

M.A. Verhoff¹ · M. Obert² · S. Harth¹ · C. Reuß² · B. Karger³ · B. Lazarova² · J. Krähhahn¹ · F. Ramsthaler⁴ · H. Traupe²

¹ Institut für Rechtsmedizin, Universitätsklinikum Gießen und Marburg, Gießen

² Abteilung Neuroradiologie, Universitätsklinikum Gießen und Marburg, Gießen

³ Institut für Rechtsmedizin, Universitätsklinikum, Münster

⁴ Institut für Rechtsmedizin, Universitätsklinikum, Frankfurt a.M.

„Flat-Panel“- Computertomographie in der Rechtsmedizin

Die digitale Bildgebung, insbesondere die Computertomographie (CT), aber auch die Magnetresonanztomographie (MRT) erlangen in der Rechtsmedizin einen zunehmenden Stellenwert [2, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Hierbei hat die Berner Arbeitsgruppe „Virtopsy“ wichtige Pionierarbeit geleistet. Von der Arbeitsgruppe „Digital Forensic Osteology“ konnte gezeigt werden, dass osteometrische und morphologische Untersuchungen an virtuellen, d. h. aus CT-Datensätzen rekonstruierten Knochen möglich sind [15, 16]. Zudem gelang die Etablierung neuer, z. T. nur mithilfe des CT erhebbarer osteometrischer Parameter zur Schätzung der Körperhöhe [1, 3]. In den vorliegenden Untersuchungen sollte überprüft werden, inwieweit ein Flat-Panel-CT für rechtsmedizinische Fragestellungen sinnvoll einsetzbar ist.

Technischer Hintergrund

Die Auflösung eines CT wird durch sein Detektorsystem bestimmt. Die jüngeren Entwicklungen bei den Multislice-Computertomographen (MSCT) gehen v. a. dahin, dass immer mehr Detektorzeilensysteme hintereinander geschaltet werden. Einerseits wird so eine Zunahme der Scangeschwindigkeit erreicht, zumal größere Volumina in gleicher Zeit untersucht werden, andererseits wird auch die räumliche Auflösung geringfügig durch die Weiterentwicklung der Detektorsysteme verbessert. Weitere positive Effekte sind die Reduktion

von Bewegungsartefakten und praktisch Echtzeitdarstellungen, denn der Fortschritt der Computertechnik ermöglicht immer schnellere Bildrekonstruktionszeiten trotz zunehmender Rohdatenaufkommen. Während für radiologische Standardfragestellungen gegenwärtig 16-zeilige MSCT adäquat erscheinen, sind für kardiologische Spezialanwendungen 64-Zeiler in den Markt eingeführt worden, die Herzschlagsequenzen darstellen können. Auf aktuellen Messen werden 256-zeilige MSCT vorgestellt. Nachteilig ist, dass die verbesserte Darstellungsqualität häufig mit einer größeren Strahlenbelastung für den Patienten einhergeht.

Für den postmortalen CT-Scan ist die Strahlenbelastung irrelevant, und auch die Scangeschwindigkeit ist weniger von Belang. Eine wesentlich wichtigere Zielgröße ist die Auflösung. Hierbei haben sich jedoch in den letzten Jahren bei für den klinischen Einsatz konzipierten MSCT kaum nennenswerte Steigerungen ergeben.

Vor diesem Hintergrund wurde der Versuch unternommen, ein bereits für die Angiographie etabliertes Detektorsystem, nämlich 1024-zeilige „flat panels“, in einem CT einzusetzen. Der Unterschied der maximalen Auflösung zwischen einem aktuellen

