



T. Kahl¹ · F. K. Razny¹ · J. P. Benter¹ · K. Mutig³ · K. Hegenscheid^{1,2} · S. Mutze^{1,2} · A. Eisenschenk^{4,5}

¹ Institut für Radiologie und Neuroradiologie, Unfallkrankenhaus Berlin, Berlin, Deutschland

² Institut für Radiologie, Universitätsmedizin Greifswald, Greifswald, Deutschland

³ Institut für vegetative Anatomie, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Deutschland

⁴ Klinik für Hand-, Replantations- und Mikrochirurgie, Unfallkrankenhaus Berlin, Berlin, Deutschland

⁵ Hand- und funktionelle Mikrochirurgie, Universitätsmedizin Greifswald, Greifswald, Deutschland

Diagnostik des Skaphoids

Fraktur, Pseudarthrose, Durchblutung, Perfusion

Die Kahnbeinfraktur ist die häufigste Fraktur der Handwurzelknochen und heilt bei regelgerechter Versorgung in der Regel komplikationslos aus. Allerdings werden im initialen Röntgenbild ein Fünftel der Frakturen nicht diagnostiziert. Eine übersehene und unzureichend versorgte Kahnbeinfraktur kann zu einer Pseudarthrose führen, die nur im frühen Stadium reversibel ist. Um dies zu vermeiden, sind tiefer gehende Kenntnisse der Diagnostik notwendig.

Einleitung

Das Os scaphoideum (Kahnbein, Skaphoid) ist der am weitesten radial gelegene Knochen der proximalen Reihe der Handwurzelknochen. Es artikuliert mit Radius, Os lunatum, Os capitatum, Os trapezium und Os trapezoideum und ist von zentraler Bedeutung für die Beweglichkeit und Biomechanik der Hand [2]. Frakturen des Kahnbeins treten bei Männern 4-mal häufiger als bei Frauen auf und betreffen vorwiegend jüngere Menschen mit einem Altersgipfel zwischen 20 und 40 Jahren [22].

Statistisch stellen die Skaphoidfrakturen ca. 2–3 % aller Knochenfrakturen, ca. 11 % der Handfrakturen und 60 % der Frakturen der Handwurzelknochen dar [12, 22].

In ca. 94–98 % der Fälle konsolidieren die Skaphoidfrakturen vollständig und komplikationslos [9, 22, 25]. Allerdings

werden in den initialen Röntgenbildern nur 70–80 % der Frakturen diagnostiziert [23]. Deswegen sollte bei Patienten mit einem klinischen Verdacht auf eine Skaphoidfraktur, die im Röntgenbild nicht nachweisbar ist, eine weiterführende Diagnostik erfolgen. Denn eine nicht entdeckte Fraktur bzw. ihre unzureichende Immobilisation kann zur Ausbildung einer Pseudarthrose und damit zu einer deutlichen Einschränkung der karpalen Funktion führen [22].

Blutversorgung

Die Blutversorgung des Os scaphoideum erfolgt vorwiegend aus Seitenästen der A. radialis [2, 20]. Die gängige Lehrmeinung ist, dass die beiden versorgenden Arterien von dorsal und palmar in das distale Kahnbein eintreten und retrograd den proximalen Anteil versorgen [10, 16]. Eine neuere Untersuchung an Leichenspendern konnte diese These jedoch nicht bestätigen [20]. Vielmehr zeigt diese makroskopische und mikroskopische Studie eine suffiziente Durchblutung des proximalen Pols des Os scaphoideum. Es wird eine große Varianz in der Blutversorgung des proximalen Pols *aus Ästen der A. radialis* beschrieben. Es wird eine große Varianz in der Blutversorgung des proximalen Pols beschrieben, jedoch mit ausreichender Kollateralisierung [20]. Trotzdem hält sich wohl auch wegen der klinischen Verläufe in der Literatur konstant die These der Minder-

versorgung des proximalen Skaphoidpols im Schadensfall [6, 11, 16, 24].

Initiale Diagnostik

Die Diagnostik einer Fraktur des Os scaphoideum erfordert eine klare Anamnese zum Unfallhergang und Mechanismus. Klinische Zeichen wie Schmerzen in der Fovea scaphoidei radii (Tabatière) bei Ulnardeviation, bei Palpation des mittleren Skaphoidanteils zwischen dem M. abductor pollicis longus, M. extensor pollicis longus und dem M. extensor pollicis brevis sowie bei der Palpation des palmaren Tuberculum des Skaphoids sind ebenfalls starke Indizien für eine Fraktur. Wenn in der klinischen Untersuchung alle 3 Zeichen positiv sind, beträgt die Sensitivität nahezu 100 % [3, 22].

