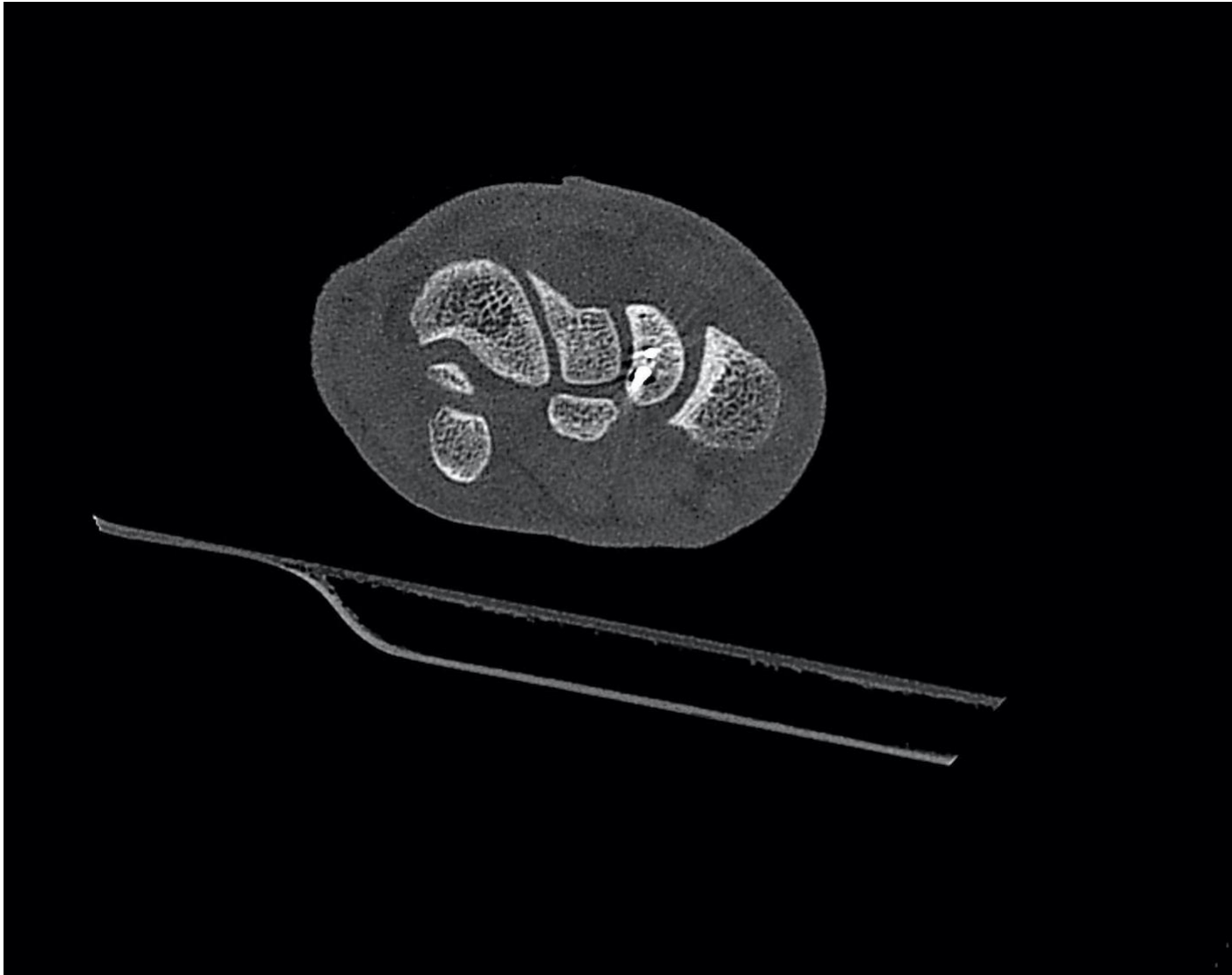


Hochauflösende 3-D-Diagnostik in der Handchirurgie mit der digitalen Volumentomographie

Priv.-Doz. Dr. T. Ebinger – Karl-Olga-Krankenhaus Stuttgart



Die DVT-Aufnahme zeigt den scapholunären Bohrdraht (1,0 mm Stahl) sowie die 1,2 mm starke Titanschraube im Kahnbein.

