei in der Diagnostik der ischämischen Herzkrankungen die größten Abweichungen zu den Ergebnissen der Autopsie. So wurde in der größten Untersuchung zur postmortalen MRT und CT mit 182 Fällen von Roberts et al. die koronare Herzkrankung als Todesursache am häufigsten übersehen [18]. Insbesondere eine Differenzierung zwischen akutem Herzinfarkt oder kardialer Dekompensation im Rahmen einer ischämischen Herzkrankung war mit beiden Untersuchungsmethoden eingeschränkt. Die Autoren stufen diese kardialen Differenzierungen allerdings nur als geringe Abweichungen ein, da sie für das nationale



Abb. 3 ◀ Lungenarterienembolie, linke Pulmonalarterie bis in die Segmentarterie des Oberlappens reichend mit Signal-aussparungen in der T2-Short-tau-inversion-recovery-Sequenz (Kreis). Todesursache: Lungenarterienembolie

Sterberegister keine relevante Bedeutung hätten.

Diese Betrachtungsweise erscheint jedoch unter forensischen Gesichtspunkten in jedem Falle ungenügend.

Auch im vorliegenden Untersuchungskollektiv dokumentierte sich eine Abnahme der Sensitivität der PMMR in der Differenzierung des akuten Herzinfarkts und der generellen Diagnose einer kardialen Dekompensation auf 47 %. Erst die Zusammenfassung dieser beiden Ursachen als kardiale Ursache entsprechend dem Ansatz von Roberts et al. ergab eine hohe Sensitivität von über 90 %. In publizierten Studien mit einer höheren Sensitivität der postmortalen MRT-Herzdiagnostik im Vergleich zu diesen Studien werden zusätzlich ergänzende kardiale Untersuchungsprotokolle mit langen Untersuchungszeiten angewandt. Diese dedizierten kardialen Untersuchungsprotokolle ermöglichten anhand der Signalalterationen des Myokards in den T1-, T2- und protonengewichteten Sequenzen sogar eine Differenzierung des Alters des Myokardinfarkts [19–21]. Die Untersuchungen erfolgten dabei in Kenntnis der kardialen Anamnese der Verstorbenen mit einer entsprechend höheren Vortestwahrscheinlichkeit der kardialen MRT-Diagnostik.

In einer aktuellen Untersuchung von Wagensveld et al. von 2018 zeigte die MRT bei ischämischen Todesursachen trotz des dedizierten kardialen Untersuchungsprotokolls nur eine niedrige Sensitivität (35–50 %) und konnte erst durch den Einsatz einer ergänzenden Biopsie gesteigert werden [22]. Allerdings widerspricht diese invasive und technisch aufwendige Methodik unserem Ansatz der Simplität des Untersuchungsproto-

kolls und der damit verbundenen klinisch anwendbaren flächendeckenden Verfügbarkeit und Einsetzbarkeit.

Bei den nichtkardialen Todesursachen erreichte die PMMR eine Sensitivität von 73 % bei einer hohen Spezifität von 99 %. Nicht erkannt wurden in dieser Fallgruppe die bildmorphologisch nicht zu diagnostizierende tödliche Alkoholin- toxikation und eine Ulcus-duodeni- blutung als Todesursache; eine ausge- dehnte Lebermetastasierung wurde in der MRT erkannt, aber als Todesursache eine Bronchopneumonie diagnostiziert, die sich rechtsmedizinisch nur als Lun- genödem verifizieren ließ. Hier wurde in der Rechtsmedizin in Kenntnis der Krankenakte und der prämortalen La- borwerte ein Leberversagen als Todes- ursache diagnostiziert. Zusätzlich wurde eine Lungenentzündung in der PMMR nur als Bronchitis gewertet.