Bei klinischem Verdacht auf eine Kahnbeinfraktur werden Röntgenbilder des Handgelenks im a.-p.- und seitlichen Strahlengang angefertigt. Aufgrund der anatomischen Lage wird das Kahnbein in den Standardprojektionen nicht optimal erfasst. Um den Knochen in seiner Längsachse zu untersuchen, kann eine zusätzliche Aufnahme nach Stecher (Faustschluss und Ulnardeviation) durchgeführt werden [16]. Jedoch bleiben in der konventionellen Diagnostik zwischen 20 und 30 % der Skaphoidfrakturen okkult [7, 14, 23]. Positive klinische Zeichen und negativer projektionsradiologischer Frakturachweis sollten daher eine weiterführende Diagnostik bedingen [22]. Bei Verfügbarkeit



Abb. 1 ▲ Typ-A- und -B-Fraktur. Röntgen in a.-p. (a) und schräg (b), Fraktur des Tuberculum scaphoidei, Typ-A-Fraktur nach Herbert. c CT-Scan in koronaler Rekonstruktion, nichtdislozierte Fraktur des Tuberculum scaphoidei. Röntgen in a.-p. (d) und schräg (e), Fraktur des Halses des Skaphoids, Typ B nach Herbert. f CT-Scan in koronaler Rekonstruktion, nichtdislozierte Fraktur des Skaphoidhalses



Abb. 2 ▲ Halsfraktur des Os scaphoideum mit perilunärer Luxation, a.-p. (a) und seitliches (b) Röntgenbild, perilunäre Luxation mit Palmardislokation des Os lunatum und Halsfraktur des Os scaphoideum

der Mehrzeilenspiralcomputertomographie (MSCT) sollte auf die klassische Skaphoid-Quartett-Aufnahme aufgrund unverändert niedriger Aussagekraft verzichtet werden [7, 22].

Im klinischen Alltag haben sich die MSCT und die Magnetresonanztomographie (MRT) als weiterführende Diagnostik der Kahnbeinfraktur weitgehend durchgesetzt. Beide Untersuchungstechniken weisen eine sehr hohe Sensitivität und Spezifität zum Beweis bzw. Ausschluss einer Skaphoidfraktur auf [14]. Bei hoher räumlicher Auflösung und Knochenspezifität ist die native MSCT der MRT im Rahmen des Frakturstagings überlegen. So ist eine genaue Beurteilung der Fragmente, Dislokation von Fragmenten, Deformierungen und damit eine genaue Frakturklassifikation möglich, was die Behandlung des Patienten und eine mögliche Operationsindikation entscheidend beeinflusst. Aufgrund der

anatomischen Lage des Os scaphoideum und der technisch bedingten Partialvolumeneffekte der MSCT sollte die Untersuchung bei ausgestrecktem Arm in sagittaler Schnittführung, parallel zur Längsachse des Kahnbeins und 45° zur Unterarm-längsachse untersucht werden [1, 6, 14, 17, 19, 25].

Für den Nachweis von Knochenmark-ödemen hat die MRT eine sehr hohe Sensitivität und ist im klinischen Alltag das sicherste Verfahren zur Diagnose eines Kahnbeintraumas und mit beinahe 100%iger Sensitivität der MSCT zur Detektion okkulten Frakturen überlegen [14]. Mit koronalen T1-gewichteten (T1w) und T2-gewichteten (T2w) Sequenzen mit Fettsättigung (FS) können Skaphoidfrakturen mit hoher Sicherheit auch kurzfristig nach dem Traumaereignis diagnostiziert werden. Zusätzlich erlaubt die MRT eine Untersuchung der umgebenden Weichteile, einschließlich Bänder, Sehnenscheiden und Sehnen. Um bei klinischem Verdacht auf eine Skaphoidfraktur auch andere, angrenzende Verletzungen zu erfassen, sollte die gesamte Handwurzel abgebildet werden [5, 19, 25].

Im Rahmen einer Cochrane-Analyse wurde der Knochenszintigraphie eine geringere Sensitivität als der CT- und MRT-Diagnostik zugeschrieben, jedoch mit ca. 20% falsch-positiven Ergebnissen. Der zusätzliche Nachteil dieser Untersuchungsmethode liegt in der Applikation von radioaktiven Substanzen und infrastrukturellen Problemen der Verfügbarkeit. Bei nahezu äquivalenter Sensitivität und Spezifität werden MRT und MSCT zur Diagnostik von Kahnbeinfrakturen empfohlen. Die Szintigraphie hat somit keinen Stellenwert in dieser Diagnostikspirale [14].

