

M. Richter  
S. Zech  
M. Frink  
J. Geerling  
C. Krettek

## Vorfußfrakturen 2.–5. Strahl

### Forefoot fractures of the 2nd–5th ray

■ **Summary** Forefoot fractures of the 2nd–5th ray comprise approximately one half of all foot fractures. Metatarsal fractures are caused by direct impact or indirect force effect. The effecting forces can range from minor repetitive stress to massive destructive forces.

The clinical courses in metatarsal fractures and toe fractures of the 2nd–5th ray are typically favorable. The percentage of complications like infection or pseudarthrosis is low. The proximal area of the fifth metatarsal is an exception with a higher risk for pseudarthrosis. Posttraumatic deformations can lead to problems in all metatarsals. Differences in structure and function of the different metatarsals require an adapted management that is described in this overview.

■ **Key words** Fracture – forefoot – metatarsal – toe – osteosynthesis

■ **Zusammenfassung** Vorfußfrakturen des 2.–5. Strahls machen etwa die Hälfte aller Fußfrakturen aus. Sie werden durch direkten Impakt oder indirekte Krafteinwirkung verursacht. Die einwirkenden Kräfte können von einfa-

chem wiederholtem Stress bis zu komplexen Verletzungsmechanismen reichen.

Der Heilverlauf von Metatarsalefrakturen und Frakturen der Zehen des 2.–5. Strahls ist typischerweise günstig. Die Inzidenz von Komplikationen wie Infektionen oder Pseudarthrosenbildung ist gering. Ausnahme ist hier der proximale Schaftbereich von Metatarsale 5. Insgesamt können aber auch posttraumatische Fehlstellungen bei verheilten Metatarsalefrakturen Probleme verursachen. Struktur und Funktionsunterschiede zwischen den einzelnen Metatarsalia führen zu unterschiedlichem Management, das ebenfalls in dieser Übersichtsarbeit dargestellt wird.

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

Eingegangen: 4. Oktober 2004  
Akzeptiert: 15. November 2004

Priv.-Doz. Dr. med. Martinus Richter (✉)  
Unfallchirurgische Klinik  
Medizinische Hochschule Hannover  
Carl-Neuberg-Str. 1  
30625 Hannover, Germany  
Tel.: 05 11 / 5 32-21 73  
Fax: 05 11 / 5 32-21 75  
E-Mail:  
Richter.Martinus@MH-Hannover.de  
Homepage: <http://www.martinusrichter.de>

### Einleitung

Metatarsalefrakturen machen etwa ein Drittel aller Fußfrakturen aus [19]. Metatarsale 5 ist am häufigsten betroffen, gefolgt von Metatarsale 3, 2, 1 und 4 in Reihenfolge der sinkenden Häufigkeit [4]. Die Inzidenz von Stressfrakturen weicht von dieser Häufigkeitsverteilung ab [10]. Die zentralen Metatarsalia [2–4] sind davon häufiger betroffen als Metatarsale 1 und 5 [12]. Metatarsalefrakturen werden durch di-

rekten 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 [10, 12, 14].

Der Heilverlauf von Metatarsalefrakturen ist typischerweise günstig [20]. Die Inzidenz von Komplikationen wie Infektionen oder Pseudarthrosenbildung ist gering [20]. Ausnahme ist hier der proximale

Schaftbereich von Metatarsale 5 [20]. Insgesamt können aber auch posttraumatische Fehlstellungen bei verheilten Frakturen Probleme verursachen [20].

Struktur und Funktionsunterschiede zwischen den einzelnen Metatarsalia führen zu unterschiedlichem Management [9]. 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 „Dreibeinprinzip“ (Tuber calcanei, Metatarsale-1- und 5-Köpfchen) und an neue biomechanische Untersuchungen mit erheblicher Belastung im zentralen Bereich (Metatarsale 2 und 3) an [21].

Frakturen der Kleinzehen haben für das normale Gehen dann eine Auswirkung wenn sie in deutlicher Fehlstellung verheilen [1, 21]. Die Frakturen der Kleinzehen 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].

