

Zusammenfassung

In dem vorliegenden Artikel wird die technische Durchführung von postmortalen Kontrastmittel-Injektionen vorgestellt. Weiterhin werden der beste Zeitpunkt für diese Art der CT Aufnahme und die Besonderheiten bei der Auswertung vorgestellt.

Abstract

This article presents the technical implementation of post-mortem contrast medium injections. Furthermore, the best time for this type of CT imaging and the special features of the evaluation is presented.

Résumé

Cet article présente la mise en œuvre technique des injections post-mortem d'agents de contraste. De plus, le meilleur moment pour ce type d'imagerie CT et les particularités de l'évaluation sont présentés.

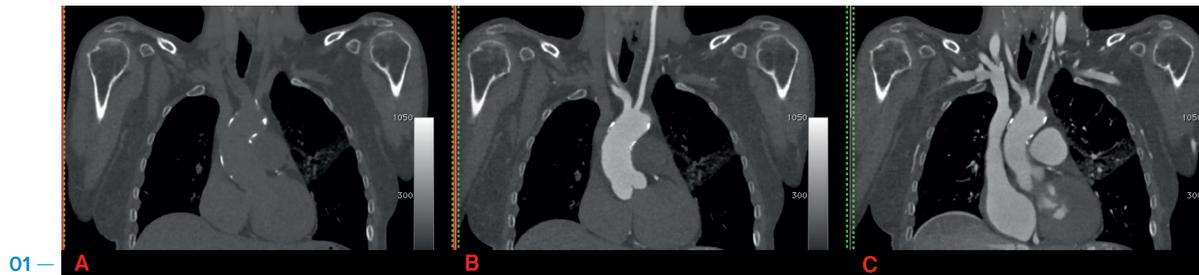
Anschriften der Autorinnen und Autor

**Dr. Sara Doll, Brit Ihle, Nadine Schindler,
Prof. Dr. Joachim Kirsch**
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
Institut für Anatomie und Zellbiologie

Im Neuenheimer Feld 307
D-69120 Heidelberg
sara.doll@uni-heidelberg.de

Postmortale Ganzkörper-CT Scans von Körperspendern. Die Durchführung von Kontrastmittel-Injektionen sowie Vorteile und Stolperfallen bei der Verwendung von DICOM Daten in der Lehre.

Abb.01 | Screenshots vom Thorax, Gegenüberstellung von drei postmortalen DICOM Datensätzen, frontale Schnittebene, Knochenfensterung.



Einleitung

Röntgenbilder in die anatomische Lehre zu implementieren hat in Heidelberg bereits lange Tradition. Hermann Braus (1868–1924) wurde 1912 Lehrstuhlinhaber des anatomischen Lehrstuhls in Heidelberg. Umgehend erneuerte er die Lehre und zeigte die damals noch neuen Röntgenbilder in seinem Unterricht (DOLL 2017). Vor zehn Jahren, also fast 100 Jahre nachdem Braus diese Durchleuchtungsbilder verwendete, legte die Anatomie in Heidelberg die Interpretation von konventionellen Röntgenbildern und DICOM-Bildern, die von CT-Scans generiert werden, curricular fest.

Die Lehreinheit „Virtuelle Anatomie“ wurde, zusammen mit Radiologen aus dem DKFZ (Deutsches Krebsforschungszentrum) initiiert. Im Jahr 2013 erstand das Institut für Anatomie und Zellbiologie, in Kooperation mit dem Institut für Rechtsmedizin und Verkehrsmedizin, einen gebrauchten Toshiba CT-Scanner (AQUILLION 16). Seit dieser Zeit werden alle Körperspender routinemäßig gescannt, so dass jeder Studierende „seinen“ Körperspender nicht nur traditionell präpariert, sondern parallel dazu auf PC's, die direkt neben den Präparationstischen aufgestellt wurden, auch die individuellen und anonymisierten Daten auswerten kann (PAECH et al. 2017). Der nächste und logische Schritt in diesem Arbeitsablauf war nun die postmortale Injektion von Kontrastmittel in das Gefäßsystem. Danach erst erfolgt die Konservierung der Körperspender. Um diese Technik zu erlernen, fuhr eine der Autorinnen nach Lausanne, Schweiz, um im dortigen Rechtsmedizinischen Institut (Centre Universitaire Romand de Médecine Légale) dieses Verfahren von Silke Grabheer und ihrem Team zu erlernen (GRABHEER et al. 2011). Ihre Methode wurde abgewandelt und in das bereits bestehende Arbeitsprotokoll eingefügt.

