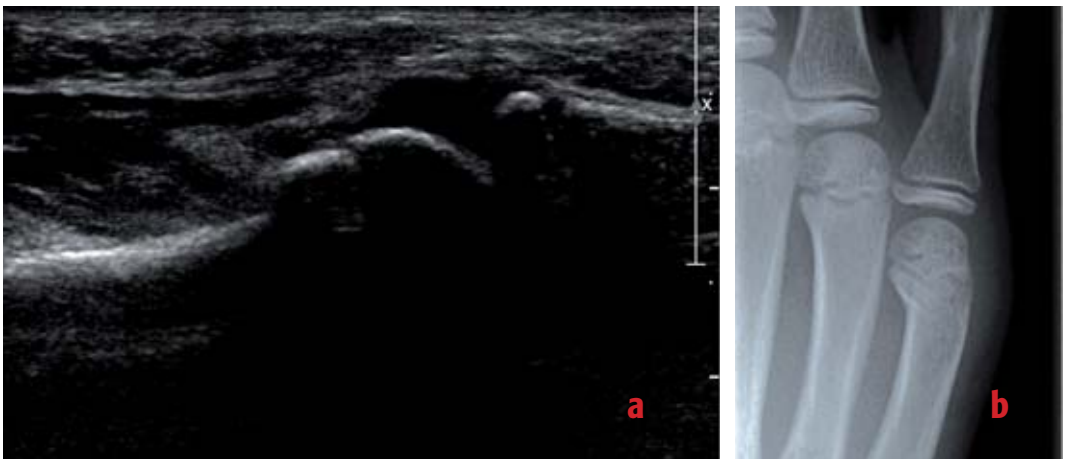


Jörg-Detlev Moritz

Sonographische Frakturdiagnostik

Im Kindesalter können nach einem Trauma neben den vom Erwachsenenalter her bekannten vollständigen Frakturen eines Röhrenknochens auch Frakturen gefunden werden, die ausschließlich im Wachstumsalter vorkommen. Dazu zählen die Grünholzfrakturen, bei denen einseitig die Kortikalis bricht, während die gegenseitige Kortikalis sowie der Periostschlauch intakt bleiben, die Wulstfrakturen, bei denen es zu einer Verbiegung von Kortikalis und Spongiosa kommt, eine Frakturlinie in Form einer Unterbrechung der knöchernen Strukturen aber nicht nachweisbar ist, und die Biegungsfrakturen, bei denen ausschließlich eine Verbiegung des Röhrenknochens ohne Konturunterbrechung zu sehen ist.

