Bildgebung Rückfuß

M. Walther, U. Szeimies

2.1 Röntgen – 24

2.2 Sonographie – 26

2.3 Magnetresonanztomographie – 27

2.4 Computertomographie – 30

2.5 Szintigraphie – 31

2.6 SPECT-CT – 31

Literatur – 32

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2018
D. Sabo, S. Rammelt (Hrsg.), *Rückfußchirurgie*
DOI 10.1007/978-3-662-55343-5_2

2.1 Röntgen

Das konventionelle Röntgen ist unverändert die Basisdiagnostik in der Behandlung von Erkrankungen an Fuß und Sprunggelenk (Tab. 2.1, Abb. 2.1, Abb. 2.2). Grundsätzlich kann zwischen Röntgenaufnahmen unter Belastung, Aufnahmen ohne Belastung und Stressaufnahmen unterschieden werden. Normalerweise werden die Aufnahmen an Fuß und Sprunggelenk belastet durchgeführt. Ausnahmen sind nur die akute Verletzung oder auch postoperativ, wenn eine Belastung nicht möglich ist. Aber auch nach einem Trauma kann die Beurteilbarkeit der Bilder wesentlich besser sein, wenn der Fuß ohne Lastaufnahme aufgestellt wird.

Zur Beurteilung von **chronischen Kapsel-Band-Instabilitäten** werden gehaltene Aufnahmen angefertigt. Diese können manuell gehalten oder mit Hilfsgeräten, die eine Druckapplikation von 15 kp aufbringen, angefertigt werden. Bei der akuten Kapsel-Band-Verletzung hat die gehaltene Aufnahmetechnik ihre Bedeutung weitgehend verloren. Häufig wird durch eine schmerzbedingte reflektorische Anspannung der Muskulatur Instabilitäten kompensiert, so dass keine valide Aussage möglich ist. Die Beurteilung akuter Verletzungen erfolgt heute, soweit indiziert, überwiegend mit der Magnetresonanztomographie (MRT) visualisiert. Bei chronischen Instabilitäten können gehaltene Aufnahmen meist vollständig schmerzfrei durchgeführt werden und ermöglichen somit eine Einschätzung der Stabilität des Kapsel-Band-Apparats. Neben dem oberen Sprunggelenk sind gehaltene Aufnahmen auch möglich am Kalkaneokuboidalgelenk, am Großzehengrundgelenk oder am Subtalargelenk.

Bei **Frakturverdacht** wird regelhaft eine konventionelle Röntgenaufnahme in mindestens 2 Ebenen durchgeführt. Direkte Frakturzeichen sind der Frakturspalt, die Kompression von Spongiosa sowie eine Stufenbildung an der Kortikalis. Zusätzlich findet sich teilweise eine Unterbrechung der Spongiosabälkchen oder Knochenfragmente. Indirekte Frakturzeichen umfassen die Periostreaktion, Verlagerung von Fettlamellen in der Umgebung einer Fraktur (sog. »Fettzeichen«) sowie ein Frakturhämatom, welches im Weichteilschatten erkennbar ist.

Besteht nach einem Trauma ein Missverhältnis zwischen den klinischen Beschwerden und dem Röntgenbefund, sollte ein Schnittbildverfahren ergänzt werden. Ist eine exakte Darstellung des Knochens gewünscht, bietet die CT-Untersuchung Vorteile, das MRT hingegen ermöglicht hinsichtlich der Weichteilverletzung wesentlich umfassendere Aussagen.

Bei Frakturen des oberen Sprunggelenkes wird ergänzend eine Röntgenaufnahme des Unterschenkels bis zum Knie empfohlen, um eine hohe Fibulafraktur nicht zu übersehen. Die Mortise-Aufnahme und die seitliche Aufnahme des Sprunggelenkes ermöglichen

Tab. 2.1 Röntgenaufnahmen am Rückfuß

Röntgenaufnahme	Darstellung	Beurteilungsschwerpunkt
Sprunggelenk a.p./Mortise-Aufnahme unter Belastung	Knöchelgabel, oberer Sprunggelenkspalt, Fibula, Syndesmose	Knöchelgabelweite, Gelenkkongruenz/Gelenkwinkel, »clear space«
Sprunggelenk seitlich unter Belastung	Oberes und unteres Sprunggelenk	Gelenkkongruenz/Gelenkwinkel, Fibula
Sprunggelenk a.p.-gehaltene Aufnahme	Oberes Sprunggelenk	Laterale tibiotalare Aufklappbarkeit, subfibulare Ossikel
Sprunggelenk seitlich gehaltene Aufnahme	Oberes Sprunggelenk	Talusvorschub
Broden I (Außenrotation), Broden II (Innenrotation)	Unteres Sprunggelenk – Hintere mediale Gelenkfacette – Vordere Gelenkfacette	Gelenkkongruenz, Verletzungen Proc. lateralis tali, Repositionskontrolle bei Kalkaneusfrakturen
Saltzman	Tibia, Kalkaneus	Tibiokalkaneare Achse, Fersenbeinachse
Fersenbein seitlich/axial	Kalkaneus, unteres Sprunggelenk	Böhler-Winkel, Gelenkkongruenz, Verkalkungen Achillessehnenansatz, knöcherner Fersensporn



Abb. 2.1 a.p. Röntgenaufnahme des Sprunggelenkes



Abb. 2.2 Seitliche Röntgenaufnahme des Sprunggelenkes

eine Beurteilung des Gelenkspalts und der Syndesmose. Der Abstand zwischen der distalen medialen Fibulakante und der lateralen Tibiahinterkante in der a.p.-Projektion ca. 1 cm oberhalb der tibialen Gelenkfläche (»clear space«) darf dabei nicht mehr als 6 mm betragen.

