

Erstbehandlung von Frakturen mit offenem und geschlossenem Weichteilschaden

■ Thomas Lein, Klaus-Jürgen Engler, Falko Moritz, Felix Bonnaire

Zusammenfassung

Offene Knochenbrüche sind ernste unfallchirurgische Notfallsituationen. Sie verlangen von allen Beteiligten ein dringliches und wohlüberlegtes effizientes Handeln. Die Taktik der Versorgung in den ersten Stunden kann über völlige Heilung (*restitutio ad integrum*) oder lebenslange Invalidität entscheiden. Das Erkennen des vorliegenden Gewebetraumas und die daraus resultierenden therapeutischen Konsequenzen erweisen sich im gesamten Management als problematische Schnittstelle. Dies gilt für offene Frakturen wie auch für Frakturen mit einem geschlossenen Weichteilschaden, da hier das Erkennen des Ausmaßes der Schädigung noch schwieriger ist. Eine sichere und rasche Knochenbruchheilung ist nur bei vitalem Weichteilmantel erreichbar. Es gilt daher, eine sekundäre Schädigung der Weichteile sowohl frakturbedingt als auch iatrogen zu vermeiden. Durch verbesserte Kenntnisse der Weichteilversorgung konnte die Komplikationsrate in der Versorgung gesenkt werden, und die Indikation zu primär internen Verfahren kann heute weiter gestellt werden. Bei Brüchen mit

erheblichem Weichteilschaden war lange Zeit nach Débridement im Regelfall eine äußere Stabilisierung mit Fixateur externe und nachfolgende Wundabdeckung der unmittelbaren definitiven Frakturversorgung vorzuziehen und die weitere Versorgung durch ein individuell abgestuftes Therapiekonzept zu bestimmen. Minimalinvasive Platten- oder Nagelsysteme haben hier zu einem Umdenken geführt und können unter Beachtung der vorliegenden Konditionen auch in der Primärversorgung von Frakturen mit begleitendem Weichteilschaden zur Anwendung kommen.

Primary Treatment of Fractures with Open and Closed Soft-Tissue Lesions

Open bone fractures constitute serious emergency situations in trauma surgery. They demand an urgent and well considered management by all involved medical personnel. The treatment strategy chosen in the first hours can decide between complete cure (*restitutio ad integrum*) or life-long invalidity. The recognition of the actually existing tissue trauma and the therapeutic consequences based thereupon represent a problematic interface in

the entire management plan. This holds equally for open fractures as well as for fractures with closed soft-tissue damage. In the latter case, recognition of the extent of the lesion is even more difficult. A rapid and certain healing of the bone fracture is only possible with a vital soft-tissue cover. It is thus extremely important to avoid secondary damage to the soft tissues due to the fracture or of an iatrogenic nature. The improved knowledge of soft-tissue management can reduce the incidence in complications in trauma care and today allows a broader indication for primary closed procedures. For a long time in cases of fractures, the preferred treatment involved debridement followed in general by an external stabilisation with an external fixateur and subsequent wound coverage rather than a direct definitive fracture management. Further treatment is determined by an individually adapted therapy concept. Minimally invasive plate or nailing systems have now led to a reconsideration of the situation and such systems can also be used in the primary management of fractures with accompanying soft-tissue lesions in dependence on the actual situation.

Einleitung

Weichteilschäden sind abhängig von

- dem vorausgegangenem Trauma,
- der vorliegenden Fraktur,
- dem Grad der Dislokation sowie
- der Körperregion.

Sie bestimmen häufig den Verlauf der Behandlung und erfordern vom behandelnden Unfallchirurgen/Orthopäden

umfangreiche Kenntnisse, klinische Erfahrung und ein klares, prioritätenorientiertes Behandlungskonzept [1]. Als wesentliche Voraussetzungen sind neben dem Verständnis der pathophysiologischen Abläufe zusätzlich klare Leitlinien, Handlungsabläufe und Algorithmen für die präklinische und klinische Therapiekette erforderlich. Dabei sind folgende Behandlungsziele anzustreben:

- Prävention der Infektion
- Sanierung der Weichteile
- ungestörte Frakturheilung
- Wiederherstellung der optimalen Funktion.

Insbesondere die Fraktur mit schwerem Gewebeschaden muss unter Berücksichtigung des gesamten Spektrums moderner rekonstruktiver Unfallchirurgie erfasst und behandelt werden. Ein primär zu erstellendes Gesamtkonzept – welches im Verlauf durchaus adaptiert werden kann – ist hierfür unverzichtbar [56, 59]. Nur durch korrektes, zeitgerechtes Handeln unter Abwägung und situationsgerechter Anwendung der heute zur Verfügung stehenden Techniken zur knöchernen und zur Weichteilrekonstruktion lassen sich Heilverläufe optimieren

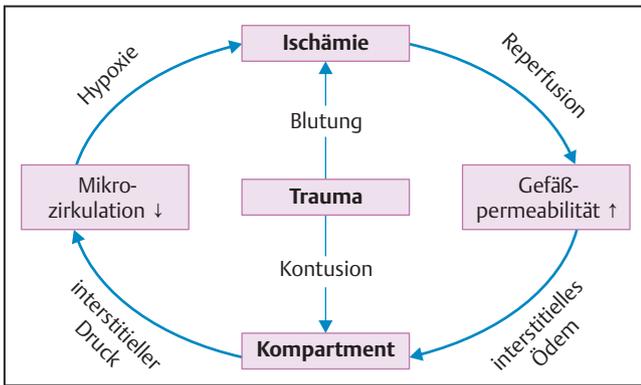


Abb. 1 Pathophysiologische Vorgänge bei traumatischem Gewebeschaden (nach [56]).

und für Patienten, Arzt und nicht zuletzt den Kostenträger optimale Behandlungsergebnisse erzielen.

Weichteilschäden bestimmen häufig den Verlauf der Behandlung und erfordern vom behandelnden Unfallchirurgen/Orthopäden umfangreiche Kenntnisse, klinische Erfahrung und ein klares, prioritätenorientiertes Behandlungskonzept.

Pathophysiologie des Weichteilschadens

Die Gewalteinwirkung beim Eintreten eines Knochenbruchs bedingt eine mehr oder weniger ausgeprägte Dislokation der meist scharfkantigen Frakturrenden, die im Moment des Traumaereignisses sehr hoch sein kann. Ein direktes Trauma kann eine Deperiostierung des Knochens und Muskelzerreißen bis hin zu Ablederungen, Kompressionen und Verletzungen neurovaskulärer Strukturen verursachen. Das indirekte Trauma ist häufig weniger energetisch und führt im Regelfall zu längeren Schräg- oder Spiralfrakturen. Knochenkanten können den Hautmantel von innen perforieren oder kontusionieren und unter erhebliche Spannung setzen. Das primäre Trauma an sich bedingt einen Gewebsschaden, der zur Freisetzung von Entzündungsmediatoren führt [8]. Daraus resultiert, z.T. unterstützt durch die Ausbildung von Thrombozytenaggregaten und Mikrothromben sowie die Aktivierung des Komplementsystems und der Makrophagen, eine Hypoxie verbunden mit einer Azidose. Diese führt über eine Permeabilitätsstörung im Kapillargebiet zu einem interstitiellen Ödem mit erhöhtem interstitiellen Druck und Kompression der Gefäße, was im Sinne eines Circulus vitiosus Hypoxie und Azidose begünstigt (**Abb. 1**). Bei schwer verletzten Patienten mit allgemeiner Hypoxie wird der Gewebsschaden in der Peripherie zusätzlich verstärkt. Jede weitere me-

chanische Einengung (Haut, Faszien, Verbände) führt zu weiterer Druckerhöhung im Weichteilverbund und steigert die katastrophale Gewebslage. Dieser insgesamt als sekundärer Weichteilschaden bezeichnete Vorgang bedingt eine hochgradige metabolische Entgleisung im geschädigten Gewebe, erhöht dadurch die Infektbereitschaft und verschlechtert die Heilungsbedingungen [39].

