

M. Richter
S. Zech
F. Hildebrand
J. Geerling
K. Knobloch
M. Frink

Vorfußfrakturen

Fractures of the forefoot

► **Summary** Fractures of the forefoot comprise approximately two thirds of all foot fractures. Forefoot fractures are caused by direct impact or indirect force ef-

fect. The effecting forces can range from minor repetitive stress to massive destructional forces.

The clinical course in metatarsal, toe and sesamoid fractures is typically favourable. The incidence of complications like infection or pseudarthrosis is lower than in fractures of mid- and hindfoot. The proximal area of the fifth metatarsal and the sesamoids are exceptions with higher pseudarthrosis rates. Posttraumatic deformations can lead to problems in all metatarsals. Differences in structure and function of the different forefoot bones require an adapted management.

► **Key words** fracture – forefoot – metatarsal – toe – osteosynthesisdosing

► **Zusammenfassung** Vorfußfrakturen machen etwa die zwei Drittel aller Fußfrakturen aus, sie werden durch direkten Impakt

oder indirekte Krafteinwirkung verursacht. Die einwirkenden Kräfte können von einfachem wiederholtem Stress bis zu komplexen Verletzungsmechanismen reichen.

Der Heilverlauf von Frakturen der Metatarsalia, Zehen und Sesambeine ist typischerweise günstiger als die der Frakturen des Mittel- und Rückfußes. Die Inzidenz von Komplikationen wie Infektionen oder Pseudarthrosenbildung ist gering. Ausnahme ist hier der proximale Schaftbereich von Metatarsale 5 und die Sesambeine. Posttraumatische Fehlstellungen bei verheilten Metatarsalefrakturen können ebenfalls Probleme verursachen. Struktur und Funktionsunterschiede zwischen den einzelnen Bereichen erfordern unterschiedliches Management der Verletzungen.

► **Schlüsselwörter** Fraktur – Vorfuß – Metatarsale – Zehe – Osteosynthese

Eingegangen: 20. Juni 2006
Akzeptiert: 30. Juni 2006

Prof. Dr. med. Martinus Richter (✉)
S. Zech
Klinik für Unfallchirurgie
Orthopädie und Fußchirurgie
Klinikum Coburg
Ketschendorfer Str. 33
96450 Coburg, Germany
Tel. & Fax: +49-700-3877/87 28 62
E-Mail: info@fuss-traum.de
Homepage: <http://www.fuss-traum.de>

F. Hildebrand · J. Geerling · K. Knobloch
M. Frink
Unfallchirurgische Klinik
Medizinische Hochschule Hannover

Einleitung

Frakturen des Vorfußes machen etwa zwei Drittel aller Fußfrakturen aus [14, 23]. Unter den Metatarsalefrakturen ist das Metatarsale 5 am häufigsten betroffen, gefolgt von Metatarsale 3, 2, 1 und 4 in Reihenfolge

der sinkenden Häufigkeit [6]. Die Inzidenz von Stressfrakturen weicht von dieser Häufigkeitsverteilung ab [12]. Die zentralen Metatarsalia (2–4) sind davon häufiger betroffen als Metatarsale 1 und 5 [15]. Metatarsalefrakturen werden durch direkten Impakt oder indirekte Krafteinwirkung verursacht. Die einwirkenden Kräfte können von einfachem wiederholtem Stress

(z.B. Marschfraktur bei Soldaten) bis zu komplexen Verletzungsmechanismen (Lisfranc-Luxationsfraktur bei Verkehrsunfallopfern) reichen [12, 15, 17].

Der Heilverlauf von Metatarsalefrakturen ist typischerweise günstig [24]. Die Inzidenz von Komplikationen wie Infektionen oder Pseudarthrosenbildung ist gering [24]. Ausnahme ist hier der proximale Schaftbereich von Metatarsale 5 [24]. Insgesamt können aber auch posttraumatische Fehlstellungen bei verheilten Frakturen Probleme verursachen [24].

Struktur und Funktionsunterschiede zwischen den einzelnen Metatarsalia führen zu unterschiedlichem Management [11]. Deshalb sollte wie in dieser Übersicht zwischen Frakturen des ersten, der zentralen (2–4) und des fünften Metatarsale unterschieden werden. Diese Einteilung lehnt sich an historische biomechanische Grundprinzipien d.h. dem „Drei-beinprinzip“ (Tuber calcanei, Metatarsale 1 und 5 Köpfchen) und an neue biomechanische Untersuchungen mit erheblicher Belastung im zentralen Bereich (Metatarsale 2 und 3) an [25].

Frakturen der Kleinzehe haben für das normale Gehen dann eine Auswirkung wenn sie in deutlicher Fehlstellung verheilen [1, 25]. Die Frakturen der Kleinzehe sind überdurchschnittlich häufig mehrfragmentär, was bei der Diagnostik und Behandlung berücksichtigt werden muss [3]. Einige Frakturtypen werden häufiger beobachtet und können mit einem bestimmten Verletzungsmechanismus assoziiert sein [3].

Frakturen der Sesambeine sind Raritäten, die aber vor allem bei Dislokation nach dorsal mit Subluxation des Metatarsophalangealgelenks und Ruptur der plantaren Platte auch einer operative Therapie bedürfen können [3, 11, 14, 15]. Eine Abgrenzung zu anlagebedingten zweigeteilten Sesambeinen ist wichtig.