MSCT und einem Flat-Panel-CT wird in **Tab. 1** aufgeführt. In dem weltweit ersten Prototyp, dem „flat-panel volumetric computed tomograph“ (fpVCT) von GE Healthcare aus dem Jahr 2003 wurden 2 Flat panels in einem stumpfen Winkel zueinander montiert. Dieses System konnte wahlweise in einer Betriebsart genutzt werden, bei dem jeweils 1 oder 2 Panels zur Strahlendetektion herangezogen wurden. Große zu scannende Objekte mussten im Zwei-Panel-Modus untersucht werden, der allerdings erhebliche störende Bildartefakte aufwies. Diese Artefakte traten im Ein-Panel-Betrieb, der für die Untersuchung kleiner Objekte bestimmt war, nicht auf [5]. Deshalb wurde im ersten Serienmodell eines Flat-Panel-CT, der eXplore Locus Ultra (eLU) von GE Healthcare, mit Markteinführung im Jahr 2005, nur ein Flat panel eingesetzt (**Abb. 1**). Der Nachteil ist jedoch, dass der maximal scannbare Objektdurchmesser in xy-Richtung auf etwa 16 cm begrenzt ist.

Material und Methoden

Zur Verfügung stand das Flat-Panel-CT eXplore Locus Ultra von GE Healthcare, Lon-

Tab. 1 Maximale Auflösung des Multislice-Computertomographen (MSCT) und des Flat-Panel-Computertomographen (Flat-Panel-CT) im Vergleich

Gerät	Auflösung [mm]		
	x-Achse	y-Achse	z-Achse
MSCT	0,2	0,2	0,6
Flat-Panel-CT	0,05	0,05	0,05

In der x- und y-Achse ist die Auflösung des Flat-Panel-CT jeweils 4-mal und in der z-Achse sogar 12-mal höher, sodass sich für die räumliche Auflösung ein Faktor von 192 ergibt.

don, Ontario, Canada. Der CT-Scanner verwendet Flat panels (GE Medical Systems, Milwaukee, WI, USA) zur Strahlendetektion, die die Besonderheit dieses CT-Systems darstellen. Die Flat panels bestehen aus CsJ-Nadeln, die in einem speziellen Verfahren auf eine 1024×1024 Pixelmatrix aus photosensitivem, amorphen Silizium aufgebracht werden. Bei den Protokollen, die 5,4 cm bzw. 10,2 cm in z-Richtung bildlich darstellen sollen, werden 1000 Reihen und 360 bzw. 640 Zeilen dieser Matrix genutzt. Während einer Gantry-Rotation werden 1000 Einzelprojektionsbilder aufgezeichnet. Die Rotationsdauer beträgt für die kleineren Objektgrößen 8 s, für die größeren 16 s. Die Fläche, die in der xy-Richtung dargestellt werden kann („field of view“, FOV), misst 15,9×15,9 cm² und ist unabhängig von der Objektgröße in z-Richtung. Die räumliche Auflösung des Gerätes wird vom Hersteller mit 2,20 Linienpaaren/mm bei einer Modulationstransferfunktion von 10% angegeben. Das Gerät war mithilfe eines zylindrischen Wasserphantoms auf einen Hounsfield-Unit-Wert von 0 kalibriert worden.

Die Rekonstruktion der Bilddaten erfolgte mithilfe eines modifizierten Kegelschtrahlrückprojektionsalgorithmus in eine 512×512×k Voxelmatrix; hierbei lag k in Abhängigkeit der z-Ausdehnung des Objektes im Bereich von 340–900. Die resultierenden 12-Bit-DICOM-Daten besaßen isotrope Voxel mit einer Größe von (0,13 mm)³–(0,295 mm)³. Die Bildrekonstruktion wurde mit einem auf Linux basierenden PC-Cluster durchgeführt, bestehend aus einem Master und 8 „nodes“, die jeweils mit dual 3,06-GHz-Xeonprozessoren und 2-GB-RAM ausgestattet sind.

Vergleichende MSCT-Scans erfolgten mit dem LightSpeed¹⁶ (GE Medical Systems, Milwaukee, WI, USA), einem klinischen Standardgerät. Für die Bildrekonstruktion wurde ein kantenverstärkender „Boneplus“-Modus verwendet. Es resultierten Voxel mit einer Kantenlänge von 0,418 mm in xy-Richtung und 0,625 mm in z-Richtung.