Erwartungsgemäß wurden Todesur- sachen mit Weichteilveränderungen in der MRT sicher diagnostiziert. So wur- den die nichtnatürlichen Todesursachen der Strangulation und einer tödlichen Messerstichverletzung erkannt. Auch der Befund einer ausgeprägten Me- diastinitis als Todesursache wurde mit der PMMR trotz fehlender Anamnese korrekt gestellt. Hier kommt die gute Differenzierung von pathologischen postmortalen Weichteilveränderungen in der MRT zum Tragen [5, 9, 14, 15]. In einer Studie mit alleinigen traumatischen Todesursachen konnte entsprechend in 39 von 40 Fällen mit der PMMR die Todesursache diagnostiziert werden. In dieser Studie haben Ross et al. erst- malig die technischen Fortschritte der MRT auf dem Gebiet der Ganzkörper- MRT in der postmortalen Diagnostik

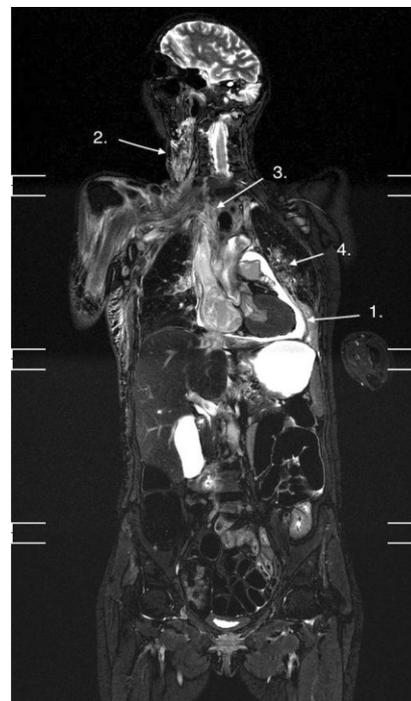


Abb. 4 ▲ Perikarderguss (1), eitriges Herdstrahle bei Peritonsillarabszess rechts (2), Mediastinitis (3), nebenbefundlich Bronchitis (4) in der T2-Short-tau-inversion-recovery-Wichtung. Todesursache: Mediastinitis

angewandt, allerdings mit einem deutlich aufwendigeren Protokoll und einer Untersuchungszeit von 94 min [9].

Zusätzlich gab es 3 Verstorbene mit unklarer Todesursache in der MRT, denen auch bei der rechtsmedizinischen Untersuchung keine definitive Todesursache zugeordnet werden konnte. Eine ungeklärte Todesursache wird auch in weiteren Studien der postmortalen Bildgebung dokumentiert. So fand sich z. B. in einer Untersuchung zur postmortalen MRT von Puranik et al. bei 5/40 Verstorbenen keine sichere Todesursache in der Bildgebung und der Autopsie [23].

Die vorliegende Studie mit 30 Verstorbenen hat einen zu kleinen Umfang, um eine hohe statistische Aussagekraft zu treffen. Sie repräsentiert aber in ihrer zufälligen Todesursachenzusammenstellung, bis auf die onkologischen Ursachen, die statistische heterogene Verteilung der Todesursachen mit Majorität der kardialen Ursachen [18, 24]. Die Ergebnisse unterstützen in Zusammenschau mit den bisher publizierten Daten zur PMMR die zunehmende Empfehlung, die Untersuchung mittels Ganzkörper-MRT nicht

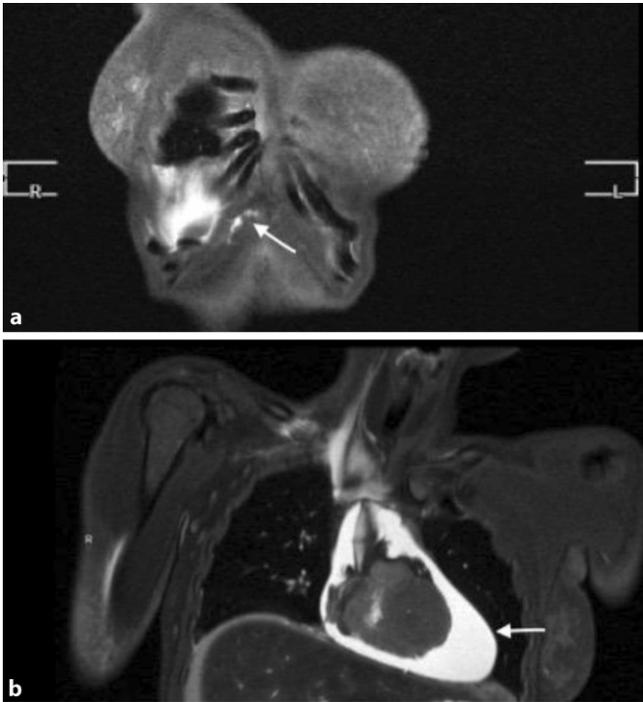


Abb. 5 ◀ **a** Stichwunde, Oberbauch mit Stichkanal (Pfeil) und Einblutungen im Weichteilgewebe, **b** Todesursache: Perikardtampnade (Pfeil) in der T2-Short-tau-inversion-recovery-Wichtung als Folge der Stichverletzungen