Der sekundäre Weichteilschaden bedingt eine hochgradige metabolische Entgleisung im geschädigten Gewebe, erhöht dadurch die Infektbereitschaft und verschlechtert die Heilungsbedingungen.

Klassifikation

Voraussetzung für die wirksame Behandlung und den Vergleich verschiedener Therapieformen ist die möglichst genaue Einschätzung des Weichteilschadens. Diese Forderung ist trotz zahlreicher Klassifikationssysteme außerordentlich schwierig geblieben [36,37]. Eine Klassifikation sollte einfach und umfassend sein und darüber hinaus auch Hinweise für therapeutische Konsequenzen beinhalten [38]. Beide Forderungen sind mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln gleichzeitig kaum zu erfüllen. Der Versuch der Erfassung möglichst vieler Merkmale und möglicher Kofaktoren führt unweigerlich zu wenig handhabbaren Klassifikationskatalogen, die sich im klinischen Alltag als wenig praktikabel erweisen. Bei offenen Frakturen ist die Klassifikation nach Gustilo in ihrer für die drittgradigen Frakturen erweiterten Form am meisten verbreitet [14,15] (**Abb. 2, Tab. 1**). Wenngleich beim offenen Weichteilschaden eine Kontinuitätsdurchtrennung der Haut im Zusammenhang mit der Frakturzone vorliegt, kann ein Großteil des Weichteilschadens unter vermeintlich intakten Weichteilen verborgen bleiben. Die Größe der Haut-



Abb. 2 a bis e a Klinisches Bild bei Fragmentdurchspießung von innen – I° offene Fraktur. b II° offene Luxationsfraktur des oberen Sprunggelenks. c OIIIB-Verletzung nach Gustilo [15] am Unterschenkel. d Subtotale Amputationsverletzung eines Fußes. e Amputationsverletzung im Ellenbogengelenk.

wunde erscheint deshalb nicht als allein ausreichendes Klassifizierungsmerkmal. Die Grenze einer OIIIC-Faktur nach Oestern und Tscherne hin zur Amputationsverletzung stellt sich häufig unscharf dar [11]. Die Bezeichnung „subtotale Amputation“ wurde vom „Replantation Committee of the International Society for Reconstructive Microsurgery“ folgendermaßen definiert: Durchtrennung der wichtigsten anatomischen Strukturen,

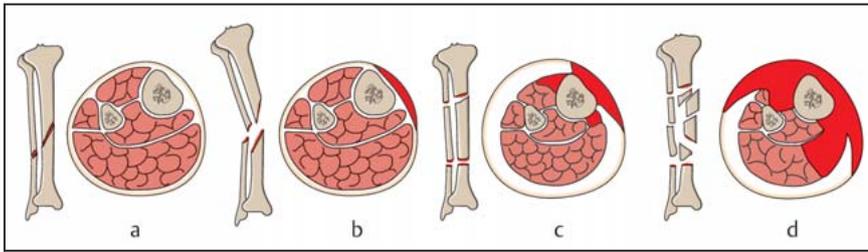


Abb. 3 a bis d Schematische Darstellung des geschlossenen Weichteilschadens nach [36]. **a** Einfache Fraktur ohne Dislokation, kein Weichteilschaden. **b** Dislozierte Schrägfraktur der Tibia mit geschlossenem Weichteilschaden Grad I. **c** Unterschenkelstückbruch mit II° gedecktem Weichteilschaden. **d** Trümmerfraktur mit schwerstem gedecktem Weichteilschaden (G III).

Tab. 1 Klassifikation von Frakturen mit offenem Weichteilschaden (nach Gustilo [14, 15]).

OI	Komplikationswunde	< 1 cm
OII	Komplikationswunde	> 1 cm
OIII	schwere Weichteilzerreiung	
OIIIA	Offene Fraktur mit ausreichender Weichteilbedeckung ungeachtet der schweren Weichteilzerreiung. Rasanztraumen, ungeachtet der Größe der Kontaminationswunde.	
OIIIB	Offene Fraktur bei ausgedehnter Weichteilverletzung mit Deperiostierung und Knochenexposition. In der Regel einhergehend mit massiver Kontamination.	
OIIIC	Offene Fraktur mit arterieller Gefäßverletzung und erforderlicher Gefäßrekonstruktion.	

Tab. 2 Klassifikation von Frakturen mit geschlossenem Weichteilschaden (nach Tscherne und Oestern [53]).

G0	Keine, fehlende oder nur unbedeutende Weichteilverletzung.	Die Fraktur umfasst einfache Bruchformen, d. h. Frakturen, die durch indirekte Verletzungsmechanismen entstanden sind. Beispiel: pathologische Fraktur
G1	Oberflächliche Schrfung oder Kontusion durch Fragmentdruck von innen.	Einfache und mittelschwere Bruchformen. Beispiel: Unterschenkelspiralbruch des Skifahrers
GII	Tiefe, kontaminierte Schrfung sowie lokalisierte Haut- oder Muskelkontusion aufgrund eines entsprechenden direkten Traumas. Ferner: drohendes Kompartmentsyndrom.	In der Regel direktes Trauma mit mittelschweren bis schweren Bruchformen. Beispiel: Stostangenanprall
GIII	Ausgedehnte Hautkontusion, Hautquetschung oder Zerstörung der Muskulatur, subkutanes Décollement. Manifestes Kompartmentsyndrom oder Verletzung eines arteriellen Hauptgefäßes.	Schwere Bruchformen, Knochenzertrmerungen.

besonders der Hauptgefverbindungen mit vollständiger Ischämie, Weichteilbrcke von weniger als einem Viertel der Zirkumferenz und völliges Fehlen von Restdurchblutung [3].

Eine Klassifikation sollte einfach und umfassend sein und darüber hinaus auch Hinweise für therapeutische Konsequenzen beinhalten.

Die Einschätzung des Weichteilschadens bei geschlossenen Frakturen ist wegen der Unzugänglichkeit der tiefer gelegenen Weichteile initial außerordentlich schwierig und stützt sich neben wenigen direkten Zeichen wie Kontusionsmarken und Schrfmalen v. a. auf indirekte, erst sekundär entstehende Zeichen wie Schwellung und Konsistenzzunahme, Hautnekrosen und Spannungsblasen, aber auch den Zustand der Mikrozirkula-

tion und Änderungen im peripheren Neurostatus. Eine wesentliche Schwierigkeit bei der Klassifikation geschlossener Frakturen besteht v. a. darin, dass die Ausbildung der indirekten, erst sekundär entstehenden Zeichen der Weichteilschdigung wie dem und Schwellung, aber auch die Störung der Mikrozirkulation zeitabhängig ist. Für die Einteilung von Frakturen mit geschlossenem Weichteilschaden hat sich die Klassifikation nach Oestern und Tscherne auch international weitgehend durchgesetzt [54] (**Abb. 3, Tab. 2**).