Fraktуреinteilung

Zur Therapieplanung und Abschätzung der Prognose ist die Klassifikation der Skaphoidfraktur von entscheidender Bedeutung. Die Mayo-Klassifikation, die im deutschen Sprachraum unüblich ist, unterteilt die Frakturen nach ihrer Lokalisation in proximale, mittlere und distale Frakturen [23]. Zusätzlich wird die distale Fraktur von der reinen Fraktur des

Orthopäde 2016 · 45:938–944 DOI 10.1007/s00132-016-3333-y
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

T. Kahl · F. K. Razny · J. P. Benter · K. Mutig · K. Hegenscheid · S. Mutze · A. Eisenschenk

Diagnostik des Skaphoids. Fraktur, Pseudarthrose, Durchblutung, Perfusion

Zusammenfassung

Frakturen des Os scaphoideum sind mit 60% die häufigsten Frakturen der Handwurzelknochen und stellen ca. 2–3% aller Frakturen dar. Meist heilen die Frakturen bei adäquater Behandlung vollständig aus. Bei fehlender Ruhigstellung oder nicht diagnostizierten bzw. übersehenen Frakturen steigt die Wahrscheinlichkeit einer Pseudarthrose im weiteren Verlauf an.

Bei der initialen Röntgendiagnostik werden ca. 70–80% der Kahnbeinfrakturen festgestellt. Um eine Fraktur sicher auszuschließen oder zu bestätigen, sollte, bei entsprechender Klinik und negativem Röntgenbild, eine

weiterführende Diagnostik mittels Mehrzeilenspiral-CT (MSCT) oder MRT erfolgen, wobei der MSCT die höhere Bedeutung zukommt. Neben der Frakturbeschreibung gehört die Einteilung der Pseudarthrostadien ebenfalls zu den Aufgaben der MSCT. Wegweisend zur Beurteilung der Vitalität der Fragmente ist die kontrastmittelverstärkte MRT-Untersuchung.

Schlüsselwörter

Handgelenksverletzungen · Os naviculare manus · Knochenfrakturen · Os scaphoideum · Perfusion

Diagnosis of the scaphoid bone. Fractures, nonunion, circulation, perfusion

Abstract

The clinical relevance of scaphoid bone fractures is reflected by their high incidence, accounting for approximately 60% among carpal fractures and for 2–3% of all fractures. With adequate therapy most scaphoid bone fractures heal completely without complications. Insufficient immobilization or undiagnosed fractures increase the risk of nonunion and the development of pseudarthrosis.

X-ray examination enables initial diagnosis of scaphoid fracture in 70–80% of cases. Positive

clinical symptoms by negative x-ray results require further diagnostics by multi-slice spiral CT (MSCT) or MRI to exclude or confirm a fracture. In addition to the diagnosis and description of fractures MSCT is helpful for determining the stage of nonunion. Contrast enhanced MRI is the best method to assess the vitality of scaphoid fragments.

Keywords

Injuries, wrist · Os naviculare manus · Bone fractures · Os scaphoideum · Perfusion

Tuberculum und Frakturen mit Beteiligung der Gelenkfläche differenziert [23]. Im deutschsprachigen Raum wird die Klassifikation nach Herbert verwendet, die von Krimmer et al. 2000 [13] weiterentwickelt wurde und 4 Frakturtypen unterscheidet [7, 8, 11, 13, 16, 24]:

- Typ A: akut stabil,
- Typ B: akut instabil,
- Typ C: verzögerte Heilung,
- Typ D: Pseudarthrose.

Die Unterscheidung zwischen Typ-A- und Typ-B-Frakturen ist die Domäne der MSCT (Abb. 1). Stabile Typ-A-Frakturen sind Frakturen des Tuberculum ossis scaphoidei, inkomplette Infraktionen und nichtdislozierte Querfrakturen

des mittleren Drittels. Instabile Typ-B-Frakturen sind distale Schrägfrakturen, dislozierte Querfrakturen, alle proximale Frakturen sowie spezielle Frakturen wie die transskaphoideale perilunäre Luxationsfraktur de Quervain (Abb. 2). Der Typ C deckt sich mit dem Stadium I der Pseudarthrose, während der Typ D noch in drei Schweregrade unterteilt wird und den Stadien II–IV der Pseudarthrose entspricht [13, 23, 24].

Pseudarthrose

Bei fehlender Frakturheilung kommt es zur Ausbildung einer Pseudarthrose. Als eine der häufigsten Ursachen werden die initial übersehenen Frakturen disku-



Abb. 3 ▲ Pseudarthrose Stadium III, „Humpback“-Deformität und DISI(dorsoflexed intercalated segment instability)-Stellung des Os lunatum. MSCT des Os scaphoideum in Längsachse mit multiplanaren Rekonstruktionen. a Koronale Rekonstruktion, proximale sklerosierte, „abgedeckelt“ imponierende Pseudarthrose. b, c Sagittale Rekonstruktion, Dorsalkippung des proximalen und Palmarkippung des distalen Fragmentes, „Humpback“-Deformität