Teilweise kann die Differenzierung zwischen Avulsionsverletzungen (knöcherne Band- und Kapselausrisse) und akzessorischen Knochen schwierig sein. Frische Frakturen weisen in der Regel scharfe Kanten auf. Eine abgerundete Struktur mit durchgehender Kortikalis im Randbereich spricht dagegen für einen akzessorischen Knochen.

Mit der **Broden-Aufnahme** kann die hintere Gelenkfläche im subtalaren Gelenk eingesehen werden. Sie wird insbesondere zur Beurteilung von Frakturen des Processus lateralis tali (»snowboarder's fracture«) sowie intraoperativ bei der operativen Versorgung von Kalkaneusfrakturen eingesetzt.

Ein charakteristisches Kennzeichen von **Entzündungen** ist die periartikuläre Entkalkung. In der Frühphase entzündlicher Gelenkerkrankungen kommt es zu diskreten Unterbrechungen der Kortikalis im Gelenkbereich, die im weiteren Verlauf bis zur vollständigen Gelenkdestruktion fortschreiten kann. Lokalisation sowie die Art der Gelenkdestruktion erlauben Rückschlüsse auf die zugrunde liegende Erkrankung.

Typisch für **maligne Tumoren** sind unscharfe Begrenzungen im Randbereich zum gesunden Gewebe (Mottenfraß). Dieses Phänomen ist das Korrelat des infiltrativen Wachstums. Ein scharfer Rand mit Periostreaktion und Sklerosierung sind Hinweise auf einen langsam wachsenden Prozess.

Eine Domäne der konventionellen Röntgendiagnostik ist die Beurteilung des **Rückfuß-Alignments** anhand von belasteten Aufnahmen. Diese umfassen das Sprunggelenk in zwei Ebenen, die Saltzman-Rückfußaufnahme sowie die Einbeinstandaufnahme.

Die von Coughlin et al. veröffentlichte Technik zur Bestimmung der Knochenachse anhand von Referenzpunkten hat inzwischen eine sehr weite Verbreitung gefunden (Coughlin et al. 2007).

Die **Stellung des oberen Sprunggelenks** lässt sich anhand der belasteten Aufnahmen in beiden Ebenen beurteilen. Hierbei sollte die gesamte Beinachse in die Beurteilung einbezogen werden. Die Kalkaneus Achse lässt sich anhand der Saltzman-

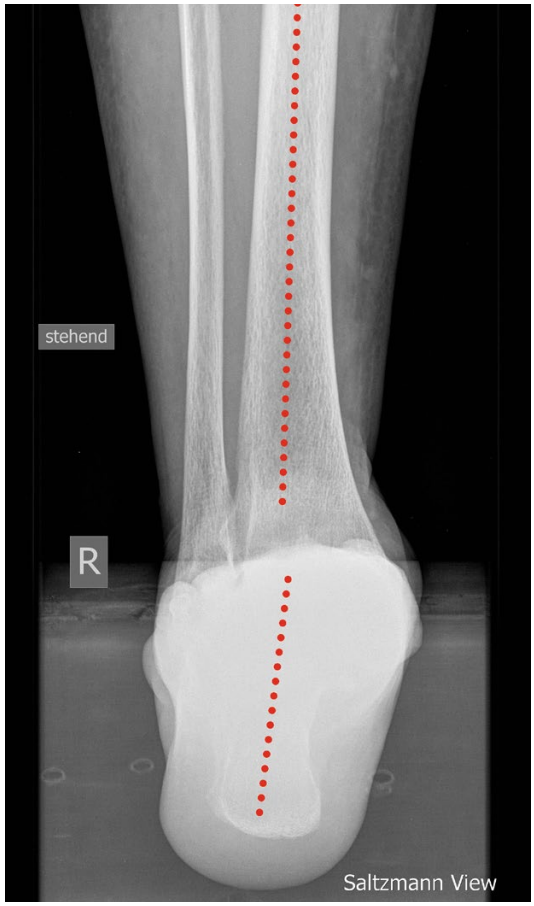


Abb. 2.3 Darstellung der Rückfußachse mit dem Saltzman-View

Aufnahme bestimmen (Saltzman u. El-Khoury 1995) (Abb. 2.3). Bei vielen Rückfußpathologien findet sich eine veränderte Rückfußachse. Ein vermehrter Rückfuß-Varus ist charakteristisch für die chronische laterale Instabilität des Sprunggelenkes, den Pes cavus oder eine Insuffizienz der Peronealsehnen. Nicht selten bedingen sich die genannten Pathologien gegenseitig. Ein Rückfuß-Valgus kann beim jungen Patienten auf eine Coalitio hinweisen, im mittleren und fortgeschrittenen Lebensalter ist der Rückfuß-Valgus häufig mit einer Pathologie der Tibialis-posterior-Sehne vergesellschaftet.