Frakturtypen

Metatarsale

Stressfrakturen

Stressfrakturen sind die physiologische Antwort auf repetitive Überlastung oder Verletzung [24]. Briehaupt beschrieb 1855 erstmals Metatarsalestressfrakturen bei Rekruten [9]. Metatarsalestressfrakturen haben die höchste Inzidenz bei Patienten mit intensivster körperlicher Betätigung wie Aerobic, Ballet, Tanzen oder Laufen [7, 10]. Die klinische Untersuchung zeigt meist punktuelle plantare Schmerzen, die belastungsabhängig sind [24]. Konventionelle Röntgenaufnahmen sind häufig wenig spezifisch. Spätere sichere Hinweise auf eine Stressfraktur sind Kallusbildung (Abb. 3). Falls sich die Diagnose kli-

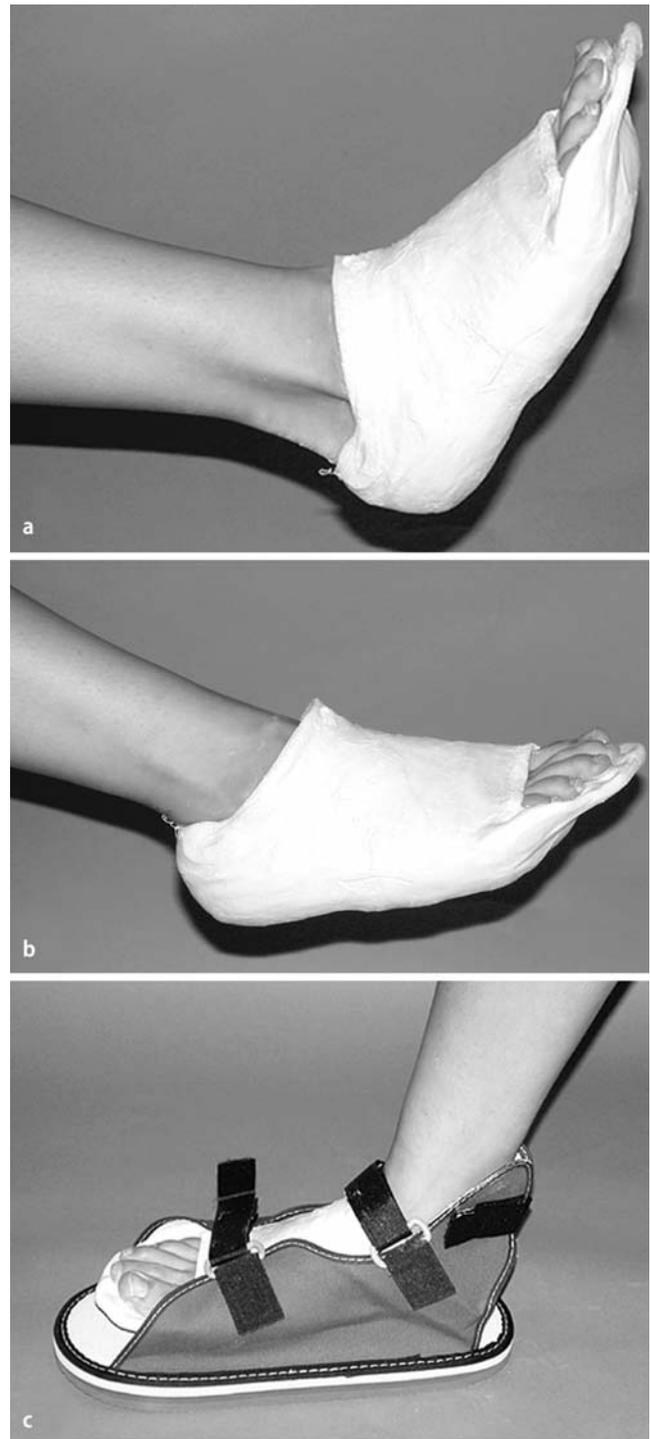


Abb. 1 Gips Schuh. Der Gips Schuh bewährt sich sehr bei allen konservativen und operativen Frakturversorgungen sowie Rekonstruktionen im Mittelfuß- und Vorfußbereich. Er erlaubt die volle Beweglichkeit im OSG und minimiert das Thrombose- und Embolierisiko bei erhaltener physiologischer Muskelpumpe des Unterschenkels. Die Laufsohle wird am Abend abgenommen und gewährleistet einen sauberen Gips Schuh (a und b OSG-Beweglichkeit im Gips Schuh; c Gips Schuh mit Laufsohle/Segeltuchschuh)



Abb. 2 Pflasterzügelverband



Abb. 3 Stressfraktur Metatarsale 2 im Ausheilungsstadium

nisch nicht sichern lässt, kann dies auch in der Frühphase durch MRT oder Szintigraphie erfolgen. Die Behandlung erfolgt bei inkompletten Frakturen durch Ruhigstellung im Gipsschuh oder in einer Orthese mit Entlastung für 4–6 Wochen. Bei kompletten Frakturen ist die operative Therapie indiziert (s. u. Metatarsale 5).

► **Gipsschuh (Abb. 1)** Der Gipsschuh bietet hohe Stabilität bei freier Beweglichkeit im OSG. Im Gips-

schuh ist keine medikamentöse Thromboseprophylaxe nötig. Eine Ruhigstellung im Unterschenkelgips erhöht das Thromboserisiko ohne wesentliche Stabilitätsverbesserung im Bereich der Metatarsalia und ist deshalb als obsolet anzusehen [20, 21, 25].

Köpfchenfrakturen

Köpfchenfrakturen imponieren meist durch Verkürzung, häufig mit Achsenabweichung oder Rotation kombiniert (Abb. 4). Der Verletzungsmechanismus ist häufig ein direkter Impakt. Beim Hängen bleiben an oder Tritt gegen Objekte ist eine begleitende Luxation im Metatarsophalangealgelenk nicht selten [15, 24]. Die geschlossene Reposition gelingt aufgrund der Einstauchung der Fragmente meist nicht und kann sogar die Fehlstellung eventueller intraartikulärer Fragmente vergrößern [24]. Falls die geschlossene Reposition bei größeren Fragmenten gelingt, sollte eine interne Fixation mit K-Drähten erfolgen. Die antegrade intramedulläre Einbringung der Drähte ist an den Metatarsalia generell vorteilhaft, da dabei die stabile Gelenkkapsel des Metatarsophalangealgelenks nicht penetriert werden muss (s. u.). Bei Gelenkbeteiligung ist eventuell auch die offene Reposition und interne Fixierung mit Schrauben oder kleinen (T-)Platten bzw. Miniimplantaten indiziert [11, 24]. Die postoperative Behandlung sollte auch für 6 Wochen im Gipsschuh unter Teilbelastung mit 15 kg (s. o.) erfolgen.