Technische Begriffe

DICOM Daten: „Digital Imaging and Communications in Medicine“, Standard zur Speicherung und Austausch von Informationen aus medizinischen Bildern, die im CT oder MRT generiert werden

Fensterung im CT: Gewebespezifischer Bildkontrast, der in Graustufen ausgedrückt wird (z.B. Knochenfenster, Abdomenfenster, Gehirnfenster oder Lungenfenster)

Nativscan: eine CT-Aufnahme ohne Kontrastmittel

Material und Methode

Autolyse führt zu einer erhöhten Gefäßdurchlässigkeit. Dieser Effekt ist günstig für die Konservierung der Körperspender, denn somit ist gewährleistet, dass die verwendeten Chemikalien mehr oder minder gleichmäßig das Gewebe durchdringen können. Auf die Injektion mit Kontrastmittel wirkt sich dieser Effekt jedoch ungünstig aus; das Kontrastmittel tritt in das Gewebe aus und wird als störend in der Auswertung bewertet. Um diesen Effekt zu minimieren, entwickelte die Firma Fumedica in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe um Silke Grabheer das Kontrastmittel Angiofill® (Kosten: 110€ pro 110ml plus Zollkosten). Es wird speziell für die postmortale Anwendung verwendet. Diese Chemikalie weist eine geringe Viskosität auf, kann jedoch auch in schmale Gefäße eindringen, ohne dort in das Interstitium auszutreten, da das Kontrastmittel mit Paraffinöl angereichert wird. Diese Mischung verhindert den Austritt derselben in Höhe der Schnittstelle der Arteriolen/Venolen und ermöglicht es, in einigen Fällen auch noch nach einigen Tagen postmortaler Liegedauer zum Beispiel in einer Kühlung, eine Injektion durchzuführen (SAUNDERS 2013). Am wichtigsten ist jedoch, dass das Kontrastmittel nicht interferiert mit einer nachfolgend durchgeführten Konservierung.

Für die Injektion wird eine Getriebepumpe der Firma „Hubertus Hellwig. Individuelle Systemlösungen“ verwendet. Sie ermöglicht es mit definierter Geschwindigkeit eine vorgemischte Lösung in das Gefäßsystem zu geben.

Um nur einmal Injektionsschläuche in die Gefäße des Körperspender einbinden zu müssen, kann vor der Kontrastmittel-Injektion eine handelsübliche Heidelberger Verlängerung® jeweils in die A. und V. femoralis eingegeben werden. An einem Ende wird der Schlauch Adapter abgeschnitten, dieser wird in

die Gefäße eingeführt. Am verbliebenen Adapter des anderen Endes kann zuerst der Schlauch aus der Kontrastmittel-Pumpe und danach der zur Konservierung des Körperspender angeschlossenen werden.

Vor dem Ansetzen der Mischung wird ein Nativscan durchgeführt. Anhand dieser Aufnahmen wird entschieden, ob eine Injektion durchgeführt werden soll oder nicht. Kontraindiziert ist dies in Heidelberg zum Beispiel bei einer stark obstruierenden Arteriosklerose oder bei dem Vorliegen sonstiger medizinischer Konditionen, die es nachfolgend unmöglich machen würden, den Körperspender zu konservieren oder für den studentischen Unterricht zu verwenden.

Sowohl zur Durchführung des Nativscans als auch bei möglichen Folgescans werden, um Artefakte in der Bildgebung zu verringern, die Hände des Körperspender auf dessen Bauch gelegt.

Die Mischung für einen Körperspender und zwei Injektionen (eine arterielle und eine venöse) setzt sich wie folgt zusammen: 3,5 Liter leichtes Paraffinöl technischer Qualität und 220ml Angiofill Kontrastmittel. Zur Injektion müssen beide Komponenten sehr gründlich vermengt werden.

