

CHIRURGISCHE ALLGEMEINE

CHAZ 5_2019

ZEITUNG FÜR KLINIK UND PRAXIS

Elektronischer Sonderdruck

Digitale Volumentomographie-Diagnostik in der Handchirurgie

Thomas Ebinger

Digitale Volumentomographie-Diagnostik in der Handchirurgie

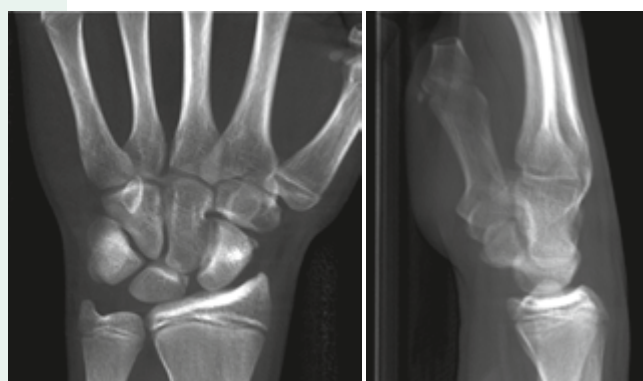
Die CT wird in der muskuloskeletalen Handdiagnostik bei traumatischen Veränderungen, Neoplasien, Infektionen, zur Operationsplanung und postoperativen Verlaufskontrollen eingesetzt und gilt bei verschiedenen Indikationen als diagnostischer Referenzstandard. Mittlerweile bietet die digitale Volumentomographie hier eine ausgezeichnete Alternative zur multiplanaren Schnittbilddiagnostik knöcherner Strukturen – bei deutlich geringerer Strahlenbelastung und höherer Auflösung.

Die Besonderheiten der Anatomie der Hand finden sich in den feinen und in enger Nachbarschaft liegenden Strukturen. Das Handskelett beinhaltet 27 Knochen und 36 Gelenke. Im Gegensatz zur konventionellen Röntgenabbildung lassen sich durch eine CT-Untersuchung die knöchernen Strukturen multiplanar und dreidimensional darstellen. Somit hat das CT bei der reinen Darstellung der ossären Strukturen, bei komplexen Frakturverhältnissen sowie bei der Gelenkdiagnostik einen festen Stellenwert und gilt bei der Diagnostik – insbesondere der Handwurzelverletzungen – als diagnostischer Referenzstandard. Für die Frakturdiagnostik des Kahnbeins wird anhand der AWMF-Leitlinie (S3-Leitlinie Skaphoidfraktur AWMF 012-016 [3]) die Verwendung einer CT empfohlen um die knöchernen Verletzungen jeweils korrekt klassifizieren und adäquat therapieren zu können. In der klinischen Routine wird die CT in der muskuloskeletalen Handdiagnostik bei traumatischen Veränderungen, Neoplasien, Infektionen, zur Operationsplanung und postoperativen Verlaufskontrollen verwendet.

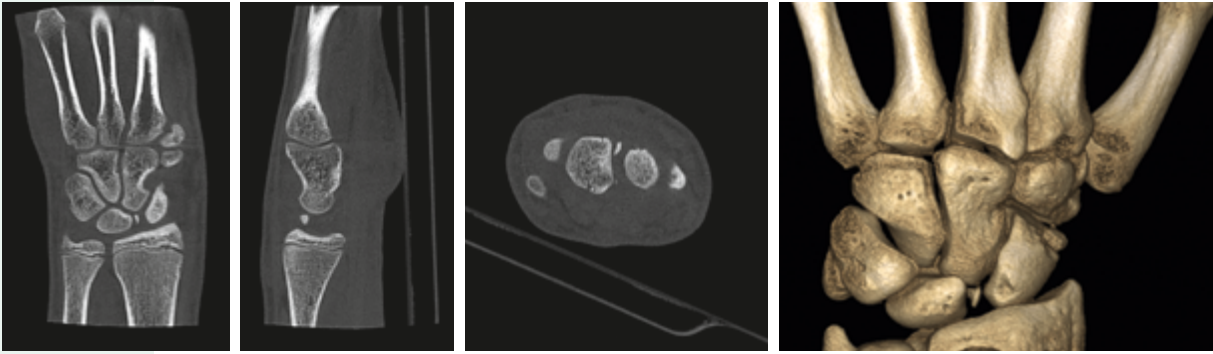
In der Literatur zeigt die DVT-Untersuchung im Vergleich zum Dünnschicht-CT mindestens vergleichbare Bildqualität sowie eine generell niedrigere Strahlenbelastung