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 Röntgenbildgebung lassen sich durch eine CT-Untersuchung die knöchernen Strukturen multiplanar und dreidimensional darstellen. Somit hat das CT bei der reinen Darstellung der ossären Strukturen, komplexer Frakturverhältnisse sowie bei der Gelenkdiagnostik einen festen Stellenwert und stellt bei der Diagnostik, besonders der Handwurzelverletzungen, den diagnostischen Referenzstandard dar.

Freitag, 17.05.2019

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 Röntgenbildgebung lassen sich durch eine CT-Untersuchung die knöchernen Strukturen multiplanar und dreidimensional darstellen. Somit hat das CT bei der reinen Darstellung der ossären Strukturen, komplexer Frakturverhältnisse sowie bei der Gelenkdiagnostik einen festen Stellenwert und stellt bei der Diagnostik, besonders der Handwurzelverletzungen, den diagnostischen Referenzstandard dar.

Für die Frakturdiagnostik des Kahnbeins wird anhand der AWMF-Leitlinie (S3 Leitlinie Skaphoidfraktur AWMF 012-016) 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.

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 (Zbijewski W 2011, Carrino JA 2014, Koskinen SK 2013 und Goerke SM 2015) 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 (Bolte H 2011). Eine experimentelle Untersuchung an Leichenhänden ergab bei der Diagnostik von distalen Radiusfrakturen eine mit dem SCS MedSeries® H22 DVT reduzierte Strahlenbelastung im Vergleich zum CT zwischen 50 und 90 Prozent (Neubauer J 2016). Die effektive Dosis für eine Untersuchung an der Handwurzel mit dem klassischen CT wird in der Literatur (Schmitt-Lanz 2015) mit 0.03 mSv beziffert.

Daraus resultiert ein CTDIvol von ca. 15 mGy. Nach dem ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable) (IRCP 2006), der Leitlinie zur möglichst weitgehenden Reduktion der Strahlenbelastung, ist somit der alternative Einsatz der DVT-Technik zur CT der oberen Extremität mehr als legitimiert.

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 ca. 5-fach höhere Auflösung, eine im Vergleich zum CT deutlich geringere Artefaktausprägung bezüglich Titanimplantaten 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 ca. 80 % gegenüber dem klassischen CT ergab.

Ist der Einsatz eines CT bei der Diagnostik der jeweiligen knöchernen Skelettpathologie indiziert, stellt hier das SCS DVT aufgrund der niedrigeren Strahlenbelastung und der multiplanaren Rekonstruktionsmöglichkeit und die Option zur Berechnung standardisierter Röntgenprojektionsaufnahmen aus dem 3-D-Datensatz mehr als eine Alternative dar. 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, bei dem Vorliegen einer infektiellen Knochenveränderung (Osteolysen, Osteitis, Osteomyelitis) als Alternative zur CT.

Skelettdiagnostik Hand

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 (Windolf J. 2008 und Windolf J 2009). Für die Frakturdiagnostik der 8 Handwurzelknochen insbesondere des Kahnbeins (S3 Leitlinie Skaphoidfraktur AWMF 012-016) 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 Skaphoides mit Primärschichten in schräg sagittaler Ebene zur Längsachse des Skaphoides und einer Schichtdicke unter 1 mm durchzuführen.

Die aktuelle Literatur fordert standardmäßig die Verwendung einer hochauflösenden CT bei der Diagnostik von knöchernen Verletzungen der Handwurzel (Mehling I. 2015 und Bickert B. 2015). 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 (Faccioli N 2010, Nikkah D 2015) zu. 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 ist in vielen Fällen ein spezielles Rekonstruktionsverfahren mit Berücksichtigung der jeweiligen Achse sowie die Verwendung dünner Schichtdicken erforderlich. Der für die Extremitätendiagnostik zur Verfügung stehende hochauflösende digitale Volumentomograph SCS MedSeries® H22 ermöglicht im Vergleich zur modernen hochaufgelösten 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 (Bickert B 2015). Dies kann zu einer fehlerhaften Beurteilung der jeweiligen Verletzung führen. Hier bietet das SCS DVT dem Operateur selbständige, weit über die Standardeinstellungen hinaus, individuelle Rekonstruktions- und Bildbearbeitungsmöglichkeiten.

Skelettdiagnostik Handgelenk

Das Handgelenk beinhaltet den radiocarpalen und ulnocarpalen 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 radiocarpalen 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) 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 (O'Mailey 2014).

Eine weitere Arbeitsgruppe (Suojärvi N 2015) belegt den Vorteil einer DVT-Untersuchung bei der Diagnosestellung einer intraartikulären Radiusfraktur im Vergleich zu konventionellen Röntgenaufnahmen.