## Frakturtypen

### ■ Metatarsale

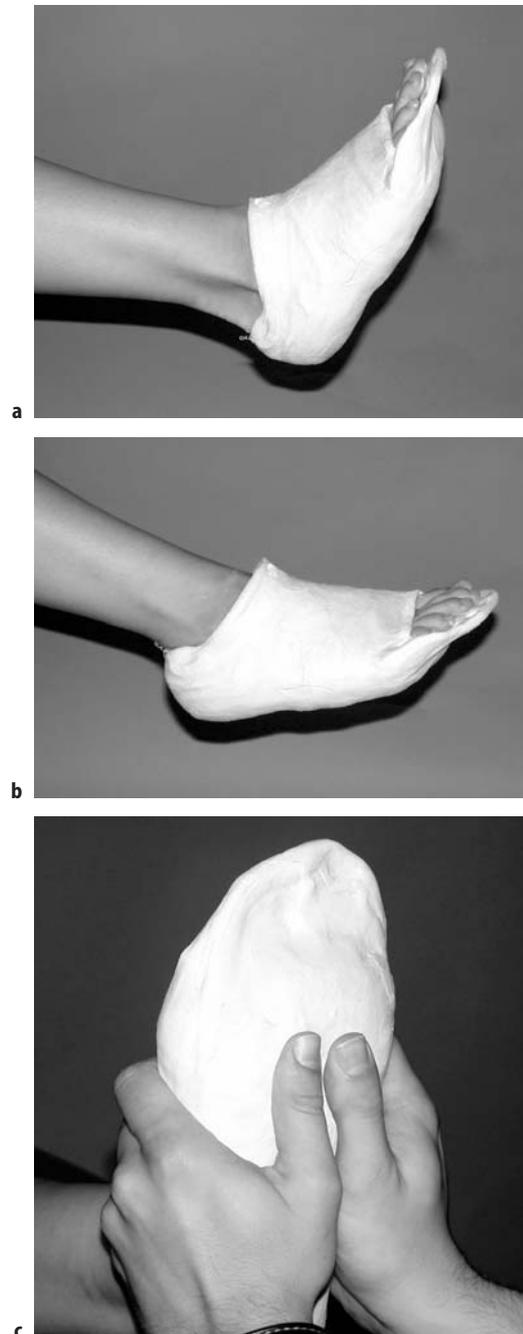
#### Stressfrakturen

Stressfrakturen sind die physiologische Antwort auf repetitive Überlastung oder Verletzung [20]. Briehaupt beschrieb 1855 erstmals Metatarsalestressfrakturen bei Rekruten [7]. Metatarsalestressfrakturen haben die höchste Inzidenz bei Patienten mit intensivster körperlicher Betätigung wie Aerobic, Ballet, Tanzen oder Laufen [5, 8]. Die klinische Untersuchung zeigt meist punktuelle plantare Schmerzen, die belastungsabhängig sind [20]. Konventionelle Röntgenaufnahmen sind häufig wenig spezifisch. Spätere sichere Hinweise auf eine Stressfraktur sind Kallusbildung (Abb. 3). Falls sich die Diagnose klinisch 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 Gipsschuh ist keine medikamentöse Thromboseprophylaxe nötig. Eine Ruhig-

stellung im Unterschenkelgips erhöht das Thromboserisiko ohne wesentliche Stabilitätsverbesserung im Bereich der Metatarsalia und ist deshalb als obsolet anzusehen [21].