► Antegrade intramedulläre K-Drahtosteosynthese

(Abb. 4) Die antegrade intramedulläre Einbringung der Drähte ist an den Metatarsalia generell vorteilhaft, da dabei nicht wie bei der retrograden Technik die stabile Gelenkkapsel des Metatarsophalangealgelenks penetriert werden muss. Dies verursacht einerseits Probleme beim Einbringen der Drähte und andererseits bei liegenden Drähten Affektionen des Metatarsophalangealgelenks, wie Kapselreizung und schmerzhafte Bewegungseinschränkung. Die antegrade Technik entspricht dem Prinzip der Markdrahtung. Im Bereich der Metatarsalia ist diese Technik bei einfachen Schaft-, Hals- und extraartikulären Köpfchenfrakturen besonders günstig anwendbar. Bei intraartikulären oder mehrfragmentären extraartikulären Frakturen sollte eher ein offenes Verfahren gewählt werden. Für diese Frakturen kommt die retrograde Technik ebenfalls nicht in Frage.

Bei der antegraden Technik kommen 1,4–2,5 mm K-Drähte zum Einsatz, je nach Größe des Markraums. Es sollten prinzipiell immer 2 Drähte eingebracht werden, je einer von medial und lateral (am Metatarsale 5 beide von lateral). Die Drähte werden etwas vorgebogen und mit einem T-Handgriff versehen. Dann wird das Metatarsale am proximalen metaphysär-epiphysä-

Abb. 4 Dislozierte Köpfchenfrakturen der Metatarsale 2–4 im Rahmen eines Verkehrsunfalls, die nach beschriebener Technik mit antegrader Spickdrahtosteosynthese operativ versorgt wurden (**a** präoperative Röntgenaufnahmen; **b** postoperative Röntgenaufnahmen)



ren Übergang von dorsomedial und -lateral über eine Stichinzision mit einem Bohrer eröffnet. Der Bohrer sollte 0,2–0,5 mm dicker sein als der K-Draht und die Bohrrichtung sollte schräg nach distal geneigt sein. Die Gegenkortikalis sollte nicht penetriert werden. Dann werden die Drähte eingebracht. Dank der Biegung gelingt die Auffädung des distalen Fragments sehr einfach. Die Drähte werden dann bis in das Köpfchen vorgeschoben ohne die Kortikalis zu durchbrechen. Die Verankerung erfolgt im subchondralen spongiösen Knochen. Durch die Vorbiegung kann auch dann noch bei Köpfchen- oder Halsfrakturen durch Drehen des Drahts die Reposition verbessert werden. Die Drähte werden dann subkutan gekürzt.

Bei isolierten Frakturen kann die antegrade Technik auch in modifizierter Oberst-Anästhesie, d.h. mit Infiltration im Bereich der Metatarsalebasis erfolgen.

Subkapitale Frakturen

Hals- oder subkapitale Frakturen sind häufig disloziert, meist nach plantar und lateral (s. Abb. 4) [24]. Der typische Verletzungsmechanismus ist ein lateraler Schermechanismus oder ein schräger direkter Impakt [1, 17]. Bei nicht behobener erheblicher Fehlstellung können schmerzhafte Kallusbildungen oder sogar Pseudarthrosen auftreten [1]. Deshalb ist die geschlossene Reposition bei derartigen Fehlstellungen indi-

ziert. Durch Traktion unter Lokalanästhesie (modifizierte Oberst-Leitungsanästhesie) gelingt meist eine Verbesserung der Stellung, aber keine anatomische Reposition. Eine geringe Fehlstellung (10° Achsenknickung) ist akzeptabel [2, 15, 22]. Unbedingt sollte aber eine interne Fixierung mit K-Drähten erfolgen. Die antegrade intramedulläre Einbringung der Drähte ist der retrograden vorzuziehen (s. o.).

Schaftfrakturen

Schaftfrakturen sind am häufigsten Schrägfrakturen, wenn auch alle anderen Frakturmorphologien vorkommen. Verletzungsmechanismen sind direkter Impakt, Quetschverletzungen und indirekte Krafteinwirkung. Nicht oder gering verschobene Frakturen werden nichtoperativ mit Ruhigstellung im gespaltenen Gips Schuh behandelt. Nach Abschwellung der Weichteile erfolgt dann die Anlage eines geschlossenen Gips Schuhs für 6 Wochen. Im geschlossenen Gips Schuh kann voll belastet werden. Seitverschiebungen von mehr als 3 mm oder Achsenabweichungen oder Rotationsfehlstellungen von mehr als 10° sind nicht mehr tolerabel und bedürfen der Reposition [2, 15, 22]. Diese gelingt bei einfachen Frakturen meist geschlossen. Danach folgt eine antegrade intramedulläre K-Draht-Stabilisierung (s. o., Abb. 4). Bei Schräg- oder Spiralfrakturen mit nur zwei Frag-

menten und langem Frakturverlauf kann auch die Schraubenosteosynthese eine sinnvolle Option sein (Abb. 6). Bei mehrfragmentären Frakturen ist die offene Reposition und interne Plattenfixierung indiziert (Abb. 6). Als Implantate kommen 3,5 mm Drittelrohrplatten oder auch 2,7 mm Platten in Frage.