2.2 Sonographie

Am Rückfuß werden Linearschallköpfe mit einer Frequenz von 7,5 MHz oder mehr eingesetzt. Ist eine plane Auflage des Schallkopfes nicht möglich, empfiehlt sich der Einsatz einer Vorlaufstrecke. Die

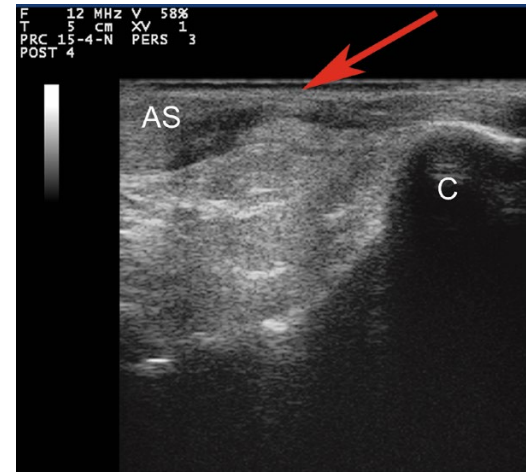


Abb. 2.4 Sonograpie einer Achillessehnenruptur (*Pfeil*)

Doppler-Sonographie erlaubt die Darstellung von Gefäßen und Blutfluss, mit der Power-Doppler-Sonographie ist die Darstellung des Blutflusses auf kapillarer Ebene möglich.

Sehnen sind durch eine homogene, fibrilläre Binnenstruktur gekennzeichnet. Die Sehnenscheide enthält eine geringe Menge von Flüssigkeit, die als dünnes, echofreies Band die Sehne umschließt. Bei entzündlichen Veränderungen findet sich vermehrt Flüssigkeit im Bereich der Sehnenscheide, im Querschnitt besitzt die Sehne einen echofreien Hof. Beurteilt werden Kaliberschwankungen, Konturunterbrechungen oder Unregelmäßigkeiten in der Oberfläche (Abb. 2.4). Die wichtigsten Standardschnittebenen mit den pathologischen Befunden finden sich in Tab. 2.2.

Die Darstellung der Sehnenbinnenstruktur ist stark vom Einfallwinkel des Schalles abhängig, was zu echoreicher oder auch echoarmer Darstellung führen kann. Bei der Interpretation von Änderungen in der Binnenstruktur ist daher größte Vorsicht geboten. Insbesondere bei der Beurteilung intratendinöser Verkalkungen muss die Pathologie in zwei Ebenen zuverlässig darzustellen sein.

Bei Verletzungen des Kapsel-Band-Apparats am Sprunggelenk erlaubt die Sonographie als einziges bildgebendes Verfahren die dynamische Darstellung von Bändern und Gelenken. Hilfreich ist dies zu Beurteilung der Aufklappbarkeit des Sprunggelenkes bei Instabilitäten oder der Translation der Fibula bei Läsionen der Syndesmose. Auch bei der Darstellung kleinster Knorpelveränderungen ist der Ultraschall ähnlich sensitiv wie die Kernspintomographie, wodurch sich ein breites Einsatzgebiet bei entzündlichen

Tab. 2.2 Sonographie am Rückfuß

Ebene	Darstellung	Beurteilungsschwerpunkt/ häufige Pathologien
Dorsal, kranial des Kalkaneus	Achillessehne	Durchmesser, Kaliberschwankungen, echoarme Zonen (Flüssigkeit),
Dorsal, Kalkaneus im Verlauf der Achillessehne	Achillessehnenansatz	Echoreiche, schalldichte Strukturen mit Schallauslöschung (Kalk), Bursa prae-und subachillea, Haglund-Exostose
Im Verlauf der Außenbänder	Lateraler Kapsel-Band-Apparat	Laterale tibiotalare Aufklappbarkeit, subfibulare Ossikel (echoreiche Struktur mit Schallauslöschung), Hämatom
Transversal, proximal des Sprunggelenkes	Syndesmose	Distanz zwischen Tibia und Fibula unter Stress im Seitenvergleich
Longitudinal, ventral des oberen Sprunggelenkes	Oberes Sprunggelenk, Gelenkkapsel, Strecksehnen, ventrale Gefäße	Gelenkerguss, Osteophyten, freie Gelenkkörper, Synovialitis
Im Verlauf der Sehnen, transversal über dem Peronealsehnen-Gleitlager in verschiedenen Ebenen	Peronealsehnen	Luxation, Subluxation. Überprüfung der Luxationstendenz unter Stress im Seitenvergleich
Lateral longitudinal im Verlauf der Fibula sowie ventral und dorsal der Fibula	Unteres Sprunggelenk	Gelenkerguss, subtalare Instabilität, Synovialitis
Plantar longitudinal und transversal	Plantarfaszie, plantare Venen	Verdickung der Plantarfaszie (Norm bis 6 mm), Teilruptur oder Ruptur der Plantarfaszie, knöcherner Fersensporn, Thrombosen der plantaren Venen

Gelenkerkrankungen ergibt. Limitierend im Vergleich zur MRT ist die eingeschränkte Einsehbarkeit des oberen Sprunggelenkes. Die Gelenkfläche des Subtalargelenkes ist im Ultraschall nicht einsehbar.

2.3 Magnetresonanztomographie

Die MRT eignet sich zur Darstellung von Weichteilgewebe, Sehnen, Gelenkkapsel, Muskulatur, Knochen und insbesondere Knorpel. Die Basissequenzen sind die T1-, T2- und PD- (protonendichte) Wichtung, die in allen Ebenen durchgeführt werden können.