nur in der postmortalen Traumadiagnostik einzusetzen. Die postmortale MRT ist als Wegweiser für eine zielgerichtete rechtsmedizinische Untersuchung einsetzbar und erlaubt eine erweiterte Befunddokumentation [5]. In Fällen, in denen Angehörige aus z. B. religiösen Gründen die Autopsie ablehnen, ist sie insbesondere bei unklarer Todesursache eine sinnvolle Methode, die auch ggf. bei entsprechendem Ergebnis der Schnittbildagnostik auf mögliche vererbte Risiken hinweist.

Schlussfolgerung

Trotz des vereinfachten Untersuchungsprotokolls sind mit der verblindeten PMMR Übereinstimmungen mit der rechtsmedizinischen Untersuchung erreichbar, wie sie bisher nur für aufwendigere Protokolle mit minimalinvasiven Methoden und Kombinationen aus CT und MRT beschrieben worden sind. Durch koronale Ganzkörperübersichten und den Einsatz sensitiver forensischer STIR-Sequenzen ist die Ganzkörper-MRT in Kombination mit kurzen Untersuchungszeiten auch in die klinische Routine der postmortalen Diagnostik implementierbar.

Korrespondenzadresse



PD Dr. J. Lorenzen
Klinik und Poliklinik
für Diagnostische und
Interventionelle Radiologie
und Nuklearmedizin,
Universitätsklinikum
Hamburg-Eppendorf
Martinistr. 52, 20251 Ham-
burg, Deutschland
lorenz@uke.uni-
hamburg.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J. Lorenzen, E. Schenzer-Hoffmann, C. Braun, M. Lorenzen, S. Anders, G. Adam und K. Püschel 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.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Literatur

1. Flach PM, Thali MJ, Germerott T (2014) Times have changed! Forensic radiology—A new challenge for radiology and forensic pathology. *AJR Am J Roentgenol* 202:150–153
2. Thali MJ, Yen K, Schweitzer W et al (2003) Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: virtual autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI)—a feasibility study. *J Forensic Sci* 48:386–403
3. Kettner M, Ramsthaler F, Grabherr S et al (2017) Forensic radiology in Austria, Switzerland and Germany—a status report. *Rechtsmedizin* 27:407–413
4. Eriksson A, Gustafsson T, Höstad M et al (2017) Diagnostic accuracy of postmortem imaging vs autopsy—A systematic review. *Eur J Radiol* 89:249–269
5. Baglivo M, Winklhofer S, Hatch GM et al (2013) The rise of forensic and post-mortem radiology—analysis of the literature between the years 2000 and 2011. *J Forens Radiol Imaging* 1:3–9
6. Rutty GN, Morgan B, O'Donnell C et al (2008) Forensic institutes across the world place CT or MRI scanners or both into their mortuaries. *J Trauma* 65:493–494
7. Ruder TD (2013) What are the key objectives of the ISFRI?—evaluation of the ISFRI member. *J Forens Radiol Imaging* 3:142–145
8. Ruder TD, Thali MJ, Hatch GM (2014) Essentials of forensic post-mortem MR imaging in adults. *Br J Radiol* 87:20130567
9. Ross S, Ebner L, Flach P et al (2012) Postmortem whole-body MRI in traumatic causes of death. *AJR Am J Roentgenol* 199:1186–1192
10. Lauenstein TC, Semelka RC (2006) Emerging techniques: whole body screening and staging with MRI. *J Magn Reson Imaging* 24:489–498
11. Schaefer JF, Schlemmer HP (2006) Total-body MR imaging in oncology. *Eur Radiol* 16:2000–2015
12. Patriquin L, Kassarian A, O'Brien M et al (2001) Postmortem whole-body magnetic resonance imaging as an adjunct to autopsy: preliminary clinical experience. *J Magn Reson Imaging* 13:277–287
13. Bisset RA, Thomas NB, Turnbull IW et al (2002) Post-mortem examinations using magnetic resonance imaging: four year review of a working service. *BMJ* 324:1423–1424
14. Ahmad MU, Sharif KA, Ehsanullah B et al (2017) Assessing the use of magnetic resonance imaging virtopsy as an alternative to autopsy: a systematic review and meta-analysis. *Postgrad Med J* 93:671–678
15. Weustink A, Hunink M, van Dijke C et al (2009) Minimally invasive autopsy. *Radiology* 250:897–904
16. Blokker M, Wagenveld IM, Weustink AC et al (2016) Non-invasive or minimally invasive autopsy compared to conventional autopsy of suspected natural deaths in adults: a systematic review. *Eur Radiol* 26:1159–1179
17. Bolliger SA, Filograna L, Spendlove D et al (2010) Post mortem imaging-guided biopsy as an adjunct to minimally invasive autopsy with CT and postmortem angiography: A feasibility study. *AJR Am J Roentgenol* 195:1051–1056
18. Roberts IS, Benamore RE, Benbow EW et al (2012) Post-mortem imaging as an alternative to autopsy in the diagnosis of adult deaths: a validation study. *Lancet* 379:136–142