Basisfrakturen

Basisfrakturen sind meist Folge direkter Krafteinwirkung. Sie sind häufig Teil einer Lisfranc-Luxationsfraktur (s. u.) [16]. Falls wirklich eine isolierte Basisfraktur mit geringer Fehlstellung ohne Verletzung des Lisfrancgelenks vorliegt, kann die Behandlung meist nichtoperativ im Gipsschuh für 6 Wochen mit 15 kg Teilbelastung erfolgen.

Zehen

Frakturen in sagittaler Ebene

Diese Zehenfrakturen entstehen typischerweise durch forcierte Hyperextension oder -flexion [3]. Als weiterer Mechanismus sind direkte Krafteinwirkung, wie z. B. bei Barotraumen zu nennen. Diese Frakturen sind überdurchschnittlich häufig mehrfragmentäre oder sogar Trümmerfrakturen [1, 3, 14, 15].

Frakturen in transversaler Ebene

Abduktions-/Adduktionsmechanismen resultieren in Frakturen mit transversalem Verlauf. Die häufigste Verletzung dieser Typ ist die „Bettpfostenverletzung“ der Grundphalanx der 5. Zehe, wobei beim Hängenbleiben mit der Zehe am Bettpfosten ein forcierte Abduktion auftritt [3, 14]. Diese Frakturen ziehen häufig in das Metatarsophalangeal- oder Interphalangealgelenk (Abb. 9) [3, 14].

Frakturen in frontaler Ebene

Rotations- oder Inversions-/Eversionsmechanismen führen vor allem zu Frakturen mit frontalem Verlauf [3]. Diese Frakturtypen sind eher selten und beinhalten die Spiralfrakturen des Schafts. Dieser Frakturtyp ist eher instabil was die geschlossene Reposition und externe Ruhigstellung erschweren kann [1, 3].

Sesambeine

Stressfrakturen

Stressfrakturen der Sesambeine treten fast ausschließlich bei Sportlern auf [14]. Die differentialdiagnostische Abgrenzung zu lokaler Tendinitis,

Chondromalazie, Osteochondrose, avaskulärer Nekrose, Arthrose, Keratose oder Sesamoiditis kann klinisch schwierig sein [14]. Deshalb ist auch hier eine adäquate Röntgendiagnostik bedeutend [14].

Luxationsfrakturen

Luxationen und Luxationsfrakturen der Sesambeine stellen eine Besonderheit in Verbindung mit der dorsalen Subluxation oder Luxation des Metatarsophalangealgelenks dar [14, 15]. Diese Verletzungen beinhalten in der Regel eine Ruptur der sog. plantaren Platte die hierfür eine besondere Bedeutung hat (Abb. 11).

Metatarsale 1

Das Metatarsale 1 ist kürzer, breiter und mobiler als die zentralen Metatarsalia (2–4) [11]. Es trägt unter physiologischen Bedingungen die Hälfte des Körpergewichts [11]. Die Verbindung zum Tarsus ist weniger rigide als die der Metatarsalia 2 und 3. Obwohl Plantarflektion (über M. peroneus longus) und Dorsalexension (über M. tibialis anterior) im OSG biomechanisch auch auf das Tarsometatarsalgelenk 1 einwirken, ist die Beweglichkeit dort normalerweise limitiert [11]. M. peroneus longus wirkt im Bereich des Metatarsale 1 pronierend und M. tibialis anterior supinierend [11]. Veränderungen von Länge oder Ausrichtung des Metatarsale 1 haben somit neben einer Störung der Kraftweiterleitung nach distal mit Fehlbelastung der Sesambeine oder Metatarsale 2 auch Auswirkungen auf Vorfußpronation und -supination.

Metatarsale 1 Frakturen entstehen meist durch direkten Impakt. Aufgrund der hohen Stabilität des Metatarsale 1 ist die notwendige Krafteinwirkung so groß, dass häufig erhebliche Weichteilschäden bestehen [11].

Aufgrund der großen Bedeutung des Metatarsale 1 für die gesamte Biomechanik des Fußes sollte eine anatomische Reposition und stabile interne Fixierung angestrebt werden. Völlig unverschobene Frakturen können nichtoperativ für 6 Wochen im Gipschuh (s. o.) unter Teilbelastung mit 15 kg ruhig gestellt werden [24]. Bei einfachen verschobenen Frakturen sollte aber schon die geschlossene Reposition und antegrade intramedulläre K-Draht-Fixierung erfolgen (s. o.) [24]. Als Implantate sollten K-Drähte von 2,0–2,5 mm Dicke verwendet werden. Bei mehrfragmentären Frakturen ist die offene Reposition und interne Plattenfixierung indiziert (Abb. 5). Als Implantate kommen im Schaftbereich Drittelrohrplatten oder 3,5 mm LCDCP in Frage. Im metaphysären Bereich sind auch T-Platten sinnvoll. Um eine Narbenbildung im Bereich der dorsalen Sehnen zu

Abb. 5 Mehrfragmentäre Schaftfraktur Metatarsale 1, plattenosteosynthetische Versorgung (a und b präoperative Röntgenaufnahmen; c und d intraoperative Bildverstärkeraufnahmen)



vermeiden sollten die Platten medial angebracht werden [11]. Die postoperative Behandlung sollte auch für 6 Wochen im Gipschuh (s. o.) erfolgen.