Die Einschätzung des Weichteilschadens bei geschlossenen Frakturen ist wegen der Unzugänglichkeit der tiefer gelegenen Weichteile initial außerordentlich schwierig. Ein wesentliches Problem besteht v. a. darin, dass die Ausbildung der indirekten, erst sekundär entstehenden Zeichen der Weichteilschdigung wie dem und Schwellung, aber auch die Störung der Mikrozirkulation zeitabhängig ist.

Erstversorgung am Unfallort

Eine adquate Behandlung beginnt bereits durch den Erstbehandler (Notarzt, Sanitäter) am Ort des Ereignisses. Neben Aufrechterhaltung der Vitalfunktionen und Schockbehandlung sind bei offenen Frakturen ein steriles Abdecken der Wunde sowie Reposition und Schienung der Fraktur zur Verhinderung von Wundinfektion und posttraumatischen Weichteilschäden erforderlich. Bei der Unfallrettung sollte eine grobe axiale und rotatorische Dislokation immer reponiert werden. Hierfür ist zumindest eine Analgosedierung, gelegentlich eine Narkose, erforderlich. Wird die Dislokation nicht unverzüglich behoben, verschlimmert sich der Weichteilschaden mit jeder Minute. Eine vorliegende Verkürzung kann belassen werden, weil sie eher weichteilprotektiv wirkt. Eine Extremität wird für den Transport am einfachsten zunächst in einer pneumatischen Schiene ruhiggestellt. Alle Behandler können dazu beitragen, den Weichteilschaden durch zeitgerechte und sinnvolle Maßnahmen zu begrenzen [41].

Klinische Erstbehandlung in der Notaufnahme

Die klinische Erstversorgung beginnt mit der Akut- oder Reanimationsphase, in der ein vorbereitetes Team nach standardisierten Ablaufregeln in einem vorbereiteten Schockraum lebenserhaltende und diagnostische Sofortmaßnahmen



Abb. 4 Gelenküberbrückender Fixateur externe bei der Erstversorgung von Pilonfrakturen bds.

durchführt. In dieser Phase bleibt der am Unfallort angelegte Verband ungeöffnet. Es erfolgt eine sorgfältige Untersuchung der benachbarten Gelenkabschnitte, v. a. der peripheren Durchblutung und soweit möglich die Erhebung eines Neurostatus. Zeitpunkt (z. B. Ischämiezeit), Ursache (z. B. Begleiterkrankungen) und Mechanismus (z. B. landwirtschaftlicher Unfall) des Traumas können wichtige Konsequenzen für das weitere Vorgehen haben und sind ebenso zu analysieren wie Kleidungsstücke auf mögliche Defekte, die gelegentlich in die Wunde eingesprengt sind. Danach wird die Röntgendiagnostik mit angrenzenden Gelenken in 2 Ebenen ausgeführt. Bei polytraumatisierten und mehrfachverletzten Patienten sowie Hinweisen auf ein Hochrasanztrauma empfiehlt sich die initiale Durchführung eines Polytrauma-Spiral-CT beim vollständig entkleideten Patienten. Bereits in der Notaufnahme wird eine Aktualisierung des Tetanusimpfstatus durchgeführt und eine ungezielte antibiotische Therapie mit einem Breitpektrumantibiotikum (Cephalosporin der 2. Generation) begonnen.

Die klinische Erstversorgung beginnt mit der Akut- oder Reanimationsphase, in der ein vorbereitetes Team nach standardisierten Ablaufregeln in einem vorbereiteten Schockraum lebenserhaltende und diagnostische Sofortmaßnahmen durchführt.

Erstversorgung im Operationssaal

Erst hier werden unter aseptischen Bedingungen die Notverbände entfernt, Abstriche entnommen und die Weichteilsituation im Zusammenhang mit der vorliegenden Bildgebung analysiert. Danach schließt sich eine mechanische Wundreinigung (bürsten) unter sterilen Kautelen

an. Hierauf erfolgen eine erneute sterile Abdeckung sowie ein Handschuh- und Instrumentenwechsel. In Abhängigkeit vom Allgemeinzustand, den Begleitverletzungen sowie den Grunderkrankungen und dem Lokalbefund wird gemäß den Behandlungsrichtlinien ein aggressives Débridement durchgeführt. Dabei werden alle avitalen und minderperfundierten Knochen und Weichteilstrukturen radikal entfernt, ohne dabei auf den entstehenden Knochen- und Weichteildefekt Rücksicht zu nehmen. Das Débridement wird als ausreichend betrachtet, wenn sowohl in den Knochen- als auch in den Weichteilanteilen makroskopisch eine ausreichende Durchblutung vorliegt. Eine effektive Wundreinigung bei flächigen kontaminierten Verletzungen kann durch den Einsatz der Jet-Lavage erreicht werden. Hierbei wird ein pulsierender Wasserstrahl erzeugt, der mit einem Fluss von 1 l/min und einem Gewebeaufpralldruck von 100 Pa/cm² auf die Wunde einwirkt. Als Spüllösung wird Ringer-Lösung ohne antimikrobielle, antiseptische oder enzymatische Zusätze verwendet. Wichtig ist hierbei die Verwendung hoher Flüssigkeitsvolumina von bis zu 10 l Spüllösung (Abb. 11 d).

Initiale Osteosynthese

Grundsätzlich gilt in der Primärversorgung auch heute der alte Grundsatz: „Erstgradig offene Frakturen können wie geschlossene Frakturen behandelt werden“. Dies lässt dem Operateur alle Freiheiten, seine Osteosynthese der Fraktur angepasst zu wählen, insofern nicht andere Faktoren wie Mehrfachverletzung, Zeitfenster etc. dem widersprechen. Eine erstgradig offene Fraktur kann zudem zusätzlich mit einem drittgradig geschlossenen Weichteilschaden kombiniert sein.

Bei höhergradig offenen Frakturen war über lange Jahre die Retention der Fraktur im Fixateur externe das Mittel der Wahl (Abb. 4). Die Vorteile des Fixateur externe liegen in der raschen, frakturfernen und gewebeschonenden Montage zur Stabilisierung der Fraktur [17]. Zudem kann das Verfahren problemlos korrigiert und die Extremität postoperativ in der Montage gelagert werden. In speziellen Fällen können auch Osteosyntheseverfahren kombiniert werden: innere Minimalosteosynthese (Draht oder Schraube) und auxiliärer Fixateur externe, der nur bis zur Weichteilsanierung bzw. einem festzuliegenden limitierten Zeitpunkt belassen wird [25].

Die initiale Marknagelung hat in den vergangenen Jahren bei Frakturen der langen Röhrenknochen mit begleitendem Weichteilschaden erheblich an Bedeutung zugenommen [2, 23, 30, 45]. Der schwere offene Weichteilschaden galt wegen der Störung der endostalen Durchblutung lange als Kontraindikation für die aufgebohrte Marknagelung, insbesondere an der Tibia [50].