Abb. 4 ▲ Arthrose und karpaler Kollaps mit SNAC-Wrist. a, b a.-p. und seitliches Röntgen mit „Humpback“-Deformität und DISI-Stellung. c, d MSCT mit multiplanarer Rekonstruktion (MPR), Arthrose im skaphoradialen Gelenk. SNAC-wrist mit Arthrose zwischen proximalem Fragment und Os capitatum

tiert [21]. Reigstad et al. zeigten in einer retrospektiven Studie von 270 Skaphoidpseudarthrosen, dass 45 % der Patienten beim initialen Trauma keinen Arztkontakt hatten. In der Gruppe der Patienten, die einen Arzt kontaktierten (55 %),

wurde bei knapp einem Drittel eine Skaphoidfraktur diagnostiziert und in zwei Drittel der Fälle diese vom behandelnden Arzt initial übersehen [21]. Als weitere Ursache wird eine unzureichende Immobilisation diskutiert [21, 22, 26]. Gerade

bei Pseudarthrosen im Bereich des proximalen Fragmentes mit Ausbildung einer Osteonekrose wird in vielen Quellen auf die besondere Durchblutungssituation eingegangen, die aufgrund einer retrograden Blutversorgung des Skaphoids eine Vulnerabilität des proximalen Fragmentes postuliert. Oehmke et al. [20] konnte dagegen eine autarke Perfusion des proximalen Fragmentes zeigen. Ursächlich für eine Osteonekrose bei proximaler Fraktur könnte jedoch auch eine ungünstige Kollateralsituation sein [6, 20, 22, 24, 25].

Die Ausbildung einer Pseudarthrose verläuft in 4 aufeinanderfolgenden Stadien.

Stadium I

Die Demineralisierung der Frakturränder gilt als erstes Zeichen einer beginnenden Pseudarthrose. Dieses Zeichen beruht auf resorptiven Umbauvorgängen im Frakturspalt. Bei adäquater Therapie besteht in diesem Stadium die Möglichkeit einer vollständigen Reversibilität. Dieses Stadium entspricht dem Typ C nach Herbert/Krimmer.

Stadium II

In diesem bereits irreversiblen Stadium schreiten die Umbauvorgänge im Pseudarthrosengelenkspalt fort, und es kommt zur Ausbildung von Pseudozysten im Bereich der Resorptionsareale,

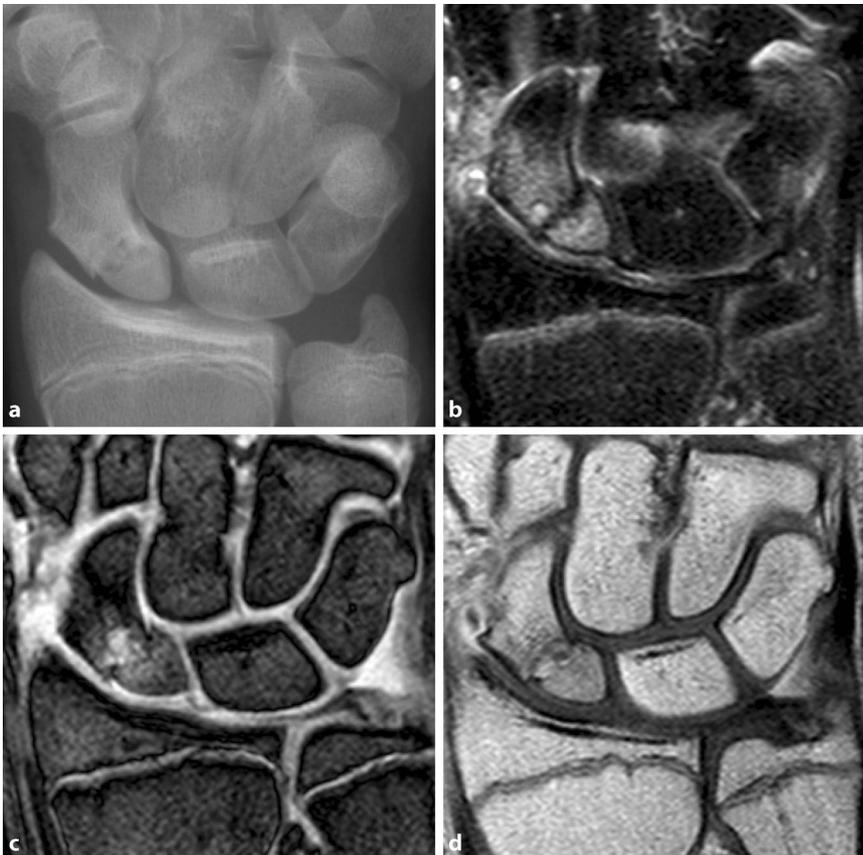


Abb. 5 ▲ Proximale Halsfraktur mit vitalem Fragment. **a** a.-p.-Röntgen, proximale Halsfraktur. **b** PDw FS cor., Knochenmarködem. **c** T2w koronal. **d** T1w FS post-KM, koronal, gleichmäßige Kontrastmittelanreicherung

wovon zumeist beide Fragmente betroffen sind.