Bei chronischen Läsionen, Tumoren und bei der Darstellung von Sehnen wird die Sensitivität und Spezifität durch die intravenöse Gabe von Gadolinium (0,2 mmol/kg Körpergewicht) gesteigert. Granulationsgewebe, welches Kontrastmittel aufnimmt, lässt sich vom umliegenden Gewebe gut abgegrenzen.

Die **T1-Wichtung** liefert die beste anatomische Darstellung. Der Knorpel ist in der T1-Wichtung signalarm und kann vom ebenfalls signalgeminderten Erguss nicht differenziert werden. Die **T2-Wichtung** liefert einen höheren Kontrast zwischen Flüssigkeit und Knorpeloberfläche, die die Darstellung oberflächlicher Knorpeldefekte erleichtert.

Knorpeloberfläche, Knorpelsubstanz, Gelenkkapsel und Bänder können in der **protonendichte (PD) Sequenz** beurteilt werden. Die ICRS (International Cartilage Repair Society) empfiehlt zur Knorpeldarstellung Spin-Echo (SE-)Sequenzen (Bobic 2000). Das Problem dabei ist, dass in allen genannten Sequenzen auch die Fettanteile des normalen Weichteilgewebes signalreich erscheinen. Daher wird die PD-Sequenz durch eine frequenzselektive Fettsättigung ergänzt, sodass pathologische Befunde, die mit einer Flüssigkeitsansammlung einhergehen, besser vom Fettgewebe abgegrenzt werden können. Als Suchsequenz mit allerdings schlechterer anatomischer Auflösung eignet sich alternativ auch eine **T2-STIR-Sequenz** (STIR: »short tau inversion recovery«), in der das in der T2-Wichtung störende, signalreiche Fettgewebe durch einen Inversionsimpuls supprimiert wird. Damit tritt nur noch die Flüssigkeit als helles Signal hervor.

Zur Beurteilung der Therapie von Knorpeldefekten wurden in den letzten Jahren neue MRT-Untersuchungstechniken, wie z. B. das T2-Mapping, die verzögerte T1-Wichtung nach Kontrastmittelgabe (dGEMRIC), T1ρ-Wichtung und Diffusionsgewichtung (Crema et al. 2011), Flash 3D fatsat, Flash 3D water exitation sowie 3D-DESS-Sequenzen (DESS: »dual echo steady state) etabliert«.

Praxistipp

In der klinischen Routine sind für die Beurteilung der Knorpeldecken hochaufgelöste (Schichtdicke 1,8 mm) PDw-fatsat-Sequenzen mit großer Matrix ein praktikabler Kompromiss zwischen Zeitaufwand und Anspruch an die Bildqualität.

Die Schichtdicke sollte grundsätzlich 3 mm nicht überschreiten. Für spezielle Fragestellungen (z. B. Nervenläsionen) ist eine noch geringere Schichtdicke sinnvoll. Um eine möglichst gute Beurteilung der anatomischen Strukturen zu erhalten, sollte bei einer auf 384^2–512^2 Pixel erweiterten Bildmatrix das Untersuchungsfeld »field of view« (FOV) klein gehalten werden (150–160 mm). Dies bedeutet, dass normalerweise entweder nur der Vorfuß oder nur der Rückfuß dargestellt werden kann. Auch die gleichzeitige Darstellung beider Sprunggelenke oder Füße macht eine hochauflösende Darstellung und exakte Beurteilung vieler Strukturen unmöglich.

Indikationen zur Magnetresonanztomographie an Fuß und Sprunggelenk

- Trauma von Sprunggelenk und Mittelfuß
- Erkrankungen von Sehnen, Bändern und Gelenkkapsel (Abb. 2.5)
- Stressfrakturen (Abb. 2.6)
- Infektionen
- Knochenödeme und Knochennekrose (Abb. 2.7)
- Osteochondrale Läsonen und Knorpelschäden
- Frühdiagnose einer entzündlichen Gelenkerkrankung
- Diabetische Neuroarthropathie (DNOA)
- Tumoren
- Erkrankungen der Nerven

Bei unklaren oder anhaltenden Beschwerden nach **Trauma** ermöglicht die MRT das Ausmaß der Verlet-

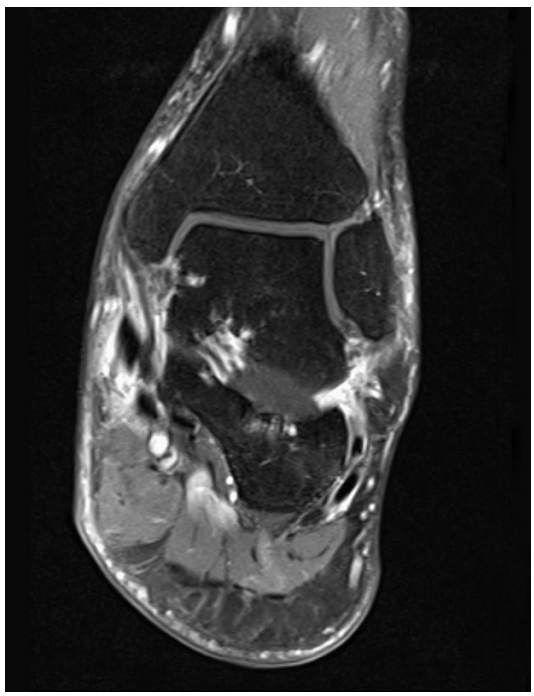


Abb. 2.5 Die fettunterdrückte T1w-Sequenz nach intravenöser Kontrastmittelgabe zeigt eine Tendinose und Peritendinitis der Tibialis-posterior-Sehne