Die unaufgebohrte Marknagelung war deshalb initial als temporärer innerer Stabilisator, mit frakturfernem Einbringen und ohne Kontakte nach außen konzipiert worden, welche solange belassen werden sollte, bis von der Weichteilsituation der Wechsel auf die aufgebohrte Marknagelung gefahrlos durchgeführt werden konnte [19, 25, 48]. Aufgrund des geringen Querschnitts und fehlender Querelastizität liegt im eigentlichen Sinne kein Nagel, sondern ein Fixateur interne vor, welcher bei fehlender Verklebung proximal und distal verriegelt werden muss (Abb. 5). Zwischenzeitlich hat sich die limitiert aufgebohrte Marknagelung bei offenen Schafffrakturen am Unterschenkel ungeachtet der Schwere des Weichteilschadens zum etablierten Verfahren entwickelt [2, 9, 24]. Im Vergleich zum Fixateur sind beim Nagel auch bei drittgradig offenen (OIIIB) Frakturen frühere Vollbelastung, weniger Reeingriffe (auch unter Berücksichtigung der Implantatentfernung) und ein besseres funktionelles Ergebnis statistisch signifikant nachgewiesen, während die Infektionsrate sowie die Rate an Frakturheilungsstörungen und Fehlstellungen keine signifikanten Unterschiede aufwiesen [48–50].

Wichtige Einflussgrößen auf Infektionsraten sind neben dem Verzicht auf das radikale Aufbohren auch die Querschnittsform des Implantats und das Implantatmaterial. So sind für Vollmaterial (Wegfall eines von der Infektabwehr abgeschirmten Hohlraums) und Titanimplantate im Tiermodell signifikant geringere Infektraten nachgewiesen worden als für Hohlköpfe und Nägel aus Implantatstahl [35].

Das Konzept der Frakturschienung und Überbrückung wird in jüngerer Zeit auch auf die Plattenosteosynthese übertragen. In der biologischen, unter die getunnelten Weichteile durchgeschobenen Variante kann auf die Manipulation und anatomische Reposition der einzelnen Fragmente verzichtet werden. Vielmehr sollte einziges Repositionsziel die kor-



Abb. 5a und b a Offene Unterschenkelfraktur nach direktem Trauma. b Primäre Versorgung der Tibia mit unaufgebohrtem Tibianagel.

rekte Wiederherstellung der Achse und Länge des Knochens sowie der Ausgleich der Rotationsfehlstellung sein. Ziel dieser minimalinvasiven Plattenosteosynthese ist also nicht die absolute Primärstabilität der Fraktur, sondern eine ausgewogene mechanische Unterstützung des biologischen Heilungsverlaufs. Voraussetzung hierfür ist eine sog. überbrückende Plattenosteosynthese [7]. Eine Methode, die völlig neue Anforderungen an Form und Material der Implantate stellte. Mit dem Ziel, die Fraktur zu überbrücken und Weichteile und Durchblutung zu schonen, wurden längere und z.T. anatomisch vorgeformte winkelstabile Platten entwickelt, die mit wenigen Schrauben lediglich am proximalen und distalen Hauptfragment unter Aussparung der eigentlichen Frakturregion gehalten werden (**Abb. 6**). Folglich müssen die Platten eine ausreichende Elastizität aufweisen, um diese höheren Kräfte aufnehmen zu können. Insbesondere wenn bei offenen Frakturen eine frühzeitige plastische Deckung mit regionalen oder gefäßgestielten Lappen geplant ist, bietet sich jetzt eine Erstversorgung mit durchgeschobenen Plattenosteosynthesen an (**Abb. 7**).

Das Konzept der Frakturschienung und Überbrückung wird in jüngerer Zeit auch auf die Plattenosteosynthese übertragen. In der biologischen, unter die getunnelten Weichteile durchgeschobenen Variante kann auf die Manipulation und anatomische Reposition der einzelnen Fragmente verzichtet werden.

Wundverschluss

Der Wundverschluss muss zwingend spannungsfrei erfolgen. Ist die Wunde nach dem Débridement und der Osteosynthese nicht zu verschließen, kann sie je nach Notwendigkeit mit einem Vakuumverband versiegelt werden (**Abb. 8**). Die früher übliche Deckung mit Epigard® hat den Nachteil, dass die Wunde dann stark in den Verband sezerniert und unhygienische Verhältnisse resultieren können. Die Vakuumversiegelung hat den Vorteil, dass das Wundsekret gezielt abgeleitet, die Haut leicht approximiert und durch die Folie gut inspiziert werden kann [10]. Die Wundgranulation wird zudem bei diesem Verfahren von Beginn der Behandlung an gefördert. Ist der Markraum zur Wunde hin breit offen, kann die Vakuumversiegelung kontraindiziert sein, weil dann zu viel Blut abgesaugt werden kann. In diesem Fall muss auf einen synthetischen Hautersatz zurückgegriffen werden. Derart provisorisch verschlossene Wunden sollten spätestens alle 48 h revidiert werden. Bei diesen Second-Look-Operationen wird die Wunde bis in das Markraumniveau gespült und das Débridement auf Vollständigkeit überprüft [18,26].

Abgestuftes Behandlungsregime am Beispiel einer III° offenen Unterschenkelfraktur

- umfassendes, aggressives Débridement (Knochen und Weichteile)



Abb. 6 Beispiel für eine anatomisch vorgeformte winkelstabile Platte (Pilonplatte).

- Jet-Lavage zur mechanischen Reinigung der Wunde und Reduktion der Keimzahlen im Gewebe
- temporäre Wundabdeckung mit Epigard oder Vacuseal
- programmiertes Débridement im 48-h-Intervall
- Knochenstabilisierung mittels Fixateur externe oder unaufgebohrtem Nagel
- rechtzeitiges Umsteigen auf limitiert aufgebohrte Tibianagelung oder durchgeschobene Platte
- frühzeitige Weichteildefektdeckung (fasziokutaner Lappen, lokale und freie Muskellappen)
- Knochenaufbau (Spongiosaplastik, Segmenttransfer nach Ilizarov)
- notwendige Sekundäreingriffe (Sehnentransfer, Lappen- bzw. Narbenkorrektur, Bandrekonstruktion der benachbarten Gelenke, Korrekturosteotomie)

Indikation zur primären Amputation

Beim polytraumatisierten, vital gefährdeten Patienten verbietet sich jeder aufwendige Rekonstruktionsversuch. Hier sollte nach dem Prinzip „life before limb“ vorgegangen werden. Die primäre Amputation sollte weitgehend auf diese Fälle und auf schwerste Fraktursituationen mit irreparablen Nerven und Gefäßschäden beschränkt bleiben. Verschiedene Scores wurden entwickelt, um dem Operateur eine Hilfestellung zur differen-

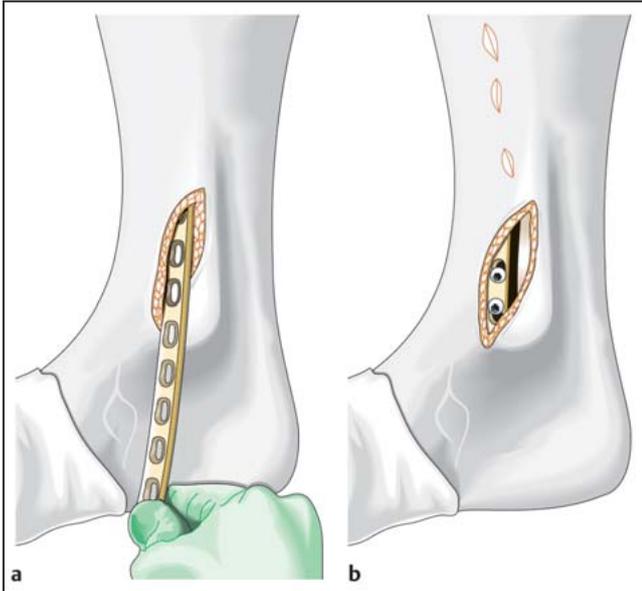


Abb. 7a und b
a Technik der durchgeschobenen Plattenosteosynthese. **b** Überbrückende Platte in situ.