Metatarsale 2–4

Eine wichtige Funktion der zentralen Metatarsalia (2–4) ist die Kraftweiterleitung beim Gang [11]. Diese Funktion ist aber nur bei anatomischer Stellung möglich. Die Verbindung von Metatarsale 2 zum Tarsus ist wesentlich stabiler als die der Metatarsalia 3 und 4, die auch beweglicher sind [11]. Damit trägt das Metatarsale 2 auch wesentlich mehr Last, was die größere Kortikalisdicke, aber auch die Häufigkeit

von Stressfrakturen erklärt (Abb. 3). Die Häufigkeit von Stressfrakturen des Metatarsale 2 steigt weiter an, wenn das Metatarsale 1 funktionell verkürzt oder hypermobil ist, oder auch bei funktioneller Gastrocnemiusverkürzung [11]. Die Diagnostik und Behandlung von Stressfrakturen ist oben beschrieben.

Akute Frakturen der zentralen Metatarsalia entstehen durch direkten Impakt oder indirekte Krafteinwirkung [11, 24].

Unverschobene Frakturen können nichtoperativ für 6 Wochen im Gipschuh (s. o.) unter Teilbelastung mit 15 kg ruhig gestellt werden. Bei einfachen verschobenen Frakturen ist die geschlossene Reposition und antegrade intramedulläre K-Draht-Fixierung adäquat (s. o.). Als Implantate sollten K-Drähte von 1,6–1,8 mm Dicke verwendet werden. Bei mehr-

fragmentären Frakturen ist die offene Reposition und interne Plattenfixierung indiziert. Als Implantate kommen im Schaftbereich Drittel- oder Viertelrohrplatten in Frage. Im metaphysären Bereich sind auch kleine T-Platten oder Miniimplantate sinnvoll. Die postoperative Behandlung sollte auch für 6 Wochen im Gips Schuh unter Teilbelastung (s. o.) erfolgen.

Metatarsale 5

■ Avulsionsfraktur (Abb. 6)

Die proximalen metaphysären Avulsionsfrakturen entstehen bei jüngeren Patienten meist beim Sport und beim Älteren durch Stürze. Der Verletzungsmechanismus ist meist ein Inversionstrauma [11]. Bei der klinischen Untersuchung besteht ein lokaler Druckschmerz, die Diagnosesicherung erfolgt mit konventionellen Röntgenaufnahmen in drei Ebenen (dorsoplantar, seitlich, schräg). Meist besteht nur eine geringe Verschiebung, die mit der Zeit nicht zunimmt. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Sehne des M. peroneus brevis nicht nur am Fragment ansetzt. Die Behandlung beinhaltet eine schmerzorientierte Ruhigstellung, zu Beginn im Gips Schuh unter Vollbelastung und nach etwa 2 Wochen Tragen eines Schuhs mit fester Sohle bis Nachlassen der Beschwerden.

Bei einer Verschiebung von mehr als 5 mm, schmerzhafter Prominenz des Fragments oder den wenigen Fällen mit verzögerter Fusion ist die opera-

tive Therapie im Sinne einer Zuggurtung indiziert (Abb. 8) Die postoperative Behandlung sollte dann für 6 Wochen im Gips Schuh erfolgen.

■ Jones Fraktur

Die akute extraartikuläre Fraktur am proximalen metaphysär-diaphysären Übergang wird als „Jones“-Fraktur bezeichnet [13]. Diese Frakturen werden meist durch indirekte Krafteinwirkung verursacht, und es besteht minimale Verschiebung. In diesen Fällen kann eine nichtoperative Behandlung mit Ruhigstellung für 6 Wochen im Gips Schuh unter Vollbelastung erfolgen [11]. Bei Verschiebung von mehr als 5 mm oder bei verzögerter Durchbauung ist eine operative Therapie mit Zuggurtung oder Schraubenosteosynthese indiziert. Die Schraube kann als bikortikale Zugschraube (3,5 mm Kortikalisschraube) oder als intramedulläre Zugschraube (3,5–4,5 mm Spongiosaschraube) eingebracht werden. Die operative Therapie kann bei Sportlern großzügiger indiziert werden. Die postoperative Behandlung kann im Schuh mit fester Sohle erfolgen.

■ Stressfrakturen

Metatarsale 5-Stressfrakturen sind bei Läufern, die ihr Trainingspensum schnell steigern, häufig [11]. Der „Verletzungsmechanismus“ ist die repetitive Belastung der lateralen Fußsäule. Diese Fehlbelastung

Abb. 6 Metatarsale 5 Schaftfraktur nach Treppensturz mit schrägem Frakturverlauf (a und b präoperative Röntgenaufnahmen mit; c und d postoperative Röntgenaufnahmen nach Schraubenosteosynthese)



kann auch durch Fehlstellungen wie Tibia-, Rückfußvarus oder Vorfußadduktionsfehlstellung hervorgerufen oder verstärkt werden [11]. Falls entsprechende Fehlstellungen bestehen, muss eine entsprechende Korrektur in die Therapie einbezogen werden.

Inkomplette Frakturen sollten 6 Wochen im Gipschuh unter Entlastung ruhig gestellt werden. Frakturen mit Sklerose oder komplette Frakturen, d.h. auch übersehene oder spät diagnostizierte Frakturen sowie Stressfrakturen mit verzögerter Heilung sollten aggressiv operativ behandelt werden. Dabei kommen intramedulläre Schrauben, Schrauben oder sogar Knochentransplantationen in Frage. Wichtig ist die absolut stabile Versorgung. Dabei kommen bei entsprechend dimensionierten Knochen sogar bis zu

6,5 mm Schrauben (bei Basketballspielern) zum Einsatz. Der Markraum wird zuvor entsprechend aufgebohrt. Sklerosezonen im Frakturbereich sollten entfernt werden mit anschließender Spongiosatransplantation vom Tibiakopf oder Beckenkamm. Bei entsprechender Frakturmorphologie ist auch der Einsatz von LC-Platten sinnvoll. Die postoperative Behandlung kann im Gipschuh mit 15 kg für 6 Wochen erfolgen [11].