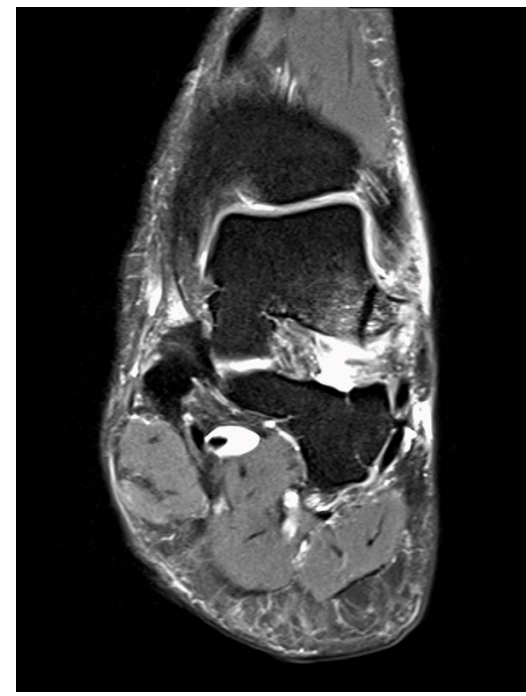


Abb. 2.6 Stressfraktur des Proc. lateralis tali im MRT (Pdw-fatsat-Sequenz). Die am gleichen Tag durchgeführte Bildgebung zeigt im konventionellen Röntgen keine Auffälligkeiten



Abb. 2.7 In der PDw-fatsat-Sequenz typische Darstellung eines transienten Knochenödemsyndroms mit isolierter flächiger Ödematisierung des Os cuneiforme intermedius sowie deutliche Ödematisierung des angrenzenden Weichgewebes

zung unter Einbeziehung der Weichteile zu beurteilen. Dies betrifft insbesondere Läsionen des Lisfranc-Gelenkes, der Syndesmose, der Peroneal- und Tibialis-posterior-Sehne und des Kapsel-Band-Apparates.

Strukturelle **Veränderungen von Sehnen und Bändern** lassen sich mit der MRT mit Kontrastmittel darstellen. Aussagen zur mechanischen Festigkeit sind aber nur eingeschränkt möglich. Dies betrifft regelmäßig die Tibialis-posterior-Sehneninsuffizienz (Abb. 2.5), bei der im MRT-Befund eine durchgängige Sehne beschrieben wird, klinisch jedoch eine hochgradige mechanische Insuffizienz gefunden wird. Binnendegenerationen (Verdickung) oder eine degenerative Vaskularisation im MRT können mit einer mechanischen Insuffizienz einhergehen, auch wenn die Sehne nicht unterbrochen ist.

Die akute **Mikro-, Stress- oder Insuffizienzfraktur** entgeht regelmäßig der konventionellen Röntgenaufnahme. Aufgrund der umfassenden Abbildung auch möglicher anderer Schmerzursachen ist die Kernspintomographie der Computertomographie überlegen. Bereits überlastungsbedingte Knochenödeme können dargestellt werden, selbst wenn keine sichtbare Unterbrechung von Knochenstrukturen vorliegt (Abb. 2.6).

Bei **Osteomyelitiden** und **Weichteilabszessen** kann mit der Kernspintomographie die Ausdehnung der Entzündung bzw. deren Abgrenzung zum gesunden Gewebe sehr genau dargestellt werden. Probleme bereitet immer wieder die Abgrenzung der diabetischen Neuroarthropathie gegenüber Infekten. Der Ausfall des Fettmarksignals ist der wichtigste Indikator für eine Osteomyelitis.

Knochenödeme und **Knochennekrosen** können Ursache anhaltender Beschwerden im Bereich Fuß und Sprunggelenk sein und sind mit keinem anderen Verfahren darstellbar (Abb. 2.7). Zu unterscheiden sind Knochenödeme aufgrund von Trauma und Überlastung, bei Ischämie, Tumor oder Entzündung beziehungsweise das Knochenmarködem als eigenständige Erkrankung (Stäbler et al. 2002).

Für **Knorpelschäden** und osteochondrale Läsionen ist das MRT die aussagekräftigste Bildgebung. Neben Ausdehnung der Defekte und Vitalität des osteochondralen Fragments kann die Aktivierung anhand des Begleitödems beurteilt werden. Auch im Vorfeld der Deformitätenkorrektur kann der Knorpelzustand abgeschätzt werden.

Bevor Zeichen einer **entzündlichen Gelenkerkrankung** im konventionellen Röntgenbild sichtbar werden, sind diese Veränderungen im MRT darstellbar. Bei unklarer Symptomatik ist die Kernspintomographie ein wichtiges Verfahren, um die laborchemische Diagnostik zu ergänzen.