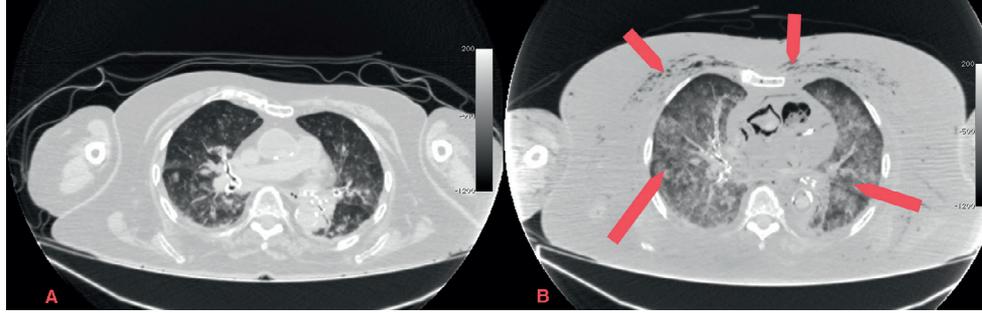
Nach dem Einbinden der Heidelberger Verlängerung® in die Gefäße wird zuerst 1200–1400ml der Kontrastmittel-Mischung in das arterielle System injiziert. Dabei ist es absolut notwendig, möglichst wenig Luft in die Gefäße zu spritzen, welches die DICOM Bilder verfälschen würde. Enorm hilfreich ist deshalb die Verwendung einer Fusspumpe beim Einbinden des Schlauches. Sie ermöglicht es, eine sehr kleine Menge Kontrastmittel-Mischung aus dem Pumpen-Schlauch austreten zu lassen, um die Luft aus dem System herauszudrücken, bevor man diesen an den Adapter anbringt. Um weitere Artefakte in der Bildgebung zu vermeiden, wird ein Stück Zellstoff unter die Gefäße gelegt, welches das überflüssige Kontrastmittel aufsaugen kann. Nach der Einbindung und vor dem Scan wird es entfernt.

Die Pumpe transportiert etwa 600ml/min, es werden also etwa 2 Minuten benötigt, um die Arterien zu befüllen. Sofort im Anschluss wird ein „arterieller Scan“ durchgeführt. Danach wird der Schlauch der Kontrastmittel-Pumpe in die V.femoralis umgesteckt, der verwendete Schlauch in der A.femoralis belassen und mittels Klemme verschlossen. Die Klemme wird möglichst außerhalb des markierten Scan Be-

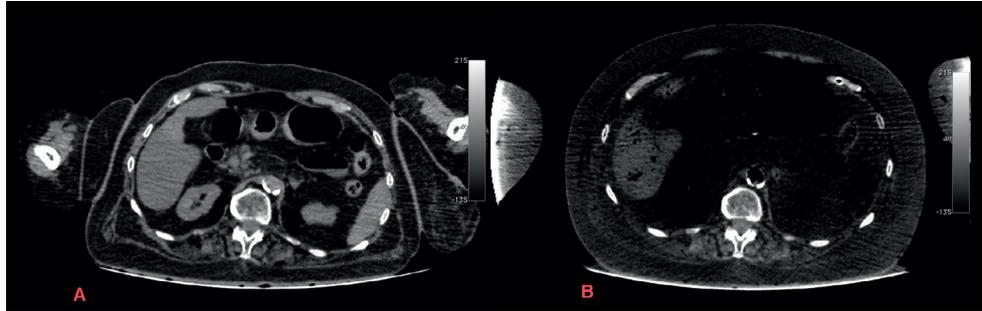
Abb.02 | Screenshot vom Thorax, Horizontalschnitt, Lungenfensterung.

Abb.03 | Screenshots vom oberen Abdomen, Horizontalschnitt, Abdomenfensterung.

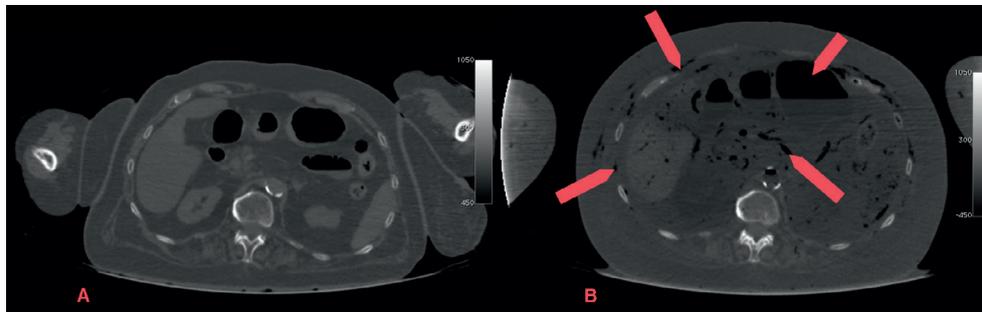
Abb.04 | Screenshots vom unteren Abdomen, Horizontalschnitt, Knochenfensterung.