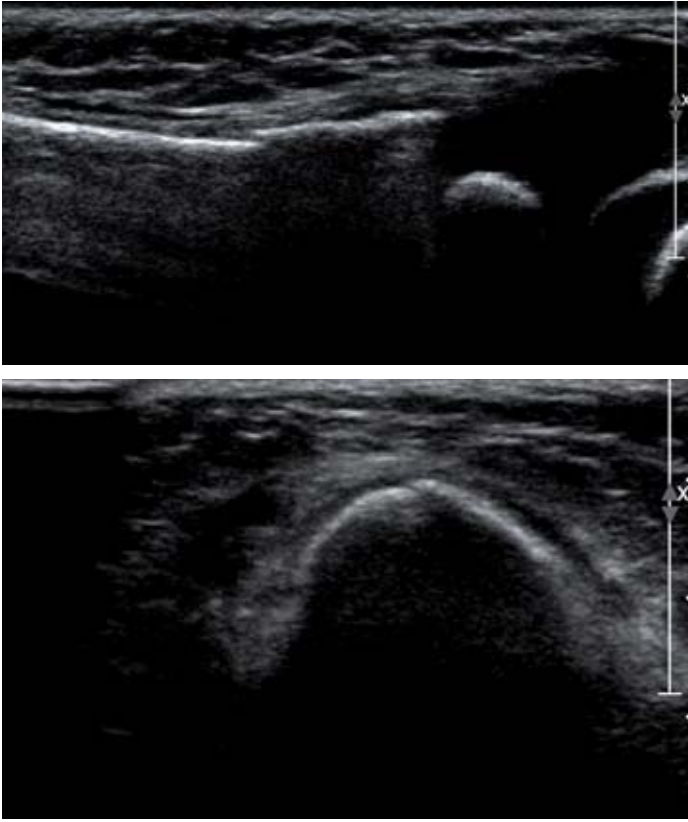


■ Abb. 1: Subcapitale Metacarpale V Fraktur bei einem 14-jährigen Patienten, der mit seiner rechten Hand gegen eine Scheibe geschlagen hat. a) Sonographie, b) Röntgen

Diese typischen Frakturformen erklären sich aus einer sehr hohen Elastizität des kindlichen Knochens, vergleichbar der eines jungen Zweiges an einem Baum oder Busch, daher auch der Name Grünholzfraktur. Daneben treten Frakturen auf, bei denen die Wachstumsfugen in die Verletzung mit einbezogen sind. Sie werden nach Aitken oder Salter-Harris eingeteilt. Kindliche Frakturen entstehen an typischen Lokalisationen wie am distalen Unterarm, besonders am distalen

Radius, am distalen Humerus (supracondyläre Humerusfrakturen), an der Tibiadiaphyse (Toddler's fractures), an der Clavikula und an der Schädelkalotte. An anderen Lokalisationen dagegen sind Frakturen im Kindesalter selten, z.B. am Radiusköpfchen, am Olecranon, an den Carpalia einschließlich des Scaphoids, an der Skapula, an den Rippen, an der Wirbelsäule, am Becken, am Schenkelhals oder an den Tarsalia.

Die Untersuchung von verletzten Kindern, insbesondere Kleinkindern und Säuglingen, gestaltet sich oft als sehr schwierig. Sie sind nicht in der Lage, das wahre Ausmaß der Beschwerden anzugeben. Die genaue Lokalisation des Schmerzmaximums kann häufig trotz eingehender Untersuchung nicht eruiert werden. Sie zeigen schmerzbedingt eine Schonung der gesamten verletzten Extremität. Während der körperlichen Untersuchung schreien sie unabhängig



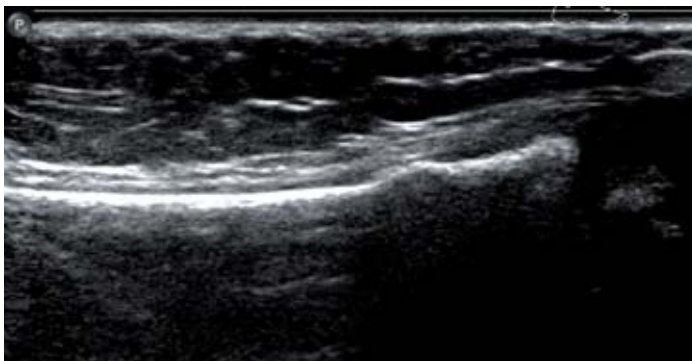
■ Abb. 2a: Distale Tibia Aitken I Fraktur bei einem 1-jährigen Mädchen, das drei Treppenstufen heruntergefallen ist. – Sonographie



■ Abb. 2b: Distale Tibia Aitken I Fraktur bei einem 1-jährigen Mädchen, das drei Treppenstufen heruntergefallen ist. – Röntgen

vom Palpationspunkt. Daraus ergibt sich das Problem, dass die körperliche Untersuchung allein oft nicht klären kann, ob die Beschwerden verdächtig auf eine Fraktur sind oder lediglich für ein Bagatelletrauma sprechen. Hinzu kommt, dass bei unklarer Lokalisation des Schmerzmaximums auch nicht geklärt werden kann, welches der am wahrscheinlichsten verletzte Knochen ist. Wird für die bildgebende Diagnostik ausschließlich das Röntgen eingesetzt, muss an der Stelle mit Röntgenaufnahmen begonnen werden, an der statistisch gesehen das höchste Frakturrisiko besteht. Lege artis müssen von dieser Region mindestens zwei Röntgenbilder in senkrecht aufeinander stehenden Ebenen angefertigt werden. Ein negatives Ergebnis erfordert weitere Röntgenbilder. Im ungünstigsten Fall müssen Röntgenaufnahmen einer gesamten Extremität, also mindestens 5 – 6 Bilder angefertigt werden. Dies bedeutet nicht nur eine höhere Strahlenbelastung für das Kind, sondern für jede Röntgenaufnahme ist eine möglichst exakte Lagerung der Extremität erforderlich, was mit erheblichen Schmerzen verbunden sein kann.