Stadium III

Es beginnt eine Sklerose der Frakturränder, die wie „abgedeckelt“ erscheinen, und die Pseudarthrose morphologisch sichtbar machen. Zusätzlich kann eine ligamentäre Spannung zu einer Verkipfung der Fragmente führen. Dadurch rotiert das proximale Fragment nach dorsal, während das distale Fragment des Os scaphoideum nach palmar verkippt. So entsteht die charakteristische „Humpback“-Deformität, die wiederum ein Spezialfall einer dissoziativen Gefügestörung (CID, carpal instability dissociative) der proximalen Handwurzelreihe darstellt. Weiterhin kann es in diesem Stadium zu osteophytären Anbauten bzw. Abstützreaktionen im Verlauf des Lig. intercarpale dorsale kommen.

Wichtig für die Prognose des Patienten ist die Differenzierung zwischen einer straffen und einer instabilen Pseudarthrose. Bei der straffen Pseudarthrose ist der ehemalige Frakturspalt mit stabilem fibrocartilaginärem Bindegewebe aufgefüllt, welches röntgenmorphologisch nicht sichtbar ist. Dies bedeutet jedoch für den Patienten eine funktionelle Stabilität ohne knöchernen Durchbauung. Im Gegensatz kommt es bei der instabilen Pseudarthrose zu keiner bindegewebigen Überbrückung, wodurch die Fraktur instabil bleibt. Magnetresonanztomographisch zeigt sich diese Form durch Flüssigkeit im ehemaligen Frakturspalt bzw. durch Stressaufnahmen, in denen eine Dislokation der Fragmente provoziert wird (▣ Abb. 3).

Stadium IV

Aufgrund der kräftigen ligamentären Verbindung der Handwurzelknochen

kommt es konsekutiv zur Verkipfung des proximalen Skaphoidfragments und zu einer Extension des Os lunatum, woraus eine DISI-Stellung (dorsoflexed intercalated segment instability) resultiert. In diesem Stadium bilden sich regelhaft degenerative Veränderungen in den angrenzenden Gelenken aus. Zumeist beginnt die Arthrose im Gelenk zwischen dem Proc. styloideus radii und dem distalen Fragment des Os scaphoideum, in der Facies articularis carpi des Radius. Das proximale Fragment und das radiolunäre Gelenkkompartiment bleiben in der Regel ausgespart. Als maximale Form der Pseudarthrose des Os scaphoideum entwickelt sich eine mediokarpale Arthrose mit einem karpalen Kollaps sowie Ausbildung einer SNAC-wrist (scaphoid nonunion advanced collapse) (▣ Abb. 4).

Meist vergehen zwischen dem initialen Trauma und der Ausbildung einer Pseudarthrose im Stadium IV 5–10 Jahre. Zur Beurteilung der Frakturkonfiguration, der Stadieneinteilung der Pseudarthrose und zur operativen Planung hat sich die MSCT weitgehend durchgesetzt [1, 12, 16, 18, 22, 24–26].

Perfusion des Skaphoids, avaskuläre Nekrose

Neben der Unterscheidung zwischen einer straffen oder instabilen Pseudarthrose kommt der kontrastmittelverstärkten MRT-Untersuchung zur Beurteilung der Vitalität des proximalen Fragments eine zentrale Bedeutung zu. Sie weist bei hoher Ortsauflösung zusätzlich eine hohe Spezifität und Sensitivität auf (nativ: 71 bzw. 73 %, gadoliniumverstärkt: 95 bzw. 85 %). Die Untersuchung sollte mit einem koronalen Protonendichtegewichteten (PDw) Turbo-Spin-Echo (TSE) zur Diagnostik von Knochenmarködemen und einer T2*-gewichteten (T2*w) GRE(Gradienten-Echo)-Sequenz zur Beurteilung des Knorpels erfolgen [25]. In einigen Studien wird auf einen geringen diagnostischen Vorteil der nichtkontrastierten/nativen MRT hingewiesen, der jedoch auch im Rahmen logistischer und ökonomischer Zwänge diskutiert wird [9, 15, 25].