— 02



— 03



— 04

reichs gelegt, damit sie hinterher bei Bedarf aus den DICOM Bildern herausgeschnitten werden könnte.

Dann wird auf gleicher Art 2000 bis 2200ml Kontrastmittel in das venöse System injiziert, ein „venöser Scan“ folgt umgehend, der Schlauch wird ausgebanden und ebenfalls mit einer Klemme verschlossen.

Wie auch beim Scan eines noch lebenden Patienten werden drei verschiedene Scans durchgeführt, so dass die Studierenden im Unterricht schon früh den Klinikbezug herstellen können, aber auch in der Lage sind, die unterschiedlichen Gefäßsysteme differenzieren zu können. Da sich durch den fehlenden Körperkreislauf das Kontrastmittel aus dem arteriellen Scan noch in den Gefäßen befindet, sind entgegen dem normalen Patientenscan jedoch auf dem letzten, venösen Datensatz die Arterien zusammen mit den Venen zu sehen. Die Abbildung 01 A zeigt einen Screenshot des Nativscans ohne Kontrastmittel, B einen Screenshot aus dem arteriellen und C aus dem arteriell-venösen Datensatz.

Es können ca. 100 bis 300ml Lösung übrig bleiben, diese können kühl gelagert problemlos für die nächste Injektion Verwendung finden.

Um den Leichnam nach dem üblichen Protokoll konservieren zu können ist es nötig, das Kontrastmittel mit etwa 5 Liter Alkohol (in Heidelberg wird Ethanol verwendet, es befindet sich auch in der Konservierungsflüssigkeit) auszuwaschen. Dazu gibt man ihn über den noch verbliebenen A. femoralis-Schlauch in die Arterien und entfernt die Venenklemme vom Schlauch. Danach wird dieser wieder verschlossen, der Leichnam auf übliche Weise konserviert.

Wann ist die beste Zeit für einen Scan?

Definitiv werden die Ergebnisse wesentlich besser, wenn man vor der Konservierung scannt anstatt danach. Das Gewebe ist in den allermeisten Fällen so stark verändert, dass die generierten Bilder nicht für die Lehre zu verwenden sind (CHEW 2006). Die Abbildungen 02–04 demonstrieren dies eindrücklich:

Abbildung 02A zeigt einen Nativscan, er wurde vor der Konservierung aufgenommen, B drei Tage danach, es handelt sich um denselben Körperspender. Hier sind im oberen Bildabschnitt deutlich massive Lufteinschlüsse im Muskelgewebe des M.pectoralis zu sehen, im unteren Bildabschnitt befinden sich

Abb. 05 | Screenshots vom Abdomen nach arterieller und venöser Kontrastmittel-Injektion, A zeigt einen Horizontalschnitt, B einen Frontalschnitt, beide wurden im Knochenfenster erstellt.

Abb. 06 | Screenshots vom oberen Abdomen nach arterieller und venöser Kontrastmittel-Injektion, Horizontalschnitt.

Abb. 07 | Screenshots vom Thorax nach arterieller und venöser Kontrastmittel-Injektion, Lungenfensterung.