Die Daten des Flat-Panel-CT und des MSCT wurden mit einer Advantage Workstation (AW), Version 4.1, GE Medical Systems, Buc, France, auf einem unter dem Betriebssystem LINUX betriebenen Rechner (dual 2,2-GHz-Processor, 4-GB-RAM) ausgewertet. Dabei stand Software zur Verfü-

Rechtsmedizin 2008 · 18:242–246 DOI 10.1007/s00194-008-0517-8
© Springer Medizin Verlag 2008

M.A. Verhoff · M. Obert · S. Harth · C. Reuß · B. Karger · B. Lazarova · J. Krähahn · F. Ramsthaler · H. Traupe

„Flat-Panel“-Computertomographie in der Rechtsmedizin

Zusammenfassung

Die Verwendung der Computertomographie in der Rechtsmedizin etabliert sich zusehends. Aktuelle Multislice-Computertomographen (MSCT) erreichen eine Auflösung von ca. 0,2 mm in xy- und 0,6 mm in z-Richtung. Noch im vorklinischen Stadium, d. h. nicht für Patienten zugelassen, befinden sich „Flat-Panel“-Computertomographen. Diese verwenden „panels“ zur Strahlendetektion, die ursprünglich für die Angiographie entwickelt wurden. Sie ermöglichen sinnvoll rekonstruierte isotrope Voxelgrößen von (0,05 mm)³ – verbunden mit dem Nachteil, dass der maximal scannbare Objektdurchmesser ca. 16 cm beträgt. Folglich kann ein menschlicher Körper nicht in toto gescannt werden. Die bildgebende Untersuchung forensisch-osteologischer Proben und im Rahmen von Obduktionen gewonnener Präpa-

rate ist jedoch möglich. Für die vorgestellten Untersuchungen stand der eXplore Locus Ultra (eLU) Flat-Panel-CT-Scanner zur Verfügung. Während Obduktionen wurden Herzen, Kehlköpfe sowie Kalotten gescannt und dem Leichnam unmittelbar wieder beigegeben. Außerdem erfolgte die Untersuchung von mazerierten Schädeln. Die Vorteile der höheren Auflösung des eLU zeigten sich v. a. bei der Beurteilung von knöchernen Verletzungen und der Ossifikation der Schädelnähte. Auch Verkalkungen waren gut sichtbar. Dagegen waren bei der Darstellung von Weichteilen deutliche Schwächen festzustellen.

Schlüsselwörter

Obduktion · Forensische Osteologie · Kalotte · Kehlkopf · Herz

Flat panel computer tomography in legal medicine

Abstract

The use of computed tomography in legal medicine is noticeably becoming mainstream. Current multi-slice computed tomography (MSCT) attains a resolution of 0.2 mm in the xy-plane and a resolution of 0.6 mm in the z-plane. So called flat panel CT is still in a preclinical phase and has so far not been approved for patient use. Flat Panel CT uses panels for radiation detection that were originally developed for angiography and allows a meaningful reconstruction from isotropic voxel sizes of (0.05 mm)³, the disadvantage being that the maximum object diameter that can be scanned is only approximately 16 cm. Consequently, the complete human body cannot be scanned, however, imaging examinations of forensic osteology samples and preparations obtained from autopsies

are possible. An eXplore Locus Ultra (eLU) flat panel CT scanner was placed at our disposal for the examinations presented in this article. During autopsies, hearts, larynxes, and callottes were scanned and then immediately returned to the corpse. Macerated skulls were also examined. The advantages of the higher resolution of the eLU were especially apparent in the evaluation of bony injuries and the ossification of cranial sutures. Calcification was also easy to visualize, but in contrast, distinct shortcomings were noted in the imaging of soft tissues.