In der Kinderradiologie ist der Ultraschall eines der wichtigsten bildgebenden Verfahren. Mit diesem Verfahren lassen sich viele Diagnosen ohne Einsatz von Röntgenstrahlen und in der Regel ohne Sedierung



■ Abb. 3a: Wulstfraktur der distalen Tibia bei einem 1-jährigen Jungen nach Sturz auf das Bein. – Sonographie



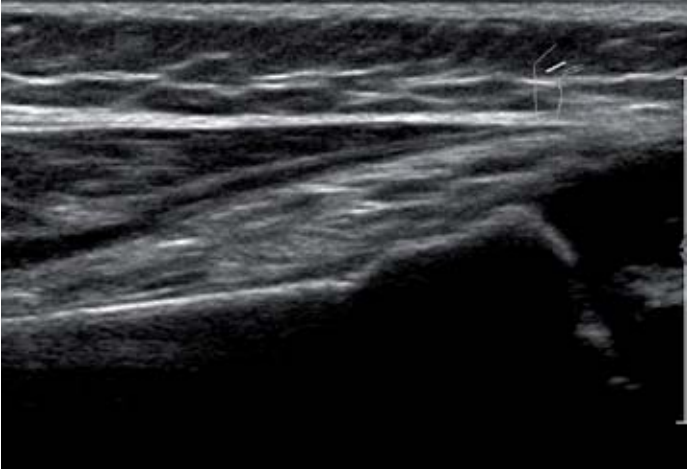
■ Abb. 3b: Wulstfraktur der distalen Tibia bei einem 1-jährigen Jungen nach Sturz auf das Bein. – Röntgen

der kleinen Patienten stellen. Einige Autoren beschreiben, dass auch Frakturen im Ultraschall sehr sensitiv erkannt werden können (1 – 5). Durch Nachweis der Fraktur im Ultraschall kann das Röntgen auf 2 Aufnahmen gezielt auf den verletz-

ten Knochen beschränkt werden. In den Fällen, in denen sonographisch eine Fraktur ausgeschlossen wird, kann in der Regel ganz auf die Anfertigung von Röntgenaufnahmen verzichtet werden. Für die sonographische Frakturdiagnostik ist eine

hohe Auflösung im Nahbereich erforderlich. Dafür werden hochfrequente Linearschallköpfe mit Frequenzen von mindestens 7 MHz mit höherwertigen Ultraschallgeräten benötigt. Es empfiehlt sich, ein auf den Nahbereich abgestimmtes Preset zu verwenden, von den Herstellern oft unter der Bezeichnung „small parts“ oder „Muskuloskeletal, oberflächliche Strukturen“ abgespeichert. Die Fokuszone sollte in Höhe der Knochenoberfläche positioniert sein. Die Bildtiefe sollte nicht zu groß gewählt werden, sie sollte die Tiefe des zu untersuchenden Knochens nicht wesentlich überschreiten. Diese Maßnahmen gewährleisten eine möglichst hohe Auflösung an der Knochenoberfläche, um auch feine Details identifizieren zu können.