■ Schaftfrakturen (Abb. 6 und 7)

Spiralfrakturen entstehen typischerweise durch indirekte Krafteinwirkung bei Supinationstrauma. Direk-

Abb. 7 Metatarsale 5 Schaftfraktur nach Supinationstrauma in deutlicher Fehlstellung mit mehreren Fragmenten (a und b präoperative Röntgenaufnahmen; c und d postoperative Röntgenaufnahmen nach Plattenosteosynthese)





Abb. 8 Metatarsale 5 Avulsionsfraktur mit Zuggurtungsosteosynthese (a präoperative Röntgenaufnahme; b 6 Wochen postoperativ)

te Krafteinwirkung führt eher zu Querfrakturen mit fakultativer Trümmerzone.

Unverschobene Frakturen können nichtoperativ für 6 Wochen im Gipsschuh (s.o.) unter Teilbelastung mit 15 kg ruhig gestellt werden. Bei einfachen verschobenen Frakturen ist die geschlossene Reposition und antegrade intramedulläre K-Draht-Fixierung adäquat (s.o.). Als Implantate sollten K-Drähte von 1,6–1,8 mm Dicke verwendet werden. Bei Schräg- oder Spiralfrakturen mit nur zwei Fragmenten und langem Frakturverlauf kann auch die Schraubenosteosynthese eine sinnvolle Option sein (Abb. 6). Bei mehrfragmentären Frakturen ist die offene Reposition und interne Plattenfixierung indiziert (Abb. 7). Als Implantate kommen 3,5 mm Drittelrohrplatten oder auch 2,7 mm Platten in Frage. Die postoperative Behandlung kann im Gipsschuh mit 15 kg für 6 Wochen erfolgen.

Zehen

Für normales Gehen sind gut verheilte Zehenluxationen und -frakturen genauso wichtig wie für jeden anderen Bruch des Fußes. Jede Luxation im Zehenbereich ist zügig zu reponieren, wobei eine Leitungsanästhesie meist nicht notwendig ist [25]. Nur bei Redislokationstendenz ist die temporäre Spickdrahtfixation für 3 Wochen notwendig. Luxationen und Frakturen der kleinen Zehen werden in der Regel nach Reposition gegen ihre Nachbarn hin mit Heftpflaster für 2–3 Wochen geschient (Abb. 2, 9) und rein funktionell behandelt. Nur bei Fraktur im Be-

reich der Grundphalangen kommt gelegentlich eine perkutane Spickdrahtfixation (Abb. 10), selten eine offene Osteosynthese mit Schrauben oder Spickdrähten in Frage, insbesondere nur dann, wenn es notwendig ist die Gelenkkongruenz wiederherzustellen [25]. Die Osteosynthese der Kleinzehen stellt aber eher eine Ausnahme dar, wie auch der geringe Anteil in unserem Patientengut der Jahre 1974–2004 mit 25 Osteosynthesen bei 423 Fällen mit Frakturen der Kleinzehen (5,9%) zeigt. Eine möglichst genaue anatomische Heilung unter Berücksichtigung funktioneller Nachbehandlung ist die Basis einer erfolgversprechenden Behandlung. Zur anatomisch korrekten Heilung, ganz besonders bei Gelenkbrüchen und zur Ermöglichung der funktionellen Nachbehandlung, sind Osteosynthesen gelegentlich unumgänglich. Die primäre Reposition bei konservativer Behandlung und/oder Osteosynthesen können nie unter günstigeren und risikoärmeren Bedingungen vorgenommen werden, als unmittelbar nach dem Unfall. Ödem und Blasenbildung der Haut als Ausdruck gestörter Durchblutung verbieten oft schon wenige Stunden später aktives Vorgehen. Unter strenger Hochlagerung muss dann die Abschwellung abgewartet werden bis dann die adäquate Reposition und Ruhigstellung erfolgen kann.

Sesambeine

Die Sesambeine sind in einem stabilen Kapselbandkomplex eingebettet (Abb. 11) [14]. Das mediale Sesambein ist größer als das laterale und ist wesentlich höher belastet. Die Sesambeine sind durch ein sehr stabiles Band miteinander verbunden. Über die Sesambeine werden die Kräfte des M. flexor hallucis brevis und des M. abductor hallucis. Die Führung ist durch stabile Kollateralbänder gegeben. Die Prävalenz der Zwei- oder Mehrteiligkeit für das mediale Sesambein liegt bei 10% mit 25% beidseitigem Vorkommen [14]. Die Zwei- oder Mehrteiligkeit des lateralen Sesambeins stellt eine Rarität dar [14].

Auch aufgrund der extrem geringen Fallzahlen von frischen Frakturen der Sesambeine existieren keine eindeutigen Behandlungsrichtlinien [14]. Bei wenig dislozierten Frakturen und normalen Aktivitätsanforderungen des Patienten ist sicherlich eine nichtoperative Therapie mit 6 Wochen 15 kg Teilbelastung im Gipsschuh die Therapie der Wahl [14]. Bei Sportlern kann auch hier eine osteosynthetische Versorgung indiziert sein [14]. Bei dislozierten Frakturen existieren uneinheitliche Empfehlungen, die von nichtoperativer Therapie über osteosynthetischer Versorgung mit oder ohne Spongiosaanlagerung bis hin zur Entfernung aller Fragmente bis auf das größte reichen [14].



Abb. 9 Typische „Bettpostenverletzung“ mit dislozierter Fraktur der proximalen Phalanx D5 mit Abduktionsfehlstellung (a klinisches Bild; b Röntgen-

aufnahmen bei initialer Diagnostik; c Röntgenaufnahmen nach Reposition). Die Ruhigstellung erfolgte mittels Pflasterzügelverband (s. Abb. 2).