Keywords

Autopsy · Forensic osteology · Calotte · Larynx · Heart



Abb. 1 ▲ Der eXplore Locus Ultra (eLU) nach Entfernen des Gehäuses. Das einzelne Flat panel ist in der Mitte über dem Scanfokus zu erkennen



Abb. 2 ▲ Mazerierter Schädel vor dem Scan im eXplore Locus Ultra

gung, mit der 2D-Schnittbilder- und 3D-Volumenansichten betrachtet und analysiert werden konnten (Volume Viewer, Voxtool 3.0.58c). Bei den 3D-Darstellungen wurden insbesondere „Maximum-intensity-projection“- (MIP-; [2]) und „Volumerendering“-Methoden [15] angewendet. Mit der Workstation war es zudem möglich, Daten des Flat-Panel-CT und des MSCT parallel zu analysieren und zu vergleichen.

Untersucht wurden jeweils 5 Herzen, Kehlköpfe und Kalotten aus dem Sektionsgut der Gießener Rechtsmedizin. Die Herzen waren nach der Entnahme unpräpariert. Am Hals-Lungen-Paket wurde ein Schnitt durch Luftröhre und Kehlkopf etwa 4 cm unterhalb des Kehlkopfes geführt und der rostrale Anteil gescannt. Die Scans erfolgten während der laufenden Sektion, sodass das Gewebe wieder in den Leichnam zurückgegeben werden konnte. Außerdem wurden 3 isolierte, mazerierte Schädel mit Schussverletzungen analysiert (■ **Abb. 2**).

Ergebnisse

Nach Flat-Panel-CT-Scan und 3D-Rekonstruktion der Daten erwies sich die

Darstellung von Weichteilgewebe insgesamt als problematisch. Gut und detailliert konnten dagegen Knochen und Kalzifizierungen beurteilt werden.

Bei den Herzen gelang eine gute Darstellung von Verkalkungen in den Koronararterien (■ **Abb. 3**). Eine Beurteilung der gesamten Gefäßwand oder die Darstellung von Thromben, die später bei der Sektion verifiziert werden konnten, war nicht möglich. Das Myokard zeigte sich in allen Einstellungen sehr kontrastarm; die Feinstruktur der Muskulatur war nicht sichtbar (■ **Abb. 3, 4**). Selbst kleinere und größere Narbenzonen waren nicht zu detektieren.

Bei den Kehlköpfen waren das Zungenbein und die verknöcherten Anteile des Kehlkopfgerüsts sehr gut darstellbar (■ **Abb. 5**). Die knorpeligen Anteile waren dagegen kaum von dem umgebenden Gewebe abzugrenzen. Bei einem Kehlkopf war das Zungenbein im Rahmen eines tödlichen Würgens an der linken Seite gebrochen und deutlich umblutet. Bei einem anderen Kehlkopf wurde ein Zungenbeinbruch intentionell postmortal gesetzt. In der Darstellung nach Flat-Panel-CT-Scan waren die Brüche sehr detailliert darstellbar; eine Differenzierung des vitalen und

des avitalen Bruches gelang jedoch nicht: Die bei dem einen Kehlkopf tatsächlich vorhandenen Blutungen mit Auflockerung der Weichteile um den Zungenbeinbruch herum waren nicht nachweisbar.

An den frischen Kalotten gelang eine durchgehende Darstellung der Schädelnähte (■ **Abb. 6**). Der Grad der Ossifikation war im Querschnitt der Nähte zu beurteilen.

Die isolierten mazerierten Schädel konnten im Flat-Panel-CT nicht in toto gescannt werden. Es waren 2 oder sogar 3 Scans zum vollständigen Erfassen notwendig. So wiesen die 3D-Rekonstruktionen der mithilfe des MSCT-Scans gewonnenen Daten den Vorteil auf, dass nach „surface rendering“ der vollständige Schädel frei im virtuellen Raum bewegt werden konnte. Auf diese Weise war es möglich, die Schusskanäle zu rekonstruieren. Mit den Daten des Flat-Panel-CT-Scans waren dagegen mit dem bloßen Auge sichtbare feinste Bruchausläufer darstellbar. Gegenüber der makromorphologischen Untersuchung kamen auch Bruchausläufer in den Knocheninnenstrukturen zum Vorschein, die von außen nicht zu erkennen waren. Bei einem Schädel mit 2 Durch- und 2 Steckschüssen war die Endlage der Projektile der Steck-