Bereits im Stadium 0 der **diabetische Neuroarthropathie** (Prodromalstadium) zeigt das MRT Weichteilödeme, Gelenkerguss, Gelenksubluxationen, Infraktionen und intraossäre Ödeme. Im Stadium I nach Eichenholtz (Destruktion, Fragmentation) nehmen die Ödeme zu. Das Stadium II (Sinterung) ist gekennzeichnet durch ein rückläufiges Knochenödem bei progredienten Deformation und Instabilität. In Stadium III (Konsolidierung) sind Ödem und Erguss weiter rückläufig, Residualbefunde lassen sich aber anhaltend nachweisen.

Zeichen **maligner Raumforderungen** sind eine unscharfe Abgrenzung, die Infiltration des umliegenden Gewebes unter Überschreitung anatomischer Grenzzonen, die Ummauerung von Gefäßen und Nerven sowie eine Destruktion knöcherner Strukturen. Allerdings ist mithilfe der Kernspintomographie keine exakte Differenzierung zwischen malignen und benignen Tumoren möglich.

Kennzeichnend für **Nervenschäden** sind Denervationsödeme in den abhängigen Muskeln, die sich initial in der PD-fatsat-Sequenz signalreich darstellen. Im weiteren Verlauf entwickelt sich eine fettige Degeneration des Muskelgewebes, die dann durch den höheren Fettanteil in der T1 oder T2-Wichtung hyperintens ist. Morphologische Veränderungen wie das Morton Neurom sind ebenfalls darstellbar. Allerdings findet sich nicht immer eine Auftreibung des Nervens, regelmäßig besteht nur eine Fibrosierung in Verbindung mit fibrovaskulärem Bindegewebe. Die beste Abbildung eines Morton Neuroms gelingt in Bauchlage mit maximal plantar flektiertem Fuß.

2.4 Computertomographie

Die CT liefert die höchste Auflösung bei der Darstellung von Knochenpathologien. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der 3D-Rekonstruktion, was die Beurteilung von Frakturen einschließlich der Planung der operativen Versorgung erleichtert.

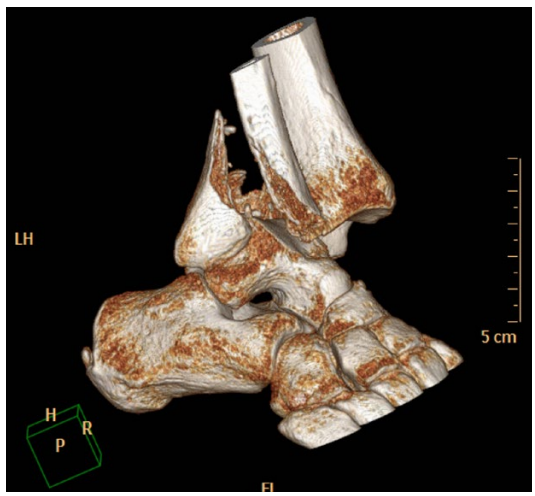
Die Computertomographie wird bei Anwendung von entsprechenden Untersuchungsprotokollen durch Metalle nur gering beeinflusst, was vor allem nach Frakturversorgungen oder bei der Beurteilung der knöchernen Konsolidierung von Arthrodesen Vorteile bietet. Inzwischen sind CT-Systeme zur intraoperativen Anwendung verfügbar, die bereits während der Operation eine genauere Kontrolle der Reposition und der Schraubenlage ermöglichen, als dies mit dem klassischen Bildverstärker möglich ist. Diese sehr teuren Geräte sind bisher im Vergütungssystem nicht abgebildet und werden bisher an Fuß und Sprunggelenk vor allem im Rahmen von wissenschaftlichen Studien eingesetzt.

Schließlich kann die Computertomographie im Gegensatz zur MRT auch bei Herzschrittmacher Patienten ohne besondere Vorkehrungen eingesetzt werden.

Indikationen zur CT an Fuß und Sprunggelenk

- Frakturen, insbesondere mit Gelenkbeteiligung (◘ Abb. 2.8)
- Intra- oder postoperative Kontrolle der Reposition und der Lage des Osteosynthesematerials
- Osteophytäre Anbauten und freie Gelenkkörper (◘ Abb. 2.9)
- Stressfrakturen
- Osteochondrale Läsionen zur Beurteilung des Knochendefekts. Eine Sonderform ist das Arthro-CT mit intraartikuläre Kontrastmittelgabe
- Tumoren
- Osteomyelitis
- Unklare postoperative Beschwerden

Bei der Beurteilung komplexer **Frakturen** ermöglicht das CT die Beurteilung der Gelenkflächen, sowie die dreidimensionale Darstellung der Fragmente und Gelenke (◘ Abb. 2.8). Für die Planung der operativen Versorgung ist die 3D-Rekonstruktion ein wichtiges



◘ **Abb. 2.8** 3D-CT einer Pilon-tibiale-Luxationsfraktur



◘ **Abb. 2.9** 3D-CT bei anteriorem und anterolateralem knöchernem Ankle-Impingement nach OSG-Fraktur vor 12 Jahren

Hilfsmittel. Postoperativ kann die Qualität der Reposition überprüft werden, sowie die korrekte Lage des Osteosynthesematerials. Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Beurteilung der knöchernen Konsolidierung von Arthrodesen. Das Ausmaß der knöchernen Überbauung lässt sich mithilfe der Computertomographie wesentlich exakter erfassen als mit konventionellen Röntgenaufnahmen

Mit der Computertomographie können Stressfrakturen früher und exakter dargestellt werden als mit konventionellen Röntgenaufnahmen. Besteht der Verdacht auf eine Stressfraktur, ist allerdings abzuwägen, ob nicht eine Kernspintomographie die sinnvollere Aufnahme ist. Der Vorteil der Kernspintomographie ist die gleichzeitige Darstellung der Weichteile. Hierdurch kann ein wesentlich breiteres Spektrum an Differenzialdiagnosen in die Beurteilung einbezogen werden.