19. Ruder TD, Bauer-Kreutz R, Ampanozi G et al (2012) Assessment of coronary artery disease by post-mortem cardiac MR. *Eur J Radiol* 81:2208–2214
20. Zech WD, Schwendener N, Persson A et al (2015) Postmortem MR quantification of the heart for characterization and differentiation of ischaemic myocardial lesions. *Eur Radiol* 25:2067–2073
21. Schwendener N, Jackowski C, Persson A et al (2017) Detection and differentiation of early acute and following age stages of myocardial infarction with quantitative post-mortem cardiac 1.5T MR. *Forensic Sci Int* 270:248–254
22. Wagenveld IM, Blokker BM, Pezzato A et al (2018) Diagnostic accuracy of postmortem computed tomography, magnetic resonance imaging, and computed tomography-guided biopsies for the detection of ischaemic heart disease in a hospital setting. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 19:739–748
23. Puranik R, Gray B, Lackey H et al (2014) Comparison of conventional autopsy and magnetic resonance imaging in determining the cause of sudden death in the young. *J Cardiovasc Magn Reson* 16:44
24. Sarode VR, Datta BN, Banerjee CK et al (1993) Autopsy findings and clinical diagnosis: a review of 1000 cases. *Hum Pathol* 24:194–198



Online auf alle CME-Fortbildungskurse von SpringerMedizin.de zugreifen

Gestalten Sie Ihre Fortbildung nach Ihren Bedürfnissen: e.Med Interdisziplinär – das Kombi-Abo von SpringerMedizin.de – bietet Ihnen Online-Zugang zu über 500 CME-Fortbildungskursen aller Fachrichtungen. Sie alleine entscheiden, welche Kurse Sie für Ihre Fortbildung nutzen möchten.

e.Med Interdisziplinär bietet Ihnen viele Vorteile:

- Stellen Sie Ihre individuelle Fortbildung einfach und komfortabel selbst zusammen.
- Sie können Ihren Lernerfolg jederzeit messen und in Form von CME-Punkten und Teilnahmebescheinigungen dokumentieren.
- Jeden Monat kommen rund 50 neue CME-Kurse aus den Fachzeitschriften von Springer Medizin hinzu.
- Unser Service für Sie: Nach erfolgreicher Teilnahme werden die CME-Punkte automatisch an die Bundesärztekammer übermittelt.
- Auf Wunsch erhalten Sie mit e.Med Interdisziplinär darüber hinaus eine gedruckte Fachzeitschrift Ihrer Wahl.

NEU: Mit den fachspezifischen e.Med-Abos können Sie sich effizient innerhalb Ihres Fachgebietes auf dem Laufenden halten. Das Angebot reicht von AINS bis Radiologie – Sie haben die Wahl!

Testen Sie e.Med kostenlos und unverbindlich!

Jetzt informieren unter www.springermedizin.de → „Abo-Shop“



oder telefonisch unter 0800-77 80 777
(Montag bis Freitag, 10 bis 17 Uhr)