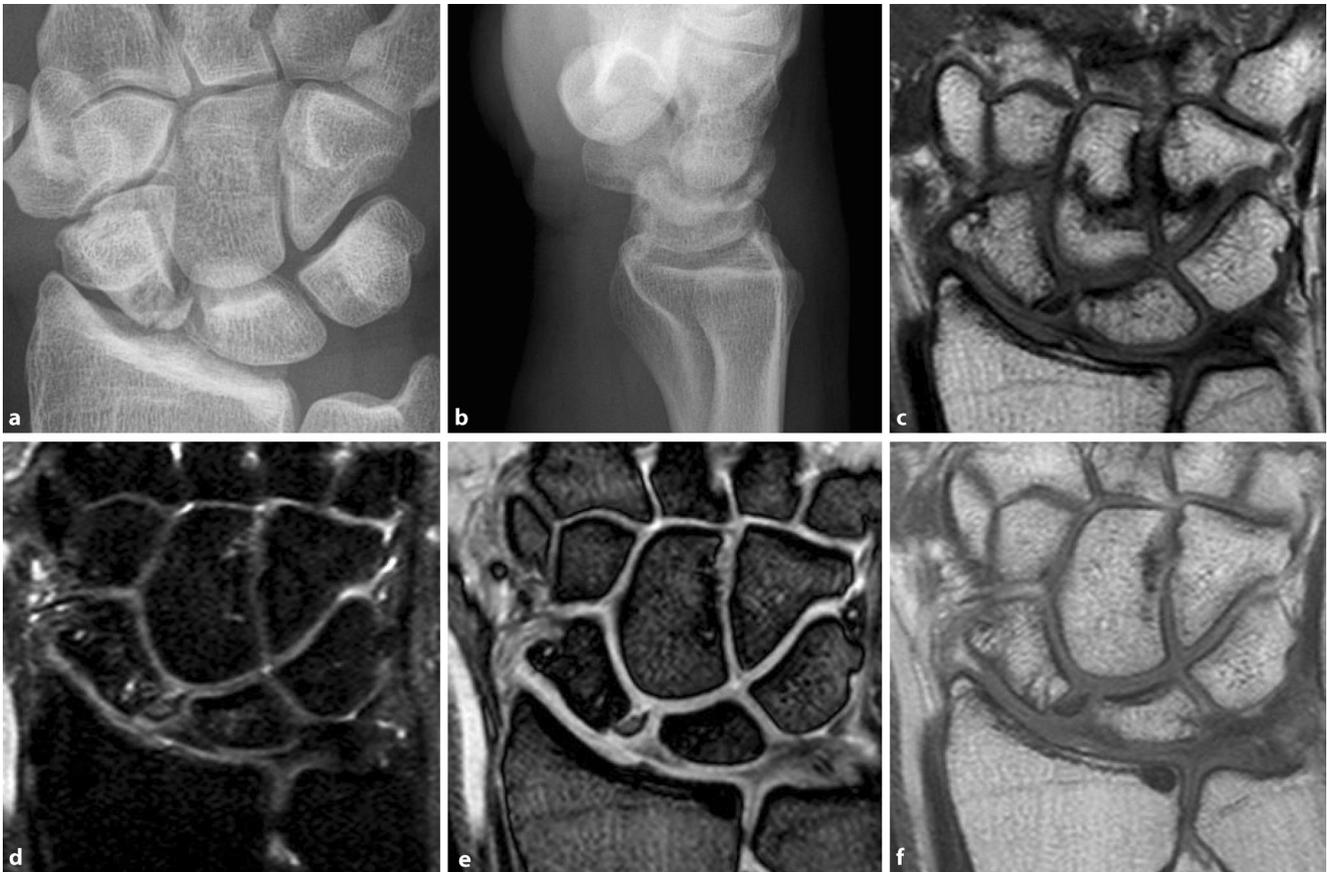


Abb. 6 ▲ Fraktur des proximalen Fragments mit Ausbildung einer vollständigen Nekrose. **a, b** Röntgen a.-p. und seitlich, disloziertes, proximales Fragment mit Pseudozysten. **c** T1w koronal, hypointenses proximales Fragment. **d** PDw koronal, hyperintenses Signal des proximalen Fragments im Sinne eines Knochenödems. **e** T2w FFE (fast field echo) koronal, hyperintenses Signal im proximalen Fragments. **f** T1w TSE post-KM koronal, fehlende Kontrastmittelanreicherung des proximalen Fragments im Sinne einer Nekrose

Aufgrund des initialen Knochenmarködems kommt es zuerst zu einem geringen Signalanstieg in den T2w-Sequenzen und zu einem Signalabfall in der T1w-Sequenz. Während einer Ischämie des Knochenmarks sterben zuerst die Fettzellen ab, was sich an einem weiteren Abfall des T1w-Signals beobachten lässt. Die Kontrastmittelgabe führt bei physiologischer Hyperämie zu einem deutlichen Signalanstieg und damit zum Nachweis einer suffizienten Durchblutung. Das Ausbleiben der Kontrastierung und ein Signalverlust in der T1w-Sequenz beweist eine fehlende Perfusion und damit eine Nekrose des Fragments. Die fettgesättigten Sequenzen werden in diesem Zusammenhang eingesetzt, um das Knochenmarködem von der Kontrastmittelaufnahme des Gewebes zu unterscheiden.