Skelettdiagnostik der oberen Extremitäten bei Kindern

Kinder und Jugendliche weisen im Vergleich zu einem Erwachsenen mittleren Alters ein um den Faktor 3 erhöhtes Strahlenrisiko auf (Europ. 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 (Waters P 2012). 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 (Landin LA 1997). 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. (Kraus R 2010).

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, welche 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) hat das SCS MedSeries® H22 bei Kindern enormes Potential. Nach dem ALARA-Prinzip wäre hier bei bestehender Indikation das SCS 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 SCS MedSeries® H22 eine Belastung von ca. 2 Röntgenaufnahmen des jeweiligen Extremitätenabschnitts verbleibt.

Eine besondere Notwendigkeit zur Schichtuntersuchung kann unabhängig 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 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 Schichtbilddiagnostik darstellen.

Durchführung einer DVT-Untersuchung

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 MedSeries®H22 bei sitzenden Patienten analog der konventionellen Röntgendiagnostik in standardisierter Weise erfolgen. Dadurch besteht anhand des 3-D-Datensatzes die Möglichkeit, 2-D-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.

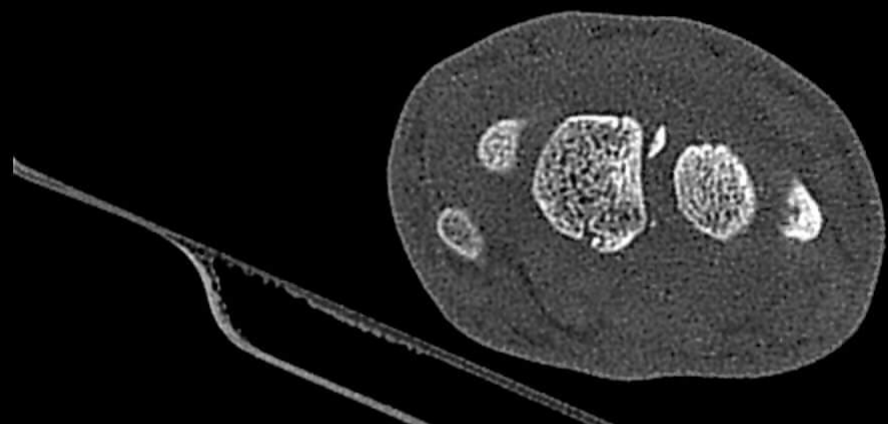
Zusammenfassung

Bei im Vergleich zur CT adäquat hohen Darstellungsqualität und deutlich höherer Auflösung mit einer Schichtdicke von bis zu 0,20 mm, resultiert mit dem digitalen Volumentomographen (Cone Beam CT) SCS MedSeries® H22 auch an der Hand eine bis zu 90 % niedrigere Strahlenbelastung für den Patienten. Generell ist die Darstellung kanülierter Titanimplantate gut. Die Untersuchungsdauer mit dem SCS DVT ist mit ca. 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 zweidimensionale Rekonstruktion direkter standardisierter Röntgenprojektionsaufnahmen sowie Belastungsaufnahmen im Seitenvergleich möglich ist.

Für die Anwendung des digitalen Volumentomographen SCS MedSeries® H22 ist der Erwerb der durch den BVOU in Kooperation mit SCS 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 2-D-Projektionsröntgen ohne Informationsverlust und zusätzlichen Auswertungsoptionen möglich.



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



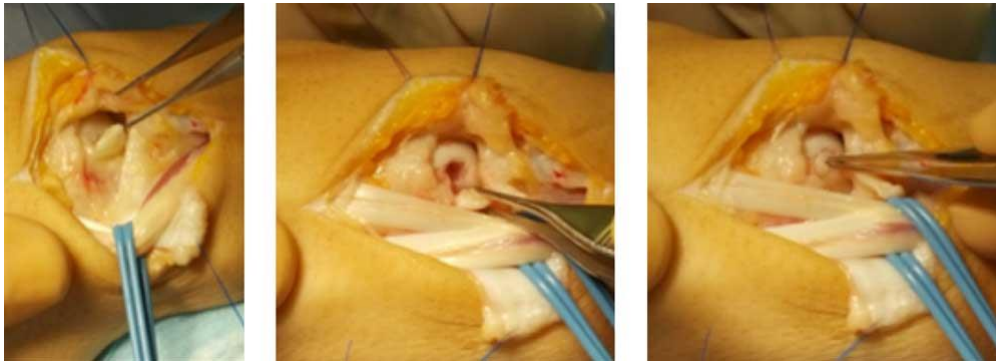
Anhand der DVT-Aufnahmen findet sich eine dislozierte knöcherne SL Bandläsion des Kahnbeines.