Im Ultraschall kann lediglich die Knochenoberfläche als sehr echoreiche Linie mit dahinterliegendem Schallschatten dargestellt werden. Die Knochenbinnenstruktur kann sonographisch nicht eingesehen werden. Üblicherweise stellt sich die Knochenoberfläche als kontinuierliche, harmonische Linie dar, die lediglich entsprechend der Knochenform an den Metaphysen einen bogigen Verlauf aufweist. Die Epiphysenfugen und die knorpelig angelegten Epiphysen sind echoarm und in der gesamten Ausdehnung darstellbar. Von den Epiphysenkernen wiederum ist nur die Oberfläche als echoreiches Re-



■ *Abb. 4a: Distale Femurgrünholzfraktur bei einem 7 Monate alten Jungen nach unbemerktem Treppensturz. – Sonographie*

■ *Abb. 4b: Distale Femurgrünholzfraktur bei einem 7 Monate alten Jungen nach unbemerktem Treppensturz. – Röntgen*

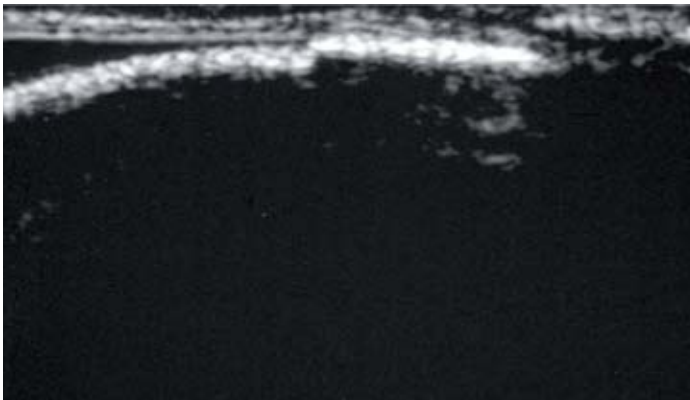
flexband mit dahinterliegendem Schallschatten erkennbar.

Mehrere sonographische Kriterien sind hochverdächtig auf eine Fraktur. Die kortikale Unterbrechung ist das Korrelat für den Frakturspalt (Abb. 1). Je nach Klaffen des Frakturspalts findet sich eine unterschiedlich ausgeprägte Dehizensenz der kortikalen Enden. Bei stark klaffenden Frakturspalten lässt sich in die Tiefe des Knochens hineinsehen. Bei einer Dislocatio ad latem kann im Ultraschall typischerweise eine kortikale Stufe erkannt werden (Abb. 2). Bei Wulstfrakturen findet sich im Ultraschall eine unharmonische, oft nur relativ kurzstreckige Verwölbung der kortikalen Oberfläche (Abb. 3). In anderen Fällen zeigt sich eine unharmonische Abknickung der Kortikalis als Ausdruck einer Knick-

bildung (Abb. 4). Biegungsfrakturen sind sonographisch schwerer fassbar und an einem gebogenen Verlauf der kortikalen Oberfläche diaphysär erkennbar. Üblicherweise ist der Verlauf der kortikalen Oberfläche diaphysär relativ gerade. In den meisten Fällen kann das umgebende Frakturhämatom sonographisch nachgewiesen werden. Es ist an einer inhomogenen, diffusen Echogenitätsanhebung der umgebenden Weichteilstrukturen zu diagnostizieren. Ausgenommen davon ist das subgaleale Hämatom bei Kalottenfrakturen, bei denen ein größeres Hämatom zu einer Abhebung der Galea führt. Dieses Hämatom stellt sich im Ultraschall als in der Regel echofreie, spindelförmige Raumforderung direkt auf der Kalottenoberfläche unterhalb der Galea dar (Abb. 5). Bei älteren Hämatomen sind innerhalb des

Prozesses auch echoreiche Reflexe erkennbar. Frakturen innerhalb einer Gelenkkapsel führen charakteristischerweise zu einem Hämarthros. Das sonographische Korrelat ist ein nicht echofreier Erguss im Gelenkspalt. In der Hand des erfahrenen Ultraschalluntersuchers können anhand der dynamischen Untersuchung auch der Frakturtyp und die Frakturstellung mit großer Genauigkeit bestimmt werden.