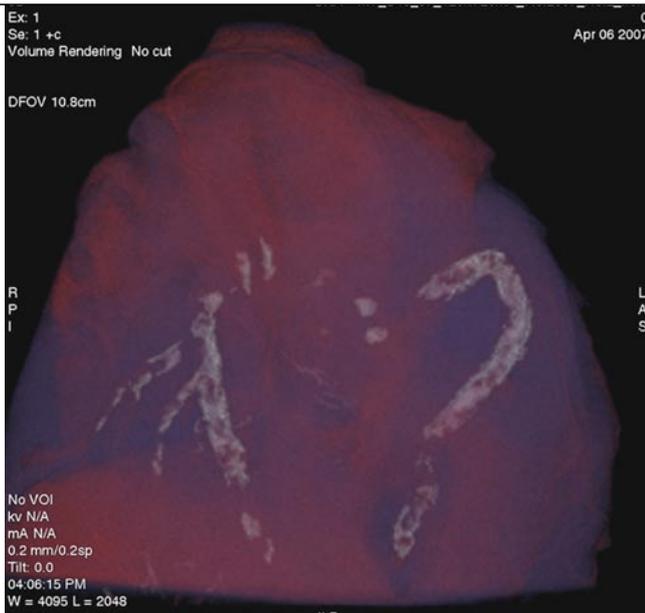


Abb. 3 ▲ Darstellung eines Herzens nach Scan im Flat-Panel-CT und Volume rendering: Die Verkalkungen der drei Hauptstämme der Koronararterien sind sehr gut darstellbar

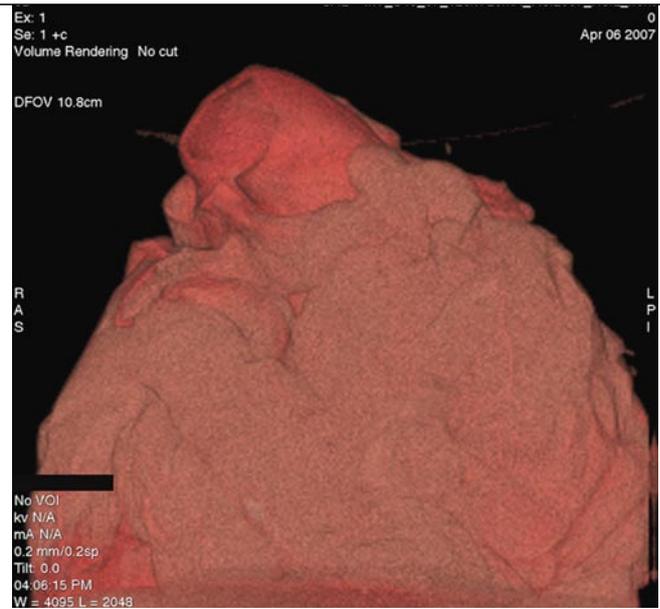


Abb. 4 ▲ Der Volumen-CT-Datensatz von **Abb. 5**, ebenfalls nach Volume rendering, jedoch mit einer Fensterung mit höherer Dichte zu besserer Darstellung von Muskulatur und Herzoberfläche