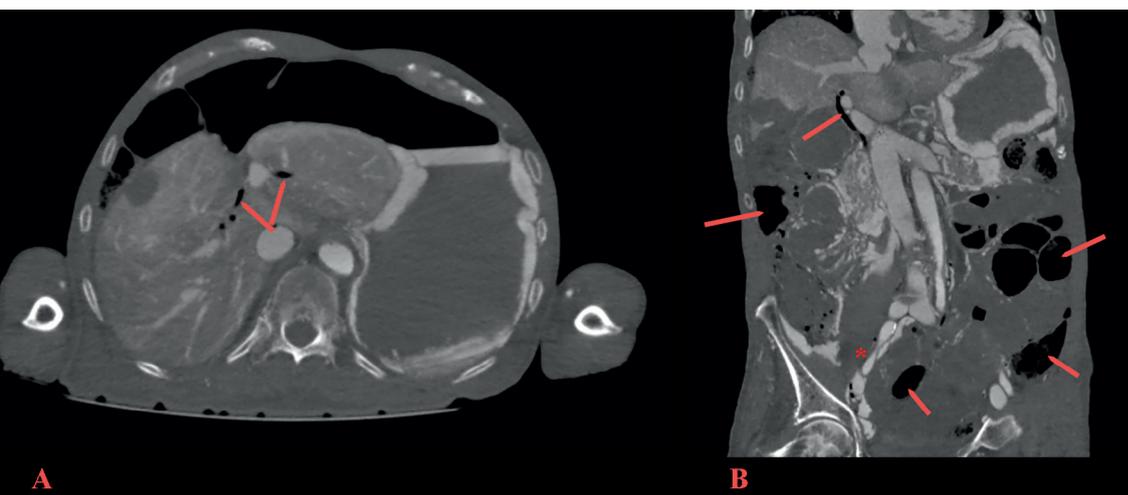
reichlich Flüssigkeitsablagerungen im Lungenparenchym. Der komplette Körper erscheint aufgebläht.

Die Abbildung 03A zeigt denselben Nativscan vor der Konservierung wie in Abbildung 02., B wurde drei Tage nach der Konservierung aufgenommen. Die Organgrenzen sind nunmehr kaum sichtbar, zum größten Teil komplett verschwunden.

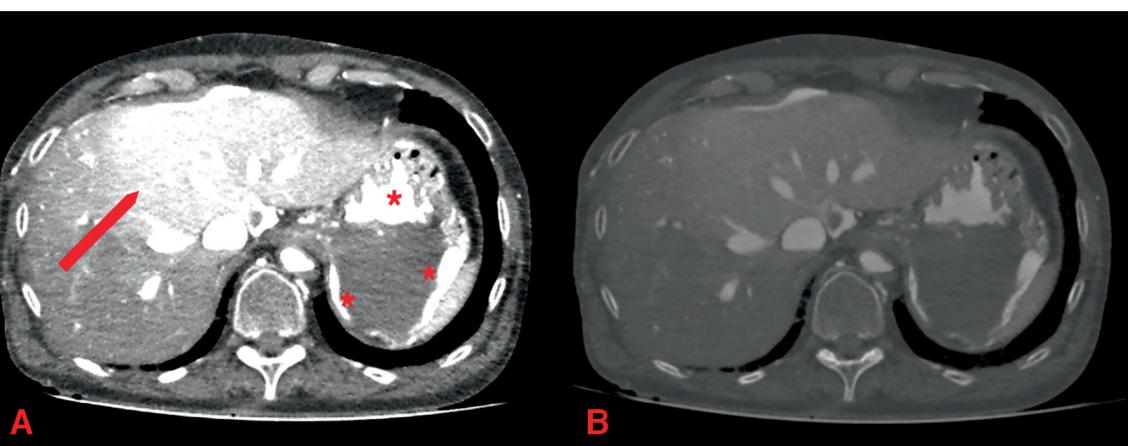
Auf der Abbildung 04A sieht man denselben Nativscan vor der Konservierung wie in Abbildung 02 und 03., B wurde drei Tage nach der Konservierung aufgenommen. Wie im Bereich des Thorax sind hier massive Luftansammlungen zwischen den Muskeln, im Gewebe und im Darm zu erkennen.

Vergleicht man die Fotos des Nativscan (jeweils A) mit denen, die drei Tage nach der Konservierung (jeweils B) entstanden, erscheinen diese im direkten Vergleich fast wie von unterschiedlichen Personen generiert.

Die Luft könnte eventuell während der Konservierung in das Gewebe injiziert worden sein, da dies in Heidelberg mithilfe einer elektrisch betriebenen Pumpe vorgenommen wird. Dieser Effekt könnte gegebenenfalls reduziert werden, wenn die Konservierung mittels Schwerkraft vorgenommen würde.