Abb. 7c und d **c** Versorgung einer II° offenen Tibiafraktur mit durchgeschobener Platte. **d** Klinisches Bild nach Abheilung der Weichteile.

Tab. 3 Scoring-Systeme zur Klassifikation verletzter Extremitäten.

Autor	Score	Abkürzung	Amputation
Gregory et al. [13] 1985	Mangled-Extremity-Syndrome-Index	MESI	> 20
Howe et al. [20] 1987	Predictive-Salvage-Index	PSI	> 8
Johansen et al. [22] 1990	Mangled-Extremity-Severity-Score	MESS	> 8
Russell et al. [46] 1991	Limb-Salvage-Index	LSI	> 6
McNamara et al. [33] 1994	NISSA-Scoring-System	NISSA	> 8

zierten Entscheidungsfindung zu geben (**Tab. 3**). Der am weitesten verbreitete Score ist der Mangled-Extremity-Severity-Score ([22], **Tab. 4**). Auf die Problematik dieser Scores wurde in der Literatur mehrfach hingewiesen [4]. Auch nach eindeutiger Indikation zur Amputation bei MESS > 8 konnten in mehreren Fällen funktionell gute Resultate nach Extremitätenerhalt beschrieben werden. Von daher ist der Erhalt der Extremität mit den heutigen Techniken oft möglich [12, 47, 52]. Das Ergebnis ist jedoch nach wie vor nicht exakt vorhersehbar. Das wahre Ausmaß der Schädigung zeigt sich häufig erst einige Tage nach dem Unfall. Aufwendige Rekonstruktion zum Gliedmaßenhalt unter allen Mitteln kann aber auch zur verlängerten Morbidität mit funktionell schlechtem Resultat und zu einem sozialen Abstieg des Patienten führen [15, 27, 28]. Daher hat auch im Zeitalter moderner Rekonstruktionsverfahren die Amputation nach wie vor ihren Stellenwert. Der Operateur muss, gemeinsam mit dem Patienten, bei jeder schwerst geschädigten Extremität ent-

scheiden, ob ein Erhalt machbar und insbesondere, ob er sinnvoll ist. Hierbei sollten die Wünsche und beruflichen Erfordernisse des Patienten in die Indikation eingehen. Dies ist bei primärer Amputation in der Regel schwer zu entscheiden. Andererseits entscheidet man sich erfahrungsgemäß schwerer zur Amputation, je mehr Eingriffe zum Erhalt der Extremität erfolgt sind. Man sollte auch die hervorragenden Möglichkeiten der modernen Prothetik vor Augen haben, wenn man sich zur Entscheidung durchringen muss. Dabei sollte der Erfahrenste im Team immer hinzugezogen werden. Wenn man sich zur Amputation entschließt, sollte man bedenken, dass sich auch bei schwerst geschädigten Weichteilen im Einzelfall durch filetierte Amputateile noch endbelastungsfähige Stumpfbildungen herstellen lassen [51].

Beim polytraumatisierten, vital gefährdeten Patienten verbietet sich jeder aufwendige Rekonstruktionsversuch. Hier sollte nach dem Prinzip „life before limb“ vorgegangen werden.

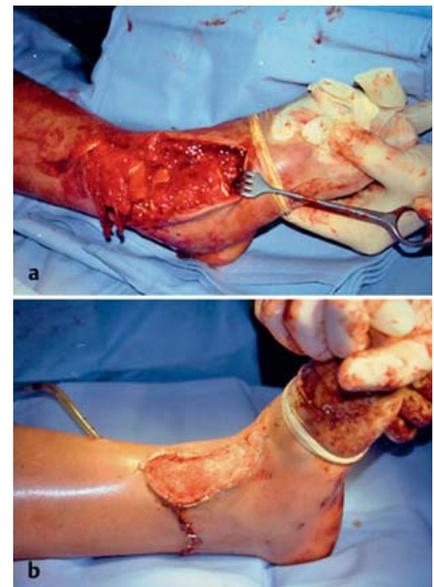


Abb. 8a und b **a** Ausgeprägte Defektwunde bei offenen Frakturen der Fußwurzel. **b** Vakuumversiegelung zur temporären Wundabdeckung vor Anlage eines Fixateur externe.

Management geschlossener Frakturen

Die Fraktur mit geschlossenem Weichteilschaden entzieht sich stärker als offene Verletzungen einer genauen primären Einschätzung. Bei nicht kontinuierlich durchtrenntem Weichteilmantel wird die Verletzung insbesondere durch den Erstbehandler häufig unterschätzt [36]. So stellt etwa eine geschlossene Fraktur mit Décollement und „degloving“ nach Überrolltrauma trotz des geschlossenen Weichteilmantels eine schwerere Verletzung dar als eine einfache Hautdurchspießung bei offener Fraktur. Hier gilt es nach initialer geschlossener Reposition und temporärer Schienung bei rasch anzustrebender Versorgung wiederholt auf

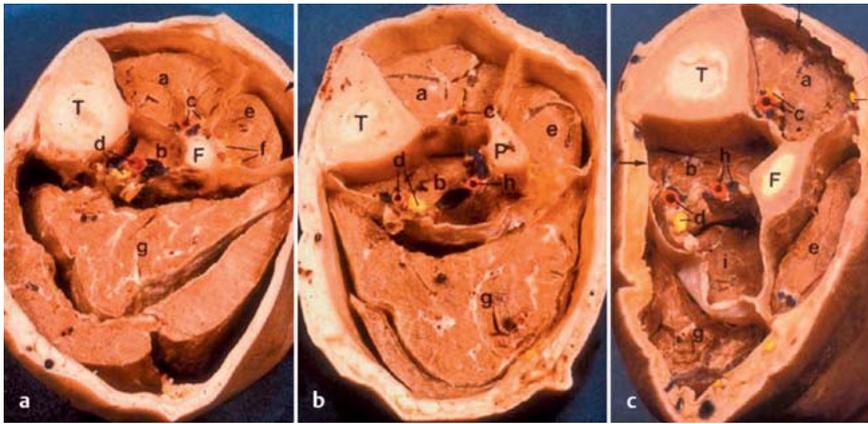


Abb. 9 a bis c Muskellogen des Unterschenkels. Querschnitt rechter Unterschenkel, proximales (a), mittleres (b) und distales Drittel (c), Aufsicht von kranial (nach [57]). a = Tibialis-anterior-Loge, b = tiefe Beugerloge, c = A. tibialis anterior, N. peroneus profundus, d = A. tibialis posterior, N. tibialis, e = Peroneusloge, f = N. peroneus superficialis, g = oberflächliche Beugerloge, h = A. fibularis, T = Tibia, F = Fibula (aus [21]).