Vorteile bietet die CT bei ostophytären Anbauten und freien Gelenkkörpern. Die präzise Auflösung der CT mit exakter Darstellung des Knochens in der 3D-Rekonstruktion erlaubt eine präzise Diagnose mit genauer Beurteilung möglicher mechanischer Konflikte (Abb. 2.9).

Bei **Tumoren** mit Knochenbeteiligung kann mit der Computertomographie das Ausmaß der Läsion und die Knochenstabilität exakt beurteilt werden. Ebenso möglich ist die Abschätzung bereits vorhandener Knochenbrüche.

Das Ausmaß der knöchernen Destruktion im Rahmen einer **Osteomyelitis** sowie komplexe knöcherne Veränderungen sind mit der Computertomographie darstellbar. Aussagen sind weiterhin möglich zu Sequestern, Gaseinschlüssen oder ossären Fistelgängen.

2.5 Szintigraphie

Nach Injektion von 99mTc-markiertem Diphosphonatkomplex (Technetium) wird bei der 3-Phasen-Szintigraphie in der 1. Phase die arterielle Anflutung dargestellt. Die Bilder werden in schneller Sequenz mithilfe einer Gammakamera angefertigt. 3–15 min nach der Injektion wird die lokale Blutfülle szintigraphisch erfasst (venöse Phase oder auch Weichteilphase). Die 3. Phase ca. 2–3 h nach Injektion erlaubt Aussagen zum Osteoblastenstoffwechsel (Mineralisationsphase).

Indikationen der 3-Phasen-Skelettszintigraphie an Fuß und Sprunggelenk

- Frakturen, insbesondere Stressfrakturen
- Arthrose und Arthritis
- Entzündungen

Ist durch die 3-Phasen-Skelettszintigraphie keine eindeutige Unterscheidung zwischen bakterieller Osteitis und nicht bakterieller Entzündung möglich, kann die Aussagekraft durch eine Entzündungsszintigraphie verbessert werden. Hierbei werden monoklonale Antikörper bzw. deren Fragmente eingesetzt, die sich an Granulozyten im Blut anheften.

Die Bedeutung der Szintigraphie war in den letzten Jahren stark rückläufig. In den meisten Fällen liefert die Kernspintomographie mit Kontrastmittel mehr Informationen, bei fehlender Strahlenbelastung und einer besseren Verfügbarkeit.

2.6 SPECT-CT

Die SPECT (»single photon emission computed tomography«) ist eine Verbindung von CT und Knochenszintigraphie. Die Knochenszintigraphie zeigt die biologische Aktivität eines Knochenprozesses, während die CT-Daten eine genaue anatomische Zuordnung dieser Aktivität ermöglichen (Abb. 2.10).

Die SPECT basiert auf dem Prinzip der Gammakamera. Dabei werden Aufnahmen der Aktivitätsver-

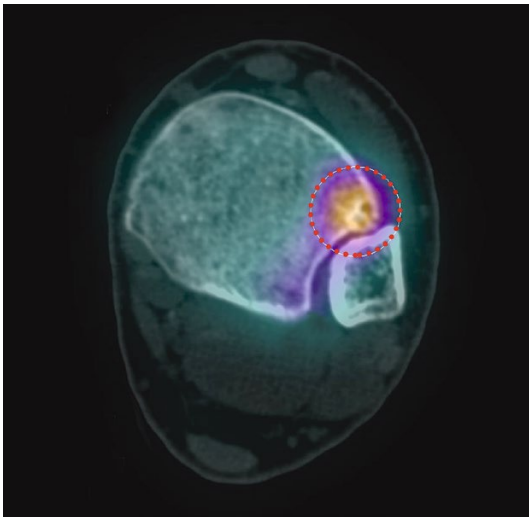


Abb. 2.10 Spect-CT einer aktivierten Syndesmose nach Fehlstellung

teilung im Patienten aus unterschiedlichen Ansichtswinkeln erstellt. Um die Aufnahmezeit zu verkürzen sind die Geräte mit Mehrkopfkameras ausgestattet, die eine simultane Bildgewinnung ermöglichen. Je nach Fragestellung werden die Radiopharma Tc-99m, In-111 oder I-131 eingesetzt (Ritt et al. 2011).

Die teure und aufwändige SPECT-Untersuchung kann indiziert sein, wenn die Frage nach biologischer Aktivität des Knochens gestellt wird und gleichzeitig eine genaue anatomische Zuordnung des Prozesses von Bedeutung ist. Das Verfahren kann zur Beurteilung der Aktivierung osteochondraler Verletzungen am Talus herangezogen werden sowie beim Verdacht auf eine Osteonekrosen (Leumann et al. 2011). Bei multiplen Arthrosen kann überprüft werden, wo die szintigraphische Aktivität mit den klinischen Symptomen korreliert.

Auch wenn immer wieder wichtige Zusatzinformationen durch die SPECT gewonnen werden, hat das teure und wenig verfügbare Verfahren bisher keinen Eingang in die Routinediagnostik an Fuß und Sprunggelenk gefunden.