— 05



— 06



Stolperfallen

Bei der Interpretation der DICOM Bilder müssen wichtige Stolperfallen in Betracht gezogen werden: Im Nativ- oder Kontrastmittelscan können anatomische Lagebeziehungen und Pathologien nur unter Berücksichtigung von postmortalen Veränderungen richtig interpretiert werden (CASWELL et al. 2015). Klinische Standards können nicht ohne weiteres übertragen werden und ohne einen direkten Vergleich zwischen Nativscan und Kontrastmittelscan ist es fast unmöglich zu adressieren, ob Veränderungen bereits vor Eintritt des Todes oder erst postmortal auftraten. Für die Rechtsmedizinische Bildgebung wurde dies bereits ausführlich beschrieben (BRUGUIER et al. 2013), ebenso wie ein Standard Protokoll für die rechtsmedizinische Gefäßinjektion bereits publiziert wurde (GRABHEER 2011). Demnach gibt es folgende Konditionen, die auch eine Kontrastmittel-Injektion zum Zwecke der anatomische Lehre beeinträchtigen können: Arteriosklerose, Blutverklumpungen, poröse Gefäße und Gasbildung durch bakteriellen Befall im Magen-Darm-Trakt.

Geronnenes Blut kann die Injektion in kleinere Gefäßsysteme wie solche im Gehirn oder in den Händen bzw. Füßen behindern. Dies hat zur Folge, dass sich dort kein Kontrast detektieren lässt – trotz Kontrastmittel-Injektion.

Um zu differenzieren ob Luft in Thorax, Abdomen oder in den Gefäßen postmortal oder durch die Injektion entstand ist es notwendig, benachbarte Organe zu betrachten (Abb.5). Kann hier ebenfalls Luft entdeckt werden, handelt es sich höchstwahrscheinlich um eine postmortale Veränderung durch Bakterien. Luft im Gefäßsystem kann dazu führen, dass das Kontrastmittel unterbrochen, in kettenförmiger Anordnung erscheint. Die Pfeile im Bild A der Abbildung 05 zeigen auf Lufteinschlüsse im Gefäß-

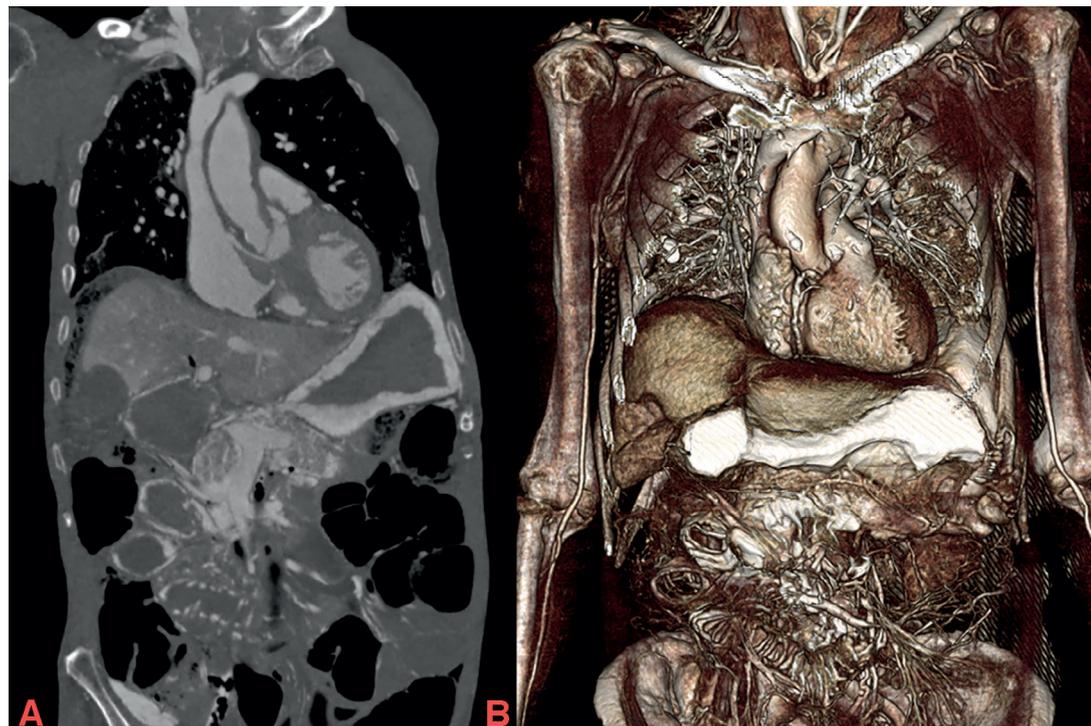
system der Leber, im Bild B zeigen sie auf Luftansammlungen im Darm. Durch ein Asterisk wird hier eine „Kettenbildung“ des Kontrastmittels durch Luft-einschlüsse indiziert.