**Abb. 1** Gipsschuh. Der Gipsschuh 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 Thrombembolierisiko bei erhaltener physiologischer Muskelpumpe des Unterschenkels. Die Laufsohle wird am Abend abgenommen und gewährleistet einen sauberen Gipsschuh. (a und b: OSG-Beweglichkeit im OSG in Gipsschuh; c: Anmodellieren des Gipsschuhs)



**Abb. 1 d** Gipsschuh mit Laufsohle/Segeltuchschuh



**Abb. 2** Pflasterzügelverband

### Köpfchenfrakturen

Köpfchenfrakturen imponieren meist durch Verkürzung, häufig mit Achsenabweichung oder Rotation kombiniert (s. Abb. 4). Der Verletzungsmechanismus ist häufig ein direkter Impakt. Beim Hängenbleiben an oder Tritt gegen Objekte ist eine begleitende Luxation im Metatarsophalangealgelenk nicht selten [20]. Die geschlossene Reposition gelingt aufgrund der Eintauchung der Fragmente meist nicht und kann sogar die Fehlstellung eventueller intraartikulärer Fragmente vergrößern [20]. 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 [9, 20]. Die postoperative Behandlung sollte



**Abb. 3** Stressfraktur Metatarsale 2 im Ausheilungsstadium

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 nämlich 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



**Abb. 4** Dislozierte Köpfchenfrakturen der Metatarsale 2–4 im Rahmen eines Verkehrsunfalls, die nach beschriebener Technik mit antegrader Spickdrahtosynthese operativ versorgt wurden. **a** Präoperative Röntgenaufnahmen

etwas vorgebogen und mit einem T-Handgriff versehen. Dann wird das Metatarsale am proximalen metaphysär-epiphysären 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.



**Abb. 4b** Postoperative Röntgenaufnahmen

### Subkapitale Frakturen

Hals- oder subkapitale Frakturen sind häufig disloziert, meist nach plantar und lateral (s. Abb. 4) [20]. Der typische Verletzungsmechanismus ist ein lateraler Schermechanismus oder ein schräger direkter Impakt [1, 14]. Bei nicht behobener erheblicher Fehlstellung können schmerzhafte Kallusbildungen oder sogar Pseudarthrosen auftreten [1]. Deshalb ist die geschlossene Reposition bei derartigen Fehlstellungen indiziert. Durch Traktion unter Lokalanästhesie (modifizierte Oberst-Leitungsanästhesie) gelingt meist eine Verbesserung der Stellung, aber keine anatomische Reposition. Eine geringe Fehlstellung ( $10^\circ$ -Achsenknickung) ist akzeptabel [2, 12, 18]. Unbedingt sollte aber eine interne Fixierung mit K-Drähten erfolgen. Die antegrade intramedulläre Einbringung der Drähte ist vorteilhaft (s. o.).

### Schaftfrakturen

Schaftfrakturen sind am häufigsten Schrägfrakturen, wenn auch alle anderen Frakturmorphologien vorkommen. Verletzungsmechanismen sind direkter Impact, Quetschverletzungen und indirekte Krafteinwirkung. Nicht oder gering verschobene Frakturen werden nichtoperativ mit Ruhigstellung im gespaltenen Gipsschuh behandelt. Nach Abschwellung der Weichteile erfolgt dann die Anlage eines geschlossenen Gipsschuhs für 6 Wochen. Im geschlossenen Gipsschuh kann voll belastet werden. Seitverschiebungen von mehr als 3 mm oder Achsenabweichungen oder Rotationsfehlstellungen von mehr als  $10^\circ$  sind nicht mehr tolerabel und bedürfen der Reposition [2, 12, 18]. 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 Fragmenten und langem Frakturverlauf kann auch die Schraubenosteosynthese eine sinnvolle Option sein (Abb. 5). 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.) [13]. 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.



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



**Abb. 6** Metatarsale 5 Schaftfraktur nach Supinationstrauma in deutlicher Fehlstellung mit mehreren Fragmenten. (a und b: präoperative Röntgenaufnahmen)



**Abb. 6** (c und d: postoperative Röntgenaufnahmen nach Plattenosteosynthese)

## ■ Kleinzehen

### 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 (Abb. 9). Diese Frakturen sind überdurchschnittlich häufig mehrfragmentäre oder sogar Trümmerfrakturen [1, 3].