Unter Berücksichtigung dieser Kriterien können Frakturen auch sonographisch sehr sicher detektiert werden. Die Sensitivität liegt bei 92,9%, die Spezifität bei 99,5% (2). Diese Werte liegen in der gleichen Größenordnung wie die der Röntgenaufnahmen (Sensitivität 93,2%, Spezifität 99,8%). Damit sind beide Verfahren bezüglich der Detektion von Frakturen gleich-



■ Abb. 5: Sonographisches Bild einer Kalottenfraktur bei einem Säugling nach Sturz vom Wickeltisch, Galeahämatom

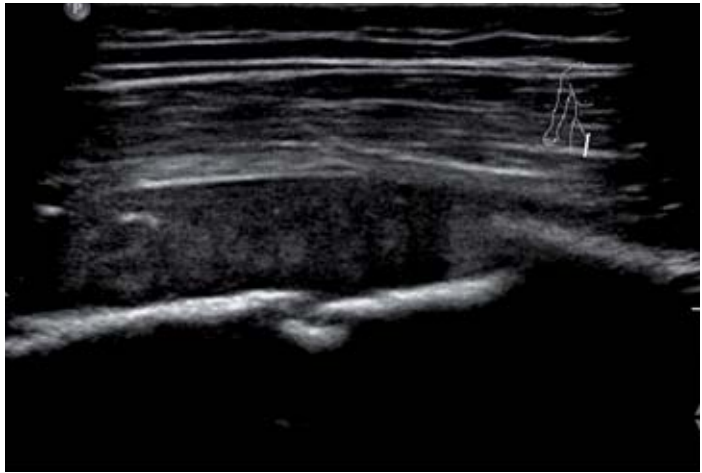
wertig. Die Frakturzeichen sind allerdings nicht in allen Fällen im Ultraschall deutlich ausgeprägt. Insbesondere feine Fissurlinien, wie sie z.B. bei den Toddler's fractures an der Tibia typisch sind, verursachen nur sehr diskrete Zeichen im Ultraschall. Das Erkennen dieser Veränderungen erfordert sehr gründliche, oft zeitintensive Untersuchungen, was durch die oft nicht zu vermeidende Unruhe der kleinen Patienten noch erschwert wird. Hierin liegt eine der Limitationen des sonographischen Verfahrens insbesondere unter Routinebedingungen, die häufig zeitintensive Untersuchungen nicht zulassen. Problematisch kann auch die Untersuchung von Händen und Füßen sein (6 - 8), da durch die Kleinheit der anatomischen Strukturen die Ankopplung des Ultraschallkopfes an die Oberfläche und die exakte Ausrichtung der Schallebene auf die knöchernen Strukturen sehr schwierig ist. Diese Limitationen

zeigen aber auch, dass die Sicherheit der sonographischen Methode sehr stark von der Erfahrung des Untersuchers abhängt, ein allgemein bekanntes Problem der sonographischen Diagnostik. Auf der anderen Seite bietet der Ultraschall gegenüber dem Röntgen in einigen Regionen Vorteile. Insbesondere bei der Diagnostik von Knochen, die im Röntgen nicht in zwei Ebenen überlagerungsfrei dargestellt werden können, wie Clavicula, Hand, Fuß, Rippen, Sternum und Jochbogen, ist der Ultraschall trotz der oben angeführten Limitationen in der Hand des erfahrenen Untersuchers überlegen, da er diese Strukturen ohne Überlagerung abbilden kann. Auch bei klinischen Zeichen einer Fraktur aber negativem Röntgenbefund ist eine zusätzliche sonographische Abklärung ratsam. In einigen dieser Fälle kann durch die überlagerungsfreie Darstellung der Kortikalis im Ultraschall trotzdem eine Fraktur identifiziert werden