Literatur

Abraham CL, Bangerter NK, McGavin LS, Peters CL, Drew AJ, Hanrahan CJ, Anderson AE (2015) Accuracy of 3D dual echo steady state (DESS) MR arthrography to quantify acetabular cartilage thickness. J Magn Reson Imaging 42(5):1329–38

Atilla OD, Yesilaras M, Kilic TY, Reisoglu A, Sever M, Aksay E (2014) The accuracy of bedside ultrasonography as a diagnostic tool for fractures in the ankle and foot. Acad emerg Med 21(9): 1058–61

Bobic V (2000) ICRS articular cartilage imaging committee. ICRS MR imaging protocol für kniee articular cartilage. Zooikon, Switzerlang: International Cartilage Repair Society 12

Burstein D, Gray M, Mosher T, Dardzinski B (2009) Measures of molecular composition and structure in osteoarthritis. Radiol Clin North Am 47 (4): 675–686

Coughlin MJ, Mann RA, Saltzmann CL (2007) Surgery of the foot and ankle. Elsevier, Philadelphia

Crema MD, Roemer FW, Marra MD, Burstein D, Gold GE, Eckstein F, Baum T, Mosher TJ, Carrino JA, Guermazi, A (2011) Articular Cartilage in the Knee: Current MR Imaging Techniques and Applicaations in Clinical Practice and Research. Radiographics 31: 37–62

Dikos GD, Heisler J, Choplin RH, Weber TG: 2012Normal tibiofibular relationships at the syndesmosis on aixal CT-imaging. Orthop Traum 7: 433–8

Fessel DP, Vanderschueren GM, Jacobson JA, Ceulemans RY, Bouffoard JA, Sbirazi KK, van Holsbeeck MT (1998) US of the Ankle: Technique, Anatomy, and Diagnosis of Pathologic Conditions. Radiographics 18 (2): 325–340

Fujinaga Y, Yoshioka H, Sakai T, Sakai Y, Souza F, Lang P (2014) Quantitative measurement of femoral condyle cartilage in the knee by MRI: validation study by multireaders. J Magn Reson Imaging 39(4):972–7

Gaulrapp H (2014) Funktionelle sonographische Diagnostik bei fibularer Kapselbandläsion. OUP 3: 100–104

Guermazi A, Roemer FW, Alizai H, Winalski CS, Welsch G, Brittberg M, Trattnig S (2015) State of the Art: MR Imaging after Knee Cartilage Repair Surgery. Radiology 277(1): 23–43

Haller J, Bernt R, Seeger T, Weissenback A, Tuchler H, Resnick D (2006) MR-Imaging of anterior tibiotalar Impingement Syndrome. Agreement, Sensitivity and Specifity of MR-Imaging and indirekt MR-Arthrography. Eur J Radiol 3: 450–60

Leumann A, Valderrabano V, Plaass C, Rasch H. Studler U, Hintermann B, Pagenstert GI (2011) A Novel Imaging Method for Osteochondral Lesions of the Talus-Comparison of SPECT-CT with MRI. Am J Sports Med 39 (5).: 1095–101

Park HJ, Cha SD, Kim HS, Chung ST, Park NH, Yoo JH (2010) Reliability of MRI findings of peroneal tendinopathy in patients with alteral chronic ankle instability. Clin Orthop Surg 4: 237–43

Park HJ, Cha SD, Kim SS, Rho MH, Kwag HJ, Park NH, Lee SY (2012) Accuracy of MRI findings in chronic lateral ankle ligament injury: Comparison with surgical findings. Clin Radiol 4: 313–8

Pasquali C, Vulcano E, Novario R, Varotto D, Montoli C, Volpe A (2015) Ultrasound-Guided Alcohol Injection for Morton's Neuroma. Foot Ankle Int 36: 55–9

Ritt P, Hornegger J, Kuwert T (2011) Technik und physikalische Aspekte der SPECT/CT. Der Nuklearmediziner 34: 9–20

Saltzman CL, el-Khoury GY (1995) The hindfoot alignment view. Foot Ankle Int 16: 572–576

Steling C, Liebl H, Krug R (2010) Patellar cartilage: T2 values and morphologic abnormalities at 3.0-T MR imaging in relation to physical activity in asymptomatic subjects from the osteoarthritis intiative. Radiology 254: 509–520

Szeimies U, Staebler A, Walther M (2014) Diagnostic Imaging of the Foot and Ankle. Thieme, Stuttgart

Verhagen R, Maas M, Dijkgraaf M, Tol J, Krips R, Van Dijk C (2005) Prostpective study on diagnostic stragegies in osteochondral lesions of the talus: is MRI superior to helical CT? J Bone Joint Surg Br 87: 41–46

Welsch GH, Mamisch TC, Domayer SE (2008) Cartilage T2 assessment at 3-T MR imaging: in vivo differentiation of normal hyaline cartilage from reparative tissue after two cartilage repair procedures-initial experience. Radiology 247: 154–161

http://www.springer.com/978-3-662-55342-8

Rückfußchirurgie
Sabo, D.; Rammelt, S. (Hrsg.)
2018, XVI, 372 S. 220 Abb., 200 Abb. in Farbe.,
Hardcover
ISBN: 978-3-662-55342-8