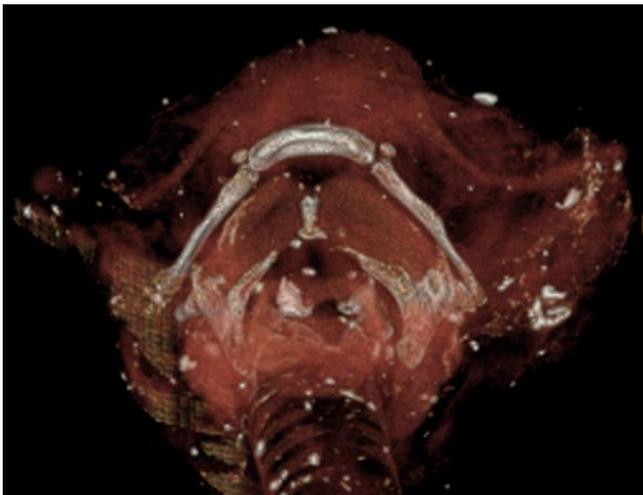


Abb. 5 ▲ Kehlkopf nach Flat-Panel-CT-Scan und Volume rendering. Die Ansicht ist von vorne unten



Abb. 6 ► Schädelkalotte nach Flat-Panel-CT-Scan, Ansicht in der Schnittbild-darstellung. Zu erkennen ist die Sagittalnaht im Querschnitt

schüsse unbekannt gewesen. An den mit dem Flat-Panel-CT gewonnenen Daten konnte mithilfe von MIP, Surface rendering und Schichtdarstellung der „impact“ eines der beiden Steckschüsse im Bereich der Lamina interna des dem Einschuss gegenüberliegenden Schädelknochens dargestellt werden. Zudem waren sich zur Lamina externa hin trichterförmig erweiternde feinste Bruchlinien zu erkennen (**Abb. 7**).

Diskussion

Die Anwendung eines Flat-Panel-CT in der Rechtsmedizin beschränkt sich aufgrund des Scanbereiches auf einzelne, im Rahmen

einer Obduktion gewonnene Organe oder durch Dekomposition entstandene Leichenteile bzw. einzelne Knochen. Am frischen Leichnam kann der Einsatz deshalb nur in Kombination mit der Obduktion erfolgen. Es stellt sich die Frage, welche zusätzlichen Informationen zu gewinnen sind, die über die makroskopischen Erkenntnisse der Sektion allein hinausgehen. Als Untersuchungsgut kommen grundsätzlich Organe oder Organpakete nach der Exenteration und vor der speziellen Präparation in Betracht. Die Vorteile wären dann, wie bei dem postmortalen CT-Scan (vgl. Virtopsy®) eine zerstörungsfreie, dreidimensionale Befunddokumentation.

In der vorliegenden Arbeit wurden vor der Präparation Herzen und Kehlköpfe mit dem Flat-Panel-CT und zum Vergleich auch mit dem MSCT gescannt. Die Befunde wurden zudem mit den makroskopischen Obduktionsbefunden verglichen. Es zeigte sich, dass die Darstellung von Weichteilgewebe nach Flat-Panel-CT-Scan unbefriedigend, sogar von schlechterer Bilddetailtreue als beim MSCT war. Die Beurteilung kritischer Befunde wie Blutungen, Ödeme oder Thromben war nach Flat-Panel-CT-Scan nicht möglich. Auch die knorpeligen Anteile des Kehlkopfes waren nicht in ausreichender Qualität sichtbar.

Die Stärken des Flat-Panel-CT lagen in der Darstellung von Hartschubstanzen, also Kalzifizierungen und Knochengewebe. So waren Kalkeinlagerungen in den Koronararterien gut erkennbar und die dadurch verursachten Gefäßverengungen in der Schnittbildansicht offenbar abzuschätzen. Aufgrund der mangelhaften Darstellung des Gefäßendothels waren die tatsächlichen, später bei der Obduktion an Querschnitten nachgewiesenen Gefäßverengungen und Gefäßinnenwandaufbrüche jedoch nicht zu dokumentieren.

Brüche des Zungenbeins zeigten sich sehr differenziert. Die diagnostische Aussagekraft war jedoch bei fehlender Möglichkeit des Nachweises von Blutungen gering.