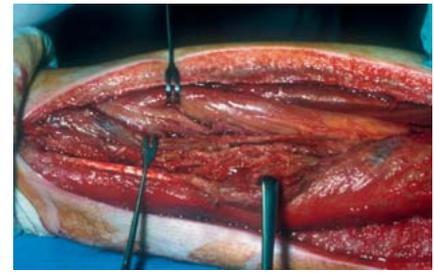


Abb. 10 Kompartmentspaltung am Unterschenkel: Avitale Muskelanteile müssen radikal debridiert werden.

Tab. 4 Mangled-Extremity-Severity-Score (MESS).

Unfallmechanismus	Low-Energy-Trauma	1
	Medium-Energy-Trauma	2
	Crash-Verletzung	3
Hämodynamik	normotensiv	0
	vorübergehend hypoton	1
	protrahierte Hypotension	2
Ischämie	keine	0
	schwacher Puls	1
	kein tastbarer Puls, Kapillarpuls verzögerter vorhanden	2
	kalt, keine Sensibilität, keine Motorik	3
Patientenalter	< 30	0
	30–50	1
	> 50	2

Mangled-Extremity-Severity-Score [MESS] mit vier Parametern als Entscheidungshilfe für Gliedmaßenerhalt oder Amputation. Ab Punktwert > 8 Amputation empfohlen [22].

Zeichen von Volumenzunahme, Spannungsblasen oder neurovaskuläre Symptome zu achten und nach Möglichkeit eine Kompartimentdruckmessung zu installieren. Daher muss in entsprechenden Situationen der Erfahrenste aus dem Traumateteam die Einschätzung und das Vorgehen bestimmen. Bei der Vorbereitung zur Operation werden Quetschungen, Schürfwunden und oberflächliche Fremdkörperinkrustationen genauso wie bei offenen Frakturen mit sterilen Bürsten und Desinfektionslösung behandelt, zusätzlich ist eine empirische Antibiotikatherapie mit einem Cephalosporin der II. Generation zu erwägen. Frakturen mit drittgradig geschlossenem

Weichteilschaden müssen rasch operativ versorgt werden. Die Dekompression der einzelnen Kompartimente sollte am Anfang und nicht am Ende der Operation durchgeführt werden [31]. Für die Osteosynthese wie für den Wundverschluss gelten die auch für die offenen Frakturen aufgeführten Grundsätze.

Besonderheiten bei geschlossenen Weichteilschäden

Kompartmentsyndrom

Das Kompartmentsyndrom ist definiert als pathologische Druckerhöhung in einem geschlossenen, meist von Faszie

umhüllten Geweberaum, wonach es beim Überschreiten eines kritischen Schwellendrucks über eine verminderte Zirkulation zu einer zunächst reversiblen, später irreversiblen Störung der neuromuskulären Funktion kommt [32]. Dieser Schwellendruck ist keine intra- und interindividuelle Konstante, sondern orientiert sich am jeweiligen diastolischen Druckniveau [58]. Kompartmentsyndrome sind nach Gewebstraumatisierung am häufigsten am Unterschenkel anzutreffen, wobei die Loge des M. tibialis anterior wegen der derben Faszieneinscheidung am anfälligsten ist [21] (**Abb. 9**). Bei eingetretenem Logensyndrom am Unterschenkel muss Sorge getragen werden, dass alle 4 Kompartimente chirurgisch entlastet werden (**Abb. 10**). Heutzutage wird im Gegensatz zu früheren Empfehlungen die Indikation zur Kompartimentspaltung weniger nach Absolutwerten [6], sondern vielmehr am diastolischen Bezugsdruck sowie auch nach klinischen Kriterien [43] gestellt. Anhaltswerte für ein drohendes Kompartimentsyndrom liegen um 20 mmHg. Unter diesen Maßgaben und einem entsprechenden invasiven Monitoring (direkte Druckmessung) erscheint ein zuwartendes Vorgehen ohne größere Risiken möglich [34]. Entgegen früheren Ansichten [44] konnte zwischenzeitlich gezeigt werden, dass es durch die Marknagelung trotz Extension, Manipulation und Aufbohrung nicht zu einem vermehrten Auftreten von Kompartimentsyndromen kommt [34], obwohl peri- und intraoperativ kurzfristige Druckspitzen nachweisbar sind [5]. Mithin kann also im Einzelfall auch beim vorliegenden Weichteilschaden eine primäre (ungebohrte oder limitiert aufgebohrte) Marknagelung zum Einsatz kommen. Bei offenen Frakturen mit schwerer Weichteilzerreißenung kann häufig von einer unfallbedingten „Autodekompression“ der einzelnen Muskellogen ausgegangen werden. Dennoch können Teilbereiche der kompartimentellen Begren-



Abb. 11 a Morel-Lavallée-Syndrom nach Überrolltrauma des Beckens.



Abb. 11 b Unfallaufnahme: Frakturen an Azetabulum und proximalem Femur.

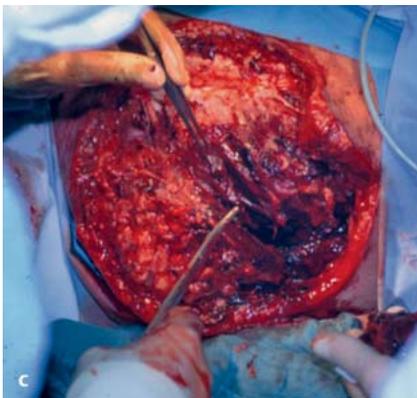


Abb. 11 c Ausgiebiges Débridement und Aufräumen von Muskelnekrosen in der Tiefe.

zungen unzerstört sein, welche zu umschriebenen Einschnürungen und damit zu Perfusionsstörungen führen können und deshalb immer gezielt aufgesucht und entlastet werden müssen.

Kompartmentsyndrome sind nach Gewebstraumatisierung am häufigsten am Unterschenkel anzutreffen, wobei die Loge des M. tibialis anterior wegen der derben Faszienumschließung am anfälligsten ist. Bei eingetretenem Logensyndrom am Unterschenkel muss Sorge getragen werden, dass alle 4 Kompartimente chirurgisch entlastet werden.



Abb. 11 d Spülung des Wundgrunds mit Jet-Lavage.



Abb. 11 e Radiologische Kontrolle 6 Monate nach definitiver Osteosynthese und Weichteildeckung.