### Frakturen in transversaler Ebene

Abduktions-/Adduktionsmechanismen resultieren in Frakturen mit transversalem Verlauf. Die häufigste Verletzung dieses Typs ist die „Bettpfostenverletzung“ der Grundphalanx der 5. Zehe, wobei beim



**Abb. 7** Metatarsale 5 Avulsionsfraktur mit Zuggurtungsosteosynthese. (a: präoperative Röntgenaufnahme; b: 6 Wochen postoperativ; c: Röntgen nach 2 Jahren)



Hängenbleiben mit der Zehe am Bettpfosten ein forcierte Abduktion auftritt [3]. Diese Frakturen ziehen häufig in das Metatarsophalangeal- oder Interphalangealgelenk (Abb. 8) [3].

#### 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 [3].

#### Metatarsale 2–4

Eine wichtige Funktion der zentralen Metatarsalia (2–4) ist die Kraftweiterleitung beim Gang [9]. 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 [9]. 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 [9]. Die Diagnostik und Behandlung von Stressfrakturen ist oben beschrieben.



**Abb. 8** Typische „Bettpostenverletzung“ mit dislozierter Fraktur der proximalen Phalanx D5 mit Abduktionsfehlstellung. (a: klinisches Bild, b: Röntgenaufnahmen bei initialer Diagnostik; c: Röntgenaufnahmen nach Reposition). Die Ruhigstellung erfolgte mittels Pflasterzügelverband (s. Abb. 2)

Akute Frakturen der zentralen Metatarsalia entstehen durch direkten Impakt oder indirekte Krafteinwirkung [9, 20].

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 mehrfragmentären 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 Gipsschuh unter Teilbelastung (s.o.) erfolgen.

## Metatarsale 5

### ■ Avulsionsfraktur (Abb. 5)

Die proximalen metaphysären Avulsionsfrakturen entstehen bei jüngeren Patienten meist beim Sport und beim Älteren durch Stürze. Der Verletzungsmechanismus ist meist ein Inversionstrauma [9]. 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 Gipsschuh 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 operative Therapie im Sinne einer Zuggurtung indiziert (Abb. 7). Die postoperative Behandlung sollte dann für 6 Wochen im Gipsschuh erfolgen.

### ■ Jones-Fraktur

Die akute Fraktur am proximalen metaphysär-diaphysären (extraartikulär) Übergang wird als „Jones“-Fraktur bezeichnet [11]. Diese Frakturen werden meist durch indirekte Krafteinwirkung verursacht, und es besteht minimale Verschiebung. In diesen Fällen kann eine nichtoperative Behandlung mit Ruhig-

stellung für 6 Wochen im Gipsschuh unter Vollbelastung erfolgen [9]. 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 [9]. Der „Verletzungsmechanismus“ ist die repetitive Belastung der lateralen Fußsäule. Diese Fehlbelastung kann auch durch Fehlstellungen wie Tibia-, Rückfußvarus oder Vorfußadduktionsfehlstellung hervorgerufen oder verstärkt werden [9]. 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 LCP-Platten sinnvoll. Die postoperative Behandlung kann im Gipschuh mit 15 kg für 6 Wochen erfolgen [9].

### ■ Schafffrakturen (Abb. 5 und 6)

Spiralfrakturen entstehen typischerweise durch indirekte Krafteinwirkung bei Supinationstraumen. Direkte Krafteinwirkung führt eher zur Querfrakturen mit fakultativer Trümmerzone.

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-Fixie-

rung 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. 5). 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. Die postoperative Behandlung kann im Gipschuh mit 15 kg für 6 Wochen erfolgen.