Einen enormen Gewinn erbrachte das Flat-Panel-CT bei der Beurteilung der Ossifikation der Schädelnähte. Nach MSCT-Scan waren die Nähte nahezu beliebig durch ungünstiges „Fenster“ zu öffnen oder zu verschließen. Vergleichbare Ergebnisse hatten bereits Untersuchungen an den Daten des Virtopsy-Projektes erbracht [16]. An den Schnittbildern nach Flat-Panel-CT-Scan war dagegen eine durchgehende Beurteilung der Schädelnähte in allen Segmenten an virtuellen Querschnitten der Kalotte möglich. Lediglich das äußere Segment der Lambdanaht (L3) war in einigen Fällen präparationsbedingt unvollständig. Von diesen Erkenntnissen ausgehend wurde eine Untersuchungsreihe zur Verknöcherung der Schädelnähte in Abhängigkeit von dem Lebensalter begonnen.

Isolierte, skelettierte Knochen sind naturgemäß einer makroskopischen Untersuchung der Oberflächen gut zugänglich. Bei vorbestehenden perimortalen oder postmortalen Brüchen kann der Blick auf innere Strukturen freigegeben sein [13, 14]. Andernfalls sind zur Beurteilung von Knochenbinnenstrukturen invasive Maßnahmen wie Sägen notwendig. Dadurch können weiterführende Untersuchungen wie z. B. eine Röntgenvergleichsanalyse [6] oder eine Gesichtskonstruktion [4] erschwert oder sogar unmöglich werden. Die Analyse mit dem Flat-Panel-CT ermöglicht eine zerstörungsfreie Beurteilung von Knochenbinnenstrukturen, die bezüglich der Auflösung mit einer Lupenvergrößerung vergleichbar ist. Bei den vorgestellten Untersuchungen an den isolierten Schädeln mit Schussver-

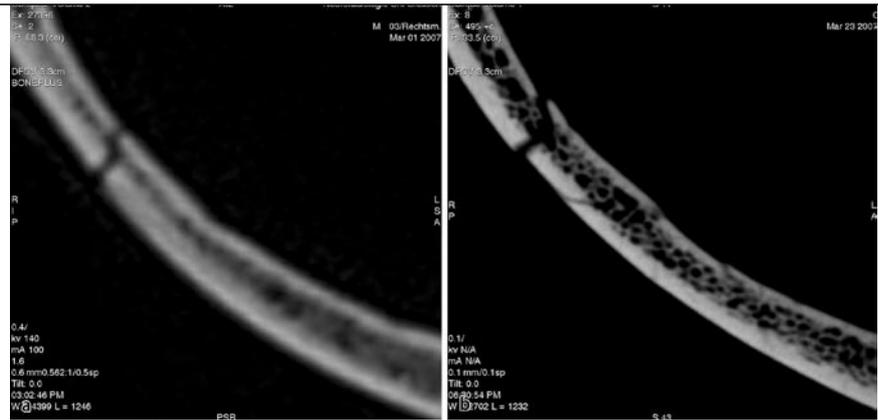


Abb. 7 ▲ Vergleich der Schnittbildansicht nach **a** MSCT- und **b** Flat-Panel-CT-Scan. Es wurde jeweils die identische Lokalisation aufgesucht. Dargestellt ist eine Bruchlinie, die auf beiden Bildern gut sichtbar ist. Nur in dem Flat-Panel-CT-Datensatz ist daneben eine Impressionsfraktur der Lamina interna mit sich trichterförmig in die Lamina externa erweiternden Bruchlinien nachzuweisen. Es handelt sich hierbei offensichtlich um den Impact eines Steckschusses

letzungen haben sich mithilfe des Flat-Panel-CT Zusatzinformationen ergeben, die mit makroskopischer Untersuchung und nach MSCT-Scan nicht zu erlangen waren.

Für einen breiteren Einsatz des Flat-Panel-CT in der postmortalen Bildgebung wäre ein System wünschenswert, mit dem größere Objekte, am besten ein ganzer Leichnam in toto, untersucht werden können. Außerdem wäre eine bessere Weichteildarstellung notwendig.