Durchgeführte offene Reposition mit Schraubenosteosynthese Kahnbein und temporärer scapholunärer Bohrdrahttransfixation



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



Intraoperative Aufnahmen zeigen das ca. 3 x 3 mm große knöcherne Fragment im Insertionsbereich des scapholunären Bandes am Kahnbein.

Priv.-Doz. Dr. T. Ebinger

Klinik Hand-, Plastische und Mikrochirurgie

Karl-Olga-Krankenhaus Stuttgart

thomas.ebinger@sana.de

Literatur

AWMF Leitlinie 012-016, <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/012-016.html> Dezember 2015

AWMF Leitlinie 012-015, http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-015l_S2e_Distale_Radiusfraktur_2015-02.pdf, November 2015

AWMF Leitlinie 083-005, https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/083-005l_S2k_Dentale_Volumentomographie_2013-10-abgelaufen.pdf, August 2013

Bickert B, Kneser U, Verletzungen der Handwurzel und deren Spätfolgen. Trauma Berufskrankh 2015; 17 (Suppl 2): 334-347

Bolte H, Sattler EM, Jahnke T. Low dose MDCT of the wrist- an ex vivo approach. Europ Journ of radiology 2011; 77: 207-214

Carrino JA, Al Muhit A, Zbijewski W. Dedicated cone- beam CT system for extremity imaging. Radiology 2014; 270: 816-824

Faccioli N, Foti G, Barrilliari M et al. Finger fractures imaging: accuracy of cone beam computed tomography and multilice computed tomography. Skeletal Radiolo 2010; Nov 39(11): 1087-1095

Goerke SM. Digitale Volumentomographie (DVT) des knöchernen Handskeletts: Erste Erfahrungen und Anwendungsmöglichkeiten. Handchir Mikrochir Plast Chir 2015; 47: 24-31)

ICRP, 2006. The Optimisation of Radiological Protection - Broadening the Process. ICRP Publication 101b. Ann. ICRP 36 (3)

Koskinen SK1, Haapamäki VV, Salo J et al. CT arthrography of the wrist using a novel, mobile, dedicated extremity cone-beam CT (CBCT). Skeletal radiology 2013; 42: 649-657

Kraus R, Wessel L. Frakturbehandlung an der oberen Extremität bei Kindern und Jugendlichen. Deutsch Ärzteblatt 2010; 107(51-52): 903-910

Landin LA. Epidemiology of children´s fractures. *J Peadiatr Orthop B*. 1997; 6:79-83

Mehling I, Sauerbier M. Knöcherner Verletzungen der Handwurzel. *Trauma Berufskrankh* 2015; 17 (Suppl 2): 338-344

Nikkhah D, O'Neill J, Pickford M. Cone Beam Computed Tomography as a guide to the management of proximal interphalangeal joint fractures. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2015; Feb 68(2): 282-284

Neubauer J, Benndorf M, Reidelbach C, Krauß T, Lampert F et al.

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* 2016; 11(10): e0164859

O'Mailey MP, Rodner C, Ritting A et al. Radiographic interpretation of distal radius fractures: visual estimations versus digital measuring techniques. *Hand (NY)* 2014; Dez 9(4): 488-493

Schmitt R, Lanz U. Bildgebende Diagnostik der Hand. 3. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2015

Suojärvi N, Sillat T, Lindfors N et al. Radiographical measurements for distal intra-articular fractures of the radius using plain radiographs and cone beam computed tomography images. *Skeletal Radiol*. 2015; Dez 44(12): 1769-1775

Waters Peter M, Bae Donald S.: *Pediatric Hand and Upper Limb Surgery*, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2012

Windolf J, Siebert H, Werber K.D et al. Behandlung von Fingerfrakturen. *Unfallchirurg* 2008; 11: 331-339

Windolf J, Rueger J.M, Werber K.D et al. Behandlung von Mittelhandfrakturen. *Unfallchirurg* 2009; 112: 577-589

Zbijewski W, De Jean P, Prakasch P et al. A dedicated cone- beam CT system for musculoskeletal extremities imaging: design, optimization, and initial performance characterization. *Medical physics* 2011; 38: 4700-4713