Magnetresonanztomographisch können verschiedene Signalmuster unterschieden werden, die entweder eine normale Vitalität (T1w und T2w isointens, Normalbefund) (Abb. 5), eine Hyperämie (verstärkte Kontrastmittel(KM)anreicherung, T1w FS post-KM, Nekrosemuster I), eine Teilnekrose (fleckiges Muster, nebeneinander von hypo- und hyperintensiven Strukturen, T1w FS post-KM, Nekrosemuster II) und eine vollständige Nekrose (fehlende Kontrastmittelanreicherung in der T1w FS post-KM, Nekrosemuster III) zeigen (Abb. 6; [1, 4, 7, 10, 14, 19, 23–25]).

Fazit

Frakturen des Os scaphoideum stellen ca. 2–3 % aller Frakturen und ca. 60 % der Frakturen der Handwurzel dar. Bei Verdacht auf eine Skaphoidfraktur soll-

te eine initiale Röntgenuntersuchung der Hand in 2 Ebenen durchgeführt werden. Um das Os scaphoideum in seiner Längsachse vollständig abzubilden, kann eine Aufnahme nach Stecher in maximaler Ulnardeviation und in Faustschluss zur Beurteilung hinzugezogen werden. Trotz der Spezialaufnahmen sind ca. 20–30 % der Skaphoidfrakturen im Röntgenbild okkult. Daher sollte bei positiver Klinik und negativem Röntgenbild eine weiterführende CT- oder MRT-Untersuchung erfolgen, die in ihrer diagnostischen Sicherheit weitgehend gleichwertig sind. Zur operativen Planung und anatomischen Wiederherstellung des Os scaphoideum ist die MSCT wertvoller.

Die meisten Skaphoidfrakturen heilen unter adäquater Behandlung komplikationslos aus. Bei Ausbleiben der Frakturheilung entwickelt sich eine in 4 Stadien verlaufende Pseudarthrose, die im An-

fangsstadium reversibel ist, aber auch in einer schweren Arthrose des Handgelenks mit karpalem Kollaps enden kann. Ursächlich dafür sind eine unzureichende Immobilisation oder eine initial nicht diagnostizierte Skaphoidfraktur. Zur Beurteilung des Pseudarthrosestadiums und zur möglichen operativen Planung hat sich weitgehend die CT-Diagnostik etabliert.

Oft wird bei Frakturen im proximalen Anteil des Os scaphoideum die besondere Durchblutung des proximalen Fragments diskutiert. Oehmke et al. beschreiben demgegenüber in anatomischen Studien, dass die Blutversorgung des Skaphoids sehr variabel und auch der proximale Pol ausreichend gut kollateralisiert sei [20]. Reigstad et al. diskutieren in diesem Zusammenhang eine ähnliche Situation wie bei der Blutversorgung des Femurkopfes über das Lig. capitis femoris, bei der es ebenfalls eine große Varianz gibt [22].

Der Beurteilung der Vitalität des proximalen Fragmentes für die Prognose der Patienten kommt dennoch eine wichtige Bedeutung zu. Dies ist die Domäne der kontrastmittelverstärkten MRT, wobei in neueren Studien in Bezug auf die Beurteilung der Vitalität die Gleichwertigkeit der nativen MRT-Diagnostik diskutiert wird.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der radiologische Nachweis oder Ausschluss einer Skaphoidfraktur bei entsprechendem klinischen Verdacht von zentraler Bedeutung ist, um die mögliche Entwicklung einer Skaphoidpseudarthrose zu vermeiden. Röntgen, CT und MRT haben jeweils ihre spezifische Wertigkeit. Um die richtigen diagnostischen Wege zu beschreiten, bedarf es einer intensiven interdisziplinären Zusammenarbeit.

Fazit für die Praxis

- Skaphoidfrakturen sind oft im Röntgenbild schwer zu diagnostizieren.
- Bei positiver Klinik und negativem Röntgenbild ist eine weiterführende Diagnostik mit MSCT oder MRT zur Bestätigung oder zum Ausschluss einer Skaphoidfraktur nötig, wobei dem CT die höhere Bedeutung

zukommt, insbesondere zur OP-Planung und zur anatomischen Rekonstruktion des Skaphoids.

- Bei fehlender Frakturheilung kann eine Pseudarthrose ausgebildet werden, die stadienhaft verläuft.
- Ursächlich sind meist eine initial nicht diagnostizierte Fraktur bzw. eine unzureichende Immobilisation.
- Die Vitalität des proximalen Fragments wird mittels kontrastmittelverstärktem MRT diagnostiziert.