Eine weitere Möglichkeit zur multiplanaren Schnittbilddiagnostik der knöchernen Strukturen bietet die digitale Volumentomographie (DVT oder Cone Beam-CT). Dieses in der Zahnheilkunde seit Ende des letzten Jahrtausends (1998) und in der weiterentwickelten Form in der HNO-Heilkunde seit über einem Jahrzehnt eingeführte Verfahren hat bei der Schädel- und Halsdiagnostik in diesen Fachgebieten – vorwiegend aufgrund der deutlich niedrigeren Strahlenbelastung und zudem höheren Auflösung – das klassische CT in vielen Anwendungsbereichen abgelöst.

Nach der Entwicklung von DVT-Geräten für die Extremitätendiagnostik [6, 8, 10, 22] ist der Einsatz dieser Technik im Bereich der Handchirurgie möglich. Insgesamt zeigen die Publikationen bei mindestens vergleichbarer Bildqualität eine generell niedrigere Strahlenbelastung der DVT-Untersuchung im Vergleich zum Dünnschicht-CT [5]. Eine experimentelle Untersuchung an Leichenhänden ergab bei der Diagnostik von distalen Radiusfrakturen mit dem SCS MedSeries H22 DVT eine zwischen 50 und 90 Prozent reduzierte Strahlenbelastung im Vergleich zum CT [15]. Die effektive Dosis für eine Untersuchung an der Handwurzel mit dem klassischen CT wird in der Literatur [17] mit 0,03 mSv beziffert. Daraus resultiert ein CTDIvol von etwa 15 mGy. Nach dem ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable) [9] der Leitlinie zur möglichst weitgehenden Reduktion der Strahlenbelastung ist damit



15-jähriger Patient mit Extensionstrauma des linken Handgelenkes. Die 2D-Röntgenaufnahmen des Handgelenkes zeigen eine unregelmäßige Darstellung der radialen Gelenkfläche des Mondbeines bei noch offenen Wachstumsfugen.



Anhand der DVT-Aufnahmen findet sich eine dislozierte knöchernerne SL-Bandläsion des Kahnbeins.

der alternative Einsatz der DVT-Technik zur CT der oberen Extremität mehr als legitimiert.

Eine eigene Nachuntersuchung mit dem SCS DVT bei 510 Patienten ergab eine Reduktion der Strahlenbelastung von rund 68 Prozent gegenüber dem klassischen CT

Eine eigene Nachuntersuchung erfolgte bei 510 Patienten mit dem digitalen Volumentomographen SCS MedSeries® H22 aufgrund von Verletzungen der Handwurzel. Es resultierte eine im Vergleich zum klassischen CT etwa fünffach höhere Auflösung, eine deutlich geringere Artefaktausbildung hinsichtlich der Titan-Implantate und eine deutlich niedrigere Strahlenbelastung. Die durchschnittliche Strahlenbelastung im Rahmen der 510 Untersuchungen betrug 4,8 mGy CTDI_{vol}. Durch Anwendung der Ultra-Low-Dose-Protokolle konnte die durchschnittliche Strahlenbelastung ohne diagnostische Relevanz nochmals signifikant reduziert werden, was im Ergebnis eine Reduktion der Strahlenbelastung von rund 68 Prozent gegenüber dem klassischen CT ergab.

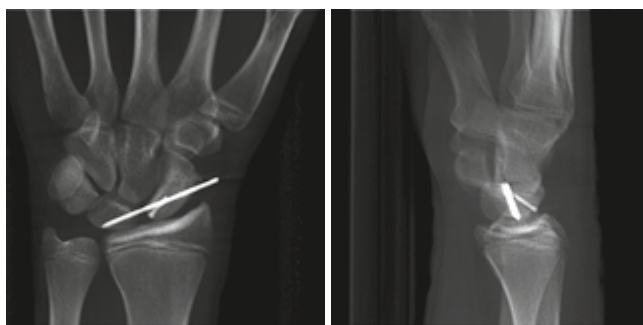
Ist der Einsatz eines CT bei der Diagnostik der jeweiligen knöchernen Skelettpathologie indiziert, bietet das SCS DVT aufgrund der niedrigeren Strahlenbelastung, der multiplanaren Rekonstruktionsmöglichkeit und der Option zur Berechnung standardisierter Röntgenprojektionsaufnahmen aus dem 3D-Datensatz mehr als eine Alternative zur CT. An der Hand

begründet sich die DVT-Indikationsstellung im Rahmen der Traumadiagnostik zur Klassifikation, Therapieableitung und Verlaufskontrolle, bei der Diagnostik von knöchernen Veränderungen bei Tumorerkrankungen, idiopathischen Gelenkpathologien sowie zur Planung korrigierender Maßnahmen beim Vorliegen einer infektierten Knochenveränderung (Osteolysen, Osteitis, Osteomyelitis).