(Abb. 6). Der zu untersuchende Knochen sollte mit dem Schallkopf in zwei Ebenen – parallel zur Längsachse des Knochens und senkrecht dazu – abgefahren werden. Dabei ist die Sonographie in diesen beiden Ebenen aus verschiedenen Richtungen zu empfehlen, idealerweise aus 4 Richtungen – ventral, medial, dorsal und lateral. Unter Anwendung dieses Verfahrens wird der Nachteil des Ultraschalls, dass nur die Knochenoberfläche dargestellt werden kann, umgangen und eine dreidimensionale Information ähnlich wie mit dem Röntgen in 2 Ebenen erzielt. In der Frakturdiagnostik ist eine exakte Führung des Schallkopfes parallel oder senkrecht zur Längsachse des Knochens essentiell. Ein Verkippen des Schallkopfes kann eine kortikale Unterbrechung oder eine Verbiegung der Knochenoberfläche vortäuschen, was zu falsch positiven Ergebnissen führen würde. Auch die typischerweise an den metaphysären Abschlussplatten zu erkennenden kleinen kortikalen Stufen dürfen nicht mit metaphysären Frakturen verwechselt werden (Abb. 7). In Zweifelsfällen kann eine Untersuchung der Gegenseite sehr hilfreich sein. Auch wenn für den geübten Ultraschaller nur selten erforderlich, gibt es für die Untersuchung der Gegenseite, im Gegensatz zum Röntgen, keine Limitationen, da sie ohne Strahlenexposition auskommt. Darüber hinaus erleichtert die dynamische Ultraschalluntersu-

chung in Real time in direkter Korrelation mit den klinischen Zeichen das Auffinden von Frakturen. Wenn der Schallkopf direkt über der Fraktur gelegen ist, lässt sich in der Regel eine Zunahme der Schmerzen feststellen. Auch wenn die nicht ganz zu vermeidenden Schmerzen durch die Untersuchung zu einer Zunahme der Bewegungsunruhe kleiner Patienten führen, wird das Erkennen der Frakturen oft durch die dynamische Untersuchung erleichtert und wirkt sich nicht negativ auf das Untersuchungsergebnis aus. Auf der anderen Seite kann durch den sonographischen Nachweis der Fraktur die Zahl der erforderlichen Röntgenuntersuchungen reduziert werden.

Ein allgemein bekanntes Problem der Sonographie ist die limitierte Dokumentation der Befunde. Eine alleinige Orientierung anhand von Ultraschallbildern ist in der Regel nicht möglich. Es fehlt die Information über die genaue Positionierung und Ausrichtung des Schallkopfes. Hier können Piktogramme nur unzureichend helfen. Außerdem fehlt die dreidimensionale Information, die nur durch die Real time Untersuchung gewonnen werden kann. Ein Abspeichern von Aufnahmesequenzen (Loops) kann zwar für den Untersucher bei unruhigen Kindern hilfreich sein, die pathologischen Befunde richtig zu interpretieren, aber für einen nicht bei der Untersuchung anwesenden Befunder



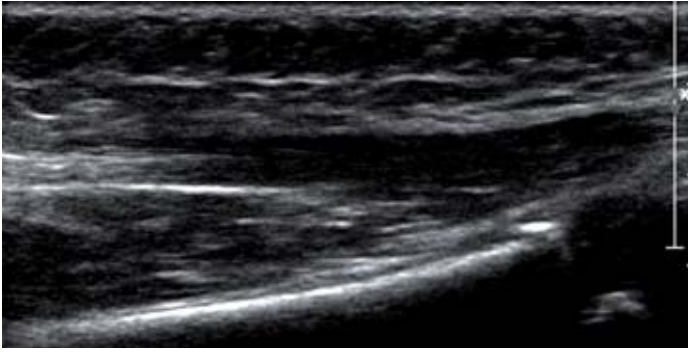
■ *Abb. 6a: 4-jähriger Junge mit Ewing-Sarkom des Femurs. Pathologische Fraktur nach Sturz nur sonographisch nachzuweisen. – Sonographie, Weichteiltumor, Periostreaktion*



■ *Abb. 6b: 4-jähriger Junge mit Ewing-Sarkom des Femurs. Pathologische Fraktur nach Sturz nur sonographisch nachzuweisen. – Röntgen*

fehlt die Information über die exakte Schallkopfposition. Dadurch geht die Information über den Frakturtyp und die exakte Frakturstellung verloren, die beide nur in

der Real time Untersuchung richtig erfasst werden können (9, 10). Dies macht gerade für den Unfallchirurgen eine exakte Therapieplanung sehr schwierig oder gar unmöglich.