### Kleinzehen

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 [21]. Nur bei Redisllokationstendenz 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 Heft-



**Abb. 9** Intraartikuläre Fraktur der Grundphalanxbasis D3. (a): Röntgenaufnahme bei initialer Diagnostik; b: nach geschlossener Reposition und interner Fixierung mit K-Draht)

pfaster für 2–3 Wochen geschient (Abb. 2, 6) und rein funktionell behandelt. Nur bei Fraktur im Bereich der Grundphalangen kommt gelegentlich eine perkutane Spickdrahtfixation (Abb. 9), selten eine offene Osteosynthese mit Schrauben oder Spickdrähten in Frage, insbesondere nur dann, wenn es notwendig ist die Gelenkkongruenz wiederherzustellen [21]. Die Osteosynthese der Kleinzehe 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 Kleinzehe (5,9%) zeigt. Eine möglichst genaue anatomische Heilung unter Berücksichtigung funktioneller Nachbehandlung ist die Basis einer Erfolg versprechenden 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.

## Kombinationsverletzungen

### ■ Frakturen (Abb. 10)

So genannte Kettenverletzungen, d.h. Frakturen mehrerer oder aller Metatarsalia sind Folge direkter Krafteinwirkung (Abb. 8) [14]. 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, Stryker<sup>TM</sup> 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 erfolgt eine Kompartimentspaltung [6]. Bei Kettenverletzungen sollte eine interne Stabilisierung erfolgen. Aufgrund der Weichteilverhältnisse ist ein gering invasives [6] Verfahren mit geschlossenen Reposition und interner K-Drahtfixation günstig. 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 (Abb. 11). 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 postoperative Behandlung kann im Gipsschuh mit 15 kg für 6 Wochen erfolgen.

### ■ Lisfranc-Luxationsfrakturen (Abb. 11)

Das Lisfrancgelenk hat biomechanisch eine Schlüssel-funktion zwischen Vorfuß und Mittelfuß. Es ist Zentrum, Schaltstelle und ein wichtiger Garant der dynamischen (1. Strahl) und statischen (2.–5. Strahl) Stabilität des Längs- und Quergewölbes des Fußes [21].

Eine Lisfrancluxation oder -luxationsfraktur ist eine meist einseitige, geschlossene Verletzung, die größtenteils bei Verkehrsunfällen und hierbei überwiegend bei PKW-Insassen auftritt und erfahrungsgemäß Folge einer direkten Gewalteinwirkung ist [13].

Nur 10% sind isolierte Verletzungen, etwa jeder 5. Patient ist polytraumatisiert. In 75% bestehen Begleitfrakturen der unteren Extremität. 25% sind reine Lisfrancluxationen, 50% Lisfrancluxationsfrakturen und 25% kombinierte Chopart-Lisfranc-Luxationsfrakturen. In etwa 25% ist ein Kompartmentsyndrom des Fußes zu erwarten [13]. Begleitfrakturen der Metatarsalia liegen in etwa 50% vor [13]. Diese sind in der Hälfte der Fälle basisnah und in je einem Viertel im Schaft- oder Köpfchenbereich lokalisiert [13].

Behandlungsziel ist die initiale anatomische Reposition und Retention um eine frühfunktionelle Rehabilitation zu ermöglichen. Eine geschlossene Reposition ist nur in wenigen Fällen mit reiner Luxation anatomisch möglich. Die offene Reposition erfolgt über ein bis zwei dorsale Inzisionen. Als Repositionshilfe ist aktuell die dreidimensionale intraoperative Bildgebung besonders empfehlenswert (Abb. 11).

Nach geschlossener Reposition kann bei guter Gelenkstabilität eine Retention mittels Gipsschuh (s.o.) erfolgen. In den meisten Fällen ist jedoch eine interne Fixation mit K-Drähten erforderlich. Nach offener Reposition erfolgt eine interne Fixation mit K-Drähten und/oder -Schrauben. Bei erheblicher Gelenkzerstörung sollte eine primäre teilweise oder vollständige Arthrodesen erfolgen, da diese bessere Ergebnisse erzielt als eine sekundäre Arthrodesen [13]. Dabei muss nicht eine komplette Gelenkversteifung erfolgen. Die funktionellen Ergebnisse nach isolierter Versteifung der medialen oder lateralen Säule sind