In den letzten Jahren wurde die Indikationsstellung für die CT-Diagnostik aufgrund der komplexen Stellungsverhältnisse ständig ausgeweitet

So wurden bereits in der Vergangenheit Empfehlungen für die Verwendung einer CT bei bestimmten Finger- und Mittelhandfrakturen ausgesprochen [20, 21]. Für die Frakturdiagnostik der acht Handwurzelknochen – insbesondere des Kahnbeins – gibt es Empfehlungen zur Verwendung einer CT, um die knöchernen Verletzungen jeweils korrekt klassifizieren und adäquat therapieren zu können. Anhand der Leitlinie ist die computertomographische Abbildung des Skaphoids mit Primärschichten in schräg sagittaler Ebene zur Längsachse des Skaphoids und einer Schichtdicke unter ein Millimeter durchzuführen. Die aktuelle Literatur fordert standardmäßig die Verwendung einer hochauflösenden CT bei der Diagnostik von knöchernen Verletzungen der Handwurzel [4, 13]. Dies trifft im Wesentlichen auch für die Diagnostik der MHK-1- und MHK-5-Basisfrakturen, für die häufig komplexen Luxationen und Luxationsfrakturen der Handwurzel und CMC-Gelenke, aber auch die Frakturen der Fingergelenke zu [7, 14]. Frakturen der Phalangen mit mehrfragmentärer und intraartikulärer Situation sind oftmals anhand der Projektionsradiographie nicht sicher beurteilbar. Zur Frakturklassifizierung und Therapieableitung ist eine Schichtuntersuchung in bestimmten Fällen notwendig.

Zur sicheren Beurteilung der knöchernen Stellungsverhältnisse sind in vielen Fällen ein spezielles Rekonstruktionsverfahren mit Berücksichtigung der jeweiligen Achse sowie die Verwendung dünner Schichtdicken erforderlich. Der für die Extremitätdiagnostik zur Verfügung stehende hochauflösende digitale Volumentomograph SCS MedSeries® H22 ermöglicht im Vergleich zur modernen hochauflösten



2D-Projektionsaufnahmen (aus der DVT Aufnahme errechnet) zur Darstellung der durchgeführten offenen Reposition mit Schraubenosteosynthese Kahnbein und temporärer skapholunärer Bohrdrahttransfixation.

Mehrdetektor Spiral-CT (0,5–0,75 mm Schichtdicke) eine Schichtdicke bis zu 0,20 mm. Die notwendige Rekonstruktionsebene ergibt sich anhand der knöchernen Anatomie. Als Beispiel ist hier die sagittale Rekonstruktion parallel zur Längsachse in Dünnschichttechnik des Kahnbeins zur Beurteilung einer Dislokation aufzuführen. Die Problematik mangelhafter CT-Untersuchungstechniken ist im klinischen Alltag bekannt [4]. Dies kann zu einer fehlerhaften Beurteilung der jeweiligen Verletzung führen. Hier bietet das SCS DVT dem Operateur weit über die Standardeinstellungen hinaus selbständige, individuelle Rekonstruktions- und Bildbearbeitungsmöglichkeiten.

Auch am Handgelenk hat die DVT-Untersuchung Vorteile gegenüber der CT – etwa bei der Beurteilung von Radiusfrakturen