Abb. 10 Intrartikuläre Fraktur der Grundphalanxbasis D3 (a Röntgenaufnahme bei initialer Diagnostik; b nach geschlossener Reposition und interner Fixierung mit K-Draht)

Wir favorisieren bei ausreichend großen Fragmenten die Schraubenosteosynthese. Bei Pseudarthrosen zwischen ausreichend großen Fragmenten kann neben der Schraubenosteosynthese auch die Anlagerung von autologer Spongiosa sinnvoll sein [4]. Bei kleineren Fragmenten kann im Verlauf bei Beschwerden die

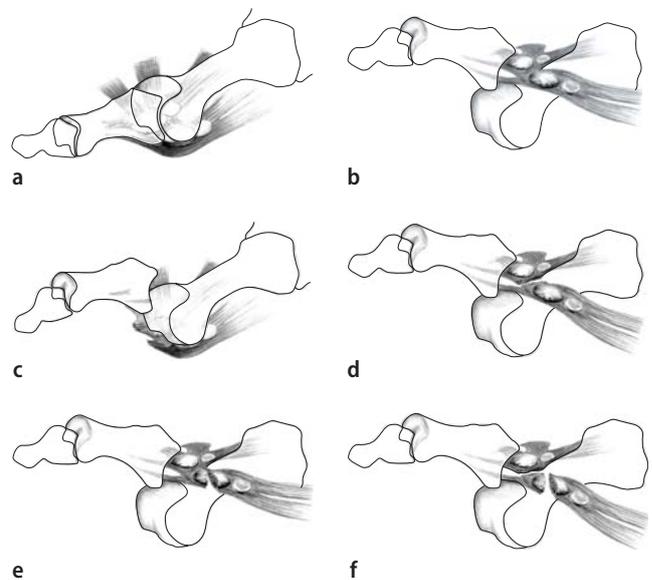


Abb. 11 Klassifikation der Luxation des Metatarsophalangealgelenks (a normale Anatomie; b Typ Ia; c Typ Ib; d Typ IIA; e Typ IIB; f Typ IIIC; aus [14])

Entfernung derselben sinnvoll sein. Allerdings sollte dann vor allem bei hohen Aktivitätsansprüchen die Rolle der Sesambeine als „Umlenkrolle“ der Flexoren berücksichtigt werden und ggf. eine entsprechende Rekonstruktion erfolgen [14]. Die vollständige Entfernung von Sesambeinen sollte deshalb auch nur entzündlichen Folgezuständen in Erwägung gezogen werden [14].

Eine spezielle Verletzung des Sesambeinkomplexes ist der sog. „Turf toe“ (Turf – Kunstrasen) [5]. Die Inzidenz dieser Entität stieg mit der zunehmenden Verbreitung von Mannschaftssportarten auf Kunstrasen an. Der Verletzungsmechanismus ist eine forcierte Hyperextension im Großzehengrundgelenk unter Belastung. Dadurch reißt im Extremfall die

plantare Platte mit resultierender dorsaler Subluxation oder Luxation des Großzehengrundgelenks mit fakultativer Dislokation der Sesambeine nach dorsal. Das wesentliche Ziel der Behandlung ist die Reposition der Sesambeine und des Großzehengrundgelenks. Falls dies nicht geschlossen gelingt besteht die Indikation zur operativen Therapie mit offener Reposition und Rekonstruktion der plantaren Platte [14]. Bei Sportlern ist die Indikation zur operativen Versorgung ggf. zur besseren Wiederherstellung der plantaren Platte großzügiger zu stellen. Der operative Zugang für die Sesambeine ist typischerweise ein medialer Zugang, ggf. als Hockeyschlägerschnitt mit distalem Schenkel nach plantar.

Kombinationsverletzungen

So genannte Kettenverletzungen, d.h. Frakturen mehrerer oder aller Metatarsalia sind Folge direkter Krafteinwirkung [17, 21]. Dadurch muss immer mit einem erheblichen Weichteiltrauma gerechnet werden. Deshalb muss auch ein Kompartmentsyndrom ausgeschlossen werden. Bei entsprechendem Verdacht sollte unbedingt die Messung der Kompartimentdrücke mit entsprechenden Geräten (z.B. Permanent Pressure Monitoring System, StrykerTM Corporation, Santa Clara, CA, USA) erfolgen. Als Grenze sehen wir eine Differenz zwischen Kompartimentdruck und diastolischem Blutdruck von 30 mmHg, d.h. bei geringerer Differenz liegt ein Kompartmentsyndrom vor und es muss eine Kompartmentspaltung erfolgen [8]. Bei Kettenverletzungen sollte eine interne Stabilisierung erfolgen. Aufgrund der Weichteilverhältnisse ist ein gering invasive Verfahren mit geschlossenen Reposition und interner K-Drahtfixation günstig [8]. Auch hier ist die antegrade K-Draht-Osteosynthese günstiger (s.o.). Bei entsprechenden Begleitverletzungen und notwendiger zeitsparender Versorgung kann im Ausnahmefall auch die einfachere und schnellere retrograde K-Draht-Osteosynthese erfolgen, evtl. auch mit teilweiser Transfixation des Lisfrancgelenks. Bei geringem Weichteilschaden oder im Intervall sollte bei entsprechender Frakturmorphologie eine angepasste Versorgung der einzelnen Metatarsalia wie bei den isolierten Verletzungen erfolgen (s.o.). Die post-

operative Behandlung kann im Gipsschuh mit 15 kg für 6 Wochen erfolgen.