Morel-Lavallée-Syndrom

Die von Letournel und Judet als Morel-Lavallée-Syndrom bezeichnete Weichteilläsion ist gekennzeichnet durch ein traumatisch bedingtes Abscheren der Haut und Subkutis von der Faszie infolge tangentialer Krafteinwirkung. Diese kombinierte Druck- und Scherbewegung ist z. B. im Rahmen von Überrolltraumen sowie bei Quetschungen zwischen starren Gegenständen möglich. Die Verletzung kann im Bereich des Gesäßes, über der unteren Lendenwirbelsäule und Sakralregion sowie über der Außenseite des proximalen Oberschenkels lokalisiert sein [16, 40, 42, 55]. Nach traumatischer Abhebung des Unterhautfettgewebes kommt es durch Verletzung der die Faszie perforierenden Gefäße zur Entstehung ausgedehnter flüssigkeitsgefüllter Hohlräume. Infolge der Scherkräfte rupturieren insbesondere die im Glutealbereich und am lateralen Oberschenkel gelegenen Blut- und Lymphgefäße [16, 29]. Die durch das direkte Trauma ohnehin geschädigte Haut wird zusätzlich durch Druck von innen perfusionsgemindert und neigt rasch zur Bildung von Epidermiolysen und Nekrosen (**Abb. 11 a–e**). Dadurch können

sekundär ausgedehnte Weichteilinfekte entstehen, die evtl. notwendige Osteosynthesen unmöglich machen [16, 40, 55]. Das klinische Bild ist eindrucksvoll. Man findet neben mehr oder weniger ausgedehnten Décollements nach kurzer Zeit gut palpable fluktuierende Weichteilschwellungen sowie sichtbare Einblutungen in das Subkutangewebe. Knöcherner Begleitverletzungen sowie zusätzlich bestehende Läsionen von Gastrointestinal- und Urogenitaltrakt ergänzen die klinischen Befunde. Die Diagnose stellt sich häufig bereits anhand der geschilderten Befunde (Blickdiagnostik). Sonografie, Röntgen und gegebenenfalls ein CT zum Nachweis bzw. Ausschluss begleitender Frakturen sind obligat. Die Behandlung erfolgte früher durch alleinige Punktion mit nachfolgender Drainage und durch Anlage von Kompressionsbandagen. Später versuchte man, nach Inzision der Haut die Faszie schachbrettartig zu fenestrieren, um einen Abtransport der Flüssigkeit zu erreichen [42]. Letztendlich sind all diese Maßnahmen nicht stringent, sodass die Therapie der Morel-Lavallée-Läsion in einer ausgedehnten mittig geführten Inzision besteht, die sich an der Ausdehnung des Befunds orientiert. Nach Entlastung des Hämatoms schließen sich lokales Débridement, Lavage und Hautverschluss nach Einlage mehrerer großlumiger Drainagen an. Der Primärverschluss der Wunde ist wünschenswert, bei drohender Infektion kann die Vakuumversiegelung angewandt werden [10, 29]. Begleitverletzungen müssen bedacht, vorhandene Frakturen sollten möglichst mit einer Osteosynthese versorgt werden. Postoperativ muss eine Kompressionsbehandlung bis zur sicheren Wundheilung durchgeführt werden. Das Morel-Lavallée-Syndrom ist ein seltenes Krankheitsbild. Insofern sind das „Daran-Denken“, das Erkennen und die rechtzeitige Therapie wichtig, um iatrogene Komplikationen und sekundäre Infektionen der geschädigten Areale zu vermeiden.

Literatur

- 1 Amgwerd M, Trentz O, Schütz K et al. Versorgungskonzept kombinierter Knochen-Weichteil-Defekte an der unteren Extremität. *Swiss Surg* 1995; 2: 90–95
- 2 Bhandari M, Guyatt G, Tornetta P et al. Randomised trial of reamed and unreamed intramedullary nailing of tibial shaft fractures. *J Bone Joint Surg [Am]* 2008; 90: 2567–2578
- 3 Biemer E. Internationale Definitionen im Gebiet der Replantationschirurgie und Möglichkeiten eines Bewertungsschemas der funktionellen Ergebnisse. [International definitions in the field of replantation surgery and possibilities of an evaluation system of the