**Abb. 10** Metatarsale-Kettenverletzung mit Beteiligung aller 5 Metatarsalia. Es erfolgte eine offene Reposition, da ohnehin eine Kompartmentspaltung erforderlich war, danach Spickdrahtosteosynthese mit temporärer Transfixation des Lisfrancgelenks. Aufgrund des kritischen Gesamtzustandes des Patienten erfolgte dieser Eingriff in großer Eile mit Akzeptanz eines nicht optimalen Repositionsergebnisses. Der Patient verstarb drei Tage nach dem Eingriff. (a: präoperative Röntgenaufnahme; b und c: postoperative Röntgenaufnahmen)



besser als nach kompletter Versteifung [17]. Das operative Vorgehen ist analog zur temporären Schraubentransfixation. Abweichend hiervon muss eine komplette Entknorpelung der zu versteifenden Gelenke erfolgen und die Schrauben sollten als Zugschrauben eingebracht werden. Zur Stabilitätserhöhung kann eine Verschraubung der Cuneiformia in mediolateraler Richtung hilfreich sein. Die Schrauben werden üblicherweise nur bei Auftreten lokaler Beschwerden entfernt. Schraubenbruch ist ein Hinweis auf fehlende Fusion. Nach interner Fixation Anlage eines gespaltenen Gipschuhs, Gipsverschluss nach Abschwellung. Bei polytraumatisierten Patienten (ca. 20%) ist die Anlage eines Fixateur externe (Tibia, Metatarsale 1 und 4) eventuell sinnvoller, da dieser besser zur intensivmedizinischen Therapie geeignet ist.

## Prognose

Die Prognose isolierter Metatarsalerverletzung ist günstig [20]. Bei Gelenkbeteiligung sind posttraumatische Arthrosen zu erwarten mit entsprechenden Beschwerden und erforderlichen Maßnahmen [20].

Bei Lisfranc-Läsionen führen alle relevanten Gelenkverwerfungen und/oder Verkürzungen der medialen bzw. lateralen Fußsäule ohne primär-rekonstruktiven Eingriff in der Regel zur posttraumatischen Arthrose, Valgus-/Varusfehlstellung des Vorfußes, Hemmung der Pronation bzw. Supination und/oder der Dorsal-/Plantarflexion [13]. Bei primärer Knorpelzerstörung sind posttraumatische Arthrosen relativ häufig zu sehen, die in der Regel aber besser toleriert werden als in anderen Gelenkabschnitten des Fußes. Dennoch können daraus resultierende Belastungsschmerzen eine Arthrodesis der betroffenen Gelenkabschnitte erfordern.

Die Prognose hängt auch besonders vom Ausmaß des initialen Weichteilschadens ab. Rasche Kompart-



**Abb. 11** Homolaterale laterale Lisfranc-Luxationsfraktur 1.–5. Strahl, Metatarsale 3 Halsfraktur. Offene Reposition und interne K-Drahtfixation mit temporärer Transfixation des Lisfrancgelenks und Transfixation Metatarsale 5 auf

Metatarsale 4 und 3. Intraoperative Evaluation der Reposition und internen Fixation mit dreidimensionaler Bildgebung (ISO-C-3D, Siemens AG). (a und b: präoperative Röntgenaufnahmen; c und d: postoperative Röntgenaufnahmen)

mentspaltung, anatomische Rekonstruktion und temporäre stabile Transfixation lassen ein dauerhaft gutes Resultat erzielen. Verzögerte Kompartmentspaltung, unzureichende konservative oder semioperative Behandlung mit perkutaner Spickdrahtfixation insbesondere ohne exakte Reposition der gesamten Lisfranc-Linie können Vorfußsteifigkeit, Kontraktion der intrinsischen Fußmuskulatur mit Entwicklung von Hammerzehen, Fehlstellungen des Vorfußes und

der Metatarsaliaköpfchen zurücklassen. Darüber hinaus können sie zu einer frühen posttraumatischen Arthrose führen, die dann oftmals nur durch korrigierende Eingriffe beherrschbar sind.