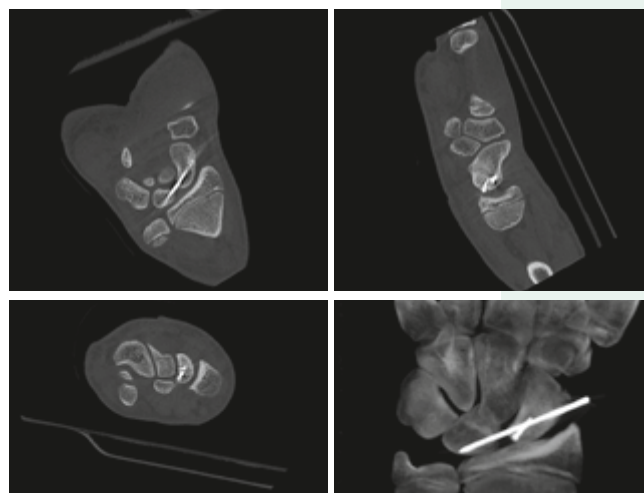
Das Handgelenk beinhaltet den radiokarpalen und ulnokrarpalen Gelenkabschnitt sowie das distale Radioulnargelenk. Generell wird zur Diagnostik komplexer distaler Radiusfrakturen insbesondere bei Frakturen mit intraartikulärer Beteiligung eine CT zur Diagnostik empfohlen. Das trifft ebenfalls für die radiokarpalen Luxationsverletzungen zu. Die Darstellung des distalen Radioulnargelenkes (DRUG) in koronarer Ebene wird ebenfalls durch eine Schichtuntersuchung ermöglicht. Die aktuelle Leitlinie (s2e-Leitlinie Radiusfraktur AWMF 012-015 [2]) zur distalen Radiusfraktur der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) und Österreichischen Gesellschaft für Unfallchirurgie (ÖGU) empfiehlt eine CT bei Bedarf zur Beurteilung der Gelenkflächenkongruenz sowie zum Ausschluss karpaler Begleitverletzungen. Eine Auswertung konventioneller Röntgenaufnahmen von distalen Radiusfrakturen ergab Interpretationsfehler betreffend der Radiusneigungswinkel und der Höhe [16]. Eine weitere Arbeitsgruppe belegt den Vorteil einer DVT-Untersuchung bei der Diagnosestellung einer intraartikulären Radiusfraktur im Vergleich zu konventionellen Röntgenaufnahmen [18].

Skelettdiagnostik obere Extremitäten bei Kindern: Nach dem ALARA-Prinzip ist bei bestehender Indikation die DVT einer CT vorzuziehen

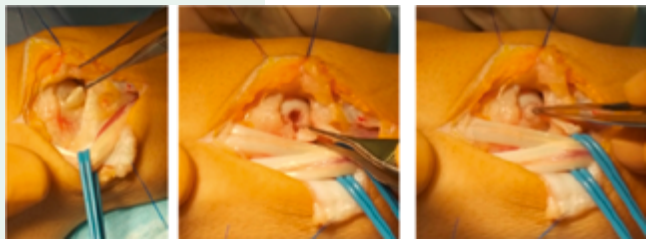
Kinder und Jugendliche weisen im Vergleich zu einem Erwachsenen mittleren Alters ein um den Faktor 3 erhöhtes Strahlenrisiko auf (European Commission 2004). Somit ist hier eine besonders kritische Nutzen-Risiko-Abwägung nach §6 StrlSchG der jeweiligen radiologischen Untersuchung notwendig. Bei Frakturen an der Hand ist ein Schnittbildverfahren in einigen Fällen notwendig [19]. Dies trifft für die knöchernen Verletzungen der Handwurzel aber auch für komplexe Gelenkfrakturen zu. Einheitliche Literaturangaben

führen die erhöhte Inzidenz von Frakturen im Kindesalter im Vergleich zum Erwachsenen auf [12]. Die korrekte Diagnose der knöchernen Verletzungen ist nur durch eine geeignete Bildgebung möglich. Komplikationen nach einer Frakturbehandlung bei Kindern sind oftmals Gegenstand von juristischen Auseinandersetzungen. Die von den Gerichten anerkannten Klagen beruhen unter Anderem auf Fehlern bei der Beurteilung der Röntgenaufnahmen mit der Folge einer nicht adäquaten Therapie und betreffen häufig das Ellbogengelenk [11]. Unter Berücksichtigung dieser Problematik ist eine generelle Ablehnung von Schnittbildtechniken in der Kindertraumatologie auch für die obere Extremität zu diskutieren. Dies trifft insbesondere für Verletzungen und Gelenkabschnitte zu, die beim Erwachsenen bereits eine Indikation für eine CT darstellen. Insgesamt sollte die kritische Abwägung zur Vermeidung einer Strahlenbelastung bei bestehender Indikation nicht zu einem nachteiligen Kompromiss für das Kind führen, da eine eingeschränkte Diagnostik die Gefahr einer inadäquaten Behandlung birgt. Durch die im Vergleich zur herkömmlichen Computertomographie (Standard-Protokoll) um mehrere Faktoren reduzierten effektiven Dosis bei der Verwendung eines digitalen Volumentomographen (s2K-Leitlinie, Volumentomographie AWMF 083-005 [1]) hat das SCS DVT bei Kindern enormes Potential. Nach dem ALARA-Prinzip wäre hier bei bestehender Indikation die DVT einer CT vorzuziehen. Durch Verwendung der optimierten Diagnostikprotokolle kann hier die Strahlenbelastung bei hoher Auflösung deutlich reduziert werden, so dass im Falle der Anwendung des digitalen Volumentomographen eine Belastung von etwa zwei Röntgenaufnahmen des jeweiligen Extremitätenabschnitts verbleibt.