In stark blutgefüllten Organen wie Leber oder Milz kann sich das Kontrastmittel ansammeln und, im Abdomenfenster betrachtet, die Auswertung negativ limitieren (Abb.6). Die Abbildung 06A wurde im Abdomenfenster geöffnet, das Kontrastmittel erscheint stark angereichert in der Leber, markiert durch den roten Pfeil und in der Magenwand, markiert durch die Asteriks. Auch in der Magen-Darm Schleimhaut oder im Pancreas lässt sich durch Autolyse ausgetretenes Kontrastmittel häufig beobachten. Abbildung 06B wurde im Knochenfenster geöffnet, die Gefäße lassen sich gut darstellen, die Artefakte können nur noch dezent im Magen gesehen werden. Da das Verdauungssystem in der Computertomographie oft schlecht abzugrenzen ist im, können die Artefakte im Knochenfenster dargestellt sogar als positiver Nebeneffekt für die Lehre angesehen werden.

Manchmal ist es auf den ersten Blick nicht einfach, postmortale Veränderungen von solchen, die durch Kontrastmittel-Injektion oder solchen, die bereits zu Lebzeiten entstanden, zu differenzieren. Gerade in

der Lunge kann dies zur völligen Fehleinschätzung des Befundes führen (Abb.7). Ist nach Betrachtung des frontal rekonstruierten Datensatzes A nicht klar, ob die mit roten Pfeilen markierten Veränderung den Patienten zu Lebzeiten betrafen, kann sowohl im Horizontalsatz B als auch sagittal gezeigten Datensatz C ein klar definierter Exudatspiegel, gekennzeichnet mit roten Pfeilen, definiert werden. Die Veränderung können demnach höchstwahrscheinlich als innere Leichenflecke kategorisiert werden.

Abb. 08 | Screenshots von Thorax und Abdomen nach arterieller und venöser Kontrastmittel-Injektion.



– 08

Würde ein Radiologe diese postmortale Bilder des Thorax interpretieren, könnten häufige Veränderungen als Infiltrationen des Lungengewebes zu Lebzeiten fehlinterpretiert werden. Nur der Vergleich von mindestens zwei Ebenen kann hier Klarheit bringen. Befindet sich zum Beispiel auf frontal rekonstruierten DICOM Bildern eine auf den ersten Blick pathologische Veränderung im Lungengewebe, kann das Betrachten weiterer Ebenen aufzeigen, ob diese als innere Leichenflecken zu werten sind oder tatsächlich als eine Erkrankung, unter die der Patient schon zu Lebzeiten litt (FILOGRANA et al. 2017).

Schlussfolgerung

Obwohl in Heidelberg die Kontrastmittel-Injektion und Konservierung der Körperspender seit Jahren nacheinander erfolgt, gibt es keinerlei Probleme mit der Beschaffenheit der Konservierung. Die CT Scans sind in der Qualität hochwertig und können problemlos in die Lehre eingebunden werden.

Auch wenn die postmortale Kontrastmittel-Injektion einiger Übung bedarf und selbstverständlich personelle und materielle Mehrkosten erzeugt, so ist es dadurch möglich, das Gefäßsystem eindrucksvoll für den Einsatz in der Lehre darzustellen. Abbildung 08A zeigt beispielhaft einen Situs auf frontaler Schnittebene, dargestellt im Knochenfenster. Bild B zeigt eine 3D Rekonstruktion desselben Datensatzes ebenfalls in frontaler Ansicht. Auf beiden Bildern sind Kontrastmittel-angereicherte Gefäße und Organengrenzen gut zu erkennen, diese so generierten Bilder sind eine hilfreiche Ergänzung für den traditionellen Anatomie Unterricht und befördern das Verständnis für topographische Verhältnisse nachhaltig.

Für die meisten Studierenden ist die Arbeit mit dem „echten Spender“ und den korrespondierenden Daten sicherlich die einzige Chance während ihrer Ausbildung, beide Lehrmethoden im direkten Vergleich miteinander zu studieren.

Dazu müssen entsprechende Arbeitsaufträge für die Studierenden erstellt, der Lernerfolg durch Tutoren und Dozenten regelmäßig überprüft werden. Wichtig ist es ebenso, mögliche Stolperfallen den Studierenden zu zeigen und zu erklären.