- functional results]. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 1982; 14: 161–164
- 4 *Bonnani F, Rhodes M, Lucke JF*. The futility of predictive scoring of mangled lower extremities. *J Trauma* 1993; 34: 99–104
- 5 *Breitfuss H, Muhr G, Jansen C*. Die Logen-druckerhöhung bei Unterschenkelmarknagelung. Ein Therapie immanentes Phänomen? *Unfallchirurg* 1991; 94: 13–21
- 6 *Burne RB, Rorabeck CH*. Compartment syndromes of the lower leg. *Clin Orthop* 1989; 240: 97
- 7 *Claudi BF, Oedekoven G*. Biologische Osteosynthesen. *Chirurg* 1991; 62: 367
- 8 *Dorow C, Markgraf E*. Therapie des Weichteilschadens – biologische Strategien. *Zentralbl Chir* 1997; 122: 962–969
- 9 *Finkemeier CG, Schmidt AH, Kyle RF et al*. A prospective, randomized study of intramedullary nails inserted with and without reaming for the treatment of open and closed fractures of the tibial shaft. *J Orthop Trauma* 2000; 14: 187–193
- 10 *Fleischmann W, Strecker W, Bombelli M et al*. Vakuumversiegelung zur Behandlung des Weichteilschadens bei offenen Frakturen. *Unfallchirurg* 1993; 96: 488–492
- 11 *Georgiadis GM, Behrens FF, Joyce MJ et al*. Open tibial fractures with severe soft tissue loss: limb salvage compared with below knee amputation. *J Bone Joint Surg [Am]* 1993; 75: 1431
- 12 *Godina M*. Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities. *Plast Reconstr Surg* 1986; 78: 285
- 13 *Gregory RT, Gould RJ, Peclat M*. The mangled extremity severity syndrome (M.E.S.). A severity grading system for multisystem injury of the extremity. *J Trauma* 1985; 25: 1147–1150
- 14 *Gustilo RB, Anderson JP*. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty five open fractures of long bones. *J Bone Joint Surg [Am]* 1976; 58: 453–458
- 15 *Gustilo RB, Mendoza RM, Williams DN*. Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures. *J Trauma* 1984; 24: 742–746
- 16 *Hak D, Olson S, Matta J*. Diagnosis and management of closed internal degloving injuries associated with pelvic and acetabular fractures: The Morel-Lavallée lesion. *J Trauma* 1997; 42: 1046–1051
- 17 *Heppert V, Glatzel U, Schmickal T et al*. Fixateur externe und Weichteilschaden. *Trauma Berufskrankh* 2002; 4: 431–439
- 18 *Heppert V, Rheinwald K, Winkler H et al*. Infection of the proximal tibia after fractures – an avoidable complication. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 1997; 7: 195–198
- 19 *Heppert V, Wentzensen A*. Frakturen des distalen Unterschenkels. Weichteilschädigung und Rekonstruktion. *Trauma Berufskrankh* 2001; 3: 305–310
- 20 *Howe Jr JR, Poole Jr GV, Hansen KJ*. Salvage of lower extremities following combined orthopedic and vascular trauma: a predictive salvage index. *Am Surg* 1987; 53: 205–208
- 21 *Jäger C, Echtermeyer V*. Kompartmentsyndrom des Unterschenkels und des Fußes. *Anatomie und Pathophysiologie. Unfallchirurg* 2008; 111: 768–775
- 22 *Johansen K, Daines M, Howey T*. Objective criteria accurately predict amputation following lower extremity trauma. *J Trauma* 1990; 30: 568–573
- 23 *Inan M, Halici M, Ayan I et al*. Treatment of type IIIA open fractures of tibial shaft with Ilizarov external fixator versus unreamed tibial nailing. *Arch Orthop Trauma Surg* 2007; 127: 617–623
- 24 *Keating JF, O'Brien PJ, Blachut PA et al*. Reamed interlocking intramedullary nailing of open fractures of the tibia. *Clin Orthop* 1997; 338: 182–191
- 25 *Ketterl R*. Vorgehen bei Unterschenkelfrakturen mit schwerem Weichteilschaden. *Trauma Berufskrankh* 2001; 3 (Suppl. 2): S167–S173
- 26 *Ketterl RL, Steinau HU, Feller AM et al*. Aggressives Debridement und frühzeitige Weichteildefektdeckung bei drittgradigen offenen Tibiafrakturen. *Zentralbl Chir* 1990; 115: 209
- 27 *Knopp W, Buchholz J, Muhr G et al*. Negativeffekte lokaler Unterschenkelmuskellappenplastiken auf die Fußfunktion. *Unfallchirurg* 1993; 96: 229–234
- 28 *Knopp W, Kugler J, Reckert P et al*. Determinanten der Lebensqualität nach offenem Unterschenkelbruch Typ III – Ergebnis einer Multicenterstudie. *Chirurg* 1997; 68: 1156–1162
- 29 *Kothe M, Lein T, Weber AT et al*. Die Morel-Lavallée-Läsion. Eine schwerwiegende Weichteilverletzung. *Unfallchirurg* 2005; 109: 82–86
- 30 *Krettek C, Glüer S, Schandellaier P et al*. Marknagelung offener Frakturen. *Orthopäde* 1996; 25: 223–233
- 31 *Krettek C, Schandellaier P, Tscherne H*. Non-reamed interlocking nailing of closed tibial fractures with severe soft tissue injury: Indications, technique and clinical results. *Clin Orthop* 1995; 315: 34–47
- 32 *Matsen FAI, Winquist RA, Krugmire RB et al*. Diagnosis and management of compartmental syndromes. *J Bone Joint Surg [Am]* 1980; 62: 286–291
- 33 *McNamara MG, Heckman JD, Corley FG*. Severe open fractures of the lower extremity: a retrospective evaluation of the Mangled Extremity Severity Score (MESS). *J Orthop Trauma* 1994; 8: 81–87
- 34 *McQueen MM, Christie J, Court Brown CM*. Compartment pressure after intramedullary nailing of the tibia. *J Bone Joint Surg [Br]* 1990; 72: 395–397
- 35 *Melcher GA, Claudt B, Schlegel U et al*. Influence of type of intramedullary nail on the development of local infection. Experimental study of solid and slotted nails in rabbits. *J Bone Joint Surg [Br]* 1994; 76: 955–959
- 36 *Muhr G, Knopp W*. Die postoperative Einteilung traumatischer Weichteilschäden als Versorgungshilfe. *Unfallchirurg* 1989; 92: 424–429
- 37 *Müller ME, Allgöwer M, Schneider R et al*. *Manual der Osteosynthese*. Berlin, Heidelberg New York: Springer; 1992: 151–158
- 38 *Müller ME, Nazarian S, Koch P et al*. The comprehensive classification of fractures of long bones. In: Anonymous. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; 1990: 272
- 39 *Oestern HJ, Tscherne H*. Pathophysiologie und Klassifikation des Weichteilschadens. *Unfallheilkunde* 1983; 162: 1 ff
- 40 *Parra JA, Fernandez MA, Encinas B et al*. Morel-Lavallée effusions in the thigh. *Skeletal Radiol* 1997; 26: 239–241
- 41 *Rojczyk M, Tscherne H*. Bedeutung der präklinischen Versorgung bei offenen Frakturen. *Unfallheilkunde* 1982; 85: 72–75
- 42 *Roncera J*. Drainage active, par résection aponevrotique partielle, des épanchements de Morel-Lavallée. *Nouv Presse Méd* 1976; 20: 1305–1306
- 43 *Rorabeck CH, Castle TS, Hardie R et al*. Compartment pressure measurements. An experimental investigation using the slit catheter. *J Trauma* 1981; 21: 446
- 44 *Rorabeck CH, McKenzie FH*. Vascular injuries and compartment syndromes associated with fractures of the femur and tibia. In: Seligson D, ed. *Concepts in intramedullary nailing*. Orlando: Grune & Stratton; 1985: 101–120
- 45 *Ruchholtz S, Nast-Kolb D, Schweiberer L*. Marknagelung bei Unterschenkelfrakturen mit geringem Weichteilschaden. *Orthopäde* 1996; 25: 197–206
- 46 *Russell WL, Sailors DM, Whittle TB*. Limb salvage versus traumatic amputation: a decision based on a seven-part predictive index. *Ann Surg* 1991; 213: 473–481
- 47 *Saddawi-Konefka D, Kim H, Chung K*. A systemic review of outcomes and complications of reconstruction and amputation for type IIIB and IIIC fractures of the tibia. *Plast Reconstr Surg* 2008; 122: 1796–1805
- 48 *Schandellaier P, Krettek C, Rudolf J et al*. Vorteile des unaufgebohrten Tibianagels im Vergleich mit Fixateur externe bei der Behandlung von Grad 3 B offenen Tibiaschaftfrakturen. *Unfallchirurg* 1997; 100: 286–293
- 49 *Schandellaier P, Krettek C, Rudolf J et al*. Outcome of tibial shaft fractures with severe soft tissue injury treated by unreamed nailing versus external fixation. *J Trauma* 1995; 39: 707–712
- 50 *Shannon FJ, Mullett H, O'Rourke K*. Unreamed intramedullary nail versus external fixation in grade III open tibial fractures. *J Trauma* 2002; 52: 650–654
- 51 *Steinau HU, Germann G, Büttemeyer R et al*. Zur Wiederstellungschirurgie kniegelenknaher Amputationsstümpfe. *Unfallchirurgie* 1993; 5: 272
- 52 *Steinau HU, Hebebrand D, Vogt P et al*. Plastische Weichteildeckung bei Defektfrakturen am Unterschenkel. *Chirurg* 1996; 67: 1080–1086
- 53 *Tscherne H*. Management offener Frakturen. *Hefte Unfallheilkd* 1983; 162: 10–32
- 54 *Tscherne H, Oestern H-J*. Die Klassifizierung des Weichteilschadens bei offenen und geschlossenen Frakturen. *Unfallheilkunde* 1982; 85: 111–115
- 55 *Tscherne H, Pohlemann T*. *Unfallchirurgie Bd. 7: Becken und Acetabulum*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; 1988: 112–115
- 56 *Tscherne H, Regel G*. *Unfallchirurgie: Traumamanagement*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; 1997: 241
- 57 *Van der Zypen E*. Die Faszienloggen der Extremitäten. *Sandorama* 1985; 2: 20
- 58 *Whitesides TE, Haney TC, Mrimoto K et al*. Tissue pressure measurements as a determination for the need of fasciotomy. *Clin Orthop* 1975; 113: 43
- 59 *Woltmann A, Bühnen V*. Weichteilschaden beim Unterschenkelchaftbruch. *Trauma Berufskrankh* 2002; 4: 94–100

Dr. med. Thomas Lein

Leitender Oberarzt

Dr. med. Klaus-Jürgen Engler

Facharzt für Chirurgie

Falko Moritz

Oberarzt

Prof. Dr. med. Felix Bonnaire

Chefarzt

Klinik für Unfall-, Wiederherstellungs- und Handchirurgie
Krankenhaus Dresden-Friedrichstadt
Friedrichstraße 41
01067 Dresden

Lein-Th@khdf.de