Eine besondere Notwendigkeit zur Schichtuntersuchung kann unabhängig von der Lokalisation an der oberen Extremität bei der Planung operativer Korrekturmaßnahmen nach in Fehlstellung konsolidierter Frakturen und auch bei der Diagnosestellung von knöchernen Konsolidierungskomplikationen wie bei der verzögerten Knochenbruchheilung und Pseudarthrosen bestehen. Eine weitere Indikation kann



Die DVT-Aufnahmen zeigen den skapholunären Bohrdraht (1,0 mm Stahl) sowie die 1,2 mm starke Titanschraube im Kahnbein.



Intraoperative Aufnahmen zeigen das zirka 3 × 3 mm große knöcherne Fragment im Insertionsbereich des skapholunären Bandes am Kahnbein.

bei Erkrankungen des Skelettes oder dessen Beteiligung im Rahmen von Tumorveränderungen, Infektionen, Fremdkörperverletzungen, degenerativen Veränderungen und im Rahmen der Planung diesbezüglicher operativer Maßnahmen vorliegen. Eine Besonderheit beim Kind stellen die Wachstumsfugenverletzungen dar. Diesbezüglich höhergradige Verletzungen können ebenfalls eine Indikation für eine Schichtbildagnostik darstellen.

Für die Durchführung einer DVT-Untersuchung ist die DVT-Fachkunde nach Rö9.2 erforderlich

Die Fachkunderichtlinie von 6/2012 enthält das Anwendungsgebiet: Rö9.2: Cone-Beam-Verfahren. Für den Betrieb des digitalen Volumentomographen SCS MedSeries H22 (Cone Beam CT) ist diese Fachkunde notwendig, welche als Basis die vorliegende Röntgendiagnostikfachkunde erfordert und im Rahmen der Kooperation des BVOU und der SCS Sophisticated Computertomographic Solutions GmbH (Aschaffenburg) erlangt werden kann. Die Lagerung der oberen Extremitätenabschnitte kann mit dem SCS DVT bei sitzendem Patienten analog der konventionellen Röntgendiagnostik in standardisierter Weise erfolgen. Dadurch besteht

Bei im Vergleich zur CT adäquat hohen Darstellungsqualität und deutlich höherer Auflösung mit einer Schichtdicke von bis zu 0,20 Millimeter resultiert mit dem digitalen Volumentomographen SCS MedSeries H22 (Cone Beam CT) auch an der Hand eine bis zu 90 Prozent niedrigere Strahlenbelastung für den Patienten. Generell ist die Darstellung kanülierter Titan-Implantate gut. Die Untersuchungsdauer mit dem SCS DVT ist mit zirka 20 Sekunden anzusetzen. Die Untersuchung erfolgt vor dem Gerät im Sitzen und offen. Das SCS DVT ermöglicht Standardprojektionen beider Handgelenke auch gleichzeitig, so dass im Gegensatz zum klassischen CT eine 2D-Rekonstruktion direkter standardisierter Röntgenprojektionsaufnahmen sowie Belastungsaufnahmen im Seitenvergleich möglich ist. Für die Anwendung des digitalen Volumentomographen ist der Erwerb der durch den BVOU in Kooperation mit dem Hersteller geförderten DVT-Fachkunde erforderlich, so dass die Aufnahmen durch den Handchirurgen, Orthopäden, Unfallchirurgen etc. selbstständig erstellt, befundet und abgerechnet werden können. Damit ist eine hochauflösende Diagnostik und Behandlung aus einer Hand mit einer Strahlenbelastung im Bereich des 2D-Projektionsröntgen ohne Informationsverlust und zusätzlichen Auswertungsoptionen möglich.