Korrespondenzadresse

Dr. T. Kahl

Institut für Radiologie und Neuroradiologie,
Unfallkrankenhaus Berlin
Warener Str. 7, 12683 Berlin, Deutschland
thomas.kahl@ukb.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. T. Kahl, F. K. Razny, J. P. Benter, K. Mutig, K. Hegenscheid, S. Mutze und A. Eisenschenk geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Arsalan-Werner A, Sauerbier M, Mehling IM (2016) Current concepts for the treatment of acute scaphoid fractures. *Eur J Trauma Emerg Surg* 42:3–10
2. Benninghoff A, Drenckhahn D (2008) Zelle, Gewebe, Entwicklung, Skelett- und Verdauungssystem, Harn- und Genitalsystem. *Anatomie: Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie*, Bd. 1. Urban & Fischer, München
3. Bergh TH et al (2014) Clinical scaphoid score (CSS) to identify scaphoid fracture with MRI in patients with normal x-ray after a wrist trauma. *Emerg Med J* 31:659–664
4. Bickert B, Kremer T, Kneser U (2014) Operative Therapie der Skaphoidpseudarthrose. *Obere Extremität* 9:271–275
5. Brydie A, Raby N (2003) Early MRI in the management of clinical scaphoid fracture. *Br J Radiol* 76:296–300
6. Carpenter CR et al (2014) Adult Scaphoid fracture. *Acad Emerg Med* 21(2):101–121
7. Coblenz G, Christopoulos G, Fröhner S, Kalb KH, Schmitt R (2006) Scaphoid fracture and non-union: current status of radiological diagnostics. *Radiologe* 46(664):666–676
8. Cooney WP (2003) Scaphoid fractures: Current treatments and techniques. *Instr Course Lect* 52:197–208
9. Fox MG, Wang DT, Chhabra AB (2015) Accuracy of enhanced and unenhanced MRI in diagnosing

scaphoid proximal pole avascular necrosis and predicting surgical outcome. *Skeletal Radiol* 44:1671–1678

10. Gelberman RH, Menon J (1980) The vascularity of the scaphoid bone. *J Hand Surg Am* 5:508–513
11. Herbert TJ, Fisher WE (1984) Management of the fractured scaphoid using a new bone screw. *J Bone Joint Surg Br* 66:114–123
12. Hove LM (1999) Epidemiology of scaphoid fractures in Bergen, Norway. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 33:423–426
13. Krimmer H, Schmitt R, Herbert T (2000) Scaphoid fractures – diagnosis, classification and therapy. *Unfallchirurg* 103:812–819
14. Mallee WH et al (2015) Computed tomography versus magnetic resonance imaging versus bone scintigraphy for clinically suspected scaphoid fractures in patients with negative plain radiographs. *Cochrane Database Syst Rev* 6:CD010023
15. Megerle K, Worg H, Christopoulos G, Schmitt R, Krimmer H (2011) Gadolinium-enhanced preoperative MRI scans as a prognostic parameter in scaphoid nonunion. *J Hand Surg Eur Vol* 36:23–28
16. Mehling IM, Sauerbier M (2013) Scaphoid fractures and pseudarthrosis of the scaphoid. *Z Orthop Unfall* 151:639–660
17. Memarsadeghi M et al (2006) Occult scaphoid fractures: Comparison of multidetector CT and MR imaging – initial experience. *Radiology* 240:169–176
18. Moller JM et al (2004) MRI diagnosis of fracture of the scaphoid bone: impact of a new practice where the images are read by radiographers. *Acad Radiol* 11:724–728
19. Murthy NS, Ringler MD (2015) MR imaging of carpal fractures. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 23:405–416
20. Oehmke MJ et al (2009) The blood supply of the scaphoid bone. *J Hand Surg Eur Vol* 34:351–357
21. Reigstad O, Grimsgaard C, Thorkildsen R, Reigstad A, Røkkum M (2012) Scaphoid non-unions, where do they come from? The epidemiology and initial presentation of 270 scaphoid non-unions. *Hand Surg* 17:331–335
22. Reigstad O, Thorkildsen R, Grimsgaard C, Melhuus K, Røkkum M (2015) Examination and treatment of scaphoid fractures and pseudarthrosis. *Tidsskr Nor Laegeforen* 135:1138–1142
23. Rhemrev SJ, Ootes D, Beerers FJ, Meylaerts SA, Schipper IB (2011) Current methods of diagnosis and treatment of scaphoid fractures. *Int J Emerg Med* 4(1):4. doi:10.1186/1865-1380-4-4
24. Schmitt R, Lanz U (2014) *Bildgebende Diagnostik der Hand*. Bd. 718. Thieme, Stuttgart
25. Smith M, Bain GI, Turner PC, Watts AC (2010) Review of imaging of scaphoid fractures. *ANZ J Surg* 80:82–90
26. Vender MI, Watson HK, Wiener BD, Black DM (1987) Degenerative change in symptomatic scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am* 12:514–519