Prognose

Die Prognose isolierter Vorfußfrakturen ist günstig [24]. Luxationen und Brüche im Bereich des Lisfrancgelenks sind in ihrer Bedeutung für die spätere Leistungsfähigkeit nicht zu unterschätzen [25]. Form und Funktion sind auch hier voneinander nicht zu trennen [25]. Bei Gelenkbeteiligung sind posttraumatische Arthrosen zu erwarten mit entsprechenden Beschwerden und erforderlichen Maßnahmen [24]. Die Prognose hängt auch besonders vom Ausmaß des initialen Weichteilschadens ab. Verzögerte Kompartmentspaltungen können zu Vorfußsteifigkeit, Kontraktion der intrinsischen Fußmuskulatur mit Entwicklung von Hammer- oder Krallenzehen, Fehlstellungen des Vorfußes und der Metatarsaleköpfe führen [21].

Prävention

Angesichts des typischen klinischen Verlaufs mit hohen Langzeitfolgen auch bei optimaler Behandlung spielt die Verletzungsprävention besonders bei Frakturen nahe des Lisfrancgelenks eine vordringliche Rolle [18]. Aufgrund der überwiegenden Entstehung dieser Verletzungen bei Verkehrsunfällen und insbesondere bei PKW-Insassen sollten hier präventive Maßnahmen überprüft und ggf. modifiziert werden. Die Verbesserung der Fahrzeugsicherheit der 90er Jahre führte zu geringerer Gesamtverletzungsschwere trotz steigender Unfallschwere [17]. Frakturen der Fußregion treten jedoch in unveränderter Häufigkeit und Verletzungsschwere auf [17]. Diese sind meistens durch die Deformierung des Fußraums bei Frontalkollisionen verursacht. Unter Berücksichtigung dieses typischen Unfallmechanismus ist daher eine Verringerung der Fußraumdeformierung zur Prävention essentiell [19]. Die Prävention von weiter distal gelegenen Verletzungen ist auch durch festes Schuhwerk oder bei entsprechender beruflicher Exposition durch Sicherheitsschuhe möglich [21].

Literatur

1. Anderson LD (1977) Injuries of the forefoot. Clin Orthop (122):18–27
2. Armagan OE, Shereff MJ (2001) Injuries to the toes and metatarsals. Orthop Clin North Am 32(1):1–10
3. Banks AS, Downey MS, Martin DE, Miller SJ (2001) McGlamry's comprehensive textbook of foot and ankle surgery. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
4. Biedert R, Hintermann B (2003) Stress fractures of the medial great toe sesamoids in athletes. Foot Ankle Int 24(2):137–141

5. Clanton TO, Ford JJ (1994) Turf toe injury. *Clin Sports Med* 13(4):731-741
6. DeLee JC, Evans JP, Julian J (1983) Stress fracture of the fifth metatarsal. *Am J Sports Med* 11(5):349-353
7. Eisele SA, Sammarco GJ (1993) Fatigue fractures of the foot and ankle in the athlete. *J Bone Joint Surg Am* 75(2):290-298
8. Fulkerson E, Razi A, Tejwani N (2003) Review: acute compartment syndrome of the foot. *Foot Ankle Int* 24(2):180-187
9. Greaney RB, Gerber FH, Laughlin RL, Kmet JP, Metz CD, Kilcheski TS, Rao BR, Silverman ED (1983) Distribution and natural history of stress fractures in US Marine recruits. *Radiology* 146(2):339-346
10. Gross TS, Bunch RP (1989) A mechanical model of metatarsal stress fracture during distance running. *Am J Sports Med* 17(5):669-674
11. Hansen ST Jr (2000) Functional reconstruction of the foot and ankle. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia Baltimore New York
12. Harper MC (1989) Metabolic bone disease presenting as multiple recurrent metatarsal fractures: a case report. *Foot Ankle* 9(4):207-209
13. Jones R (1902) Fracture of the base of the fifth metatarsal. *Ann Surg* 35:697-700
14. Mittlmeier T, Haar P (2004) Sesamoid and toe fractures. *Injury* 35(Suppl):287-2-97
15. Myerson MS (1991) Injuries of the forefoot and toes. In: Jahss MH (ed) *Disorders of the Foot*. WB Saunders, Philadelphia, pp 2233-2273
16. Richter M, Thermann H, Hufner T, Krettek C (2002) Aetiology, Treatment and Outcome in Lisfranc Joint Dislocations and Fracture Dislocations. *Foot Ankle Surg* 821-932
17. Richter M, Thermann H, Wippermann B, Otte D, Schratt HE, Tscherne H (2001) Foot fractures in restrained front seat car occupants: a long-term study over twenty-three years. *J Orthop Trauma* 15(4):287-293
18. Richter M, Wippermann B, Krettek C, Schratt E, Hufner T, Thermann H (2001) Fractures and Fracture Dislocations of the Midfoot - Occurrence, Causes and Long-Term Results. *Foot Ankle Int* 22(5):392-398
19. Richter M, Wippermann B, Thermann H, Schroeder G, Otte D, Troeger HD, Krettek C (2002) Plantar impact causing midfoot fractures result in higher forces in Chopart's joint than in the ankle joint. *J Orthop Res* 20(2):222-232
20. Richter M, Zech S, Frink M, Geerling J, Krettek C (2005) Vorfußfrakturen 2.-5. Strahl. *Fuss Sprungg* 370-383
21. Richter M, Zech S, Geerling J, Krettek C (2004) Metatarsalefrakturen. *Akt Traumatologie* 34(1):36-44
22. Shereff MJ (1990) Fractures of the forefoot. *Instr Course Lect* 39:133-140
23. Spector FC, Karlin JM, Scurran BL, Silvani SL (1984) Lesser metatarsal fractures. Incidence, management, and review. *J Am Podiatry Assoc* 74(6):259-264
24. Walter JH, Goss LR (2001) Metatarsal Fractures. In: Banks AS, Downey MS, Martin DE, Miller SJ (eds) *McClamry's Comprehensive Textbook of Foot and Ankle Surgery*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp 1775-1789
25. Zwipp H (1994) *Chirurgie des Fusses*. Springer Berlin Heidelberg New York, Wien New York