Luxationen und Brüche im Bereich des Fußes distal der Lisfranc-Reihe sind in ihrer Bedeutung für die spätere Leistungsfähigkeit nicht zu unterschätzen [21]. Form und Funktion sind auch hier voneinander nicht zu trennen [21].

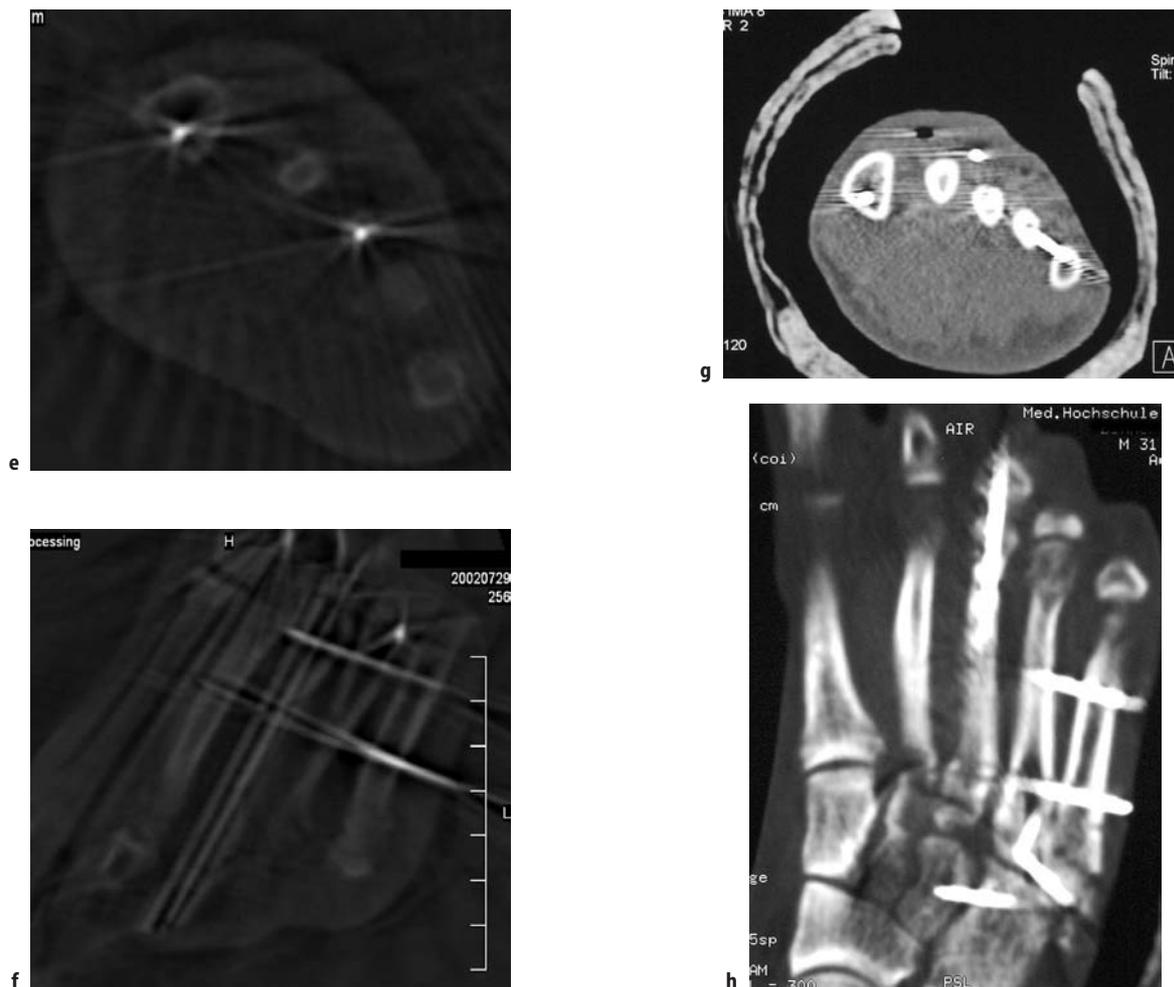


Abb. 11 (e und f: intraoperative dreidimensionale Bildgebung mit ISO-C-3D; g und h: postoperatives CT)