■ Abb. 7: Stufe an der metaphysären Abschlussplatte in der Sonographie, keine Fraktur.

Daher sind in den meisten Fällen Röntgenaufnahmen der Fraktur in zwei senkrecht aufeinanderstehenden Ebenen erforderlich.

Der gegenwärtige Stellenwert der sonographischen Frakturdiagnostik liegt in einer exakten Lokalisation der Fraktur. Dadurch wird ein gezieltes Röntgen fokussiert auf die Fraktur ermöglicht. Unnötige Röntgenaufnahmen, die durch ein klinisch nicht nachweisbares Schmerzmaximum oder eine klinisch falsch angenommene Frakturlokalisierung bedingt sind, können vermieden werden. Dadurch konnte in einer Studie bei mehr als 8% der Patienten die Zahl der erforderlichen Röntgenaufnahmen reduziert werden (2).

Bei Schädelfrakturen ist ein Röntgen obsolet. Kalottenfrakturen können sonographisch eindeutig diagnostiziert werden. Somit ist als weiteres bildgebendes Verfahren nur bei entsprechender Klinik bei verschlossener Fontanelle und bei Impressionsfrakturen eine Computertomographie erforderlich.

Da gezeigt werden konnte, dass die Sonographie ein sehr sensitives und spezifisches Verfahren in der Frakturdiagnostik in der Hand eines erfahrenen Ultraschallers ist, kann in den Fällen, in denen sonographisch eine Fraktur auszuschließen ist, auf ein weiteres Röntgen verzichtet werden. Dadurch kann eine große Anzahl von Röntgenaufnahmen bei traumatisierten Patienten ohne Fraktur vermieden werden. Vorstellbar ist auch, auf ein Röntgen bei nicht dislozierten, extraartikulären Frakturen zu verzichten, da die alleinige Therapie in einer Immobilisation besteht.

Da mit Ultraschall auch Kallusbildung erkannt werden kann (2), scheint eine steigende Bedeutung in der Verlaufskontrolle von Frakturen möglich. In den Fällen, in denen bereits klinisch eindeutig frakturverdächtige Zeichen sowie eindeutig ein Schmerzmaximum zu bestimmen sind, wird eher primär das Röntgen eingesetzt und auf den Ultraschall verzichtet werden. Es ist in diesen Fällen unwahrscheinlich, dass der Ultraschall the-

rapierrelevante zusätzliche Informationen liefern wird. Somit wäre die sonographische Untersuchung eine überflüssige, unter Umständen mit Schmerzen verbundene Untersuchung, da gegenwärtig auf jeden Fall noch Röntgenbilder angefertigt werden müssten.

Ultraschall ist ein ideales Verfahren zur Fraktursuche bei allen verletzten Kindern, bei denen unspezifische klinische Zeichen vorliegen oder die Frakturlokalisierung klinisch nicht genau zu bestimmen ist. Nach Identifizierung der Fraktur im Ultraschall kann ein gezieltes, auf die Frakturlokalisierung fokussiertes Röntgen angeschlossen werden. Bei Kalottenfrakturen und neurologisch nicht auffälligen Kindern ist das Röntgen obsolet, die Sonographie ist diagnostisch ausreichend. In Fällen mit klinischen Zeichen einer Fraktur und negativem Röntgenbefund kann die Sonographie Frakturen diagnostizieren oder zumindest wichtige Zusatzinformationen liefern. Daher ist die Sonographie zu einem wichtigen diagnostischen Verfahren bei verletzten Kindern geworden.

Literaturangaben erfragen Sie bitte beim Verfasser.

▶ OA Dr. med. Jörg Detlev Moritz
Klinik für Diagnostische Radiologie
Päd. Radiologie der CAU Kiel
Schwanenweg 20
D-24105 KIEL