Die verschiedenen Fensterungen können nicht immer wie im klinischen Kontext verwendet werden. So kann man Strukturen im Abdomen tatsächlich besser demonstrieren, wenn nicht das Abdomenfenster, sondern stattdessen die Knochenfensterung Verwendung findet, um typisch postmortale Artefakte wie Kontrastmittel-Austritte „auszublenden“ und Organgrenzen besser darzustellen.

Die Implementierung der DICOM Datensätze in den Unterricht ist jedoch nur dann erfolgreich, wenn die Daten in das bereits bestehende Curriculum eingebaut werden und die technischen Besonderheiten der postmortalen Bildgebung Beachtung finden (PAECH et al. 2017 und 2018).

Bisherige Studien zeigten zwar eine Verbesserung der Leistungen in den Testaten, allerdings steht die Auswertung einer Langzeitstudie, so wie sie auch bereits von anderen Institutionen gefordert wird, noch aus (BUENTING et al. 2016).

Danksagung

Die Autoren möchten sich bei der Arbeitsgruppe um Silke Grabherr herzlich für die großzügige technische Unterstützung bei der Einführung der Kontrastmittel-Injektionstechnik und Einführung in die Stolperfallen des postmortalen CT's bedanken. Weiterhin gehört unser Dank allen Dozenten*innen, Tutoren*innen und speziell Herrn Dr. Daniel Paech und Frau cand.med. Kerstin Klopries für Ihren Einsatz in der Lehr-Umsetzung der postmortalen Kontrastmittel-Bildgebung.

Bezugsquellen

- **Heidelberger Verlängerung®:**
Fresenius Kabi: <https://www.fresenius-kabi.com/de/medizinprodukte/heidelberger-verlangerungen>
oder B.Braun: <https://www.bbraun.de/de/products/b/heidelberger-verlaengerungen.html>
- **Kontrastmittel Angiofill®**
Fumedica AG, Division Postmortem-Angio
Luzernerstr. 91
CH-5630 Muri AG
http://www.postmortem-angio.ch/de/products/angiofil%C2%AE_macro
- **Kontrastmittelpumpe**
Hubertus Hellwig. Individuelle Systemlösungen
Am Mühlgraben 1
35232 Dautphetal
www.maschinenwebcam.de

Literaturverzeichnis

- BUENTING, M., MUELLER, T., RAUPACH, T., et al. (2016): Post mortem CT scans as a supplement teaching method in gross anatomy. – *Annals of Anatomy* 208: 165–169.
- BRUGUIR, C., MOSIMANN, P.J., VAUCHER, P. et al. (2013): Multi-phase postmortem CT angiography: Recognizing technique-related artefacts and pitfalls – *International Journal of Legal Medicine* 127: 639–652.
- CASWELL, F.R., VENIKATESH, A., DENISON, A.R. (2015): Twelve tips for enhancing anatomy teaching and learning using radiology – *Medical Teacher* 37: 1067–1071.
- CHEW, F.S., CHEW-RELYEA, A., OCHOA, E.R. J.R. (2006): Postmortem computed tomography of cadavers embalmed for use in teaching gross anatomy – *Journal of Computer Assisted Tomography* 30: 949–954.
- DOLL, S., KIRSCH, J., ECKART, W.U. (2017): Wenn der Tod dem Leben Dient – *Der Mensch als Lehrmittel*. – 1. Aufl. Berlin: Springer
- FILOGRANA, L., THALI, M.J. (2017): Post-mortem CT imaging of the lungs: pathological versus non-pathological findings. – *Radiologica Medica* 122(12): 902–908.
- GRABHERR, S., DOENZ, F., STEGER, B., et al. (2011): Multi-phase post-mortem CT angiography: Development of a standardized protocol. – *International Journal of Legal Medicine* 125: 791–802.
- PAECH, D., GIESEL, F., UNTERHINNINGHOFEN, R., et al. (2017): Cadaver-specific CT scans visualized at the dissection table combined with virtual dissection tables improve learning performance in general gross anatomy. – *European Radiology* 27: 2153–2160.
- PAECH, D., KLOPRIES, K., DOLL, S., et al. (2018). Contrast-enhanced cadaveric-specific computer tomography in gross anatomy teaching. *European Radiology* 28: 2838–2844.
- SAUNDERS, S. (2013): The use of injected contrast agents in cadaveric computed tomography. – *Diss.*

Abbildungsnachweis

Alle Abbildungen stammen von Dr. Sara Doll.