anhand des 3D-Datensatzes die Möglichkeit, 2D-Projektionsaufnahmen mit standardisierter Lagerung zusätzlich zu rekonstruieren. Zudem kann eine Scout-Aufnahme zur Positionskontrolle mit nochmals deutlich reduzierter Strahlendosis erfolgen, um dann die eigentliche Tomographie durchführen zu können. Im Anschluss an die 20 Sekunden dauernde Untersuchung können die Aufnahmen individuell rekonstruiert, bearbeitet und gespeichert werden. |||

Literatur

- AWMF Leitlinie 083-005. https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/083-005l_S2k_Dentale_Volumentomographie_2013-10-abgelaufen.pdf, August 2013
- AWMF Leitlinie 012-015. http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-015l_S2e_Distale_Radiusfraktur_2015-02.pdf, November 2015
- AWMF Leitlinie 012-016. <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/012-016.html>, Dezember 2015
- Bickert B, Kneser U (2015) Verletzungen der Handwurzel und deren Spätfolgen. *Trauma Berufskrankh* 17 (Suppl 2): 334–347
- Bolte H, Sattler EM, Jahnke T (2011) Low dose MDCT of the wrist – an ex vivo approach. *Eur J Radiol* 77: 207–214
- Carrino JA, Al Muhit A, Zbijewski W (2014) Dedicated cone-beam CT system for extremity imaging. *Radiology* 270: 816–824
- Faccioli N, Foti G, Barrillari M, et al (2010) Finger fractures imaging: accuracy of cone beam computed tomography and multislice computed tomography. *Skeletal Radiol* 39: 1087–1095
- Goerke SM (2016) Digitale Volumentomographie (DVT) des knöchernen Handskeletts: Erste Erfahrungen und Anwendungsmöglichkeiten. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 47: 24–31
- ICRP (2006) The optimisation of radiological protection – broadening the process. *ICRP Publication* 101b. *Ann ICRP* 36 (3)
- Koskinen SKI, Haapamäki VV, Salo J, et al (2013) CT arthrography of the wrist using a novel, mobile, dedicated extremity cone-beam CT (CBCT). *Skeletal Radiol* 42: 649–657
- Kraus R, Wessel L (2010) Frakturbehandlung an der oberen Extremität bei Kindern und Jugendlichen. *Dtsch Arztebl* 107: 903–910
- Landin LA (1997) Epidemiology of children's fractures. *J Pediatr Orthop Br* 6: 79–83
- Mehling I, Sauerbier M (2015) Knöcherner Verletzungen der Handwurzel. *Trauma Berufskrankh* 17 (Suppl 2): 338–344
- Nikkhah D, O'Neill J, Pickford M (2015) Cone Beam Computed Tomography as a guide to the management of proximal interphalangeal joint fractures. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 68: 282–284
- Neubauer J, Benndorf M, Reidelbach C, et al (2016) Comparison of diagnostic accuracy of radiation dose-equivalent radiography, multidetector computed tomography and cone beam computed tomography for fractures of adult cadaveric wrists. *PLoS One* 11: e0164859
- O'Malley MP, Rodner C, Ritting A, et al (2014) Radiographic interpretation of distal radius fractures: visual estimations versus digital measuring techniques. *Hand (NY)* 9: 488–493
- Schmitt R, Lanz U (2015) *Bildgebende Diagnostik der Hand*, 3. Aufl. Thieme, Stuttgart
- Suojärvi N, Sillat T, Lindfors N, et al (2015) Radiographical measurements for distal intra-articular fractures of the radius using plain radiographs and cone beam computed tomography images. *Skeletal Radiol* 44: 1769–1775
- Waters PM, Bae DS (2012) *Pediatric hand and upper limb surgery*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
- Windolf J, Siebert H, Werber KD, et al (2008) Behandlung von Fingerfrakturen. *Unfallchirurg* 11: 331–339
- Windolf J, Rueger JM, Werber KD, et al (2009) Behandlung von Mittelhandfrakturen. *Unfallchirurg* 112: 577–589
- Zbijewski W, De Jean P, Prakash P, et al (2011) A dedicated cone-beam CT system for musculoskeletal extremities imaging: design, optimization, and initial performance characterization. *Med Phys* 38: 4700–4713

Priv.-Doz. Dr. med. Thomas Ebinger
Klinik Hand-, Plastische und Mikrochirurgie
Karl-Olga-Krankenhaus Stuttgart
Hackstraße 61, 70190 Stuttgart
✉ thomas.ebinger@sana.de