Fazit für die Praxis

Bei der nichtinvasiven postmortalen Ganzkörperuntersuchung liefert aktuell die Kombination aus CT, MRT und Oberflächenscan ein Maximum an Informationen. Ein praktischer Nutzen des Flat-Panel-CT für die Rechtsmedizin ergibt sich nach den vorliegenden Ergebnissen in der forensischen Osteologie. Das Gerät ist als hoch auflösende, nichtinvasive Untersuchungsmethode zur Beurteilung des Knocheninneren einsetzbar. Als Fragestellung kommt z. B. die Beurteilung von Verletzungen oder die differenzierte Dokumentation der Ossifikation der Schädelnähte in Betracht.

Korrespondenzadresse

PD Dr. M.A. Verhoff
 Institut für Rechtsmedizin,
 Universitätsklinikum Gießen und Marburg
 Frankfurter Straße 58, 35392 Gießen
 Marcel.A.Verhoff@forens.med.uni-giessen.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Durschnabel M, Krähahn J, Ramsthaler F et al. (2007) Osteometrie der Scapula zur Schätzung von Körperhöhe und Geschlecht: Untersuchungen im Rahmen des Projektes „Digital Forensic Osteology“. Rechtsmedizin 17: 272–273
- Jackowski C, Aghayev E, Sonnenschein M et al. (2006) Maximum intensity projection of cranial computed tomography data for dental identification. Int J Legal Med 120: 165–167
- Kage S, Kage P, Durschnabel M et al. (2007) Messungen zur Ausdehnung der Sinus maxillares zur Schätzung von Körperhöhe und Geschlecht: Untersuchungen im Rahmen des Projektes „Digital Forensic Osteology“. Rechtsmedizin 17: 273
- Kreutz K, Verhoff MA (2007) Forensische Gesichtskonstruktion – Identifizierung bei Skelettfunden. Dtsch Arztebl 104: A1160–1165
- Obert M, Ahlemeyer B, Baumgart-Vogt E, Traupe H (2005) Flat-panel volumetric computed tomography – A new method for visualizing fine bone detail in living mice. J Comput Assist Tomogr 29: 560–565
- Rothschild MA, Krug B, Riepert T (2001) Postmortale Röntgendiagnostik in der Rechtsmedizin. Rechtsmedizin 11: 230–243
- Rutty GN (2007) Are autopsies necessary? The role of computed tomography as a possible alternative to invasive autopsies. Rechtsmedizin 17: 21–28
- Takatsu A, Suzuki N, Hattori A et al. (2007) High-dimensional medical imaging and virtual reality techniques. Development of the advanced digital morgue. Rechtsmedizin 17: 13–18
- Thali M, Braun M, Buck U et al. (2005) Virtopsy – scientific documentation, reconstruction and animation in forensic: individual and real 3D data based geo-metric approach including optical body/object surface and radiological CT/MRI scanning. J Forensic Sci 50: 428–442
- Thali MJ, Ross S, Oesterhelweg L et al. (2007) Virtopsy. Working on the future of forensic medicine. Rechtsmedizin 17: 7–12
- Thali MJ, Yen K, Plattner T et al. (2002) Charred body: virtual autopsy with multi-slice computed tomography and magnetic resonance imaging. J Forensic Sci 47: 1326–1331
- 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
- Verhoff MA, Kreutz K (2003) Verletzungsspuren an Knochenfunden – Analyse und Beurteilung. Arch Kriminol 212: 41–52
- Verhoff MA, Kreutz K (2004) Forensische Osteologie – Humanspezifität, Liegezeit und Verletzungsspuren. Rechtsmedizin 14: 417–430
- Verhoff MA, Ramsthaler F, Krähahn J et al. (2008) Digital forensic osteology – possibilities in cooperation with the Virtopsy® Project. Forensic Sci Int 174: 152–156
- Verhoff MA, Ramsthaler F, Krähahn J et al. (2007) Digitale forensische Osteologie. Rechtsmedizin 17: 29–34