## Prävention

Angesichts des typischen klinischen Verlaufs mit hohen Langzeitfolgen auch bei optimaler Behandlung spielt die Verletzungsprävention besonders bei Lisfranc-Luxationsfrakturen eine vordringliche Rolle [15]. Aufgrund der überwiegenden Entstehung dieser Verletzungen bei Verkehrsunfällen und insbesondere bei PKW-Insassen sollten hier präventive Maßnahmen überprüft und ggf. modifiziert werden. Die Ver-

besserung der Fahrzeugsicherheit der 90er Jahre führte zu geringerer Gesamtverletzungsschwere trotz steigender Unfallschwere [14]. Frakturen der Fußregion treten jedoch in unveränderter Häufigkeit und Verletzungsschwere auf [14]. 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 [16].

## 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. 3rd ed. Lippincott Williams & Wilkins, Lippincott, Philadelphia
4. DeLee JC, Evans JP, Julian J (1983) Stress fracture of the fifth metatarsal. *Am J Sports Med* 11(5):349–353
5. Eisele SA, Sammarco GJ (1993) Fatigue fractures of the foot and ankle in the athlete. *J Bone Joint Surg Am* 75(2):290–298
6. Fulkerson E, Razi A, Tejwani N (2003) Review: acute compartment syndrome of the foot. *Foot Ankle Int* 24(2):180–187
7. Greaney RB, Gerber FH, Laughlin RL, Kmet JP, Metz CD, Kilcheski TS et al (1983) Distribution and natural history of stress fractures in US Marine recruits. *Radiology* 146(2):339–346
8. Gross TS, Bunch RP (1989) A mechanical model of metatarsal stress fracture during distance running. *Am J Sports Med* 17(5):669–674
9. Hansen STJ (2000) Functional reconstruction of the foot and ankle. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia Baltimore New York
10. Harper MC (1989) Metabolic bone disease presenting as multiple recurrent metatarsal fractures: a case report. *Foot Ankle* 9(4):207–209
11. Jones R (1902) Fracture of the base of the fifth metatarsal. *Ann Surg* 35:697–700
12. Myerson MS (1991) Injuries of the forefoot and toes. In: Jahss MH (ed) *Disorders of the Foot*. WB Saunders, Philadelphia, pp 2233–2273
13. Richter M, Thermann H, Hufner T, Krettek C (2002) Aetiology, treatment and outcome in lisfranc joint dislocations and fracture dislocations. *Foot Ankle Surg* 8:21–32
14. Richter M, Thermann H, Wippermann B, Otte D, Schrott 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
15. Richter M, Wippermann B, Krettek C, Schrott 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
16. Richter M, Wippermann B, Thermann H, Schroeder G, Otte D, Troeger HD et al (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
17. Schrott E, Thermann H, Fröhlich S, Meier R, Richter M, Wippermann B (1999) Funktionelle Langzeitergebnisse nach Versteifungsoperation der tarso-metatarsalen Gelenkreihe. Hertel P, Rehm KE (eds) 63. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., 17.–20. 11. 1999, Berlin, Abstracts. Hefte zu der Unfallchirurgie 275:257–258. Springer, Berlin Heidelberg New York
18. Shereff MJ (1990) Fractures of the forefoot. *Instr Course Lect* 39:133–140
19. Spector FC, Karlin JM, Scurren BL, Silvani SL (1984) Lesser metatarsal fractures. Incidence, management, and review. *J Am Podiatry Assoc* 74(6):259–264
20. 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
21. Zwipp H (1994) *Chirurgie des Fußes*. 1st edition ed. Wien New York; Springer, Berlin Heidelberg New York